



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ANÁLISE DA CONFIGURAÇÃO MERIDIONAL DE VARIÁVEIS
ATMOSFÉRICAS E OCEÂNICA PARA O MONITORAMENTO DA
POSIÇÃO LATITUDINAL DA ZCIT NO ATLÂNTICO TROPICAL**

JAMILLY LEITE DIAS

CAMPINA GRANDE – PB

JUNHO DE 2018

JAMILLY LEITE DIAS

**ANÁLISE DA CONFIGURAÇÃO MERIDIONAL DE VARIÁVEIS
ATMOSFÉRICAS E OCEÂNICA PARA O MONITORAMENTO DA
POSIÇÃO LATITUDINAL DA ZCIT NO ATLÂNTICO TROPICAL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escala

Subárea: Climatologia

Orientador: José Ivaldo Barbosa de Brito

CAMPINA GRANDE – PB

JUNHO DE 2018

D541a

Dias, Jamilly Leite.

Análise da configuração meridional de variáveis atmosféricas e oceânica para o monitoramento da posição latitudinal da ZCIT no Atlântico Tropical / Jamilly Leite Dias. - Campina Grande, 2018.

65 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2018.

"Orientação: Prof. Dr. JoséIVALDO BARBOSA DE BRITO".

Referências.

1. ZCIT. 2. Monitoramento - Meteorologia. 3. Atlântico Tropical. I. Brito, JoséIVALDO BARBOSA DE. II. Título.

CDU 551.577.5(043)

JAMILLY LEITE DIAS

ANÁLISE DA CONFIGURAÇÃO MERIDIONAL DE VARIÁVEIS
ATMOSFÉRICAS E OCEÂNICAS PARA O MONITORAMENTO DA POSIÇÃO
LATITUDINAL DA ZCIT NO ATLÂNTICO TROPICAL

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 15/06/2018

BANCA EXAMINADORA



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



Prof. Dr. ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. ROBSON DE SOUSA NASCIMENTO
Centro de Ciências Agrárias.
Universidade Federal da Paraíba

DEDICATÓRIA

Primeiramente à Deus, e aos meus verdadeiros amores:
Carmem Leite e Jurandir Dias.

AGRADECIMENTOS

- Agradeço primeiramente a Deus. Por sempre ter me dado forças, encorajando-me a vencer cada batalha e obstáculo da vida com sua proteção divina, e continuar fazendo com que eu persista na minha fé, permitindo-me acreditar a cada dia que tudo é possível com Fé. O resultado disso é a conclusão de mais essa etapa na minha vida.

- Aos meus pais, Carmem Leite e Jurandir Dias, gratidão por toda vida, os que nunca deixaram de acreditar em minha capacidade; por sempre serem os primeiros a me oferecerem ajuda nos momentos de dificuldade, proporcionando-me o melhor, além de muito contribuírem com palavras encorajadoras e incentivadoras nesta caminhada difícil que é a vida acadêmica.

- Aos meus tios que souberam me ajudar de alguma forma com total apoio; em especialmente aos meus Padrinhos José Cláudio Chaves, Fátima Chaves e minha tia querida Jacirema Dias Pereira.

- Meus sinceros agradecimentos ao meu orientador, Prof. Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito pela sua orientação, pela sua confiança, paciência e incentivo para o desenvolvimento e realização deste trabalho.

- A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior), pelos recursos financeiros concedidos durante todo o curso.

- Ao programa de pós-graduação em Meteorologia pela aprovação no programa, e aos professores do Departamento de Ciências Atmosféricas/CCT/UFCG pelo contato profissional, vivência, como também por proporcionarem conhecimentos, contribuindo para a formação desta nova etapa.

- A meu namorado Rubens Costa pelo apoio, amor, carinho e compreensão nos meus momentos de cansaço físico e mental, como também por me acompanhar, se mostrando um grande companheiro e amigo presente.
- Aos meus amigos, Kamila Sousa e André Oliveira que me acompanharam desde o início do mestrado, onde trocamos vivências e experiências do dia a dia, por morarmos juntos nessa fase acadêmica.
- Ao colega Ewerton, que me ajudou bastante com o seu apoio durante a fase inicial desta pesquisa na obtenção dos dados para a qualificação, além da sua ajuda com alguns programas computacionais que foram imprescindíveis para a conclusão desta dissertação.
- Agradeço também a banca examinadora que participou desta pesquisa, pelas brilhantes considerações que guiaram para a elaboração final deste trabalho, cujas observações foram imprescindíveis.
- A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho, muito obrigada!

“Entrega o teu caminho ao Senhor, confia nele, e o mais ele fará.” (Salmos 37:5).

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo do monitoramento quantitativo da posição latitudinal e da intensidade pentadal das variáveis envolvidas na caracterização da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) no Atlântico Tropical. Tendo como objetivo principal determinar as posições das médias climatológicas latitudinais, em faixas longitudinais, ao longo do ano, dos valores máximos e mínimos de variáveis atmosférica e oceânica, além de analisar o grau de correlações entre elas. Foram analisados dados médios pentadais de Radiação de Ondas Longas (ROL), Componente Meridional do Vento, Temperatura da Superfície do Mar (TSM), Pressão ao Nível Médio do Mar (PNMM) e a posição média latitudinal das três variáveis anteriores. Para tanto, foram extraídos das reanálises nos horários de 3 UTC e 15 UTC do ERA-Interim, ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecast*), com resolução espacial de $0,75^\circ \times 0,75^\circ$, para o período de 1º de janeiro de 1997 a 31 dezembro de 2016. A área de estudo abrange um recorte sobre o oceano Atlântico compreendido entre $17,25^\circ\text{N}$ a $5,25^\circ\text{S}$ e de 40°W a 20°W . Notou-se que a posição latitudinal média das três variáveis, mostrou-se uma boa representação das posições latitudinais, bem como indicativos da ZCIT. Verificou-se que a distribuição das posições latitudinais dos valores máximo de TSM, mínimo de ROL, mínimo de PNMM e componente do vento meridional nula, representados por pântadas, se encontraram posicionados mais para o hemisfério norte (HN) e com eixo central na direção nordeste. A faixa de máxima TSM foi a que apresentou maior variabilidade espacial. Em geral as variabilidades pentadais são maiores quando o eixo central atinge suas posições mais ao sul, exceto a PNMM. O monitoramento da ZCIT usando as quatro variáveis é mais eficaz do que usando apenas uma.

Palavras-chave: ZCIT, monitoramento, Atlântico tropical.

ABSTRACT

This research presents a study of the quantitative monitoring of the pentadal latitudinal position and the intensity of the variables involved in the characterization of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) in the Tropical Atlantic. The main objective of this study was to determine the latitudinal averages of the maximum and minimum values of atmospheric and oceanic variables in longitudinal bands throughout the year, as well as to analyze the degree of correlation between them. We analyzed mean pentadals data of Long Wave Radiation (ROL), Southern Wind Component, Sea Surface Temperature (SST), Mean Sea Pressure (PNMM) and the mean latitudinal position of the three previous variables. To do so, they were extracted from the re-analyzes at 3 UTC and 15 UTC times of the ERA-Interim, ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecast), with spatial resolution of $0.75^\circ \times 0.75^\circ$ for the 1 January 1997 to 31 December 2016. The study area covers a cut over the Atlantic Ocean between 17.25N to 5.25S and 40°W to 20°W. It was noted that the mean latitudinal position of the three variables showed a good representation of the latitudinal positions, as well as indicative of the ITCZ. It was verified that the distribution of the latitudinal positions of the maximum SST values, minimum ROL, minimum PNMM and zero meridional wind component, represented by pentad, were positioned more towards the northern hemisphere (HN) and with central axis in the direction northeast. The maximum SST range was the one with the highest spatial variability. In general, the pentadal variabilities are larger when the central axis reaches its southernmost positions, except the PNMM. Monitoring ZCIT using the four variables is more effective than using only one.

Keywords: ITCZ, Monitoring, Tropical Atlantic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação do Padrão do Dipolo do Atlântico, ocorrido em julho de 2015. Fonte: NOAA	20
Figura 2. Representação da área de estudo para a localização da ZCIT.	25
Figura 3. Posição latitudinal climatológica pentadal da faixa do mínimo valor de ROL – indicativo da posição latitudinal da ZCIT – (linha contínua) e a média das posições latitudinais climatológicas da componente meridional do vento nulo (indicativos da ZCA), faixa de mínimo valor de PNMM (cavado equatorial) e da faixa de máxima TSM (linha tracejada) para as longitudes 35°W (a), 30°W (b), 25°W (c) e 20°W (d).	34
Figura 4. Médias Climatológicas pentadais das máximas de TSM (linha contínua) e seus desvios padrões (barra vertical) e das posições latitudinais (linha tracejada) para as longitudes (a) 40°W, (b) 35°W, (c) 30°W, (d) 25°W e (e) 20°W.	39
Figura 5. Médias climatológicas da posição latitudinal do vento meridional nulo (latitude onde o vento troca de sinal) e seus respectivos desvios padrões (barra vertical) para as longitudes (a) 35°W, (b) 30°W (c) 25°W e (d) 20°W.	41
Figura 6. Média climatológica pentadal dos mínimos valores de PNMM (linha contínua), seus respectivos desvios padrões (barra vertical) e das suas posições latitudinais (linha tracejada) para as longitudes (a)40°W, (b)35°W, (c)30°W, (d)25°W e (e)20°W.	43
Figura 7. Médias climatológicas pentadais dos valores de ROL mínimo (linha contínua), seus respectivos desvios padrões (barra vertical) e suas posições latitudinais (linha tracejada) para as longitudes (a) e (b) 40°W, (c) e (d) 35°W, (e) e (f) 30°W, (g) e (h) 25°W, (i) e (j) 20°W.	46
Figura 8. Variabilidade interanual da posição latitudinal pentadal da TSM para as longitudes (a) 40°W, (b) 35°W, (c) 30°W, (d) 25°W, (e) 20°W.	51
Figura 9. Variabilidade interanual da posição latitudinal pentadal do valor da componente meridional do vento para as longitudes: (a) 35°W, (b) 30°W, (c) 25°W e (d) 20°W.	53
Figura 10. Variabilidade interanual da posição latitudinal pentadal dos valores mínimos de PNMM para as longitudes (a) 40°W, (b) 35°W, (c) 30°W, (d) 25°W e (e) 20°W.	55
Figura A. Variabilidade interanual da posição latitudinal pentadal da TSM para as longitudes (a) 55°W e (b) 50°W	64
Figura B. Variabilidade interanual da posição latitudinal pentadal dos valores mínimos de PNMM para as longitudes (a) 55°W e (b) 50°W.....	65

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

CPTEC/INPE – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

ECMWF - *European Centre for Medium Range Weather Forecasts.*

FL - Faixa Longitudinal

FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

GrADS - *Grid Analysis and Display System GrADS*

HS - Hemisfério Sul

HN – Hemisfério Norte

N – Norte

NEB - Parte norte do nordeste do Brasil

NOAA - *National Oceanic And Atmospheric Administration* (Argência Nacional Atmosférica e Oceânica)

ODP - Oscilação Decadal do Pacífico

PNMM – Pressão ao nível médio do mar

ROL - Radiação de Onda Longa emergente

S - Sul

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

UTC - *Universal Time coordinator*

(v) – Componente Meridional do Vento

ZCA - Confluência dos Alísios

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

Sumário

CAPÍTULO 1	13
1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. JUSTIFICATIVA	16
1.2. OBJETIVOS	16
1.2.1. OBJETIVO GERAL	16
1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	16
CAPÍTULO 2	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1. ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL E SUA VARIABILIDADE	17
CAPÍTULO 3	24
3. DADOS E METODOLOGIA	24
3.1. DADOS UTILIZADOS	24
3.2. METODOLOGIA	26
CAPÍTULO 4	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1 Relações das Posições latitudinais das variáveis estudadas.....	32
4.2 Média e Desvio Padrão da Marcha anual da ZCIT	37
4.3 Variabilidade Interanual das Posições Latitudinais	49
4.3.1. Faixa de Máxima TSM	49
4.3.2. Zona de Confluência dos Alísios	52
4.3.3. Cavado Equatorial.....	54
CAPÍTULO 5	56
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	56
REFERÊNCIAS	58
ANEXOS.....	64

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

No decorrer dos últimos anos, muitos estudos foram e vem sendo realizados sobre o monitoramento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) no oceano Atlântico tropical. No Brasil, esse sistema meteorológico afeta diretamente o regime de chuvas em partes das regiões Norte e Nordeste, e tem sido continuamente investigado tornando-se fundamental para o entendimento da circulação geral da atmosfera e das características do regime pluviométrico na região equatorial. Na escala planetária, a ZCIT está localizada no ramo ascendente da célula de Hadley, atuando no sentido de transferir calor e umidade dos níveis inferiores da atmosfera das regiões tropicais para os níveis superiores da troposfera e para as latitudes médias e altas (Ferreira, 1998).

A ZCIT é o sistema meteorológico mais importante na determinação e produção de chuvas no setor norte do Nordeste do Brasil, assim como na região equatorial dos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico e sobre áreas continentais adjacentes. De um modo geral, a ZCIT é conceituada como sendo uma região de baixa pressão ao nível médio do mar, localizada em torno do equador que apresenta uma faixa de máximos de nebulosidade e precipitação, onde os ventos alísios de nordeste do Hemisfério Norte e de sudeste do Hemisfério Sul convergem. É parte integrante da circulação geral da atmosfera.

Por um lado, Uvo (1989) menciona que a primeira tentativa de levantar quantitativamente os movimentos da ZCIT sobre o Atlântico Equatorial foi realizada por Citeau et al. (1985), que apresentaram uma série de posições semanais da ZCIT, ao longo de 28°W, com base na posição média da banda de máxima cobertura de nuvens sobre o Atlântico Tropical e a relacionaram com a precipitação sobre o Sahel. Por outro lado, de acordo com Hastenrath e Heller, (1977), Moura e Shukla, (1981), há evidências

observacionais e teóricas, e também resultados de modelos de circulação geral da atmosfera, que o posicionamento latitudinal da ZCIT afeta as condições atmosféricas e da temperatura da superfície do mar sobre o oceano Atlântico Tropical influenciando fortemente na variabilidade interanual do clima sobre as Américas – nesse caso para a América do Sul (o leste da Amazônia; e a região do Nordeste do Brasil), e similarmente sobre a África (Parker et al., 1988; Folland, 1991).

Sobre o Oceano Atlântico, a ZCIT atinge sua posição mais setentrional (cerca de 14°N) durante os meses de agosto-setembro e sua posição mais meridional (cerca de 2°S) durante os meses de março-abril (Nobre e Molion, 1988). Essa trajetória Norte-Sul da ZCIT está relacionada aos padrões de temperatura da superfície do mar (TSM) sobre o oceano Atlântico Tropical (Uvo, 1989). A configuração da TSM no Atlântico, que parece depender da do Pacífico (Servain et al. 1998), é um dos fatores determinantes na posição e na intensidade da ZCIT. E diante disto, ela vem ser mais predominante sobre os oceanos.

Ferreira (1996) descreveu que em sua região de atuação a ZCIT é caracterizada por um conjunto de fatores, tais como, a Zona de Confluência dos Alísios (ZCA), zona do cavado equatorial, zona de máxima TSM, zona de máxima convergência e banda de máxima cobertura de nuvens convectivas, todos atuando sobre a faixa equatorial dos oceanos, mas não na mesma latitude. Uvo (1989) enfatizou que esse conjunto de características associadas à ZCIT apresenta deslocamento norte-sul ao longo do ano, semelhante ao descrito por Nimer (1964) para a marcha anual da ZCIT, ou seja, estando em latitudes mais ao sul nos meses de março e abril, e latitudes mais ao norte nos meses de agosto e setembro, mostrando assim, a variabilidade sazonal da ZCIT.

Embora sua localização latitudinal apresente grande variação sazonal e longitudinal, de acordo com Philander et al. (1996), a posição média da ZCIT encontra-se

um pouco ao norte do equador. Ressalta-se que observações da posição meridional da ZCIT mostram que esta possui uma grande oscilação diária, pentadal ou semanal (Coelho et al., 2004).

