

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

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**

# **METEOROLOGIA**



## **DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Lady Layana Martins Custódio**

**Análise da Precipitação Pluvial da Pré-Estação e da  
Estação Chuvosa de Roraima e do Leste do Nordeste do  
Brasil**

**Campina Grande, maio de 2017**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS



UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

**LADY LAYANA MARTINS CUSTÓDIO**

**ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL DA PRÉ-ESTAÇÃO E DA  
ESTAÇÃO CHUVOSA DE RORAIMA E DO LESTE DO NORDESTE DO  
BRASIL**

Campina Grande

2017

**LADY LAYANA MARTINS CUSTÓDIO**

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

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

**Sub-área:** Climatologia

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

Campina Grande

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

- C987a Custódio, Lady Layana Martins.  
Análise da precipitação pluvial da pré-estação e da estação chuvosa de Roraima e do Leste do Nordeste do Brasil / Lady Layana Martins Custódio. – Campina Grande, 2017.  
94 f.: il.
- Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2017.  
"Orientação: Prof. Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito".  
Referências.
1. Pré-estação Chuvosa. 2. Estação Chuvosa. 3. Roraima. 4. Leste do Nordeste Brasileiro. 5. TSM. 6. Altas Subtropicais. 7. Correlações. I. Brito, José Ivaldo Barbosa de. II. Título.

CDU 551.582(043)

LADY LAYANA MARTINS CUSTÓDIO

ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL DA PRÉ-ESTAÇÃO E DA ESTAÇÃO  
CHUVOSA DE RORAIMA E DO LESTE DO NORDESTE DO BRASIL

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 03/03/2017

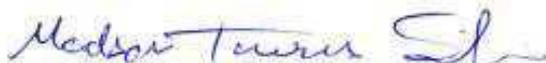
BANCA EXAMINADORA



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. MADSON TAVARES SILVA  
Centro de Ciências Biológicas e Sociais Aplicadas  
Universidade Estadual da Paraíba

*Dedico este trabalho a meus amados pais, Orlando e Oneide, aos meus irmãos, a toda minha família, e aos meus grandes amigos pelo incentivo e ajuda na realização deste trabalho.*

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus por todas as bênçãos que me foram dadas (família, saúde, amigos).

A minha mãe Maria Oneide, por seu amor. Sou eternamente grata a ela por tudo o que foi feito por mim e dedico este meu trabalho especialmente a ela.

Ao meu pai Orlando Custódio, por todos os conselhos, ajudas, motivações e inspirações que me foi dado durante toda a minha vida. O senhor mostrou que não precisa de ligação sanguínea para ser pai de verdade.

Aos meus irmãos que amo tanto, e a todos meus familiares de Boa Vista – RR, por todo seu amor por mim.

Em especial ao meu orientador Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito (tri querido), pela proposta de pesquisa e excelente orientação, sempre apontando os melhores caminhos, dando estímulos para o desenvolvimento deste trabalho, enfim, pelo seu apoio, motivação e amizade demonstrada durante todos esses anos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia - PPGMet/UACA/UFCG pelos ensinamentos, dentro e fora da sala de aula, durante a época do mestrado, aumentando ainda mais o apreço que tenho por esta instituição.

À Dayse Suellen Moraes, grande amiga, companheira de caminhada ao longo dessa pós-graduação e com quem dividi esses dois ótimos anos da minha vida. Posso dizer que esta jornada, inclusive pessoal, não teria sido a mesma sem você.

A amiga, Waléria Souza Figueira, pela amizade ao logo de 10 anos e que me acolheu com carinho em sua casa ao chegar à cidade de Campina Grande - PB, além do apoio dado durante todo este período.

Ao meu colega Danielson Neves pela ajuda indispensável.

A amizade consolidada de Nikolai Espinoza, Leydson Galvíncio e Danielle Cagliari e aos meus colegas de mestrado, que tive a satisfação em conhecer.

A todos aqueles, que embora não citados nominalmente, contribuíram direta e indiretamente para a execução deste trabalho.

Por fim, ao CAPES, pela provisão da bolsa de mestrado, recurso que possibilitou minha dedicação a esta pesquisa.

*“Deixe o futuro falar a verdade e classificar cada um de acordo com seu trabalho e conquista. O tempo presente é de cada um. Já o futuro, o qual eu tenho realmente trabalhado, é meu.”*

(NIKOLA TESLA)

*ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL DA PRÉ-ESTAÇÃO E DA ESTAÇÃO CHUVOSA DE RORAIMA E DO LESTE DO NORDESTE DO BRASIL*

**RESUMO**

Buscou-se avaliar neste trabalho as precipitações da EC e da PEC do LNEB e Roraima, bem como a relação entre esta variável nas duas áreas de estudo objetivando entender melhor os sistemas precipitantes que causam a EC, que, em geral, ocorre no trimestre abril, maio e junho, portanto, fora do período de monções na AS. Bem como verificar a relação da precipitação do LNEB e Roraima com a TSM do Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical. Para tanto, utilizou-se de dados diários de precipitação de 1979 a 2013, provenientes do CFSR do NCEP, além dos dados do projeto Era-Interim do ECMWF de mesmo período e por fim, dados mensais oceânicos das regiões do El Niño e dos setores do Atlântico no período de 1982 a 2013. A princípio, calculou-se os ciclos pentadais da precipitação, no qual, analisou-se as séries temporais das áreas de estudo e padrões atmosféricos associados. Usou-se o método hierárquico aglomerativo de Ward para classificar as regiões homogêneas de precipitação de ambas as áreas de estudo. A relação entre a TSM e a precipitação do LNEB e em Roraima e entre as precipitações destas áreas foi estimada pelo coeficiente de correlação de Pearson. Os resultados obtidos mostraram três grupos homogêneos de precipitação em Roraima e dois no LNEB. Em média a EC para as áreas de estudo tem início na pântada 17 e final na pântada 40. A PEC para LNEB e Roraima mostrou-se inconsistentes, pois dos cinco grupos de precipitação, em quatro, o número de ocorrências de PEC foram abaixo da metade da série histórica. As altas pressões ao nível do mar dos setores do Atlântico exercem função fundamental na contribuição da EC do LNEB e Roraima. Também se verificou que o ENOS tem papel relevante nas variabilidades interanuais da precipitação do LNEB e de Roraima, tanto nos totais anuais como nos da EC. As chuvas em Roraima apresentam correlação estatisticamente significativa com a TSM do norte do Atlântico, e as da região do Agreste do LNEB com a TSM do Atlântico Sul. Observou-se que as variabilidades interanuais dos totais anuais e sazonais de precipitação de Roraima e LNEB estão em fase, ou seja, em geral, os anos chuvosos em Roraima são os mesmos do LNEB, assim como os secos. As conclusões mais relevantes foram: a EC em Roraima possui regime tipo monções de surgimento brusco e término lento, enquanto a do LNEB apresenta transição gradual, configurando um regime diferente dos de monções; os sistemas meteorológicos produtores de precipitação nas duas regiões são diferentes, porém atuam na mesma época do ano; a marcha anual dos totais pentadais de precipitação ao longo do ano são as mesmas e são influenciados pelo ENOS e pela intensidade e posição das altas pressões do Atlântico resultando em variabilidades interanuais da precipitação em fase nas duas regiões.

**Palavras-chave:** Pré-estação chuvosa, estação chuvosa, Roraima, Leste do Nordeste Brasileiro, TSM, Altas subtropicais, correlações.