Atualmente, os órgãos no Brasil, como, por exemplo, FUNCEME¹ e CPTEC/INPE², fazem monitoramento pentadal ou semanal da posição meridional da ZCIT no Atlântico Tropical usa a posição latitudinal do mínimo valor da Radiação de Ondas Longas emergentes (ROL – em inglês – *Outgoing Longwave Radiation* - OLR). Portanto, com a finalidade de se fazer um monitoramento quantitativo da posição latitudinal da ZCIT no Atlântico Tropical, este estudo determina as médias climatológicas pentadais e suas variabilidades interanuais, em pântadas, do posicionamento latitudinal do cavado equatorial, da faixa de máxima TSM, da zona de confluência dos alísios e da faixa de máxima nebulosidade ao longo do oceano Atlântico tropical, dado que a ZCIT está inserida numa região onde ocorre a interação destas características atmosféricas e oceânicas, considerados como informações úteis para a sua posição.

Este trabalho de dissertação está dividido em capítulos. Entretanto, no Capítulo 2 apresentam-se à revisão bibliográfica sobre a variabilidade da ZCIT e sua influência no Atlântico Tropical. No Capítulo 3, abordam-se os dados e a metodologia utilizados no trabalho. Resultados e Discussões são apresentados no capítulo 4 e para o capítulo 5, têm-se as conclusões e considerações finais, finalizando com as referências bibliográficas e anexo.

¹ FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos.

² CPTEC/INPE – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

1.1. JUSTIFICATIVA

Como mencionado anteriormente, a ZCIT, no Atlântico Tropical, é o principal sistema de tempo indutor de precipitação na porção setentrional do Nordeste do Brasil. Por esta razão, a determinação do posicionamento latitudinal dos indicativos da ZCIT, em escala pentadais, objetivando o monitoramento sistemático deste posicionamento é fundamental e plenamente justificável.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GERAL

Determinar as posições das médias climatológicas, em faixas longitudinais em pântadas, ao longo do ano, de valores máximos e mínimos de variáveis atmosféricas e oceânica apropriadas para o monitoramento da posição latitudinal da ZCIT ao longo do atlântico tropical, bem como analisar a variabilidade interanual dessas posições.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

Estimar a posição latitudinal da confluência dos alísios no Atlântico Tropical.

Obter a faixa latitudinal de máxima TSM no Atlântico Tropical.

Definir a posição latitudinal do cavado equatorial no Atlântico Tropical.

Estimar a faixa latitudinal do mínimo valor de ROL no Atlântico Tropical.

Avaliar a relação das posições latitudinais dos mínimos valores de ROL com as posições meridionais das faixas de máxima TSM, mínimo PNMM (cavado equatorial) e componente meridional do vento (ZCA) e a posição da média latitudinal das três variáveis.

CAPÍTULO 2

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL E SUA VARIABILIDADE

Um dos trabalhos pioneiro relacionando o posicionamento latitudinal da ZCIT, no Oceano Atlântico, com a precipitação no Nordeste foi desenvolvido por Nimer (1964), que descreveu a relação da posição da ZCIT com o fortalecimento (enfraquecimento) dos ventos alísios de nordeste no hemisfério norte (sudeste no hemisfério sul) com secas no Nordeste. Entretanto, uma caracterização mais completa sobre a dinâmica da ZCIT e chuvas no Nordeste foi apresentada por Hastenrath e Lamb (1977) que descreveram que, durante os meses de verão no Hemisfério Norte (junho-julho-agosto), a ZCA aparece sobre o cavado equatorial e as regiões de máxima cobertura de nuvens, precipitação e convergência de massa são quase coincidentes, localizando-se, aproximadamente, a três graus ao sul da ZCA. Nos meses de (dezembro-janeiro-fevereiro), a zona de máxima cobertura de nuvens, precipitação e convergência de massa localiza-se ao norte da ZCA. Hastenrath e Lamb (1977), Hastenrath e Heller (1977) afirmam que a marcha das estações no Nordeste é determinada pela migração latitudinal do cavado equatorial e da ZCA sobre o oceano atlântico e que a estação chuvosa desta região está ligada às posições mais ao sul que o cavado equatorial e a ZCA atingem durante os meses de março e abril. Após estes trabalhos pioneiros, uma sequência de estudos, por diversos pesquisadores mostraram o efeito das condições oceânicas e atmosféricas que modulam a variabilidade sazonal da ZCIT e sua relação com a pluviometria sobre o norte do Nordeste do Brasil (Hastenrath, 1984; Moura e Shukla, 1981).

Ressalta-se que, Uvo (1989) aprofundou os estudos sobre a dinâmica da ZCIT, reforçando o fato dela ser formada a partir da interação entre a confluência dos ventos alísios,

a região do cavado equatorial, as áreas de máxima TSM, máxima convergência de massa e a banda de máxima cobertura de nuvens convectivas. Além disso, Uvo (1989) também descreveu que a ZCIT influencia nas precipitações intensas sobre regiões tropicais, não só nas áreas norte do Nordeste Brasileiro, mas também em áreas sobre os continentes africano, americano e asiático, pois, é um sistema sinótico que está presente em toda faixa equatorial do globo terrestre.

Outro ponto verificado por Uvo (1989), foi que a marcha anual norte sul da ZCIT não ocorre de forma homogênea, mas bastante irregular, com avanços e recuos em escala semanal e em alguns casos até diária. Além disso, verificou que a ZCIT se caracteriza pela presença de acentuada instabilidade atmosférica com movimento ascendente sobre toda a troposfera equatorial, que induz a formação de nuvens convectivas com grande desenvolvimento vertical. Recentemente estas observações de Uvo (1989) foram reforçadas por Rosa e Silva (2016).

Entretanto, antes de Rosa e Silva (2016) e após Uvo (1989), outros pesquisadores, como por exemplo, Hastenrath e Greichscar (1993), Nobre e Shukla (1996), Ferreira (1996), e Xavier et al. (2000), também afirmaram que embora o curso anual da ZCIT seja bem estudado, sua posição é bastante variável em escalas de tempo mensal a interanual, o que contribui para a grande variabilidade espacial e temporal da precipitação no norte do Nordeste.

É oportuno descrever que a posição e a intensidade da ZCIT no Oceano Atlântico Equatorial, tem uma extrema importância na determinação do período chuvoso no hemisfério sul. A permanência deste sistema em torno de suas posições mais ao sul é o fator importante para a determinação da estação chuvosa no Nordeste, pois vai definir sua duração (Nobre e Uvo, 1989). Como a ZCIT é mais predominante sobre os oceanos, dessa maneira, a faixa de

máxima TSM no Atlântico vai determinar sua posição e intensidade, pois geralmente encontra-se situada sobre ou próximo às altas TSM.

Sobre o oceano atlântico tropical, há um padrão de anomalias da TSM usualmente chamado de padrão de Dipolo do Atlântico, estando associados à anomalias de precipitação sobre a região Norte e Nordeste do Brasil. Águas oceânicas mais quentes (frias) no Atlântico Tropical Norte e mais fria (quentes) no Atlântico Tropical Sul estão associadas com anos secos (chuvosos) no norte do Nordeste. A Figura 1 em sequência, mostra o dipolo do Atlântico ocorrido em um ano de El Nino, com as águas da superfície do Atlântico Norte mais quentes, e as do Atlântico Sul mais frias, cenário que contribui para secas no Nordeste brasileiro. Este padrão de Dipolo ou gradiente de temperatura se caracteriza pela presença conjunta de anomalias de TSM (positiva e negativa), configurando-se com sinais opostos sobre o atlântico tropical norte e sul. Esse padrão térmico oposto gera, conseqüentemente, o aparecimento de um gradiente térmico meridional e inter-hemisférico sobre o Atlântico Tropical (Wagner, 1996), exercendo influências no deslocamento norte-sul da ZCIT (Hastenrath e Greichscar, 1993; Nobre e Shukla, 1996). Podemos dizer, que é como se assemelhasse a uma gangorra térmica nessa região próxima do equador, entre as águas oceânicas do Atlântico Norte e do Atlântico Sul, ocasionando a mudança da ZCIT, de acordo com as TSM, além de poder ocorrer várias situações dessa gangorra térmica, como: a) Atlântico Sul mais quente que o Atlântico Norte b) Atlântico Norte mais quente que o Atlântico Sul; e c) condição de neutralidade, sem diferença relevante entre a TSM das duas regiões. No entanto, as bandas de nuvens carregadas que formam a ZCIT, deslocam-se para a região onde as águas do oceano, estejam mais quentes.

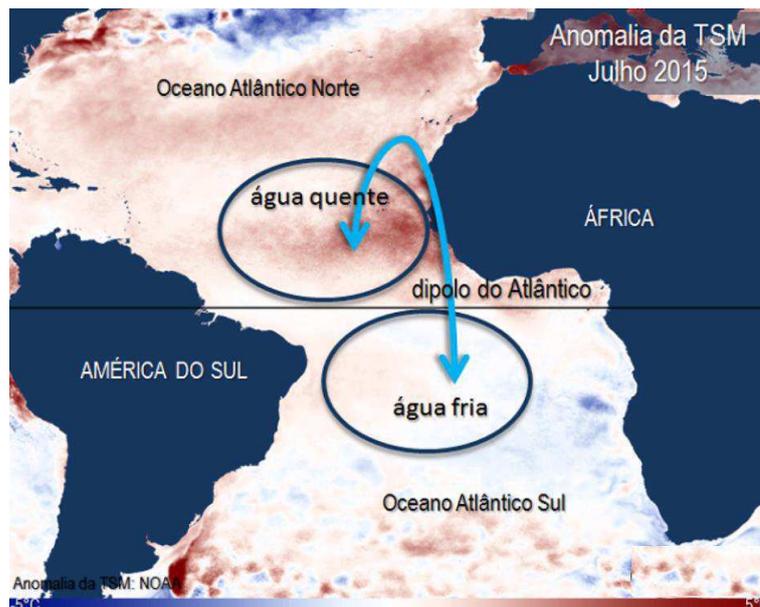


Figura 1. Representação do Padrão do Dipolo do Atlântico, ocorrido em julho de 2015. Fonte: NOAA³

Por um lado, um estudo elaborado por Ferreira (1996) referente ao comportamento sazonal da ZCIT em torno do globo terrestre, mostrou que nas regiões equatoriais ocorrem a chamada zona do cavado equatorial. Esta zona aproxima-se mais do litoral nordestino nos meses de fevereiro e março, e valores mínimos de Pressão ao nível médio do mar (PNMM) coincidem com os mínimos valores de ROL. Por outro lado, de acordo com Souza et al., (1998) as fases do Dipolo modulam o posicionamento da banda de nebulosidade e precipitação associada à ZCIT, que fica posicionados preferencialmente, sobre a região que apresenta valores máximos de TSM.

Bomventi et al. (2006) descreveram que no oceano Atlântico a região de máxima precipitação, com média superior a 2000 mm/ano, associada ao posicionamento da ZCIT, está na faixa do Atlântico tropical dominada pela TSM média máxima superior a 27°C, que durante a maior parte do ano permanece no HN. Em suas análises Bomventin et al. (2006)

³ <http://www.letrasambientais.com.br/posts/como-o-atlantico-favorece-as-chuvas-no-nordeste>.

usou a faixa de mínimo valor de ROL como indicador de variabilidade da convecção profunda na região tropical.

Andrade et al. (2006) investigaram as possíveis influências da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), no posicionamento e na intensidade ZCIT durante seu ciclo anual sobre o Oceano Atlântico; e suas implicações nos totais pluviométricos da costa norte do Brasil. A partir dos resultados obtidos Andrade et al. (2006) sugeriram que a ZCIT permaneceu mais ao norte (sul) de sua posição média durante a fase fria (quente) da ODP.

Ferreira (2008) cita que a ZCIT é dinamicamente definida como uma banda de baixa pressão e convergência dos alísios em baixos níveis dentro do ramo ascendente da célula de Hadley, e que migra durante o ano entre os hemisférios norte e sul, se posicionando sempre no verão de cada hemisfério.

Carvalho e Oyama (2013) analisaram a variabilidade da posição, largura e intensidade (precipitação média) da ZCIT no Atlântico durante 10 anos (1999-2008), observaram que em escala mensal, a largura e intensidade da ZCIT tendem a diminuir ao atingir as suas posições mais austrais (fevereiro, março e abril). Também encontraram indícios de que, em condições de posição da ZCIT próxima à média, anomalias positivas de largura estariam associadas às de negativas de TSM.

Marshall et al. (2014) por meio de estudo de observações e simulações de clima acoplado oceano-atmosfera, argumentaram que a posição média da ZCIT ao norte do equador é uma consequência de um transporte de calor para o norte através do equador pela circulação oceânica. As observações sugerem que o forçamento radiativo hemisférico do clima no topo da atmosfera é quase perfeitamente simétrico sobre o equador e, portanto, o transporte de calor total (atmosfera mais oceano) no equador é pequeno (ordem 0,2 PW para o norte). Devido à circulação meridional do oceano Atlântico, no entanto, o oceano traz

significativamente mais calor para o norte (ordem 0,4 PW), do que o sistema acoplado, onde ($1 \text{ PW} = 10^{15} \text{ W}$). Há duas consequências primárias. Primeiro, o transporte de calor atmosférico é para o sul (0,2 PW), resultando no deslocamento da ZCIT para o norte do equador. Em segundo lugar, a atmosfera e o oceano são um pouco mais quente no hemisfério norte do que no hemisfério sul, e de acordo com Marshall et al. (2014) este efeito leva a ZCIT a permanecer, em média, no hemisfério norte.

Schneider et al. (2014) descreveram sobre a migração e a dinâmica da ZCIT e observaram que a posição média da ZCIT ao norte do equador ocorre principalmente devido ao Oceano Atlântico que transporta energia para o norte através do Equador, tornando o hemisfério norte mais quente que o Hemisfério Sul. Nos períodos de tempo sazonais e mais longos, a ZCIT migra, tipicamente para um hemisfério em aquecimento, mas com exceções do período de tempo durante os eventos de El Niño.

Trabalhos citados acima comprovam a interação destas características atmosféricas e oceânicas, trabalhando em conjuntas, todas interagindo próximas na faixa equatorial. E como já mencionado neste trabalho acima, apesar dessa interação, as características não se apresentam sobre a mesma latitude.

Alves et al. (2014) examinaram a relação da precipitação na parte norte do Nordeste ($2^{\circ}\text{S}-12^{\circ}\text{S}$ e $45^{\circ}\text{W}-37^{\circ}\text{W}$) como o gradiente meridional de TSM no Atlântico Tropical (diferença entre as anomalias de TSM no Atlântico tropical norte ($5^{\circ}\text{N}-20^{\circ}\text{N}$ e $60^{\circ}\text{W}-30^{\circ}\text{W}$) e no Atlântico Tropical sul ($5^{\circ}\text{S}-20^{\circ}\text{S}$ e $30^{\circ}\text{W}-10^{\circ}\text{W}$)), para o período de fevereiro a maio de 1901 a 1999. Observaram que os anos com gradiente negativo (positivo) a precipitação era superior (inferior) a média climatológica. Atribuíram este tipo de configuração da precipitação ao movimento meridional da ZCIT e ao posicionamento latitudinal da componente meridional do vento nula.

Hounsou-gbo et al. (2015) descreveram que quando a ZCIT é anormalmente deslocada para o sul alguns meses antes da estação chuvosa do norte do Nordeste, o gradiente meridional de TSM associado aumenta a umidade e a precipitação durante a estação chuvosa. Enquanto a variabilidade interanual da precipitação da costa leste do Nordeste está associada à dinâmica do Atlântico Tropical Sudeste.

Trabalhos mais recente como por exemplo, o de Rosa e Silva (2016) reforçam as conclusões de Uvo (1989), Nobre e Shukla (1996), Ferreira (1996), e Xavier et al. (2000), Carvalho e Oyama (2013) sobre o conjunto de variáveis influenciando no posicionamento da ZCIT no Atlântico tropical, bem como na sua intensidade.

CAPÍTULO 3

3. DADOS E METODOLOGIA

3.1. DADOS UTILIZADOS

Para a elaboração deste estudo, foram utilizadas séries temporais dos seguintes conjuntos de dados:

- Dados médios diários das variáveis meteorológicas: componente meridional do vento (v) em superfície 10 m, temperatura da superfície do mar, pressão ao nível médio do mar e saldo de radiação termal no topo da atmosfera, representando a ROL.
- O período dos dados para este estudo compreende de 1º janeiro de 1997 a 31 dezembro de 2016. Esse período foi escolhido porque durante este tempo ocorreu anos chuvosos e secos no Nordeste Brasileiro, e as fases da ODP e da OMA não mudaram.
- As médias foram obtidas a partir dos dados extraídos das reanálises nos horários de 3 UTC e 15 UTC. Esses dados apresentam resolução espacial em pontos de grade de $0,75^\circ \times 0,75^\circ$ (aproximadamente 80 km x 80 km), obtidos do ERA-Interim do ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecast*), como detalhado por Uppala et al. (2005) e Dee et al. (2011), citado em Mariano et al. (2017).
- A área de estudo escolhida para analisar e identificar as posições indicativas da ZCIT abrange um recorte sobre o Oceano Atlântico compreendido entre $17,25^\circ\text{N}$ a $5,25^\circ\text{S}$ e as séries de dados são analisadas ao longo das longitudes de 40°W a 20°W , como mostrado na Figura 2.

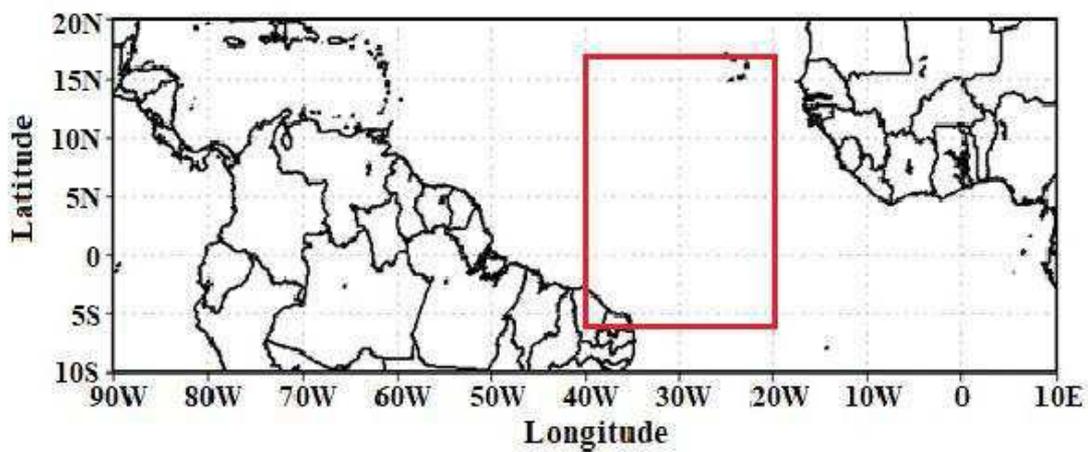


Figura 2. Representação da área de estudo para a localização da ZCIT.

3.2. METODOLOGIA

Para iniciar a análise da configuração meridional das variáveis oceânica-atmosféricas e para o monitoramento da posição latitudinal da ZCIT no Atlântico tropical e determinar os principais aspectos que envolvem este estudo, primeiramente se fez o download dos dados diários: Temperatura da superfície do mar, Saldo de radiação termal no topo da atmosfera (ROL), Pressão ao nível médio do mar e Componente meridional do vento (v), obtido através das reanálises do ERA-Interim, com resolução espacial de $0,75^\circ \times 0,75^\circ$, fornecidos pelo ECMWF.

Determinou-se fixar 31 pontos de latitudes com intervalo de $0,75^\circ$ variando de $17,25^\circ$ N - $5,25^\circ$ S por cinco pontos de longitudes 40° W, 35° W, 30° W, 25° W e 20° W, a fim de definir a área de estudo sobre o oceano Atlântico Tropical, totalizando em 155 pontos latitude x longitude. Estes pontos foram divididos por faixas longitudinais, mostrados na figura 2.

Empregando estes pontos, foram considerados:

- (i) Faixa Longitudinal (FL) 40° W (atravessa o Ceará a partir de 3° S);
- (ii) FL 35° W (Costa leste do Nordeste, a partir de 6° S está localizada a Paraíba);
- (iii) FL 30° W e 4° FL 25° W (próximo à região Central do Atlântico tropical: $27,5^\circ$ W (Chiang et al., 2002));
- (iv) FL 20° W (se estendendo do oceano Atlântico, próxima à costa oeste africana); entre $17,25^\circ$ N a $5,25^\circ$ S.

Uvo (1989) afirma que a determinação da posição da ZCIT se mostra mais difícil ao longo de 45° W devido à proximidade do continente, pois a convecção proveniente deste impede a determinação da posição. Então quanto mais próximo ao continente, mais próximo está o limite dos dados, diminuindo a qualidade (dependendo da variável meteorológica, como por exemplo, TSM). Mesmo que esse trabalho não apresente análise sobre a longitude

de 45°W, pode-se dizer que está cinco graus próximos a 40°W (longitude deste estudo). Complementando, outro exemplo que se pode abordar é mostrado em Chiang et al., (2002), também citado acima entre a divisão dos pontos em faixa longitudinal, é que a longitude 27,5°W utilizada em seu trabalho representa melhor a estrutura da ZCIT, ao diminuir a influência da atividade convectiva transiente dos continentes africano e sul-americano.

Considerado estes pontos importantes, citados pelos autores, as faixas longitudinais de 40°W a 20°W foram escolhidas para este estudo. Em particular a longitude de 40°W foi escolhida no intuito de mostrar uma longitude que tem a convecção influenciada pelo continente, já que a convecção proveniente deste dificulta a determinação das posições indicativas da ZCIT, ao comparar com a longitude sobre o oceano em que a identificação da posição da ZCIT se torna mais fácil, ou melhor, mais claro, pois a convecção observada está relacionada à própria zona de convergência intertropical.

Aplicado aos dados de reanálises, utilizou-se o software *Grid Analysis and Display System* (GrADS), o qual serviu para a elaboração de scripts com a finalidade de obter a conversão destes dados com saída no formato de arquivo NetCDF para o formato txt (ASCII). O GrADS é um sistema de visualização e análise de dados em pontos de grade que atualmente encontra-se em uso global para a análise e exibição de dados da ciência da Terra, trabalha com matrizes de dados binários, nas quais as variáveis podem apresentar até quatro dimensões: longitude, latitude, níveis verticais e tempo (SALDANHA et al., 2015).

Os dados diários correspondem à média de valores de dois horários diários (0300 UTC e 1500 UTC). Através destes dados, calcularam-se as pântadas (dada pela média de cinco dias) para cada variável resultando em 73 pântadas anualmente. Em que em anos bissextos, a última pântada do mês de fevereiro teve 6 dias, conforme o número de dias do mês. O período de estudo contabilizou em 20 anos, onde 5 anos foram bissextos. A análise estatística

considera todos os dados em pântadas, e similarmente, os resultados são apresentados em escalas pentadais. Em um estudo realizado por Carvalho e Oyama (2013) definiram a posição latitudinal da ZCIT apresentada em escala mensal de precipitação.

Após obter as médias pentadais para as demais variáveis, precisou estimar as suas respectivas posições como indicadores da posição da ZCIT. Para a posição da ZCIT utilizou-se o mesmo critério utilizado por (COELHO, 2002) usando dados diários de ROL.

A linguagem computacional utilizada com a finalidade de obter as posições latitudinais destes parâmetros: a) TSM máxima (Faixa da TSM máxima), b) vento meridional nulo (confluência dos ventos alísios), c) ROL mínimo (posição da ZCIT), d) PNMM mínimo (cavado equatorial); foi o FORTRAN 90. O programa possibilitou encontrar rapidamente e com precisão a localização dos pontos. No caso do vento meridional ele localizou onde houve mudança na direção, determinando a posição por meio da média aritmética entre os dois pontos determinados.

Um exemplo de arquivo de saída de dados do FORTRAN 90 é mostrado a seguir:

Ano	Pântada	Variável	Posição (lat)
1997	1	27,8	6,0
1997	2	27,7	6,75
–	–	–	–
2003	1	241,3	3,75
2003	73	227,8	-0,75

A leitura dos dados mostra que para o ano de 1997, a primeira pântada do ano representado por “1”, relaciona-se ao valor da variável de TSM de 27,8°C e a sua posição latitudinal foi de 6,0°N. Entretanto, a leitura destes dados prossegue para as demais variáveis.

Faixa latitudinal da Temperatura da superfície do mar máxima: A região da máxima TSM foi obtida considerando a latitude na qual os valores de TSM naquela faixa foram máximos. Esses valores também foram usados para compreender a variabilidade latitudinal sazonalmente durante seus ciclos anuais, uma vez que a TSM é um dos fatores determinantes na posição e intensidade da ZCIT no oceano, e dessa maneira é de extrema importância à determinação da faixa de máxima TSM, pois a ZCIT geralmente está situada sobre ou próximo às TSM mais elevadas. Ao longo da longitude 40°W ($2^{\circ}58'13.18''\text{S}$) encontra-se localizado a costa do nordeste brasileiro que delimita a série de dados de TSM. Onde entre $3,0^{\circ}\text{S}$ – $5,25^{\circ}\text{S}$ existe a presença do continente, isto não ocorre para as longitudes de 35° à 20°W , correspondente a longitudes próximas a região central do Oceano Atlântico Tropical.

Posição latitudinal da confluência dos alísios: Foi calculado a partir dos dados médios diários pentadais da componente meridional do vento (v) em 1000 hPa (Melo et., al 2002). A região de confluência dos alísios é obtida após considerar as latitudes na qual a componente meridional do vento (v) é nula, isto é, velocidade do vento meridional igual à zero sobre a faixa equatorial do oceano Atlântico, entre $5,25^{\circ}\text{S}$ e $17,25^{\circ}\text{N}$. Para este parâmetro, foram elaborados gráficos a partir do 2° ponto = 35°W / faixa longitudinal.

Faixa latitudinal de Radiação de onda longa mínima: Como já comentado, para a posição da ZCIT utilizou-se o mesmo critério utilizado por Coelho (2002) usando dados diários de ROL. Os campos de valores mínimos de ROL mostram um posicionamento da região de maior atividade convectiva com menores valores (W/m^2).

Posição latitudinal do cavado equatorial: A região do cavado equatorial foi definida através dos campos analisados com valores mínimos de PNMM. A metodologia usada foi à mesma para TSM, diferindo apenas os valores máximos para os mínimos.

O conjunto destas características associadas à ZCIT possui um deslocamento N-S ao longo do ano, representadas pela média dessas posições latitudinais. Para representar o conjunto destas características e analisar seu deslocamento latitudinal N-S ao longo do ano em média climatológica, foi feita uma média aritmética das posições latitudinais das variáveis para cada faixa de longitude.

Calculou-se as posições climatológicas a partir das médias pentadais de cada ano para cada parâmetro que então foram subtraídos das séries temporais para se obter a anomalia. Foram calculadas as correlações de cada parâmetro com a ZCIT, podendo dessa maneira observar a intensidade das correlações.

Para análise estatística, foram realizados os seguintes cálculos: Média, desvio padrão e correlação. De posse destas informações foram elaborados gráficos da posição latitudinal média da ZCIT junto com as posições médias das três variáveis oceano-atmosféricas: máxima TSM, mínima PNMM (cavado equatorial), e do valor nulo da componente meridional do vento (ZCAS). Os gráficos são exibidos a partir da primeira até a última pênstada (número 73), equivalente ao total de pênstadas por ano.

Diante dos resultados também foram elaborados gráficos de dispersão de média e desvio padrão. É importante comentar que para a elaboração destes gráficos, foram colocadas algumas observações para a variável PNMM. Utilizaram-se alguns critérios de forma a garantir uma obtenção aceitável no erro de leitura dos dados.

Em geral, foram considerados valores mínimos de PNMM entre 1008,0 hPa e 1016,0 hPa. Valores abaixo de 1008,0 hPa foram descartados, utilizando o mesmo critério para valores acima de 1016,0 hPa, Este método foi adotado, devido ocorrer contradição nos valores considerados (suspeitos), ou seja, valores muito diferentes do esperado de PNMM em relação

de uma pântada para outra. Por exemplo, em uma pântada o valor mínimo encontrado foi de 1006,5 hPa na pântada anterior, e posterior de 1009,5 hPa para a mesma latitude e longitude. Portanto, a pântada com valor de 1006,5 foi descartada. Procedimento semelhante foi feito para pântadas com valores mínimos superiores a 1016 hPa. Ressalta-se que este método eliminou menos de 2% dos dados. Além disso, observou-se que uma parte dos dados apresentou valores constantes de 990,26 hPa para as nove últimas pântadas (pântadas: 65 a 73), em todas as longitudes no ano de 2002.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Relações das Posições latitudinais das variáveis estudadas.

Como mencionado na introdução desta pesquisa, de acordo com Ferreira (1996) a ZCIT está localizada em uma região que consta a ZCA, zona do cavado equatorial, zona de máxima TSM, zona de máxima convergência e banda de máxima cobertura de nuvens convectivas, todos atuando sobre a faixa equatorial dos oceanos, mas não na mesma latitude. Entretanto, O CPTEC/INPE⁴, utiliza a faixa latitudinal do menor valor de ROL, e a FUNCEME⁵, banda de máxima cobertura de nuvens convectivas, para o monitoramento sistemático da posição da ZCIT no Atlântico Tropical (CPTEC, 2018; FUNCEME, 2018). Portanto, a seguir são mostrados os resultados obtidos da correlação entre a posição latitudinal do mínimo valor do ROL e as posições latitudinais do máximo valor de TSM, mínimo PNMM, valor zero da componente meridional do vento e a posição média latitudinal das três posições anteriores. Ressalta que Bomventi et. al (2006) efetuaram uma correlação linear entre a TSM e ROL e descreveram que para as regiões equatoriais sobre o oceano, quando a TSM for maior, menor será a ROL. Isso é explicado pela formação de nuvens de convecção profunda. Sendo assim, encontraram correlações negativas entre as magnitudes de ROL e precipitação nas áreas tropicais e positivas nas áreas subtropicais. Isto porque nas áreas tropicais o aumento da nebulosidade, e conseqüentemente da precipitação, produz nuvens de grande extensão vertical levando a uma diminuição de

⁴ <http://clima1.cptec.inpe.br/monitoramentoglobal/pt>

⁵ <http://www.funceme.br/index.php/areas/23-monitoramento/meteorol%C3%B3gico/410-zcti-zona-de-convergencia-intertropical>

ROL devido aos topos muito frio das nuvens. Enquanto, na região subtropical, áreas das altas pressões ao nível médio do mar, a ocorrência de precipitação é decorrente do aumento de TSM que por sua vez também produz aumento de ROL, devido a TSM elevada.

A presente pesquisa concentra-se na área tropical e relaciona a posição latitudinal do mínimo de ROL com outras variáveis, e nas áreas de menor ROL ocorre as maiores precipitações, o que concorda com os resultados de Bomventi et. al (2006).

A Tabela 1 mostra as correlações das posições latitudinais da componente meridional do vento nulo, do máximo valor de TSM, do mínimo valor de PNMM e a média destas três com a posição latitudinal do valor mínimo de ROL. Observa-se que as maiores correlações foram com as posições latitudinais da componente meridional do vento nulo (indicativo da ZCA) e da média das três variáveis. Enquanto, a posição da faixa do mínimo valor de pressão ao nível médio do mar, indicativo do cavado equatorial, foi a que apresentou os valores mais baixos de correlações em todas as faixas longitudinais, quando comparadas aos demais. As faixas de 35°W e 30°W foram as que apresentaram os maiores valores de correlações nos respectivos parâmetros, vento meridional >V-PNMM-TSM > TSM > PNMM. Com o cálculo do teste t de Student observou-se que todas as correlações são estatisticamente significativas, como significância de 99% ($p_valor \leq 0,01$).

Tabela 1 – Pontos em longitudes e suas respectivas correlações para cada variável com ROL.

CORRELAÇÕES				
PONTOS	V-PNMM-TSM	VENTO ¹	TSM	PNMM
35°W	0,74	0,75	0,71	0,59
30°W	0,73	0,75	0,68	0,61
25°W	0,63	0,64	0,58	0,56
20°W	0,55	0,54	0,51	0,50

¹ Componente Meridional

Os resultados obtidos neste trabalho são concordantes com os de Uvo (1989), Melo et al. (2002) e Rosa e Silva (2016) sobre a variabilidade da posição latitudinal apresentando informações adicionais sobre a variabilidade interanual e sazonal da ZCIT.

Na Figura 3 são apresentados os gráficos com os valores da posição média latitudinal do mínimo de ROL, representando a posição meridional da ZCIT (linha contínua), e a posição média das três variáveis oceano-atmosféricas composta pela: faixa de máxima TSM, região de mínimos valores de PNMM e confluência dos ventos em superfície, onde o valor do vento meridional é nulo (linha pontilhada), apresentaram pântadas com posições mais ao sul do equador, mostrado em 35°W (Figura 3a).