*ANALYSIS OF THE PRECIPITATION OF THE PRE-SEASON AND THE RAINY  
STATION OF RORAIMA AND EASTERN NORTHEAST BRAZIL.*

**ABSTRACT**

The aim of this study was to evaluate the precipitations of the RS and PRS of the ENEB and Roraima, in addition to the relation between this variable in the two study areas for the sake of getting a better understanding of the precipitating systems that cause RS, which generally occurs in the quarter of April, May and June, thus outside the monsoon period in SA. Additionally the study aimed to verify the relation of the precipitation of the ENEB and Roraima with the SST of the Equatorial Pacific and Tropical Atlantic. In order to do so, daily precipitation data from 1979 to 2013 from the NCEP CFSR were used, apart from Era-Interim data from the ECMWF project of the same period and, finally, monthly ocean data from the El Niño regions and the Atlantic sectors from 1982 to 2013. At first, the 5-days cycles of the precipitation were calculated, in which the time series of study areas and the atmospheric patterns associated were analyzed. Ward's agglomerative hierarchical clustering method was used to classify the homogeneous precipitation regions of both study areas. The link between the SST and precipitation in ENEB and Roraima and between precipitations in these areas was estimated by the Pearson correlation coefficient. The results obtained showed three homogeneous groups of precipitation in Roraima and two in the ENEB. On average, the RS for the study areas starts at the 17 pentad and at the end at the 40 pentad. The PRS for ENEB and Roraima appeared to inconsistent, because among the five precipitation groups, four of them presented a number of PRS occurrences below half of the historical series. The high sea-level pressure of the Atlantic sectors play a fundamental role contributing to the ENEB and Roraima RS. It was also verified that the ENSO has a relevant role in the interannual variability of the ENEB and Roraima precipitation, both in the annual totals and in the RS. The rainfall in Roraima shows a statistically significant correlation with the SST of the North Atlantic, and those of the Agreste region of the ENEB with the SST of the South Atlantic. We observed that the interannual variabilities of the annual and seasonal precipitation totals of Roraima and ENEB are in-phase, that is, in general, the rainy years in Roraima are the same as in the ENEB, in addition to the dry ones. The most relevant conclusions were: the RS in Roraima has a monsoon type regime with abrupt onset and slow ending, while the ENEB has a gradual transition, forming a regime different from that of the monsoons; the meteorological systems producing precipitation in the two regions are different, however acting at the same time of year; the annual marching of the pentad totals of precipitation throughout the year are the same and are influenced by the ENSO and the intensity and position of the high pressure of the Atlantic, resulting in interannual variabilities of the precipitation in phase in the two regions.

**Keywords:** Rainy Pre-Season, Rainy Station, Roraima, Eastern Northeast Brazil, SST, Subtropical Highs, Correlation Analyses

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa do Brasil com destaque nas áreas de estudo, Roraima e LNEB. ....	32
Figura 2. Mapa do relevo para a) Roraima e b) LNEB com as respectivas hidrologia..	33
Figura 3. Porcentagem da precipitação mensal em relação ao total anual para Roraima (a) e LNEB (b) com dados de CFSR. ....	33
Figura 4. Esquema representativo das etapas de critérios para a identificação da PEC.	37
Figura 5. Climatologia pentadal da precipitação para Roraima e o LNEB. ....	41
Figura 6. Macha anual do total médio climatológico da precipitação em pântadas para o Estado de Roraima.....	43
Figura 7. Macha anual do total médio climatológico da precipitação em pântadas para o LNEB.....	44
Figura 8. Campo de PNM em pântadas climatológicas, período 1979 a 2013, para a média das pântadas 24, 25 e 26 (a) maiores valores de precipitação e 02, 03 e 04 (b) menores valores de precipitação para Roraima.....	46
Figura 9. Campo de PNM em pântadas climatológicas, período 1979 a 2013, para a média das pântadas 23, 24 e 25 (a) maiores valores de precipitação e 54, 55 e 56 (b) menores valores de precipitação para LNEB. ....	48
Figura 10. Campo de vento em pântadas climatológicas em 850 hPa, período 1979 a 2013, para a média das pântadas 24, 25 e 26 (a) maiores valores de precipitação e 02, 03 e 04 (b) menores valores de precipitação para Roraima. ....	50
Figura 11. Campo de vento em pântadas climatológicas em 850 hPa, período 1979 a 2013, para a média das pântadas 23, 24 e 25 (a) maiores valores de precipitação e 54, 55 e 56 (b) menores valores de precipitação para LNEB.....	52
Figura 12. Configuração espacial do total médio climatológico de precipitação em Roraima das três pântadas consecutivas com (a) maiores valores de chuva e (b) menores. ....	54

Figura 13. Configuração espacial do total médio climatológico de precipitação no LNEB das três pântadas consecutivas com o (a) maiores valores de chuva e (b) menores.....	55
Figura 14. Classificação dos regimes pluviométricos, a) distribuição das estações classificadas em 3 grupos para Roraima e b) distribuição das estações classificadas em 2 grupos para LNEB. ....	57
Figura 15. Ciclo anual em pântadas para a) Grupos de Roraima e b) Grupos do LNEB. ....	58
Figura 16. Pântadas de início, fim e duração da PEC e EC para a) GS, b) GC e c) GN. Linhas pontilhadas grossas indicam o início e fim de cada período e sombreado em cores indicam a duração para ambas as estações. ....	61
Figura 17. Pântadas de início, fim e duração da PEC e EC para a) RA e b) RC. Linhas pontilhadas grossas indicam o início e fim de cada período e sombreado em cores indicam a duração para ambas as estações. ....	63
Figura 18. Campo médio de PNM durante a PEC do a) Roraima e de b)LNEB. ....	66
Figura 19. Campo médio de vento em 850 hPa durante a PEC do a) LNEB e de b) Roraima. ....	68
Figura 20. Ciclo interanual dos índices de ATSM das regiões do El Niño e pântadas de início da PEC dos anos de ocorrência da mesma para a) GS, b) GC e c) GN. Linha pontilhada em azul corresponde a pântada do início médio da PEC e em vermelho marca a transição entre índice positivo e negativo da ATSM. ....	73
Figura 21. Ciclo interanual dos índices de ATSM dos setores do ATN e ATS e pântadas de início da PEC dos anos de ocorrência da mesma para a) GS, b) GC e c) GN. Linha pontilhada em azul corresponde a pântada do início médio da PEC e em vermelho marca a transição entre índice positivo e negativo da ATSM. ....	74
Figura 22. Ciclo interanual dos índices de ATSM das regiões do El Niño e pântadas de início da PEC dos anos de ocorrência da mesma para a) RA e b) RC. Linha pontilhada em azul corresponde a pântada do início médio da PEC e em vermelho marca a transição entre índice negativo e positivo da ATSM. ....	75

Figura 23. Ciclo interanual dos índices de ATSM dos setores do ATN e ATS e pântadas de início da PEC dos anos de ocorrência da mesma para a) RA e b) RC. Linha pontilhada em azul corresponde a pântada do início médio da PEC e em vermelho marca a transição entre índice positivo e negativo da ATSM. .... 76

Figura 24. Total anual da pluviosidade do LNEB e Roraima. Tracejado em preto indica a média anual da precipitação pluvial em Roraima e tracejado em vermelho média anual da precipitação pluvial no LNEB. Setas em azul e vermelha identificam os anos cujos totais foram acima e abaixo da média respectivamente para as suas áreas simultaneamente. 77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Correlações das TSM do Pacífico e Atlântico com a Precipitação Pluvial do grupo RA, os sombreados têm significância estatística de 95 % e os sombreados em negrito 99 %.	69
Tabela 2. Correlações das TSM do Pacífico e Atlântico com a Precipitação Pluvial do grupo RC, os sombreados têm significância estatística de 95 % e os sombreados em negrito 99 %.	70
Tabela 3. Correlações das TSM do Pacífico e Atlântico com a Precipitação Pluvial do grupo GS, os sombreados têm significância estatística de 95 % e os sombreados em negrito 99 %.	71
Tabela 4. Correlações das TSM do Pacífico e Atlântico com a Precipitação Pluvial do grupo GC, os sombreados têm significância estatística de 95 % e os sombreados em negrito 99 %.	71
Tabela 5. Correlações das TSM do Pacífico e Atlântico com a Precipitação Pluvial do grupo GN, os sombreados têm significância estatística de 95 % e os sombreados em negrito 99 %.	72
Tabela 6. Correlações entre Roraima e LNEB. Valores sombreados indicam significância estatística de 95 % e valões sombreados e em negrito indicam significância estatística de 99 %.	77

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 .....	35
Equação 2 .....	37
Equação 3 .....	37
Equação 4 .....	39
Equação 5 .....	39

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AS	América do Sul
ASAN	Alta Pressão Subtropical do Atlântico Norte
ASAS	Alta Pressão Subtropical do Atlântico Sul
ASPS	Alta Pressão Subtropical do Pacífico Sul
AST	América do Sul Tropical
AT	Atlântico Tropical
ATN	Atlântico Tropical Norte
ATS	Atlântico Tropical Sul
ATSM	Anomalia de Temperatura da Superfície do Mar
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
CFSR	Climate Forecast System Reanalysis
CJNEB	Corrente de Jato do Nordeste Brasileiro
CPC	Climate Prediction Center
EC	Estação Chuvosa
ECMWF	European Center for Medium - Range Weather Forecast
ENOS	El Niño-Oscilação Sul
GC	Grupo do Centro
GN	Grupo do Norte
GS	Grupo do Sul
GPCP	Global Precipitation Climatology Project
HS	Hemisfério Sul
HN	Hemisfério Norte
JBNC	Jato de Baixos Níveis do Caribe
JBNCH	Jato de Baixos Níveis do Choco
LI	Linhas de Instabilidade
LNEB	Leste do Nordeste Brasileiro
NAS	Norte da América do Sul
NCEP	National Centers for Environment Prediction
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
ODP	Oscilações Decenais do Pacífico
OL	Ondas ou Distúrbios Ondulatórios de Leste
PEC	Pré-estação chuvosa

PNM	Pressão ao Nível médio do Mar
RA	Regime do Agreste
RC	Regime da Costa
SF	Sistemas Frontais
SMAS	Sistema de Monções da América do Sul
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	20
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	22
<b>2.1 Objetivo Geral</b> .....	22
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	22
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	23
<b>3.1 Sistemas atmosféricos atuantes no setor LNEB</b> .....	23
<b>3.2 Sistemas atmosféricos atuantes no Estado de Roraima</b> .....	25
<b>3.3 Sistemas de Monções na América do Sul</b> .....	27
<b>3.4 O papel dos oceanos Atlântico e Pacífico Tropical na variabilidade climática da América do Sul</b> .....	29
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	32
<b>4.1 Áreas de estudo</b> .....	32
<b>4.2 Dados Utilizados</b> .....	34
<b>4.2.1 Dados de Precipitação Pluvial</b> .....	34
<b>4.2.2 Dados dos campos atmosféricos e oceânicos</b> .....	35
<b>4.3 Métodos utilizados</b> .....	35
<b>4.3.1 Início e Fim da PEC e EC</b> .....	36
<b>4.3.2 Relação entre TSM e precipitação nas áreas de estudo.</b> .....	37
<b>4.3.3 Relação entre Roraima e LNEB</b> .....	39
<b>4.3.4 Medida de distância e agrupamento</b> .....	39
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	41
<b>5.1 Ciclo anual da precipitação em pêntadas para Roraima e LNEB</b> .....	41
<b>5.1.1 Máximo e mínimo de precipitação em pêntadas para Roraima</b> .....	41
<b>5.1.2 Máximo e mínimo de precipitação em pêntadas para o LNEB</b> .....	43
<b>5.1.3 Caracterização dos padrões de PNM das pêntadas de destaque para Roraima e LNEB</b> .....	45
<b>5.1.4 Caracterização dos padrões de vento das pêntadas de destaque para Roraima e LNEB</b> .....	48
<b>5.1.5 Espacialização da precipitação total máximo e mínimo em pêntadas para Roraima e LNEB</b> .....	52
<b>5.2 Análise de agrupamento para Roraima e LNEB</b> .....	56
<b>5.3 Início, fim e duração da PEC e EC dos grupos de Roraima e LNEB</b> .....	59

<b>5.4</b>	<b>Caracterização atmosférica média do período de PEC dos grupos de Roraima e do LNEB</b>	<b>65</b>
<b>5.5</b>	<b>Influência dos oceanos nas precipitações pluviais do LNEB e Roraima.</b>	<b>68</b>
<b>5.6</b>	<b>Relação entre a precipitação pluvial do LNEB e Roraima.</b>	<b>76</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO E SUGESTÕES</b>	<b>79</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>81</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O conhecimento dos regimes pluviométricos de uma região é primordial para o planejamento das atividades humanas. O Estado de Roraima e o litoral Leste do Nordeste Brasileiro (LNEB) possuem um padrão sazonal similar e diferente do período chuvoso de outras regiões brasileiras que apresentam a Estação Chuvosa (EC) nos meses de verão e outono austral, ou seja, durante o regime de monções da América do Sul (AS), enquanto que Roraima e o LNEB têm a EC no fim do outono e durante o inverno do Hemisfério Sul (HS).

O litoral nordestino segundo Amorim et al., (2014), a precipitação é concentrada preferencialmente entre os meses de abril a julho, e que, os sistemas atmosféricos que atuam sobre o norte do litoral leste diferem dos que atuam no sul da Bahia (BERNARDO E MOLION, 2004). Os totais pluviométricos médios anuais do litoral LNEB variam entre 1000 mm/ano a 2300 mm/ano, ressalta-se, que nas áreas do Agreste dos Estados do Rio Grande do Norte até a Bahia o regime de precipitação também ocorre no período do fim do outono e na estação de inverno, com totais anuais variando de 500 mm/ano a 1500 mm/ano (ARAÚJO E SOUSA, 2012). Portanto, em relação ao regime de precipitação o LNEB engloba as áreas do Litoral, Zona da Mata e Agreste.

Diferentemente do restante da Amazônia Brasileira, o Estado de Roraima localizado no extremo norte do Brasil, tem sido pouco estudado, entretanto suas florestas tropicais são o lar de várias comunidades ameríndias, abriga uma variedade enorme de biodiversidade. A distribuição espacial da precipitação pluvial é heterogênea sobre o Estado, decrescendo de sul para nordeste. O trimestre mais chuvoso concentra-se, sobretudo de março a maio no sul e de junho a agosto no norte (BARBOSA, 1997). O Estado apresenta um total anual que fica entre 1100 à 1400 mm no norte e nordeste, 1700 e 2000 mm na faixa centro/leste de Roraima que atravessa a zona de transição savana-floresta-floresta de altitude, enquanto que no sul e sudoeste, onde as florestas são úmidas de baixo relevo o total médio anual é superior a 2000 mm e de baixa variabilidade sazonal (BARBOSA, 1997).

Embora o LNEB e Roraima possuam geografias diferentes as mesmas posicionam-se próximo a faixa equatorial do globo, e essas condições lhes permitem em relação ao ciclo anual se destacar do restante do Brasil. Roraima tem a maior parte do seu

território no Hemisfério Norte (HN) e sua posição geográfica estratégica lhe possibilita que os sistemas atmosféricos atuem em períodos diferentes da maior parte da Amazônia (BARBOSA, 1997 e SILVA et al., 2015), enquanto o LNEB tem a seu favor a maritimidade e a ação frequente de sistemas atmosféricos de inverno austral, principalmente aqueles ligados ao regime de ventos (RAO et al., 1993; SILVA et al., 2011; ARAÚJO E SOUSA, 2012 e PEREIRA E CAVALCANTI, 2014).

A variabilidade interanual e interdecenal da precipitação sobre Roraima e LNEB é causada por mudanças que ocorrem na circulação de grande escala na atmosfera. Os fenômenos aceitos, e bem documentados, causadores de variações climáticas no Nordeste Brasileiro e Roraima, e em outras partes do planeta, são o evento El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e as Anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (ATSM) do Atlântico Tropical (AT) que interferem nas circulações zonais, Célula de Walker, e meridional, Célula de Hadley (KOUADIO et al., 2012 e ARAÚJO et al., 2013). Essas variações permitem que a região passe por anos com secas severas ou mesmo com chuvas excessivas os quais podem causar prejuízos à agricultura, o abastecimento de água e a economia das regiões, sobretudo, no LNEB (FREIRE et al., 2011; LUCENA et al., 2011; KOUADIO et al., 2012 e SILVA et al., 2015).

Pelo exposto, torna-se salutar investigar as possíveis relações dos regimes de precipitação pluvial de Roraima e do LNEB, em escala de tempo interanual, anual e sazonal, principalmente as variabilidades interanuais dos totais de chuvas anuais e da EC e PEC, bem como averiguar a interação destas variabilidades com os sistemas de escala sinótica e grande escala que produz as precipitações no LNEB e Roraima. A presente pesquisa tem como alvo realizar estas tarefas, como é mostrado nos próximos cinco capítulos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

- No Brasil as únicas áreas com estação chuvosa de abril a julho são o Estado de Roraima e a região LNEB, que estão distante aproximadamente 3000 km. Além disso, ambas as áreas apresentam grande variabilidade interanual da precipitação, Portanto, o objetivo geral desta pesquisa é investigar se os sistemas produtores de precipitação destas áreas atuam em fase ou fora de fase, ou seja, os anos chuvosos e secos em Roraima são os mesmo do LNEB ou são invertidos ou não apresentam nenhuma relação.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Entender porque essas regiões apresentam EC fora do período das chuvas de monções.
- Compreender os sistemas atmosféricos que geram chuvas nestas regiões;
- Investigar possíveis PEC no LNEB e no Estado de Roraima;
- Identificar o início e fim de possíveis PEC;
- Analisar as características atmosféricas que diferenciam as PEC das EC no LNEB e em Roraima;
- Analisar a variabilidade interanual do início e fim da EC do LNEB e Estado de Roraima.
- Correlacionar a variabilidade interanual da precipitação entre LNEB e Roraima.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Nesta seção serão apresentados os estudos recentes e clássicos sobre os sistemas atmosféricos de cada região, assim como o Sistema de Monções da América do Sul (SMAS) e variabilidade interanual da precipitação para o setor do LNEB e para o Estado de Roraima associada aos oceanos. O LNEB tem uma vasta documentação a respeito da climatologia da precipitação, porém poucos são recentes. O levantamento de estudos científicos para Roraima irão se concentrar em sistemas produtores de chuva no Norte da América do Sul (NAS), países vizinhos e Amazônia Brasileira.