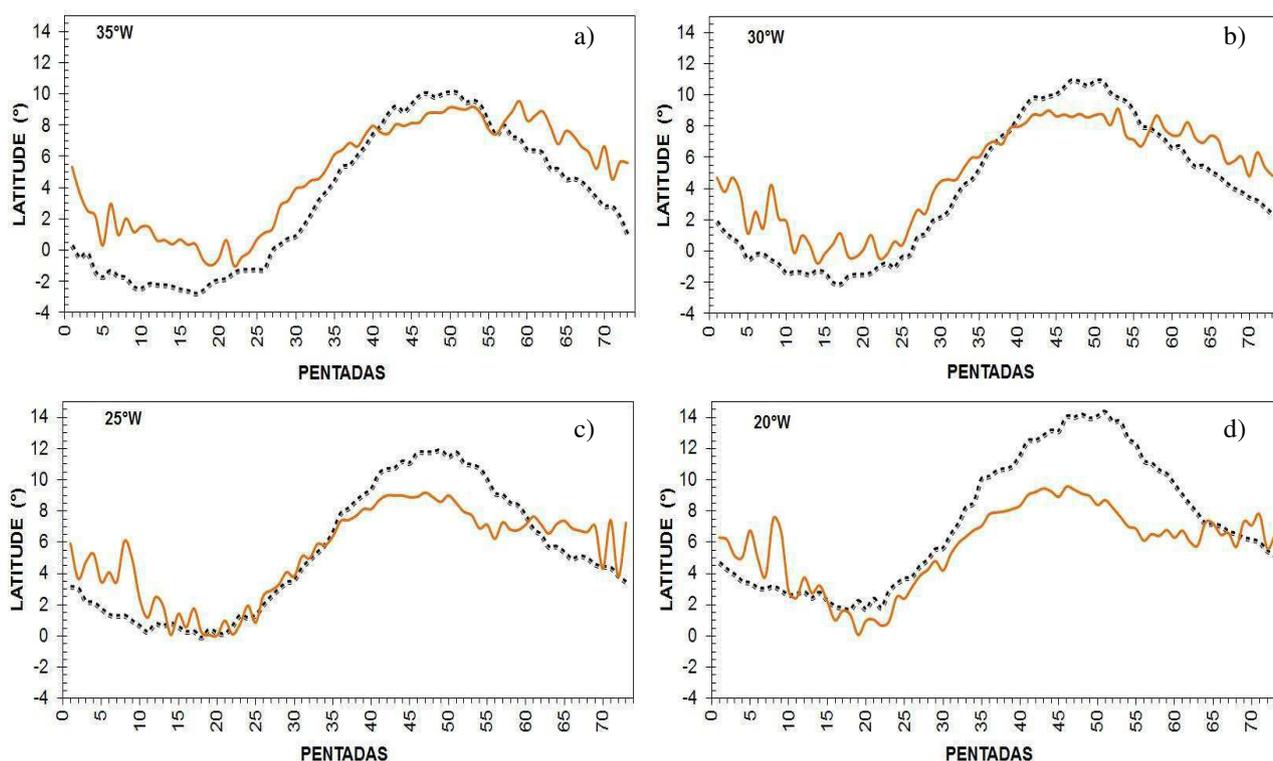


Figura 3. Posição latitudinal climatológica pentadal da faixa do mínimo valor de ROL – indicativo da posição latitudinal da ZCIT – (linha contínua) e a média das posições latitudinais climatológicas da componente meridional do vento nulo (indicativos da ZCA), faixa de mínimo valor de PNMM (cavado equatorial) e da faixa de máxima TSM (linha tracejada) para as longitudes 35°W (a), 30°W (b), 25°W (c) e 20°W (d).

Na análise entre as longitudes da Figura 3, destacou-se que o eixo da posição média das três variáveis apresentou um valor médio com posição mais ao sul de $-2,8^{\circ}\text{S}$ (pêntada 17- de 22 a 26 de março), enquanto que no eixo da posição média da ZCIT esteve de $-1,0^{\circ}\text{S}$ (pêntada 22 – de 16 a 20 de abril), ambos na longitude de 35°W (Figura 3a). É interessante comentar que os meses que apresentaram posições mais ao sul são os mesmo em que a ZCIT atinge sua posição mais ao sul, acarretando em chuvas volumosas no Norte do Nordeste Brasileiro, conforme mostram os trabalhos de Uvo, 1989; Hastenrath, 1991; Ferreira, 1996; Nobre e Shucla, 1996, Xavier et al., 2000; Carvalho e Oyama, 2013). Enquanto que as posições latitudinais mais ao norte foram de $14,3^{\circ}\text{N}$ (pêntada 51- de 12 a 16 de setembro) eixo da posição média das três variáveis, e $9,6^{\circ}\text{N}$ (pêntada 46 - de 14 a 18 de agosto) posição média mais ao norte do mínimo de ROL, ambos ocorreram na longitude de 20°W , Figura 3 (d).

Na Figura 3 (a) 35°W e (b) 30°W , é possível notar que no eixo dos mínimos valores de ROL, representado pela posição climatológica pentadal da ZCIT (linha contínua), em suas posições mais ao sul encontrou-se posicionado ao norte do eixo da posição média das três variáveis, aproximadamente entre as pêntadas 10 a 24, correspondendo aos meses de verão e outono do HS (fevereiro, março e abril). E posicionado ao sul deste eixo (linha pontilhada), entre as pêntadas 41 a 57, nos meses de verão e outono do HN (agosto, setembro, outubro). Estes valores concordam com os de Uvo (1989) e Carvalho e Oyama (2013).

Na Figura 3 (c), nota-se que os eixos da posição média das três variáveis e o da posição latitudinal do mínimo de ROL, em geral representando a posição da ZCIT, se encontram muito próximos e quase sobrepostos na faixa correspondente as pêntadas de 23 até

47, apresentando similaridades e menor variabilidade interpentadal. Este período corresponde a fase de transição das posições mais ao sul para a mais ao norte.

No entanto, foi observado que conforme a localização mais ao oceano, essa variabilidade sazonal vai se tornando diferente, evidenciando uma grande diferença latitudinal entre os dois eixos da posição média do mínimo de ROL e o de média das três variáveis entre as pântadas 36 a 60, junho a outubro.

Diante desses resultados, verificou-se que a variabilidade interpentadal da ZCIT e seus indicativos mostrados nas figuras, estão em conformidade com os valores apresentados por Hastentrath e Lamb (1977) no qual a zona de máxima cobertura de nuvens, convergência de massa e precipitação localizam-se ao norte da ZCA no decorrer dos meses de março e abril e durante os meses de junho, julho e agosto (verão do HN), assim como, ZCA aparece sobre o cavado equatorial e as regiões de máxima cobertura de nuvens, precipitação e convergência de massa são quase coincidentes, localizando-se aproximadamente a três graus ao sul da ZCA. Resultados semelhantes foram encontrados por Melo et al. (2002) no qual o eixo de mínimos valores de ROL e máxima convergência de massa posicionaram-se também ao norte do eixo que define a confluência dos alísios, igualmente, nos meses de março e abril, e ao sul dessa ZCA, nos meses de agosto a outubro (verão e outono do HN) na longitude de 28°W.

Assim, nos meses de verão e outono do HN, a posição latitudinal média das três variáveis estará localizada em média em 10°N (35°W) e 14°N (20°W) e o mínimo de ROL estará posicionado em torno de 9,5°N, da mesma maneira se pode explicar para os meses de verão e outono no HS, onde a posição latitudinal do valor mínimo de ROL está próximo da linha do equador, e as posições médias das três variáveis estão no HS apenas nas faixas de longitudes de 35°W e 30°W. De um modo geral, a marcha anual da posição latitudinal do

mínimo de ROL apresenta uma menor amplitude (variando do equador a 9,5°S) que a posição média das três variáveis que se desloca de 2,8°S a 14°N.

Com base nos estudos de outros autores, como, por exemplo, Carvalho e Oyama (2013) verifica-se que os resultados alcançados neste trabalho condizem com os obtidos em trabalhos anteriores, como descritos sobre a variabilidade das posições latitudinais das variáveis que se adequam como indicativos da ZCIT e seu comportamento na faixa equatorial no oceano Atlântico tropical. Constatou-se que o conjunto dessas características que integram com a ZCIT (banda de máxima convecção, cavado equatorial, ZCA e máxima TSM) possuem juntamente um deslocamento meridional ao longo do ano como citado por Uvo, 1989, bem como o deslocamento desses sistemas integrantes da ZCIT apresentarem uma alta correlação entre si.

4.2 Média e Desvio Padrão da Marcha anual da ZCIT

A Figura 4 mostra às médias climatológicas pentadais, seus desvios padrões e o deslocamento meridional ao longo do ano dos valores máximos de TSM nas faixas de longitudes de 40°W, 35°W, 30°W, 25°W e 20°W para pênadas de 1 a 73. Os desvios padrões mais elevados variando de 0,44°C a 0,51°C, que representa as maiores variabilidades interanual das TSM máxima, ocorreram nos meses de março a maio (pênadas 17 a 29), período de suas posições mais ao sul, enquanto os menores desvios padrões, menor variabilidade interanual, apresentam valores entre 0,20°C e 0,22°C, ocorreram em novembro (pênada 61 a 64), época de suas posições mais ao norte. Portanto, quando a faixa de maiores TSM atinge as suas posições mais meridionais os seus valores apresentam as maiores variabilidades interanuais e quando atinge as posições mais setentrional as menores. Isto

possivelmente seja decorrente dos valores mais elevados de TSM ao norte do equador, como observado por Marshall et al. (2014).

Notou-se que a longitude de 35°W, (Figura 4b) em comparação as outras, apresentou uma posição latitudinal máxima mais ao sul do equador no valor de -4,4° (pêntada 10 – fevereiro), enquanto em 20°W, (Figura 4e), atingiu uma posição latitudinal mais ao norte de 14,7° (pêntada 51 – setembro). As pêntadas que apresentaram posições latitudinais máximas tanto para o HN, quanto para o HS, mostraram valores de TSM variando entre 28,5°C a 29,3°C. A faixa de TSM máxima em média, esteve entre 28,4°C a 28,5°C. Segundo Bomventi et al. (2006) essa faixa de máximas TSM, estão regularmente associadas a áreas com grandes índices de precipitação. É importante comentar que a faixa de TSM máximas (maior que 27°C) atinge maiores latitudes no HS nas pêntadas de 10 a 27, correspondentes aos meses de fevereiro a março (verão-outono) no HS. Já para posições latitudinais mais ao norte, essa faixa esteve entre as pêntadas de 51 a 55, compreendendo aos meses de setembro a outubro (outono) no HN.

Observou-se que o início do aquecimento sobre o oceano Atlântico tropical, se dá em média nas primeiras pêntadas (1 a 3), com menores valores de 27,6°C a 27,9°C, meses de janeiro a fevereiro, até atingirem a média de 28°C indicando uma mudança para iniciar a zona de máxima TSM. De um modo geral, verifica-se que as médias pentatais das TSM máximas no Atlântico Equatorial apresenta configuração bimodal ao longo do ano, e os valores mais elevados ocorrem quando a faixa de máxima TSM atinge as suas posições mais ao norte e mais ao sul. Provavelmente, isto seja decorrente do fato que, em média, a faixa de máxima TSM permaneça um período maior nestas latitudes, enquanto, nas demais latitudes ela esteja em processo de transição.

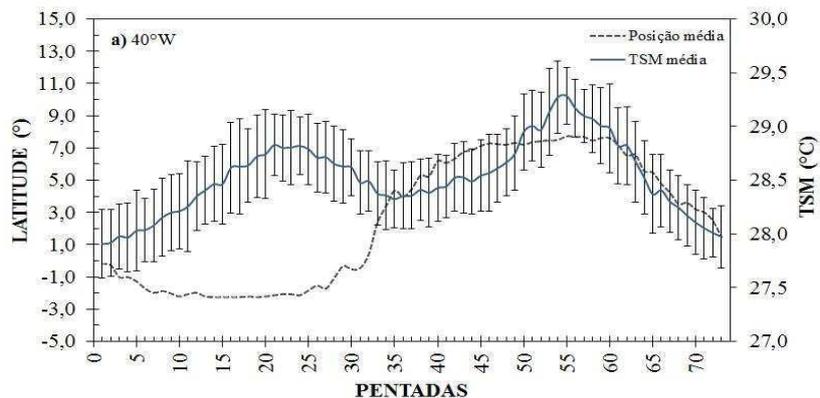
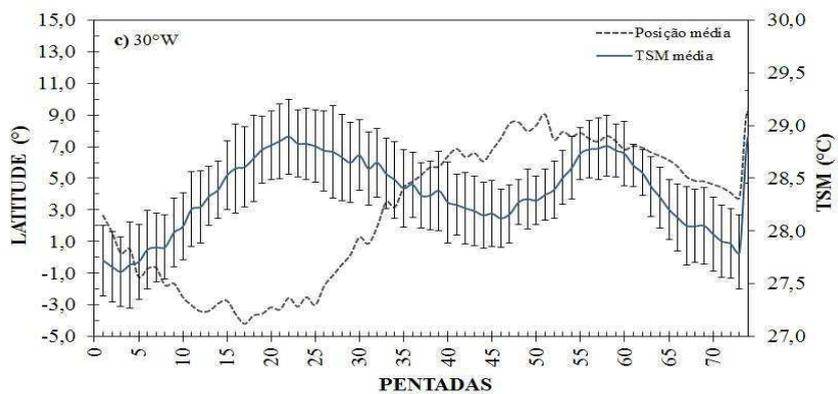
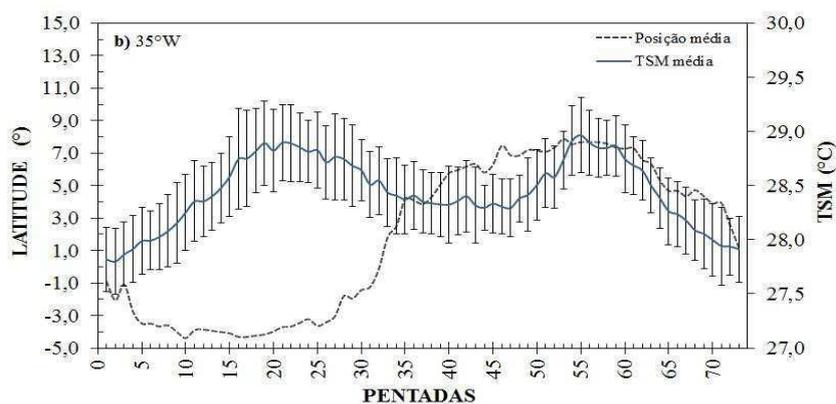
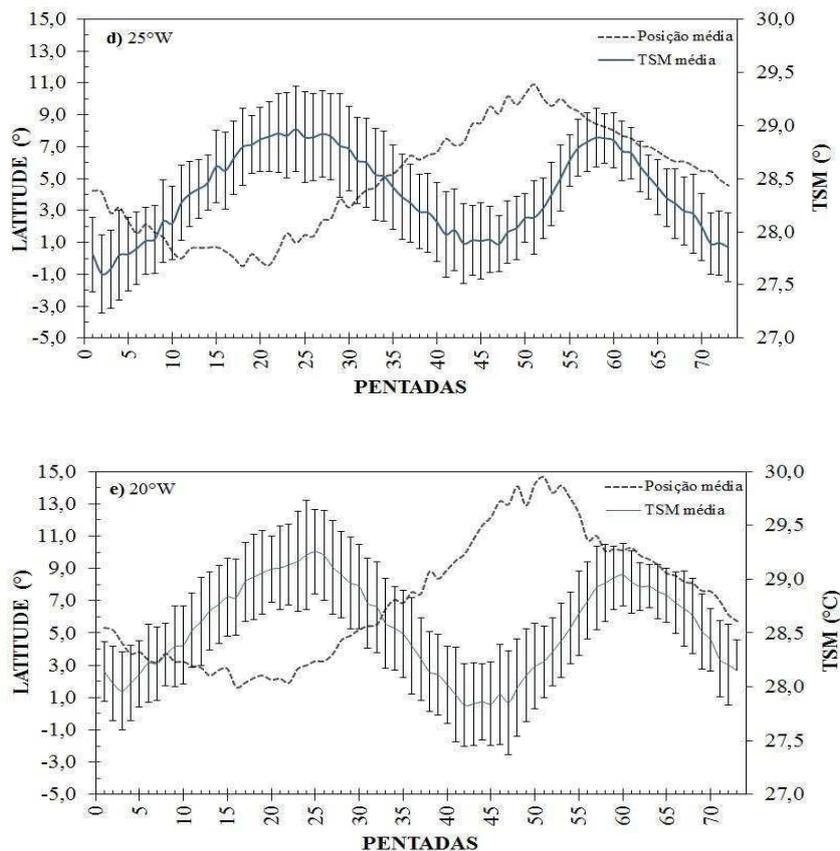


Figura 4. Médias Climatológicas pentadais das máximas de TSM (linha contínua) e seus desvios padrões (barra vertical) e das posições latitudinais (linha tracejada) para as longitudes (a) 40°W, (b) 35°W, (c) 30°W, (d) 25°W e (e) 20°W.