#### **3.1 Sistemas atmosféricos atuantes no setor LNEB**

Em um estudo pioneiro feito por Strang (1972), confirmado por Bernardo e Molion (2004), enfatizado por Araújo e Sousa (2012) e mais recentemente por Pereira e Cavalcanti (2014) mostraram que o setor leste do litoral do Nordeste Brasileiro possui máximos de precipitação no trimestre de maio, junho e julho. Corroborando com estes trabalhos, os estudo de Aragão et al. (2013) e Silva et al. (2014) apontam que o LNEB apresentam diferenciações climáticas do restante do nordeste. Como o Nordeste Brasileiro localiza-se no extremo leste da AS, na faixa tropical, este está sob a influência de alguns sistemas meteorológicos, que permite atribuir características climáticas particulares.

Um importante sistema que atua durante o máximo de precipitação no outono e inverno no LNEB são as Ondas ou Distúrbios Ondulatórios de Leste (OL) (FERREIRA E MELO, 2005; SILVA et al., 2011; VAZ, 2011; ARAÚJO E SOUSA, 2012 e SANTOS et al., 2012). Essas ondas se formam devido a perturbações no campo de pressão atmosférica na região tropical do globo, e agem principalmente na faixa de atuação dos ventos alísios, sendo mais bem configurado em médios níveis da troposfera e à elevada Temperatura da Superfície do Mar (TSM) (COUTINHO E FISCH, 2007). A frequência das OL na costa LNEB foi estudada por Vaz (2011) e o mesmo contabilizou nos anos de 1999 a 2009 um total 113 casos de OL no outono e 117 no inverno, e assim concluiu que este sistema atua principalmente durante o período chuvoso da região e segundo Silva (2011) apresenta baixa variabilidade interanual, sendo este responsável por mais de 70% das chuvas na quadra chuvosa da costa LNEB (SILVA, 2011). Em alguns casos as OL

podem causar chuvas pesadas de poucas horas no litoral nordestino, como ocorrido em Salvador – BA no dia 12 de junho de 2006 (SANTOS et al., 2012). A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) nos trópicos representa papel crucial na determinação dos regimes de precipitação (TOMAZIELLO, 2014) e no LNEB a ação desse sistema é um importante produtor de chuvas no litoral norte no outono do HS, onde é observada a posição mais austral, ocorrendo de março-abril (REBOITA et al., 2010 e CARVALHO E OYAMA, 2013). Ocasionalmente, a ZCIT pode influenciar o tempo na parte mais central em direção ao Estado de Alagoas no setor LNEB de forma, muitas das vezes indireta, ou seja, algumas nebulosidades se “soltam” da região de convecção principal e chegam a algumas áreas do sul do LNEB (COELHO et al., 2004; SILVA et al., 2011; ARAÚJO E SOUSA, 2012).

As chuvas ocasionadas pelo Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) no LNEB (GAN E KOUSKY, 1982) são dependentes de sua posição, isto porque, os movimentos ascendentes de ar são observados nas bordas oeste e norte, e causam inundações, enquanto no centro do vórtice, movimentos subsidentes causam tempo estável região abaixo (PINHO et al., 2010; BRITO et al., 2011; COSTA et al., 2013 e COSTA et al., 2014). A formação é associada a circulação da Alta da Bolívia e condições atmosféricas (COUTINHO et al., 2010). Os VCAN têm duração de aproximadamente 10 dias com maior frequência em janeiro e fevereiro (GAN, 1982; SILVA E LIMA, 2001). Associado ao VCAN foi identificado por Gomes (2003) uma Corrente de Jato do Nordeste Brasileiro (CJNEB) próximo a Alagoas, a atuação é durante todo ano, mas com variações sazonais, sendo abaixo dos 30 m/s no verão e outono e, acima de 30 m/s no inverno e primavera. Posteriormente Campos e Federova (2006) estudaram a influência desses CJNEB em Alagoas, e encontraram chuvas leves e fortes, que segundo Costa (2010) e Brito et al. (2011) depende da intensidade e sentido do CJNEB agindo na fronteira do VCAN e recentemente, no estudo de Costa et al. (2013) foi obtido 9,2 VCAN associados a CJNEB com velocidades acima de 20 m/s na periferia do vórtice.

Outro sistema atmosférico que, dependendo da posição pode favorecer a precipitação no litoral LNEB é a Alta Pressão Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). A ASAS é um sistema semipermanente, localizada em aproximadamente 30 °S, associada a circulação geral da atmosfera surgindo devido a Célula de Hadley. Para o litoral LNEB a precipitação é beneficiada quando o anticiclone se encontra situada mais ao sul da sua

posição média e estiver próxima a costa da AS (REBOITA et al., 2010). Bastos e Ferreira (2000) observaram que durante o inverno austral o setor norte da ASAS os ventos são perpendicular ao litoral nordestino e, assim contribui no transporte de umidade do oceano para o continente, como mencionado por Degola (2013). Em contrapartida, se a ASAS afasta-se e posiciona-se mais para o norte o litoral LNEB perde a influência dos ventos desse setor, pois a mesma está enfraquecida e conseqüentemente o transporte de umidade é perdido, isso ocorre no verão (BASTOS E FERREIRA, 2000). Assim, a ASAS reforça a instabilidade na região ajudando na formação de brisas (SODRÉ E FILHO, 2013), o que assume um papel de certo destaque na formação de Linhas de Instabilidade (LI) (TEIXEIRA, 2008). A área costeira principalmente a parte leste experimenta um máximo de precipitação no período noturno até início da manhã devido à circulação de brisa terrestre e a tarde devido às brisas marítimas (KOUSKY, 1980). O estudo de Teixeira (2008) também mostrou que as brisas marítimas podem interagir com outros sistemas atmosféricos, como as OL que alcançam o Ceará após a EC.

Raramente, as ações de sistemas de latitudes altas e médias, tipo Sistemas Frontais (SF) atuam sobre a costa LNEB (SILVA et al., 2011). Entretanto, os SF ou seus remanescentes propagam-se para latitudes mais baixas (KOUSKY, 1979), a importância desse sistema aumenta de norte para sul no litoral (ARAÚJO E SOUSA, 2012) e chegam à região principalmente nos meses de verão do HS (FERREIRA E MELLO, 2005; ARAÚJO E SOUSA, 2012, PEREIRA E CAVALCANTI, 2014). Sistemas meteorológicos de menor escala também são importantes como, por exemplo, aquecimento radiativo da superfície (REBOITA et al., 2010), e atividades convectivas que desenvolvem o Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM), os quais causam intensa precipitação (MADDOX, 1980, 1983; ALVES et al., 2001, REBOITA et al., 2010 e SILVA et al., 2011).

### **3.2 Sistemas atmosféricos atuantes no Estado de Roraima**

A literatura em relação a sistemas atmosféricos indutores de precipitações sobre o Estado de Roraima é deficiente e em maior parte antigo. Logo este item vai trazer sugestões baseadas em estudos visadas para a bacia Amazônica e como Roraima localiza-

se quase todo o seu território no HN, estudos das características atmosféricas do NAS podem ser expandidas para o Estado.

Figueroa e Nobre (1990) foram um dos primeiros a apresentaram uma análise do padrão pluviométrico na região oeste da América do Sul Tropical (AST), no qual, os mesmos procuraram associar a distribuição espacial e temporal com os aspectos dinâmicos da circulação atmosférica. De um modo geral os autores expuseram que os máximos de precipitação no NAS concentram-se principalmente no verão boreal (junho, julho e agosto), forçadas principalmente pela marcha latitudinal da ZCIT. A variabilidade espacial pode ser atribuída à geografia da região, ou seja, os Andes e o Escudo das Guianas são fatores físicos que desempenham um papel importante nos padrões espaciais das chuvas.

O principal sistema que induz precipitação no NAS e conseqüentemente em Roraima é a ZCIT (BARBOSA, 1997, AGOSTINHO, 2000; BESERRA NETA E SILVA, 2004; REBOITA et al., 2010; BOVOLO et al., 2012; TAVARES, 2014, RINGARD et al., 2015 e SILVA et al., 2015), esta migra sazonalmente com sua posição mais ao norte preferencialmente em agosto-setembro (REBOITA et al., 2010 e CARVALHO OYAMA, 2013), coincidindo com a EC de algumas regiões da América Central e Caribe (HASTENRATH E POLZIN, 2013). A existência de dois jatos foram identificados por alguns autores (entre eles: POVEDA et al., 1999; POVEDA et al., 2006; HASTENRATH E POLZIN, 2013 e SIERRA et al., 2015) e contribuem efetivamente o ciclo anual das chuvas, principalmente no Caribe e NAS. O primeiro é o Jato de Baixos Níveis do Caribe (JBNC) que é o resultado essencial dos ventos ao longo do flanco sul da Alta pressão Subtropical do Atlântico Norte (ASAN) em combinação a intensificação do gradiente meridional de pressão na região caribenha (KARMALKAR et al., 2013). O segundo é conhecido como Jato de Baixos Níveis do Choco (JBNCH) estudado por Poveda et al. (2014) e documentado anteriormente em outro estudo de Poveda et al. (1999). Particularmente o JBNCH localiza-se no nível de 925 hPa cerca de 5° N, forçado a ascender mecanicamente devido a topografia a oeste dos Andes e interage com os ventos alísios de nordeste, desenvolvendo uma profunda convecção principalmente sobre a Colômbia e Venezuela (POVEDA et al., 2006).

O papel do JBNCH no desenvolvimento de CCM é fundamental no NAS e foi discutido por Poveda et al. (2006). Os autores mostraram que os CCM apresentam uma

forte sazonalidade, sendo mais numerosos de abril a agosto e menor quantidade em novembro até fevereiro. Observaram também que os CCM apresentam certo deslocamento meridional com concentração mais ao norte nos meses de inverno austral e ligeiramente mais ao sul no inverno boreal (POVEDA et al., 2006) e em regiões próximo a Roraima esses sistemas podem agir em associação indireta da ZCIT (TAVARES, 2014). LI tropicais são observados e foram citados por Reboita et al. (2010) como um sistema de menor escala juntamente com outros como: Convecção Local devido ao aquecimento radiativo da superfície, circulação de brisa e os CCM tropicais. Sistemas sinóticos como SF do HS ou vestígios são importantes, mas raramente alcançam a região equatorial, este vai gerar correntes perturbadas de sul atingindo a calha Norte do Rio Amazonas, caso o anticiclone seja bastante poderoso, em poucas ocasiões, pode empurrar a frente para além do equador (FORTUNE E KOUSKY, 1983 e AGOSTINHO, 2000).

O clima na AS é controlado principalmente pelos movimentos sazonais dos sistemas de alta pressão do norte e sul do Atlântico e do Pacífico (BOVOLO et al., 2012). A ASAN é dominante ao NAS e juntamente com a ASAS regulam o campo de ventos e a localização da ZCIT (HASTENRATH E POLZIN, 2013 e AMADOR E ALFARO, 2014). Quando a ASAN está mais intensa os ventos sobre o Caribe e costa do Amapá, Guianas e Venezuela provocam redução das precipitações nas regiões sob o domínio do setor sul da ASAN, exceto na região costeira do NAS (BOVOLO et al., 2012). Sobre Roraima a ASAN pode conduzir um tempo altamente estável principalmente na porção central e norte-nordeste do Estado (AGOSTINHO, 2000, BESERRA NETA E SILVA, 2004 e SILVA et al., 2015). Por fim, de acordo com o estudo de Mitro (2010) dirigido para Suriname, as correlações entre a ASAS e as chuvas no país são negativas na média anual e variável espacialmente e temporalmente na média mensal, enquanto a ASAN tanto a média anual quanto mensal apresentaram-se negativas, ou seja, quando o núcleo da alta está intenso as chuvas são reduzidas, ao passo que, quando está menos intenso as chuvas sobre o país são elevadas.

### **3.3 Sistemas de Monções na América do Sul**

A AST está sob o domínio de vários sistemas atmosféricos que atuam em conjunto ou não, porém a característica mais importante é o SMAS. O conceito das monções

basicamente é a reversão sazonal dos ventos em grande escala devido ao gradiente de temperatura entre o continente e o oceano (CHEN, 2003). E na AS essa reversão foi observada primeiramente por Zhou e Lau (1998) a partir dos compósitos de verão e inverno. Vera et al. (2006) justifica que a reversão não é mais evidente porque a diferença de temperatura entre as estações de verão e inverno são pequenas.

Quando os núcleos de convecção do extremo NAS se deslocam para a região central da Amazônia o SMAS é iniciado e termina com o regresso desse núcleo para o norte do continente (LIEBMANN E MARENGO, 2001; GAN et al., 2004; MECHOSO et al., 2005; VERA et al., 2006 e MARENGO et al., 2012). A mediana de início do SMAS foi estudada por Bombardi e Carvalho (2008) utilizando dados do *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP) chegaram ao resultado de que na Foz do Rio Amazonas a EC é no fim de outubro (pêntada 60) enquanto que o LNEB e algumas regiões do Norte do Brasil (incluindo Roraima) tem início na pêntada 20 (entre 10 e 14 de abril). E o início do SMAS também pode ter relação com os movimentos sazonais e a intensidade da ASAS. Quando a ASAS está deslocada para leste a Pressão ao Nível médio do Mar (PNM) na região sul do Brasil diminuía e os fluxos de leste passavam a ser de noroeste ao longo da Cordilheira do Andes contribuindo para a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), ao passo que, quando a pressão aumenta sobre a região extratropical, a ASAS retorna a posição mais próxima ao continente Sul Americano e os fluxos mudam de direção novamente, e sobre o Nordeste Brasileiro esses passam de nordeste para leste (RAIA E CAVALCANTI, 2008).

De acordo com Ferreira e Gan (2011) as monções na AS têm fases ativa e inativa. Herdies et al. (2001) notaram que o período ativo está relacionado com a ZCAS e o período inativo acontece geralmente quando a ZCAS está ausente e ocorre redução das chuvas sobre AS. Essas variações no SMAS estão associadas as anomalias dos ventos. Sendo que as anomalias dos ventos de oeste estão ligadas aos períodos ativos, ao passo que, as anomalias dos ventos de leste aos períodos inativos (JONES E CARVALHO, 2002). Essas características foram contabilizadas por Ferreira e Gan (2011), no qual, observaram 46 casos de SMAS ativos e 71 casos de SMAS inativos nos 30 anos analisados.

A respeito da variabilidade interanual do SMAS Ferreira e Gan (2011) concluíram que as fases ativas e inativas não mostraram resultados claros relacionados ao ENOS.

Mas anteriormente, Grimm (2003) notou que a precipitação associada à circulação de monções na AS pode ser alterada pelos eventos do El Niño. Recentemente Silva e Kousky (2012) concluíram que o ENOS impacta significativamente as monções na AS e consequentemente as precipitações. As variabilidades multidecadais como as Oscilações Decenais do Pacífico (ODP) são dominantes no SMAS principalmente no inverno austral, conforme Garcia (2006) e mais tarde, Liebmann e Mechoso (2011) comentaram que a variabilidade do SMAS ocorre principalmente quando há anomalias na ZCAS que podem também ser associadas a um padrão de dipolo do Atlântico e alterações devido a Oscilação de Madden-Julian, fazendo-se mover mais para leste em um intervalo de tempo de 30-60 dias. Fundamentalmente, as variações do SMAS parecem ser associadas a uma circulação continental na porção mais ao sul da AS, que afeta a posição e intensidade da ZCAS (MECHOSO et al., 2005). Mechoso et al. (2004; 2005) concluem ainda que a massa continental, a orografia e a TSM definem as características do SMAS.

Por fim, Marengo et al. (2012) e Silva e Kousky (2012) resumiram a circulação atmosférica durante o SMAS. Em altos níveis uma circulação anticiclônica domina a região tropical e subtropical da AS, enquanto que a circulação ciclônica prevalece em latitudes mais baixas ao leste do Pacífico Sul e centro do Atlântico Sul (ATS). Em níveis mais baixos têm-se: sistema de alta pressão sobre os oceanos subtropicais do Pacífico e Atlântico, sistema de baixa pressão (Baixa do Chaco) e Jatos de Baixos Níveis.

### **3.4 O papel dos oceanos Atlântico e Pacífico Tropical na variabilidade climática da América do Sul**

Variabilidades interanuais, interdecenais e multidecenais na AST são moduladas por anomalias na circulação atmosférica que, por sua vez sofre perturbações devido às condições da TSM anômala (MOURA et al., 2000; MOURA et al., 2009; ARAÚJO et al., 2013; SANTOS et al., 2013 e SOUSA et al., 2015). Essas interações influenciam direta e indiretamente os sistemas atmosféricos que impactam na qualidade das monções. As ATSM dos oceanos Pacífico Equatorial e AT são as variáveis físicas que afetam significativamente as precipitações na região da AST (ANDREOLI et al., 2012).