A Figura 5 apresenta as médias climatológicas pentadais da posição latitudinal dos valores do vento meridional nulo (latitude onde o vento troca de sinal) - representando a posição latitudinal da ZCA - e seus desvios padrões ao longo das longitudes de 35°W, 30°W, 25°W e 20°W.

Observou-se na Figura 5(a), referente a longitude 35°W, que em média, a ZCA se mostrou com uma posição latitudinal mais ao sul $-1,8^{\circ}$ (pêntada 17 - março), enquanto que em 20°W, figura 5(d), verificou-se uma posição latitudinal mais ao norte $13,8^{\circ}$ (pêntada 51 - setembro). Em parte, notou-se que posições mais ao sul ($-1,8^{\circ}$) 35°W e ($-1,2^{\circ}$) 30°W, estão entre as pêntadas 17 e 18, mês de março, enquanto que as posições mais ao norte ($12,6^{\circ}$) 25°W e ($13,8^{\circ}$) 20°W, ocorreram entre as pêntadas de 47 a 51, meses de agosto e setembro. Analisando os desvios padrões para ZCA, verificou-se que os desvios padrões máximos $3,33^{\circ}$

(35°W) a 2,58° (25°W) ocorreram entre as pântadas 54-62-65, setembro e novembro, respectivamente. Já os desvios padrões mínimos 0,86° (35°W) a 0,64° (25°W), se deram nas pântadas 35, correspondendo o mês de junho. Ressalta-se que estes valores são diferentes dos obtidos por Uvo (1989) e Melo et al. (2002). Esta discrepância possivelmente seja decorrente da resolução horizontal, que nesta pesquisa foi de 0,75° x 0,75°, enquanto, Uvo (1989) e Melo et al. (2002) usaram uma resolução de 2,0° x 2,0°. Outro ponto importante é que neste trabalho observou-se uma maior variabilidade interpântada que as observadas por Uvo (1989) e Melo et al.(2002).

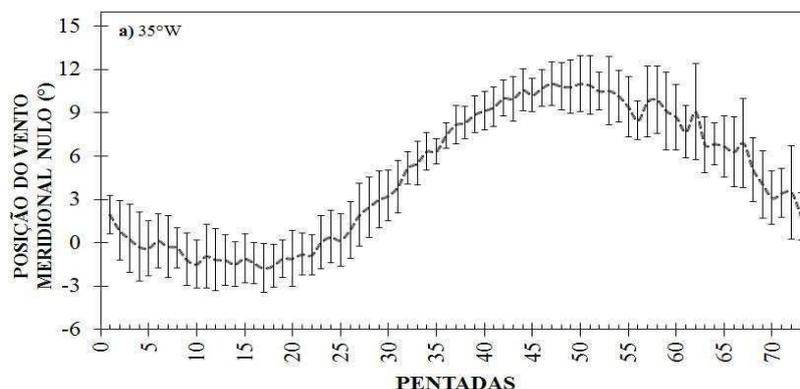
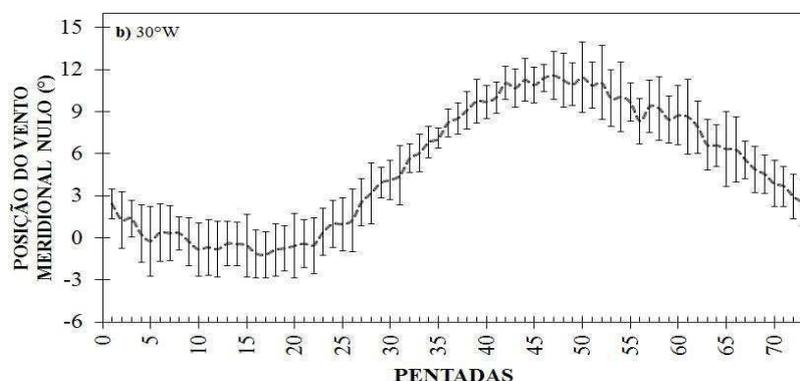
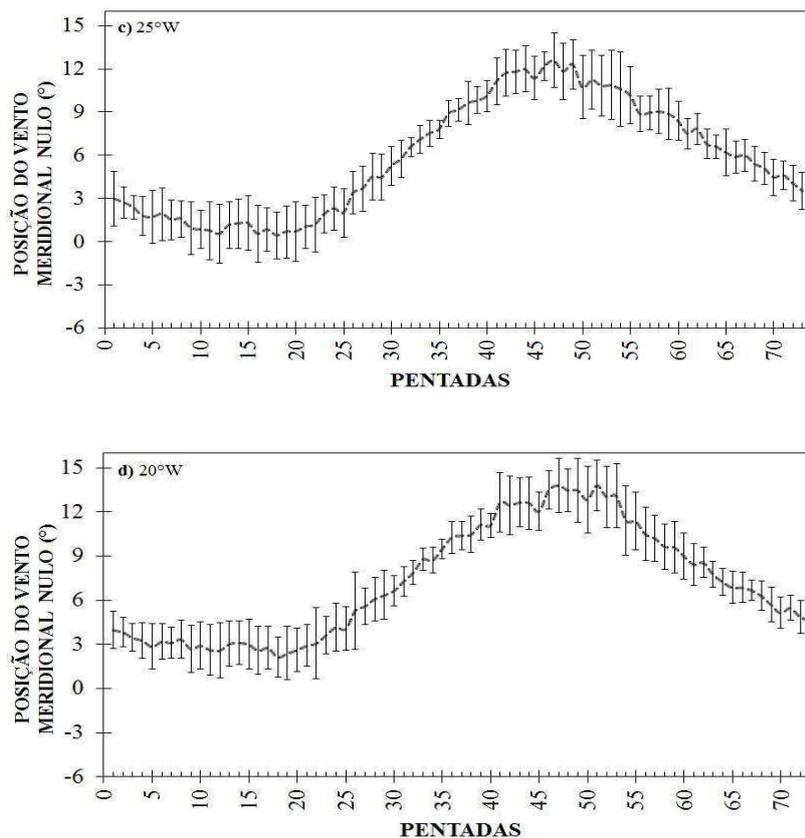


Figura 5. Médias climatológicas da posição latitudinal do vento meridional nulo (latitude onde o vento troca de sinal) e seus respectivos desvios padrões (barra vertical) para as longitudes (a) 35°W, (b) 30°W (c) 25°W e (d) 20°W.





Na Figura 6 são observadas as médias climatológicas pentadais dos valores mínimos de PNMM seus desvios padrões e latitude de ocorrência, ao longo das longitudes 40°W, 35°W, 30°W, 25°W e 20°W para as pênadas de 1 a 73, representando a zona do cavado equatorial. Nas posições mais ao norte, para cada faixa de longitude, observou-se os seguintes valores das posições latitudinais e da PNMM: 8,8° (1013,3 hPa), 12,2° (1013,2 hPa), 12,8° (1012,6 hPa), 13,6° (1012,1 hPa), 15,4° (1011,9 hPa), para as seguintes longitudes 40°W, 35°W, 30°W, 25°W e 20°W, respectivamente. Estes valores ocorreram, em média, no período em que a ZCIT atinge suas posições mais ao norte, nas pênadas 46 a 49, correspondendo aos meses de agosto e setembro. É oportuno descrever que à medida que desloca para o leste a faixa de valores mínimo de PNMM se desloca para o norte e a intensidade da pressão diminui, passando de 1013,3 hPa em 40°W para 1011,9 em 20°W. Estes valores são

concordantes como a inclinação para o norte da posição da ZCIT da costa do Brasil para a costa da África (Andrade et al., 2006; Carvalho e Oyama, 2013). Enquanto para as posições mais ao sul observou-se: $-2,1^{\circ}$ (1011,3 hPa), em 40°W , e $-2,2^{\circ}$ (1011,2 hPa), em 35°W , durante as pântadas 13 e 18 (mês de março), respectivamente.

Analisando a variabilidade interanual da posição latitudinal pentadal dos valores mínimos de PNMM verifica-se desvios padrões de $0,50^{\circ}$ a $0,65^{\circ}$ (pântadas 12), período em que a ZCIT está em suas posições mais ao sul. Enquanto, nos períodos em que a ZCIT está mais ao norte observou-se maior variabilidade interanual, com desvios padrões de $1,21^{\circ}$ e $1,34^{\circ}$, nos períodos das pântadas de 63 a 73 (novembro a dezembro), respectivamente. É importante comentar que em 25°W e 20°W , desvios padrões menores foram encontrados na pântada 53, mês de setembro. Considerando um resultado diferente em relação às demais longitudes que concentraram seus desvios padrões mínimo, no mês de março, pântadas 12. Na literatura, em geral, não são analisados a intensidade da pressão no cavado equatorial, bem como a sua posição meridional.

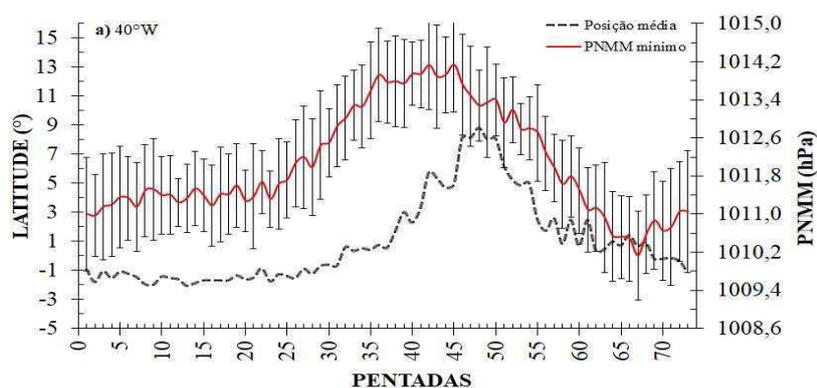
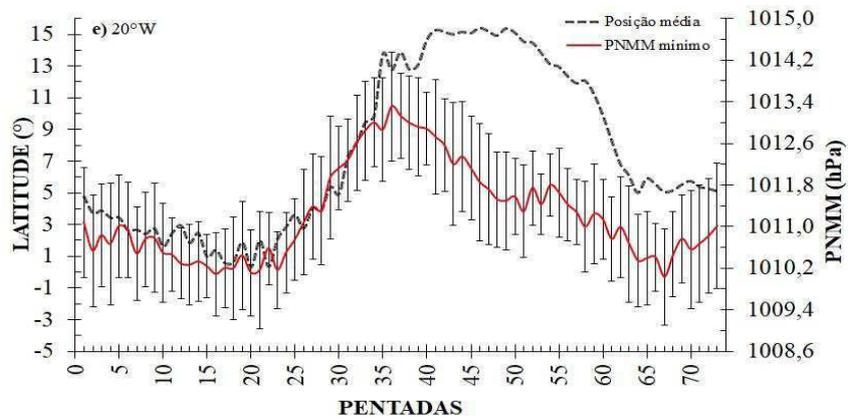
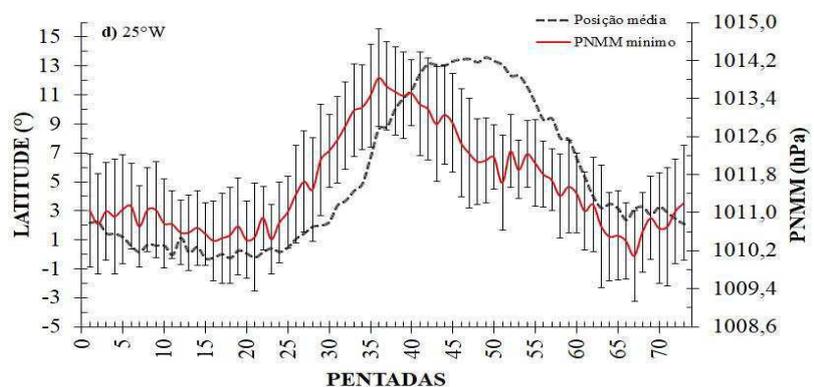
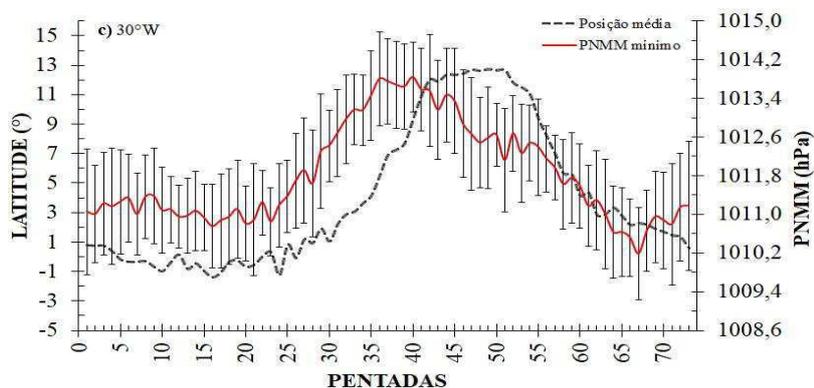
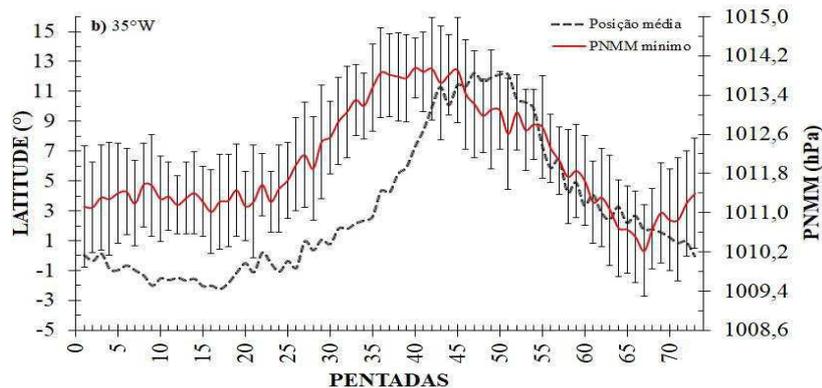


Figura 6. Média climatológica pentadal dos mínimos valores de PNMM (linha contínua), seus respectivos desvios padrões (barra vertical) e das suas posições latitudinais (linha tracejada) para as longitudes (a) 40°W , (b) 35°W , (c) 30°W , (d) 25°W e (e) 20°W .



As Figuras 7 (a) a (i), apresentam as médias climatológicas pentadais dos ROL mínimos, seus respectivos desvios padrões e das suas posições latitudinais. Ressalta-se que como o desvio padrão apresentou-se bastante elevado ao representa-lo em forma de barra, a mesma ficava sobrepondo os eixos das posições latitudinais e dos valores de ROL mínimo. Portanto, fez-se a opção de elaborar duas figuras por longitude, para melhor visualização.

Nas faixas longitudinais que vão de 40°W a 20°W, observou-se desvios padrões com médias entre 14,13 W.m⁻² a 14,97 W.m⁻², onde observou-se desvios padrões maiores em posições mais ao sul (19,44 W.m⁻²), mês de abril, do que nas posições mais ao norte (14,35 W.m⁻²), mês de setembro, mostrando assim que a magnitude dos valores de ROL mínimo apresenta uma maior variabilidade interanual em suas posições latitudinais mais ao sul e menores nas mais ao norte. Notou-se em comparação as longitudes, que 35°W, Figura 7(c), apresentou posição latitudinal máxima ao sul do equador no valor de -1,0° (pêntada 19 e 22 – abril), enquanto 40°W, Figura 7(a), verificou-se posições latitudinais mais ao norte de 10,3° (pêntada 54 – setembro). Os valores de ROL nessas pêntadas foram de 228,2 W/m², 227,6 W/m² e 248,0 W/m² respectivamente. As pêntadas que apresentaram posições latitudinais máximas tanto para o HN, quanto para o HS, mostraram valores de ROL variando entre 248,0 W/m² a 220,5 W/m². O valor de ROL mínimo esteve em média entre 232,2 W/m² (35°W) e 236,5 W/m² (20°W).

Segundo (Dutton et al. 2000), para regiões tropicais, baixos valores de ROL registrados por satélite no topo da atmosfera, são utilizados para caracterizar regiões de convecção profunda, como também (Lau et al., 1997) considera em seu estudo que a convecção tropical, corresponde normalmente a regiões de ROL menor que 240Wm⁻².

De maneira geral, observou-se que as posições latitudinais de ROL mínimo apresentaram grande variabilidade interpentadal, como descrito por Uvo (1989), Ferreira

(1996), Melo et al. (2002) e Rosa e Silva (2016). Entretanto, neste trabalho também verificou-se o valor de ROL mínimo, indicando grande variabilidade interpentadal na intensidade da ZCIT.

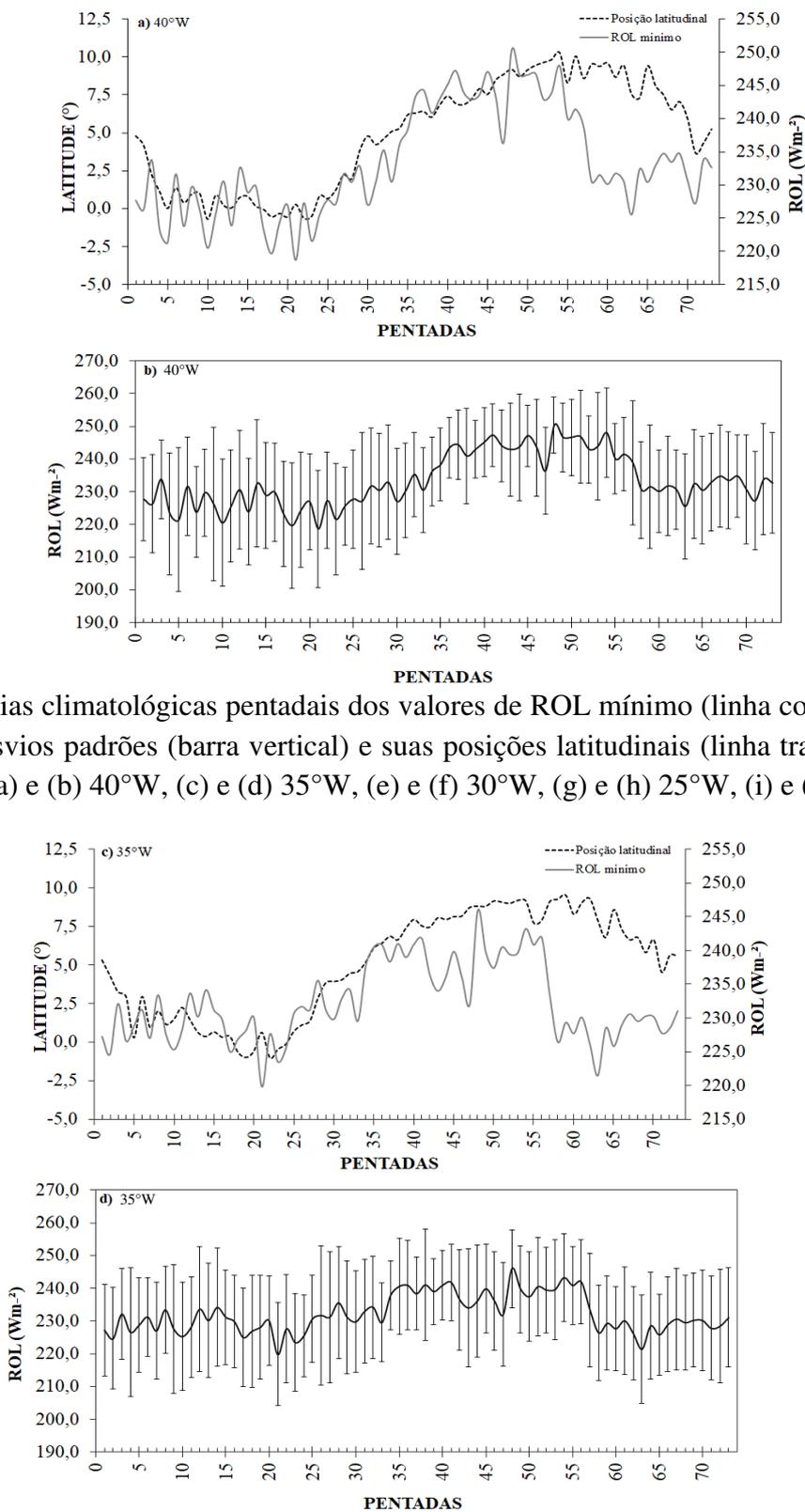
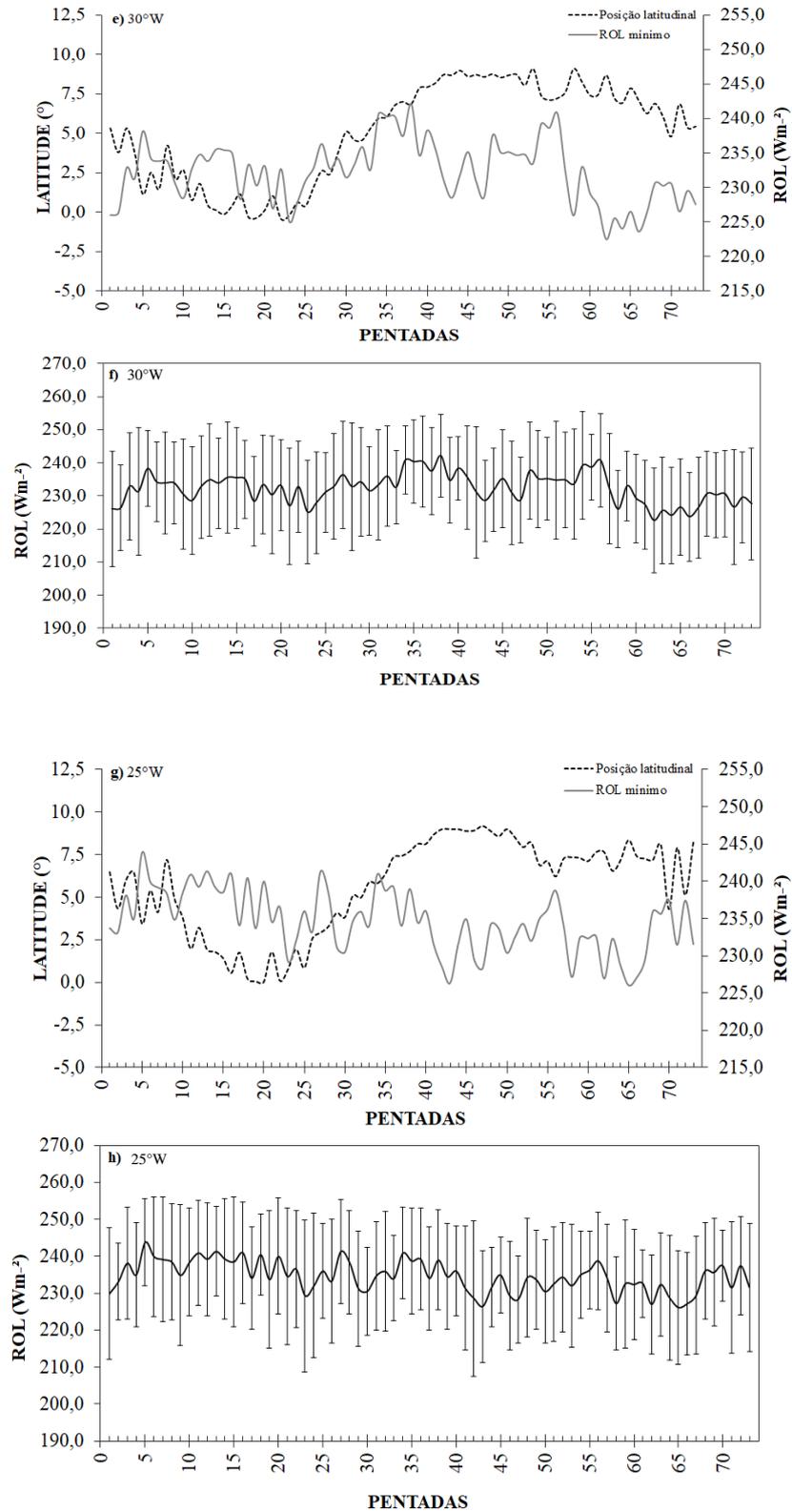
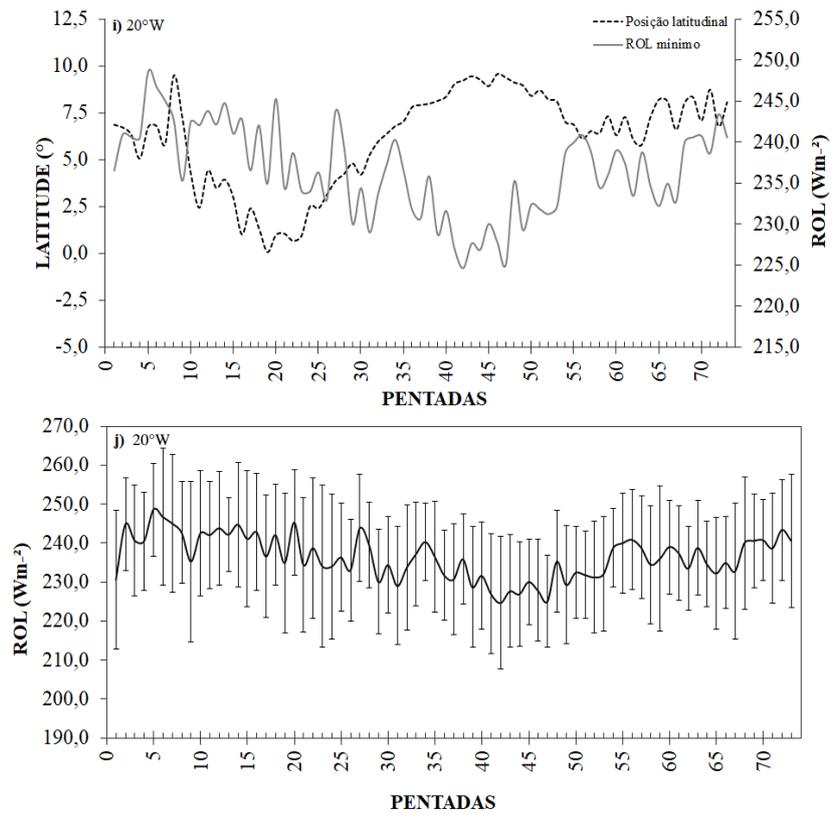


Figura 7. Médias climatológicas pentadais dos valores de ROL mínimo (linha contínua), seus respectivos desvios padrões (barra vertical) e suas posições latitudinais (linha tracejada) para as longitudes (a) e (b) 40°W, (c) e (d) 35°W, (e) e (f) 30°W, (g) e (h) 25°W, (i) e (j) 20°W.





4.3 Variabilidade Interanual das Posições Latitudinais

4.3.1. Faixa de Máxima TSM

De acordo com Melo et al. (2002) a variabilidade diária da posição climatológica da ZCIT é máxima durante o período chuvoso no setor Norte Nordeste Brasileiro, para a longitude de 40°W, 35°W e 30°W como mostrada na série de figuras 8 (a) e 8 (c), que apresenta sua variabilidade interanual da posição latitudinal pentadal da máxima TSM.

Porém, resultados não semelhantes foram observados ao longo das longitudes 55°W e 50°W Figuras A (a,b) (anexos), com algumas diferenças, possivelmente por estarem localizadas próximas aos continentes como Suriname e do Pará/Amapá, área da corrente marítima das Guianas e próxima ao Mar do Caribe.

A amplitude (em graus de latitude) da variação anual da faixa latitudinal de máxima TSM é maior e mais ondulatória conforme as longitudes do meridiano diminuem para leste de 55°W a 30°W, ou seja, 30°W apresenta uma amplitude maior e mais ondulatória que as de 55°W e 50°W. Isso possivelmente ocorre, devido à influência da proximidade do continente, uma vez que a longitude de 30°W está mais distante do continente que as demais.

Observou-se que a variabilidade pentadal da posição da faixa de máxima TSM é maior nos meses em que a ZCIT atinge posições extremas tanto ao norte como ao sul comparativamente aos meses de transição. Esse resultado se mostra importante, pois nos extremos têm-se as condições limites, enquanto nas interfases têm-se um caminho livre para a ZCIT oscilar. Os valores da posição da TSM ao sul do equador foram observados particularmente na longitude 35°W e 30°W (próximo do centro do Atlântico), nos meses de fevereiro, março e abril, enquanto as posições mais ao norte em ambas as longitudes foram observadas em agosto, setembro e outubro, durante o outono do hemisfério norte.

Vários estudos mostram que anomalias da TSM nos Oceanos Pacífico e Atlântico tropicais afetam o posicionamento latitudinal da ZCIT e, em particular, da ZCIT Atlântica (De Souza et al., 2005; Gu e Adler, 2009). Verificou-se que o comportamento pentadal anual do máximo valor da TSM em média tanto para o HN, quanto para o HS foram entre $11,25^{\circ}\text{N}$ e $2,25^{\circ}\text{S}$ para a longitude de 40°W (Figura 8 c), e para 30°W , aproximadamente entre 15°N e $5,25^{\circ}\text{S}$, atingindo seus picos máximos correspondentes. Nota-se que na longitude de 30°W observou-se uma variabilidade mais coerente, comparada com a de 55° e 50°W . Este resultado concorda com Kousky (1988), que observou que no sentido longitudinal, a ZCIT é notadamente mais intensa na região central do Atlântico, do que perto da costa da América do Sul de meados de julho até meados de dezembro.

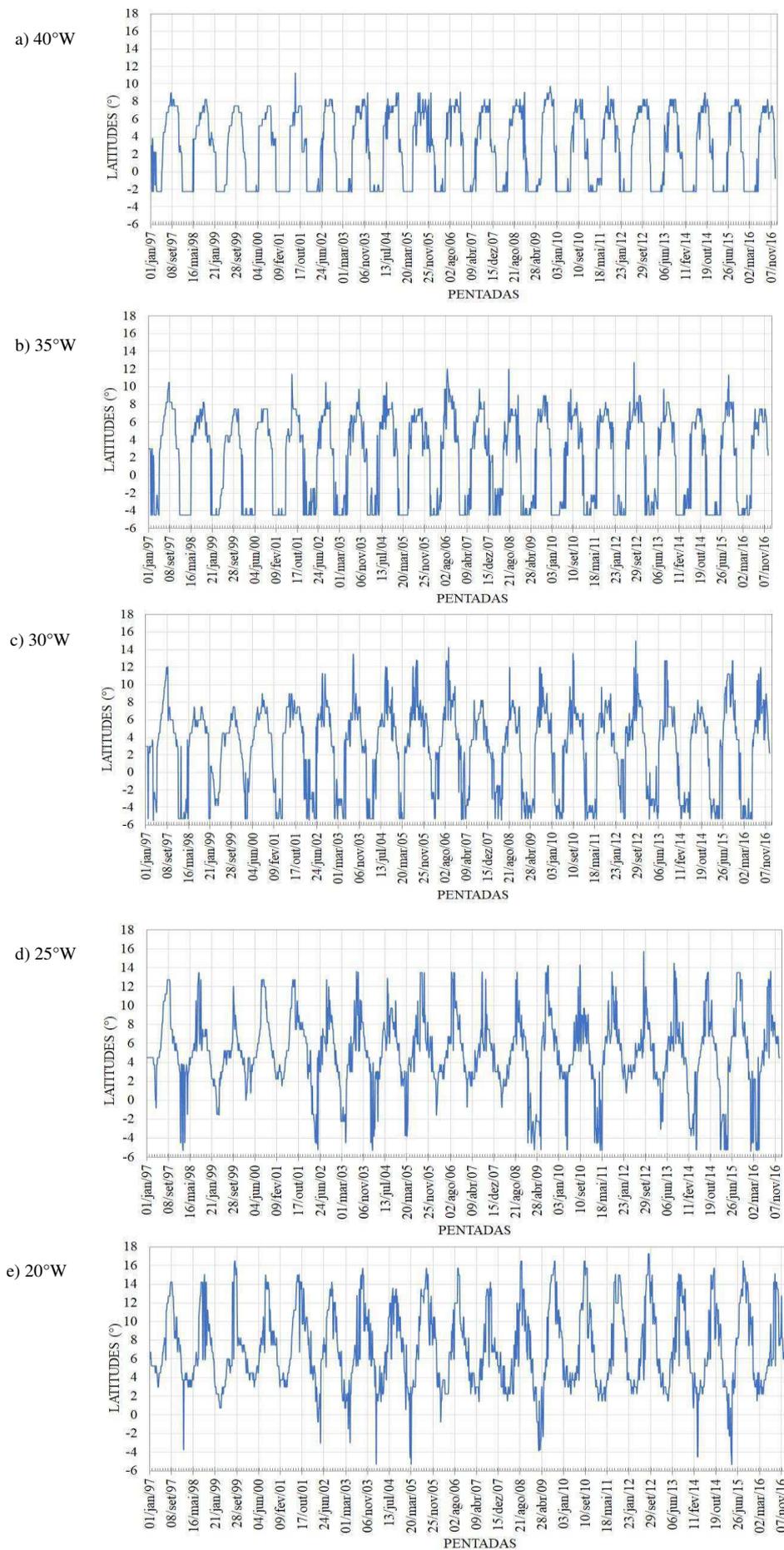


Figura 8. Variabilidade interanual da posição latitudinal pentadal da TSM para as longitudes (a) 40°W, (b) 35°W, (c) 30°W, (d) 25°W, (e) 20°W.