Um modo meridional de variabilidade da TSM do Atlântico foi identificado por diversos autores na década de 70 e 80 (HASTENRATH, 1976; HASTENRATH E HELLER, 1977; HASTENRATH, 1978 e MOURA E SHUKLA, 1981). Este modo inter-hemisférico, denominado Padrão de Dipolo, apresenta ATSM ligeiramente opostos sobre as bacias Norte e Sul do AT (SOUZA E NOBRE, 1998). Isso gera gradiente térmico e de pressão à superfície. O Dipolo do Atlântico influencia no deslocamento, duração e intensidade da ZCIT sobre o oceano Atlântico Equatorial e, por conseguinte o clima e a distribuição temporal e espacial das precipitações em várias áreas da AS como foi observado por Kayano et al. (2013), Amorim et al. (2014), Bombardi et al. (2014), Polzin e Hastenrath (2014) e Albuquerque e Cavalcanti (2015). Outro fenômeno vastamente estudado é o ENOS que tem como pioneiro Bjerknes (1969). A ocorrência de El Niño e La Niña é indicada através da TSM. Quando há anomalias de TSM positiva no Pacífico Equatorial diz-se que se tem El Niño e, o oposto é verdadeiro, ou seja, quando há anomalias negativas de TSM nessa região ocorre a La Niña (ARAÚJO et al., 2013 e KAYANO et al., 2013). A principal resposta atmosférica afetada por esses fenômenos é a Célula de Walker (Circulação Zonal), que em anos de El Niño desloca para o leste toda a convecção equatorial, e o ar subsidente desta célula fica sobre a Amazônia, Nordeste Brasileiro e oceano adjacente (WANG, 2002), enquanto, nos períodos de La Niña ocorre uma intensificação do ramo ascendente da Célula de Walker no Pacífico Tropical Oeste e intensificação do ramo descendente sobre o Pacífico Tropical Leste.

Ao reexaminar as anomalias de precipitação no Nordeste Brasileiro Andreoli e Kayano (2007) entenderam que quando ocorre simultaneamente ENOS e ATSM no Atlântico agem positivamente ou negativamente as precipitações, e ainda que quando há anomalias de TSM de mesmo sinal no AT e no Pacífico Equatorial, os padrões normais de precipitação são enfraquecidos no Nordeste Brasileiro. De modo similar Custódio (2014) verificou que o gradiente anômalo de TSM inter-hemisférico apresenta-se mais importante na modulação de chuvas no nordeste e NAS. Já as variações interanuais do Pacífico atuaram no sentido de enfraquecer as secas e diminuir o gradiente meridional, afetando a posição da ZCIT e enfraquece os ventos. Assim coerente com o estudo de Sousa et al. (1998), Kouadio et al. (2012) e Amorim et al. (2014) os padrões de TSM do Atlântico na EC do Nordeste Brasileiro é relativamente maior quando comparada com a influência do Pacífico, que interfere mais fortemente no padrão espacial das chuvas no LNEB (AMORIM et al., 2014).

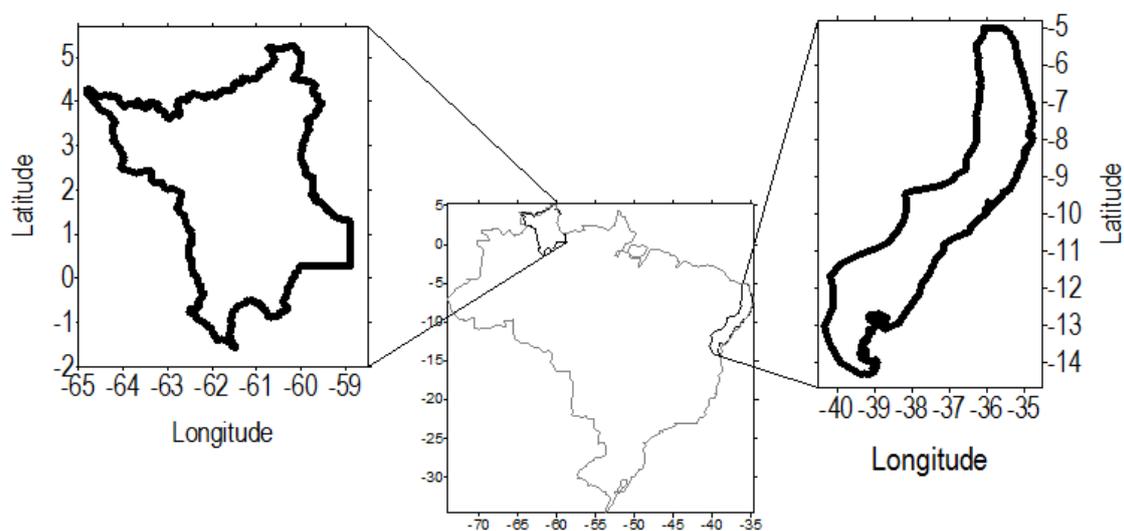
No NAS as fases do ENOS são igualmente significativas com coeficientes de correlação entre a precipitação do Estado de Roraima e anomalias de TSM no Pacífico Equatorial Central de 0,7 no período de La Niña e -0,6 no El Niño em dezembro-janeiro-fevereiro e de 0,8 e -0,6 para La Niña e El Niño respectivamente em junho-julho-agosto (RONCHAIL et al., 2002). Durante o El Niño o NAS sofre com o enfraquecimento do JBNCH que diminui a quantidade de CCM (POVEDA et al., 2006). De acordo com Kayano et al. (2013) o ATS influencia fortemente o padrão de chuvas no norte e nordeste da AS, o que foi anteriormente confirmado por Ronchail et al. (2002) foi notado por estes autores que em relação às ATSM do Atlântico quando há resfriamento da TSM os índices pluviométricos no NAS são anormalmente baixos.

Tanto o El Niño como o gradiente inter-hemisférico de ATSM no AT (Padrão de Dipolo) são fatores importantes e uma interpretação amplamente aceita é que a variabilidade de TSM do AT seja a forçante dominante das anomalias de precipitação no Nordeste Brasileiro e NAS, como demonstrado nos resultados de Custódio (2014), enquanto que a influência remota do Pacífico, em determinadas ocasiões pode reforçar ou enfraquecer as anomalias de precipitação.

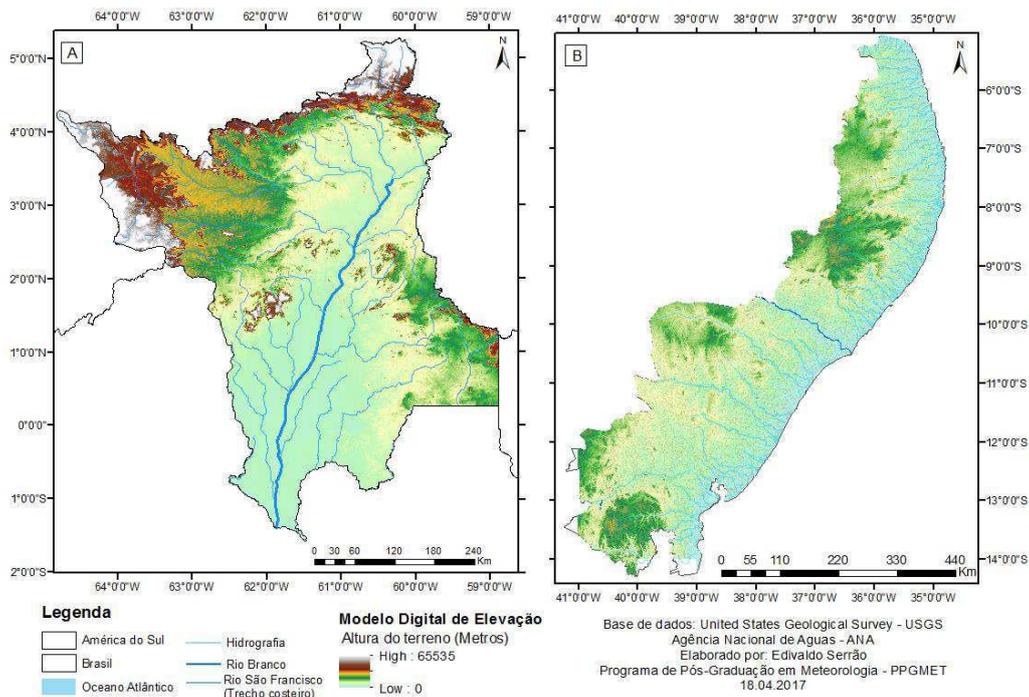
## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Áreas de estudo

Nesta pesquisa foram selecionadas duas áreas de estudo ilustradas na Figura 1. A primeira denominada de LNEB que engloba a Zona da Mata e parte do Agreste dos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, quase todo Estado de Alagoas e todo o Sergipe, além de uma grande área do leste da Bahia, e a segunda área é o Estado de Roraima localizado entre a faixa latitudinal de 5,5°N a 2°S e na faixa longitudinal de 58,5°O a 65°O com capital Boa Vista totalmente no HN. Seus limites são ao norte e noroeste com Venezuela, ao leste com Guiana, ao sudeste com Pará e sul e oeste com o Amazonas. As áreas possuem relevo suave, mas apresentam planaltos e montanhas (figura 2). O LNEB tem a existência do planalto da Borborema (figura 2b) e Roraima (figura 2a) o monte Roraima que é o de maior altitude com 2.875 m seguido por Monte Caburai com 1.465 m e a Serra Parima de altitude moderada (600 m).