4.3.2. Zona de Confluência dos Alísios

Para a análise da região de confluência do vento em superfície, região onde o valor da componente meridional do vento é nulo, pode-se observar que a variabilidade interanual da posição latitudinal do vento meridional nulo, apresentam um comportamento semelhante ao da variabilidade temporal entre as duas longitudes, como mostradas na Figura 9 (a) e (b), que corresponde a oscilação intrasazonal da ZCIT sobre a faixa equatorial do oceano Atlântico (MELO et. al 2002). Com posições mais ao sul, nos meses de verão e outono no hemisfério sul (fevereiro, março e abril), período em que a ZCIT tem o seu deslocamento meridional, e posições mais ao norte, verão e outono do hemisfério norte (agosto, setembro, outubro e até novembro).

As evoluções temporais da variabilidade latitudinal de ambas longitudes 35°W , 30°W apresentaram oscilações mais ao sul aproximadamente até $-4,9^{\circ}\text{S}$ nos meses de março, onde permaneceu por mais tempo, e no mês de abril. Além de posições mais ao norte nos meses de agosto, setembro e outubro, podendo chegar até novembro, como nos anos de 2012 e 2016 observados na Figura 9a.

Os resultados obtidos no presente estudo concordam com aqueles apresentados por Hastenrath e Lamb (1977), no qual a zona de máxima cobertura de nuvens, precipitação e convergência de massa, localiza-se ao norte da ZCA durante os meses de março e abril. Da mesma forma, pode-se citar o trabalho analisado por Melo et.al 2002, que também determinava o posicionamento climatológico diário da ZCIT sobre o Atlântico equatorial, onde analisou juntamente três variáveis, das quais, uma delas foi também analisada por Hastenrath e Lamb (1977), comentado anteriormente, máxima convergência de massa, confluência dos ventos em 1000hPa, e mínimos valores de ROL sobre as longitudes 35°W e 28°W . Diante disso, notou-se que eles posicionaram-se ao

norte do eixo que define a ZCA, nos meses de março e abril, e ao sul desta região nos meses de agosto a outubro em 28°W .

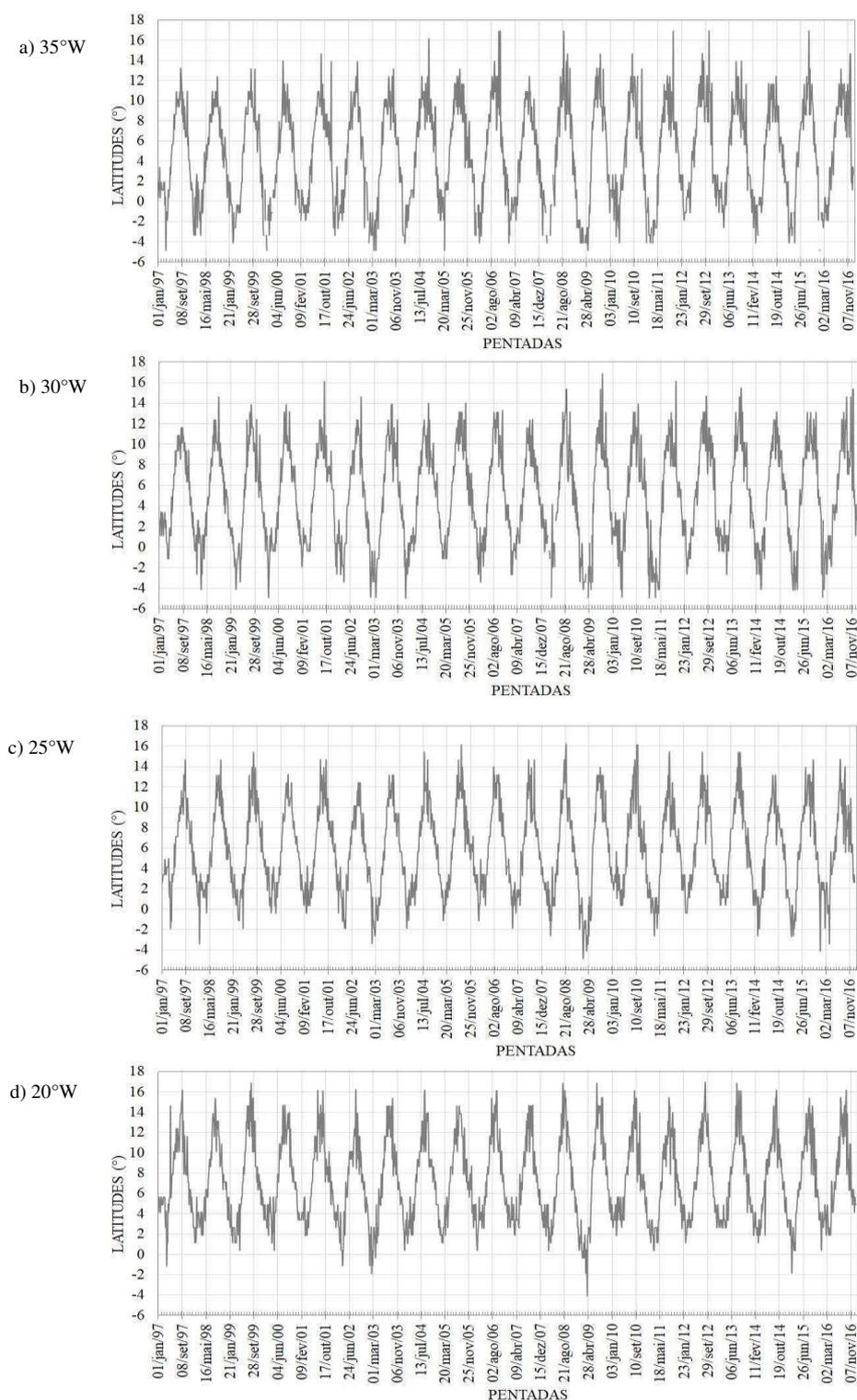


Figura 9. Variabilidade interanual da posição latitudinal pentadal do valor da componente meridional do vento para as longitudes: (a) 35°W , (b) 30°W , (c) 25°W e (d) 20°W .

4.3.3. Cavado Equatorial

Hastenrath e Lamb (1977) mostraram que, durante os meses de julho e agosto (verão no hemisfério norte), a ZCA aparece sobre o cavado equatorial de baixa pressão e as regiões de máxima cobertura de nuvens, precipitação e convergência são quase coincidentes e localizam a aproximadamente 3 graus ao sul da ZCA.

A Figura 10 se refere às posições latitudinais de mínimos valores de PNMM. O comportamento da variabilidade sazonal da PNMM é meridional como mostrado na variabilidade interanual das TSM. Na Figura B (a), para a longitude de 55°W (anexos), observam-se a concentração de valores mínimos de PNMM na faixa equatorial, onde apresentou alguns picos latitudinais para o hemisfério norte nos meses de setembro e novembro, o que é importante ser mostrado, podendo assim comentar que podem ter ocorrido alguns sistemas, resultando nestas oscilações nas posições latitudinais de valores mínimos de PNMM.

A partir de 40°W, Figura 10 (a), é possível observar que a variabilidade interanual da mínima PNMM apresenta um comportamento mais voltado para o hemisfério norte, comparado às longitudes de 55°W e 50°W que estão bem irregulares devido ao limite dos continentes sobre estas longitudes, sofrendo também efeitos de brisas. Porém, para as longitudes de 35°W e 30°W (localizadas mais ao oceano atlântico equatorial), sua variabilidade se mostra com um comportamento mais ondulatório e coerente.

Observou-se que os picos latitudinais de valores mínimos de PNMM para o hemisfério norte foram registrados a partir de setembro até novembro para ambas longitudes (40°W e 35°W) e para o hemisfério sul nos meses de fevereiro a abril. Este resultado está coerente com os de outros pesquisadores, como por exemplo, Uvo (1989).

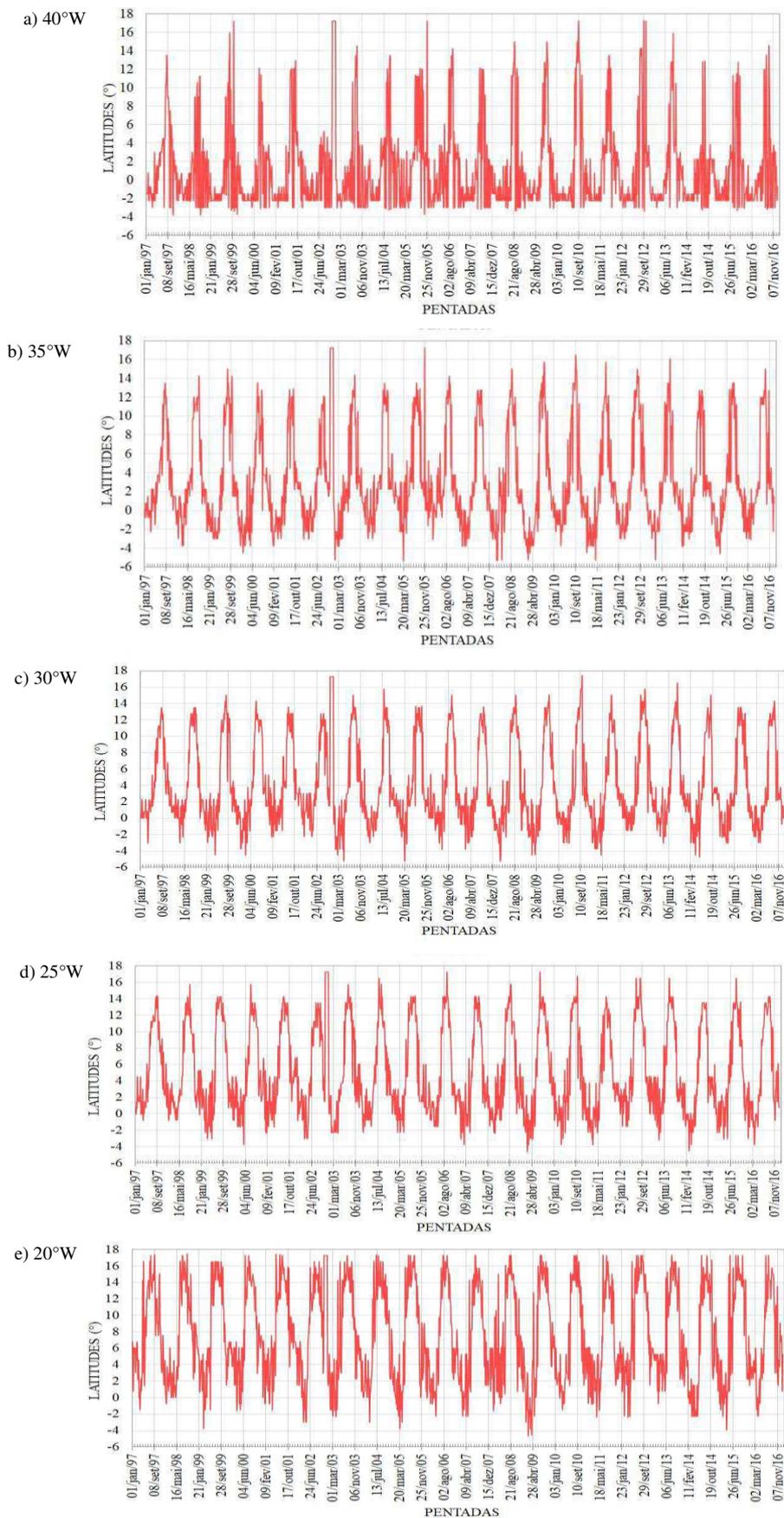


Figura 10. Variabilidade interanual da posição latitudinal pentadal dos valores mínimos de PNMM para as longitudes (a) 40°W, (b) 35°W, (c) 30°W, (d) 25°W e (e) 20°W.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Este trabalho abordou o comportamento latitudinal, pentadal e interanual de variáveis determinantes do posicionamento da ZCIT no Atlântico. A faixa de máxima TSM apresentou a maior variação da sua posição latitudinal, ao longo do ano, seguida pelo cavado equatorial, zona de confluência dos alísios e finalmente a zona de ROL mínimo. Portanto, pode conjectura que o posicionamento das demais variáveis segue o da faixa de máxima TSM.

Constatou-se que as correlações das posições latitudinais das variáveis faixa de máxima TSM, cavado equatorial, ZCA e faixa de mínimo de ROL são estatisticamente significativas ao nível de confiança de 99%. Demonstrando que este conjunto de variáveis estão interligadas e a variabilidade de uma destas altera as demais, principalmente nas faixas de longitudes de 40°W a 30°W. Nas faixas de 25°W e 20°W, as correlações foram inferiores, as das demais, mas com significância de 99%. Podendo inferir que a dinâmica sobre a parte central do oceano contribuiu para a ocorrência de correlações diferenciadas entre as longitudes.

Através das análises realizadas observou-se que no oceano Atlântico Tropical a convecção profunda está presente em pântadas de TSM superiores a 27°C. Também notou-se os eixos da posição latitudinal das variáveis apresenta inclinação para nordeste, posicionado mais ao norte a medida que desloca de 40°W para 25°W.

Verificou-se que a maior variabilidade (desvio padrão) da posição latitudinal pentadal do valor nulo da componente meridional do vento ocorreu nas pântadas dos meses de março e maio. Portanto, é possível concluir que a dinâmica da variabilidade latitudinal da ZCIT é maior nas suas posições mais meridionais que em outras latitudes.

Analisando-se em conjunto os eixos médios das variáveis analisadas, verificou-se que a posição média das três variáveis, mostrou-se como uma boa representação das posições latitudinais, considerada como bons indicativos da variabilidade diária da ZCIT.

Constatou-se que as variáveis apresentam grande variabilidades pentadais tanto nas suas posições meridionais como nas suas intensidades e que, com exceção da PNMM (cavado equatorial), as variabilidades são maiores quando o eixo dos posicionamentos atinge latitudes mais ao sul.

Também pode ser concluído que o monitoramento da ZCIT, por meio das posições latitudinais e intensidade das variáveis na faixa de máxima TSM, cavado equatorial, ZCA e faixa de mínimo de ROL é mais eficaz que o uso da posição meridional de apenas uma variável.

Como sugestão para trabalhos futuros pode-se realizar análise da variabilidade pentadal, mensal, sazonal e interanual da largura de cada uma destas variáveis. Verificar a relação das intensidades de cada variável e as variabilidades destas intensidades conforme a atuação de teleconexões de escala interanual e interdecenal.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. M. B.; CHAVES, R. R.; SERVAIN, J.; SOUZA, E. B.; SILVA, E. M.; SANTOS, A. C. S.; BARBOSA, A. C. B.; OLIVEIRA, C. J.; SOMBRA, S. S.; COSTA, A. A.; PINHEIRO, F. G. M. Modelos acoplados do IPCC-AR4 e o gradiente meridional de temperatura da superfície do mar no Atlântico Tropical: Relações com a precipitação no norte do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.29, n.4, 568 - 578, 2014.