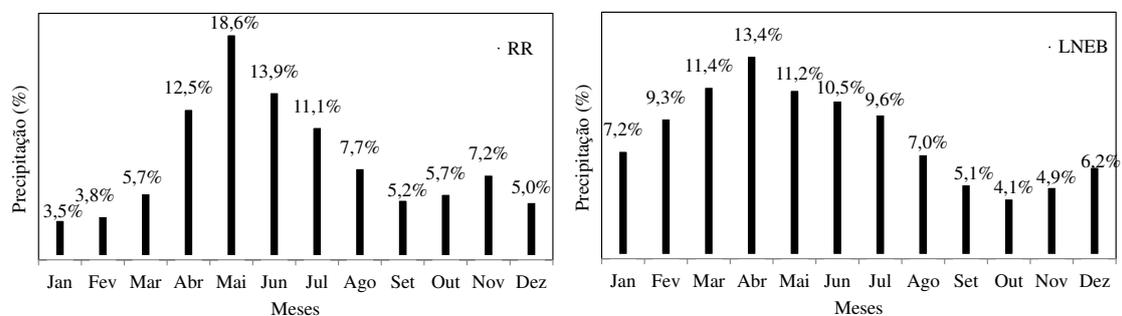


**Figura 1.** Mapa do Brasil com destaque nas áreas de estudo, Roraima e LNEB.



**Figura 2.** Mapa do relevo para a) Roraima e b) LNEB com as respectivas hidrologia.

O LNEB e Roraima foram selecionados por apresentar o período chuvoso na mesma época do ano, com maior volume de chuva em três meses consecutivos de abril a junho. Na Figura 3 é possível observar a partir dos dados de *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) que o trimestre chuvoso do LNEB mostra 36 % das chuvas concentradas em março, abril e maio, período concernente com resultados encontrados por Amorim et al. (2014), porém com porcentagem maior de 43,2 % a partir de dados de GPCP e Roraima concentra 45 % das chuvas nesse trimestre, porcentagem semelhante ao resultado de Barbosa (1997) que encontrou 35-40 % para o sul do Estado.



**Figura 3.** Porcentagem da precipitação mensal em relação ao total anual para Roraima (a) e LNEB (b) com dados de CFSR.

## 4.2 Dados Utilizados

### 4.2.1 Dados de Precipitação Pluvial

Neste estudo foram utilizados dados de precipitação diária acumulada do período entre 1 de janeiro de 1979 a 31 de dezembro de 2013 provenientes do CFSR do NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*) da NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) (SAHA et al., 2010). O CFSR é um projeto com dados de alta resolução global, acoplado oceano-atmosfera-continente e leva em consideração superfícies de gelo do mar e continentais para fornecer a melhor estimativa das variáveis meteorológicas e estão disponíveis no website: [globalweather.tamu.edu](http://globalweather.tamu.edu) (THE TEXAS A&M UNIVERSITY SPATIAL SCIENCES, GLOBAL WEATHER, 2012).

O conjunto de dados CFSR consiste de previsões de hora em hora que são gerados pelo NCEP. O CFSR inclui em cada hora tanto os dados de previsão, prevista a partir da análise anterior (no tempo  $t - \Delta t$ ) e os dados da análise utilizada para reinicializar os modelos de previsão ( $t$ ), que utiliza informações da rede de estação meteorológica global, produtos derivados de satélite e radiosondagens (SAHA et al., 2010 e DILE E SRINIVASAN, 2014). Incremento  $\Delta t$  é de 6 h por convenção, mas pode a princípio, ser mais curto ou mais longo (SAHA et al., 2010). A resolução horizontal é de 38 Km e o objetivo é fornecer uma ampla resolução temporal.

Os dados de reanálises CFSR supera as versões anteriores de reanálises como NCEP-DOE e NCEP-NCAR (SIERRA et al., 2015; 2016). Fuka et al., (2013) sugeriram que ao utilizar dados de CFSR para modelar pequenas bacias hidrográficas com microclimas diferentes (Estados Unidos e Etiópia) obtiveram uma performance melhor de simulações de previsão do que usando dados meteorológicos observados. Para Dile e Srinivasan (2014) os dados de CFSR utilizados para modelagem hidrológica do Alto Rio Nilo na Etiópia também se mostrou bastante eficaz podendo dependendo do estudo substituir dados de estações meteorológicas que obtenham erros.

#### 4.2.2 Dados dos campos atmosféricos e oceânicos

O banco de dados do projeto Era-Interim provenientes do ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecast*) (DEE et al., 2011) com resolução horizontal de 111 Km que foram utilizados para análise dos campos físicos sobre a AS. O período de dados é o mesmo daqueles usados para precipitação (1 de janeiro de 1979 a 31 de dezembro de 2013) e consiste em dados diários. Assim os campos que foram analisados nesse estudo são além da pressão atmosférica e vento em superfície nas componentes zonal e meridional considerando o nível de 850 hPa.

Para os dados dos índices de El Niño, que é a ATSM no Pacífico Equatorial distintas áreas correspondentes a cada Niño. As quais são: Niño 1+2 latitude de 0° a 10°S e longitude de 90°O a 80°O; Niño 3 que engloba a área de latitude 5°N a 5°S e longitude 150°O a 90°O; Niño 4 compreendendo a localização geográfica de 5°N a 5°S de latitude e 160°L a 150°O de longitude e por último Niño 3.4 abrangendo a área de 5°N a 5°S de latitude e 170°O a 120°O de longitude. O período de dados foram de 1982 à 2013 e estão disponível no site do CPC (*Climate Prediction Center*) NCEP/NOAA<sup>1</sup>.

Os dados de ATSM do AT são provenientes de duas áreas, a norte, denominada Atlântico Tropical Norte (ATN), e a sul, com a sigla ATS. Assim, definida pelo CPC/NCEP/NOAA: ATN latitude de 5°N a 20°N e longitude de 60°O a 30°O e ATS latitude 0° a 20°S e longitude 30°O a 10°E. O período de dados compreendem os anos de 1982 à 2013 e também estão disponível no site do CPC/NCEP/NOAA<sup>2</sup>

#### 4.3 Métodos utilizados

A série de precipitação de 01 de janeiro 1979 a 31 de dezembro de 2013 foram calculadas em pântadas contínuas e não sobrepostas a partir de dados diários, contabilizando 73 pântadas para cada ano e para cada área de estudo, assim também foi calculada uma climatologia pentadal totalizando uma única série com 73 pântadas para Roraima e outra série para o LNEB. A partir da série climatológica da precipitação

---

<sup>1</sup> <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices>

<sup>2</sup> <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.atl.indices>

calculam-se os totais de três pântadas consecutivas e sobrepostas para revelar as três pântadas seguidas com total máximo e mínimo de precipitação pluvial (denominadas pântadas “chaves”) de Roraima e do LNEB e por seguinte para cada conjunto de pântada chave em cada área é calculado as condições atmosféricas médias referentes a eles. Posteriormente as 35 séries pântadais foram utilizados para calcular o início e fim da PEC e da EC para as áreas de estudo.

#### 4.3.1 Início e Fim da PEC e EC

Foram determinadas as pântadas que representam a ocorrência de PEC e EC a partir da precipitação acumulada em cinco dias de acordo com a metodologia de Bombardi e Carvalho (2009) que adaptaram o método de Liebmann e Marengo (2001) para encontrar o início e fim de cada período chuvoso. Basicamente os autores analisaram a soma do desvio (S) da pântada climatológica de acordo com a Equação 1. Quando a derivada  $dS/dt$  torna-se constantemente positiva é caracterizado como o início do período chuvoso, ao passo que,  $dS/dt$  torna-se progressivamente negativa é indicado como o final do período chuvoso. A descrição da Equação 1 diz que  $P_0$  representa o somatório da pântada inicial.  $\bar{P}$  corresponde a média da precipitação em pântadas climatológicas,  $P_i$  é a precipitação observada na pântada  $i$ .