ANDRADE, L. S.; MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O.; SOUSA, L. P.; SILVA, A. O. Variabilidade Decadal da Zona de Convergência Intertropical sobre o Oceano Atlântico. In Congresso Brasileiro de Meteorologia, 14, 2006, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBMET, 2006.

CARVALHO, M. A. V.; OYAMA, M. D. Variabilidade da largura e intensidade da Zona de Convergência Intertropical atlântica: aspectos observacionais. **Revista Brasileira de Meteorologia** v. 28 n.3, p. 305-3016, 2013.

CITEAU, J; CAMMAS, J.P.; GOURIOU, Y.; GUILLOT, B. **Questions about the ITCZ migration over the Tropical Atlantic, sea surface temperature in the Gulf of Guinea and the flow of Senegal River.** CCCO Meeting, Rio de Janeiro, 9-13 de setembro de 1985.

CHIANG, J. C. H.; KUSHNIR, Y.; GIANNINI, A. Deconstructing Atlantic Intertropical Convergence Zone variability: Influence of the local cross-equatorial sea surface temperature gradient and remote forcing from the eastern equatorial Pacific. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. D1, 4004, 10.1029/2000JD000307, 2002.

CHU, P. S. Time and space variability of rainfall and surface circulation in the northeast Brazil - tropical Atlantic sector. **Journal Meteorological Society of the Japan**, v. 62, p. 363-370, 1984.

COELHO, M. S. **Estudo da estrutura vertical e horizontal da precipitação e da circulação atmosférica na região da zona de convergência intertropical – ZCIT. 2002.** Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.

COELHO, M. S.; GAN, M. A.; CONFORTE, J. C. Estudo da variabilidade da posição e da nebulosidade associada à ZCIT do Atlântico, durante a estação chuvosa de 1998 e 1999 no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.1, 23-34, 2004.

CPTEC/INPE. Monitoramento Global. ZCIT – Radiação de Onda Longa. Cachoeira Paulista: CPTEC/INPE, 2018. Disponível em <http://clima1.cptec.inpe.br/monitoramentoglobal/pt>. Acessado em 03 de abril de 2018.

CUNHA, R. D. Introdução à linguagem de programação – FORTRAN 90. Editora UFRGS, Porto Alegre, 2005. 370p.

DEE, D.P.; UPPALLA, S.M.; SIMMONS, A.J.; BERRISFORD, P.; POLI, 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.

DE SOUZA, E. B.; KAYANO M. T.; AMBRIZZI, T. Intraseasonal and submonthly variability over the eastern Amazon and Northeast Brazil during the autumn rainy season. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 81, p. 177-191, 2005.

DUTTON JF, CRIS J POULSEN & JENNI L EVANS. 2000. The effect of global climate change on the regions of tropical convection in CSM1. *Geophys. Res. Lett.*, 27(19): 3049–3052.

FERREIRA, N. S. **Zona de Convergência Intertropical**. Climanálise. MCT/INPE. Edição Especial de 10 anos. Cachoeira Paulista, SP. 1996. 235 p

FERREIRA, N. S. **Zona de Convergência Intertropical**. [online]. http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/acit_1.html>. jun. 1998.

FERREIRA, D. B. S. F. **Eventos Extremos da Zona de Convergência Intertropical sobre o Atlântico durante o Período Chuvoso da Amazônia Oriental**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém. 2008.

FUNCEME. ZCIT - Zona de Convergência Intertropical. Fortaleza: FUNCEME, 2018. Disponível em <http://www.funceme.br/index.php/areas/23-monitoramento/meteorol%C3%B3gico/410-zcti-zona-de-convergencia-intertropical>. Acessado em 03 de abril de 2018.

HASTENRATH, S. Interannual variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic. **Monthly Weather Review**, **112**, 1097-1107, 1984.

HASTENRATH, S., GREISCHAR, L. Circulation mechanisms related to Northeast Brazil rainfall anomalies. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 98, n. D3, p. 5093-5102, 1993.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in north-east Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 110, p. 411-425, 1977.

HASTENRATH, S. Prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies. **Journal of Climate**, **3**, 893-904, 1990.

HASTENRATH, S. **Climate dynamics of the tropics** - Updated ed. from Climate and circulation of the tropics. Dordrecht: Springer Science, 1991, 488 p. (Atmospheric Sciences Library, volume 8).

HOUNSOU-GBO, G. A.; ARAUJO, M.; BOURLÈS, B.; VELEDA, D.; SERVAIN, J. Tropical Atlantic Contributions to Strong Rainfall Variability along the Northeast Brazilian Coast. **Advances in Meteorology**, 2015 Article ID 902084, 13 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/902084>.

KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 3, p. 217 - 231, 1988.

LAU K-M, WU H-T & BONY S. 1997. The role of large-scale atmospheric circulation in the relationship between tropical convection and sea surface temperature. **Journal of Climate**, 10: 318–392.

MARIANO, E. B., CAVALCANTI, E. P., BESERRA, E. A. **Análise Comparativa da Velocidade do Vento Simulado pelo BRAMS com Dados Observados e de Reanálises**. **Revista Brasileira de Meteorologia** v. 32, n. 2, p. 269-276, 2017.

MARSHALL, J.; DONOHOE, A.; FERREIRA, D.; McGee, D. The ocean's role in setting the mean position of the Inter-Tropical Convergence Zone. **Climate Dynamics**, v. 42, p.1967–1979, 2014.

MELO, A. B. C., NOBRE, P., MELO, M. L. D., SANTANA, S. C. Estudo Climatológico da Posição da ZCIT no Atlântico Equatorial e sua Influência sobre o Nordeste do Brasil. In Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12, 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBMET, 2002.

MOLION, L. C. B. **Amazonian rainfall and its variability. In: Hydrology and Water Management in the Humid Tropics**, Ed. Cambridge University Press, Cambridge, 1993. p. 99-111

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 Atmospheric Science**. v.38, p. 2653-2675, 1981.

NIMER, E. Circulação Atmosférica do Nordeste e suas conseqüências – O Fenômeno das Secas. **Revista Brasileira de Geografia**. n. 2, p. 147-157, 1964.

NOBRE, C. A.; MOLION, L. C. B. **The Climatology of Droughts and Drought Prediction. In: The Impact of Climatic Variations on Agriculture**. Part III – Section 2. Eds.: M. L. Parry, T. R. Carter. Kluwer Academic Publishers. 1988, p. 305-323.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, **9**, 2464-2479, 1996.

NOBRE, P. **On the genesis of anomalous SST and rainfall patterns over the tropical Atlantic basin**. Ph.D. Dissertation, University of Maryland at College Park, 151 pp, 1993.

PARKER, D. E., FOLLAND, C. K.; WARD, M. N. Sea surface temperature anomaly patterns and prediction of seasonal rainfall in the Sahel region of Africa. **Nature**, **310**, 483-485, 1988.

PHILANDER, S. G. H.; GU, D.; HALPERN, D.; LAMBERT, G.; LAU, N. C.; LI, T.; PACANOWSKI, R. C. Why the ITCZ is mostly north of the equator. **Journal of Climate**, v. 9, p. 2958-2972, 1996.

ROSA, M. B.; SILVA, L. T. **Alguns Aspectos Climatológicos da ZCIT sobre o Atlântico**. Climanálise Edição comemorativa de 30 ano, 2016.

SALDANHA, C. B., RADIN, B., CARDOSO, M. A. G., RIPPEL, M. L., DA FONSECA, L. L., RODRIGUEZ, F. Comparação dos dados de precipitação gerados pelo GPCP versus observados para o estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 4, p. 415-422, 2015.

SCHNEIDER, T.; BISCHOFF, T.; HAUG, G. H. Migrations and dynamics of the intertropical convergence zone. **Nature**, v. 513, n. 7516, 2014.

SERVAIN, J. ; WAINER, I. ; DESSIER, E. A.. **Évidence d'une liaison entre les deux principaux modes de variabilité climatique interannuelle de l'Atlantique tropical**. *C. R. Academy of Sciences, Sciences de la Terre et des Planètes*, Paris, **327**, 1-8, 1998.

SOUZA, E. B., ALVES, J. M. B. ; REPELLI, C. A. Um Complexo Convectivo de Mesoescala Associado à Precipitação Intensa sobre Fortaleza - CE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 13, n. 2, p. 1-14, 1998.

UPPALA, S.M.; KALLBERG, P.W.; SIMMONS, A.J.; ANDRAE, U.; BECHTOLD, V. da C.; *et al.* "The ERA-40 re-analysis". **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**. v. 131, n. 612, p. 2961-3012, 2005.

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

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. 7, p. 34-40, 1989.

XAVIER, T. M. B. S., A. F. S. XAVIER, DIAS, P. L. S.; DIAS, M. A. F. S. **A Zona de Convergência Intertropical e suas relações com a chuva do Ceará (1964-98).**

Revista Brasileira de Meteorologia v. 15, p. 27-43, 2000.

WAGNER, R.G. Mechanisms controlling variability of the interhemispheric sea surface temperature gradient in the tropical Atlantic. **Journal of Climate**, Boston-MA, v. 9, n.

7, p. 2010-2019, 1996.

ANEXOS

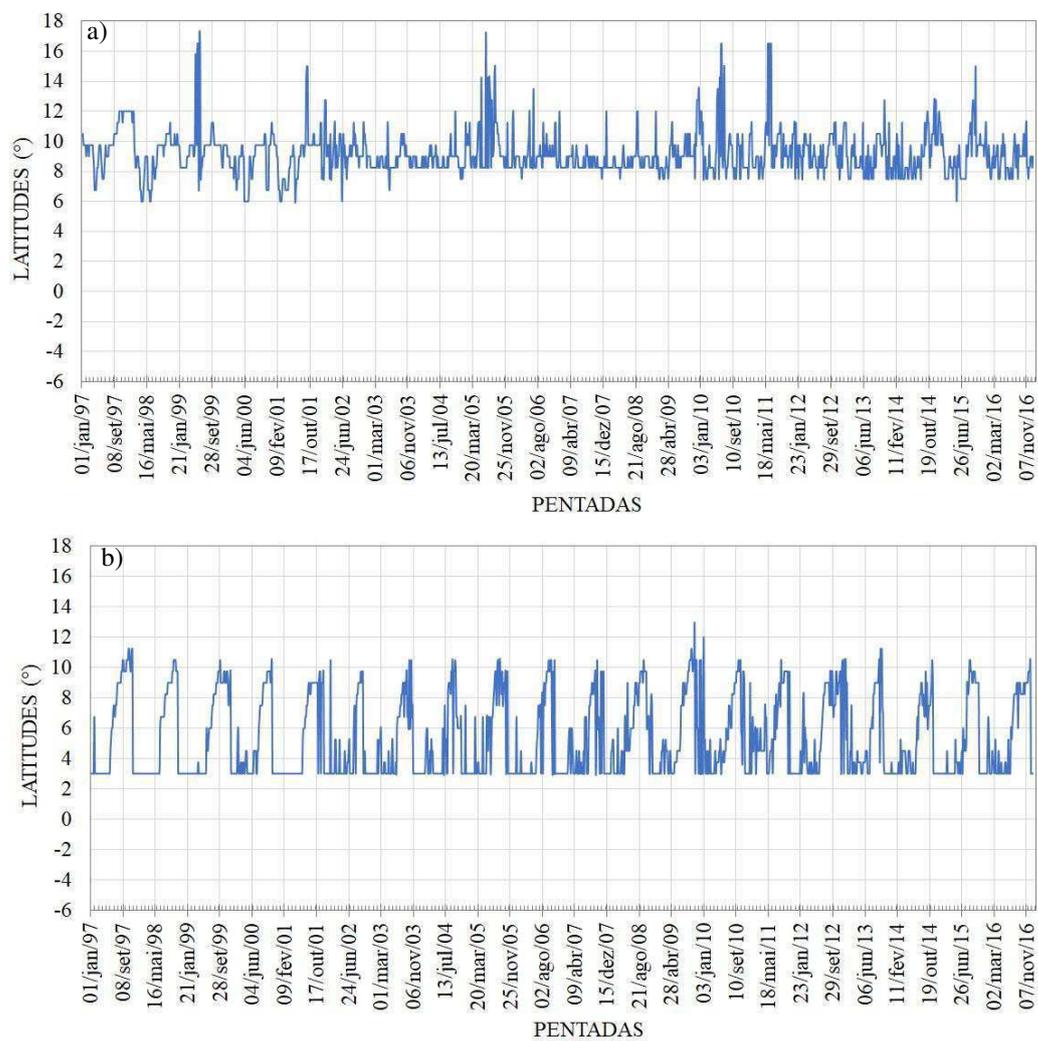


Figura A. Variabilidade interanual da posição latitudinal pentadal da TSM para as longitudes (a) 55°W e (b) 50°W.

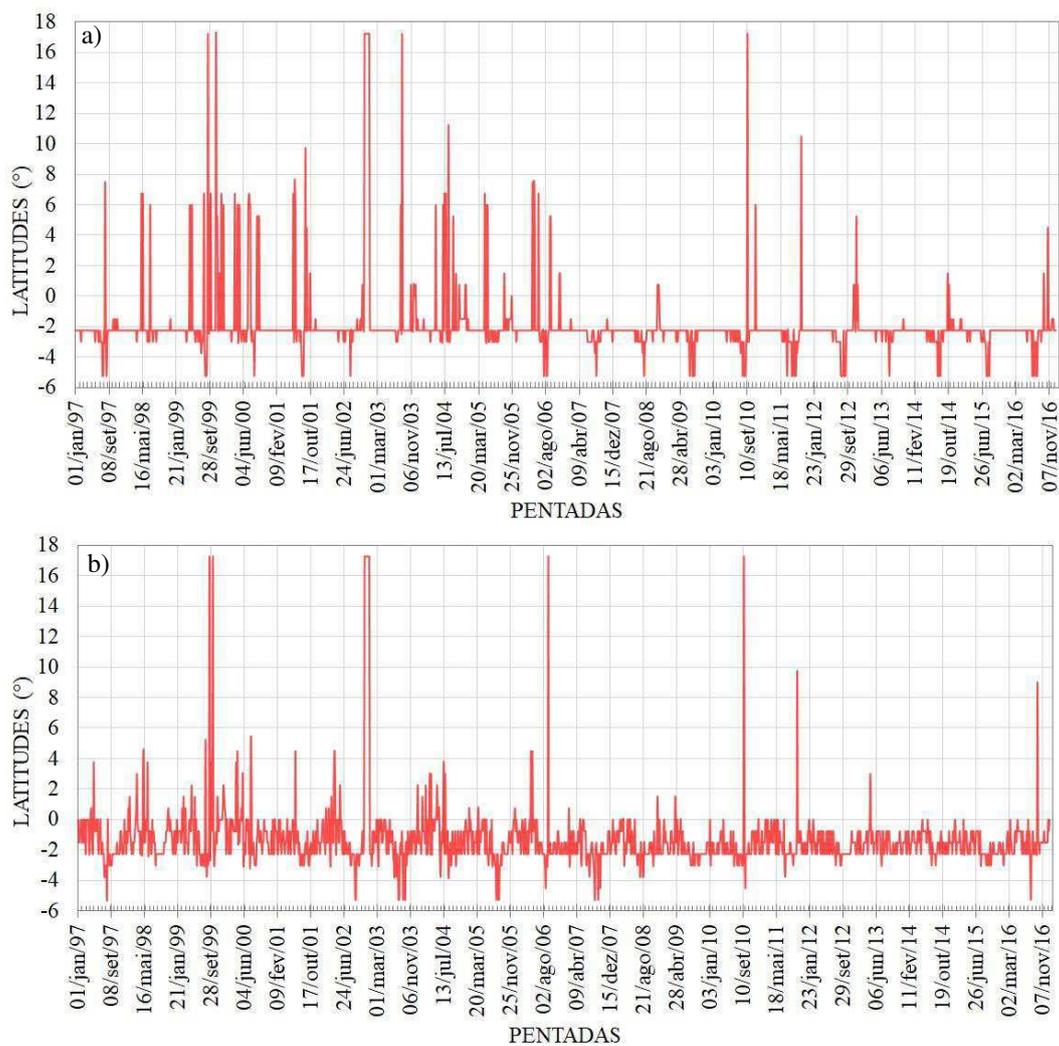


Figura B. Variabilidade interanual da posição latitudinal pentadal dos valores mínimos de PNMM para as longitudes (a) 55°W e (b) 50°W.