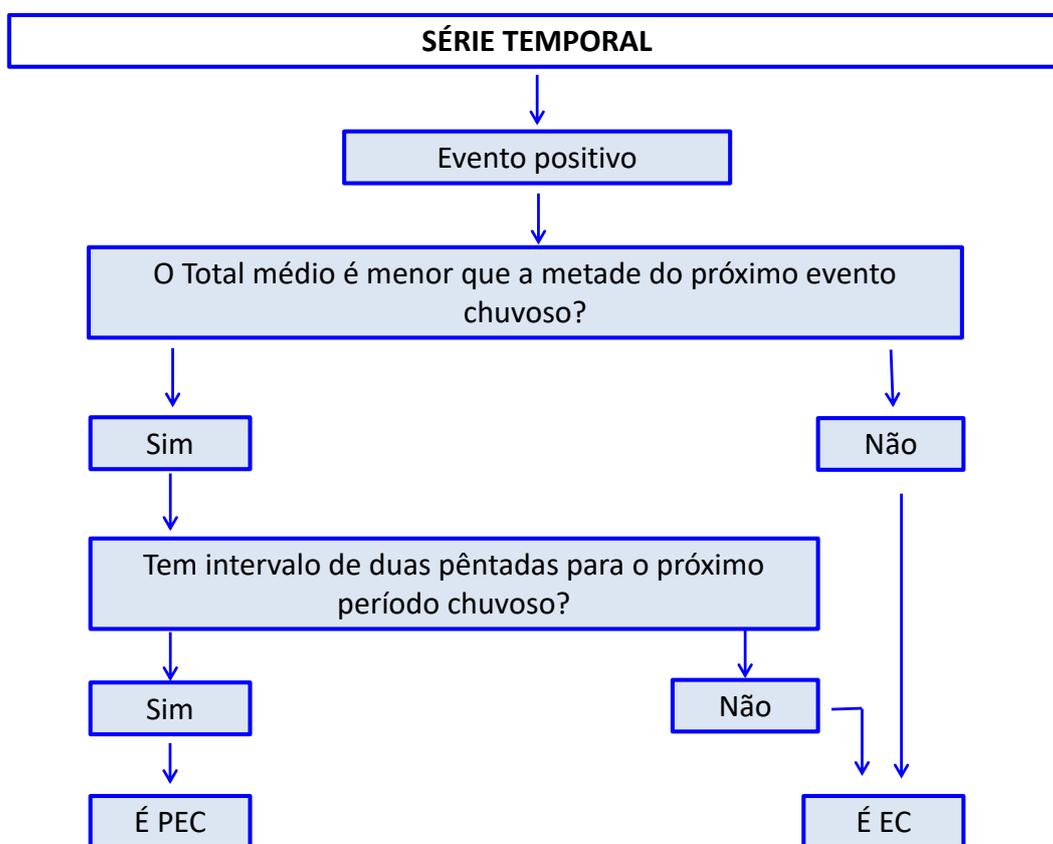
$$S = \sum_{i=P_0}^{73} P_i - \bar{P} \quad (1)$$

Na determinação do fim e início da PEC e EC foram adotados critérios objetivos para separar as mesmas, pois é possível encontrar um intervalo de dias durante a transição dos dois períodos. Os critérios foram àqueles empregados por Vasconcelos Júnior (2014), que consiste em:

1) Os primeiros eventos quando  $dS/dt$  passa a ser positivo o total médio de precipitação deve ser menor que a metade do total médio notado no próximo evento positivo de  $dS/dt$ , por exemplo, ao encontrar dois eventos positivos de precipitação o primeiro só será PEC se o mesmo for menor que a metade do total médio do segundo evento chuvoso, no entanto, esse critério, apenas mostra que existe dois eventos com

precipitação elevada e nada mais, portanto, faz-se necessário o segundo critério que separe melhor a PEC e a EC que é:

2) No início do segundo evento é necessário que tenha um intervalo de pelo menos duas pênadas após o fim do primeiro evento. Ao final desta avaliação, se a série não satisfaz os critérios, os dois eventos são considerados PEC, enquanto que a EC será avaliada nas próximas pênadas, ainda sim, não encontrando uma EC dentro da série, o primeiro evento positivo será dito como EC (figura 4). De certo, talvez não seja possível determinar uma PEC para um ano, com esses critérios.



**Figura 4.** Esquema representativo das etapas de critérios para a identificação da PEC.

#### 4.3.2 Relação entre TSM e precipitação nas áreas de estudo.

A fim de avaliar a relação entre os oceanos e a precipitação nas áreas de estudo, foram correlacionadas a TSM e precipitação total anual e total para a EC, como os resultados são baseados em correlações, realiza-se uma análise de significância estatística dos mesmos, utilizando o Teste t de Student. Para a determinação das séries de correlação

foram utilizadas as TSM das áreas do El Niño e de cada setor do Atlântico descritos na seção 4.2.2. Já a precipitação foi calculada o total médio para os grupos de Roraima e os grupos do LNEB. Em sequência, no intuito de avaliar a influência da ATSM nos anos de ocorrência da PEC foram plotadas as datas de início da PEC e os índices de ATSM com ‘lag’ de 3 meses de antecipação para o início da PEC, ou seja, foram utilizados a média de TSM dos meses de novembro, dezembro e janeiro das áreas do El Niño e dos setores do Atlântico e subtraído da média de TSM do total de anos dos dados oceânicos que é de 1982-2013 (32 anos) em comparação a pênstada inicial da PEC.

Ressalta-se que na presente pesquisa a relação entre a TSM, das diversas áreas dos Niños (Niño 1+2, Niño 3, Niño 4 e Niño 3.4) no Pacífico Equatorial e das do AT (ATN e ATS), e a precipitação, totais anuais e das EC das três regiões homogêneas de Roraima e das duas do LNEB, foi estimada pelo coeficiente de correlações de Pearson, dada pela Equação 2, abaixo:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}\right) \left(\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n}\right)}} \quad (2)$$

em que r é o coeficiente de correlação,  $x_i$  é a TSM média anual ou da EC do ano i,  $\bar{x}$  é a média climatológica da TSM dos 35 anos de dados anual ou da EC,  $y_i$  é a precipitação total anual ou da EC,  $\bar{y}$  é a média climatológica da precipitação dos 35 anos de dados total anual ou da EC, n é o número total de anos de dados, neste caso 35.

A significância estatística dos coeficientes de correlações foi estimada pelo teste t de Student, calculado pela seguinte formula:

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

em que n - 2 representa o número de grau de liberdade, n é o número total de pares de valores (TSM e precipitação pluvial), que no caso específico desta pesquisa é 35 (35 anos de dados), e 2 é o número de parâmetros estatísticos estimados necessários para calcular o coeficiente de correlação de Pearson. Portanto, o número de grau de liberdade é 33. Assim, caso o t calculado pela Equação 3 for superior a 2,74 o coeficiente de correlação r apresenta significância estatística de 99%, se for superior a 2,04 e inferior a 2,74 a

significância estatística é de 95%, caso seja inferior a 2,04 diz que  $r$  não tem significância estatística. Outras informações sobre coeficiente de correlação de Pearson e teste  $t$  de Student podem ser obtidas em Spiegel e Stephens (2009).

### **4.3.3 Relação entre Roraima e LNEB**

Para finalizar, foram calculadas as correlações entre as precipitações totais anuais e do período chuvoso (EC) das áreas de estudo no intuito de verificar se as mesmas possuem relações negativas ou positivas em termos de variabilidade interanual e mensal. Dessa forma, foram calculados o total anual de Roraima e LNEB e o total mensal das duas áreas e calculado o coeficiente de correlação de Pearson. Para tanto se usou a Equação 2, sendo  $x$  a precipitação em Roraima e  $y$  a do LNEB. Para consistência estatísticas calculou-se a significância estatística usando o Teste  $t$  de Student (equação 3) e os mesmos critérios da subseção 4.3.2.

### **4.3.4 Medida de distância e agrupamento**

Análise de agrupamento ou clustering é uma técnica numérica usada para encontrar indivíduos semelhantes e incluí-los em um grupo seguindo as características que estes objetos possuem (LANDAU E CHIS STER, 2010). A técnica para separar os indivíduos e realocá-los em um mesmo grupo segue algum critério pré-estabelecido (LINDEN, 2009). No caso deste estudo os grupos homogêneos de precipitação foram divididos de acordo com a semelhança entre a sazonalidade de cada ponto. As planilhas foram organizadas em  $m \times n$ , no qual,  $m$  são as linhas onde se encontra os postos e  $n$  são as colunas, em que foram organizados os dados de precipitação em pântadas. A geração dos grupos homogêneos foi obtida em duas etapas:

- A primeira etapa constituiu a definição da medida de distância  $d$ , no intuito de estabelecer similaridades entre os pares de elementos.
- Na segunda etapa procede a escolha dos diferentes tipos de metodologias (algoritmos) de agrupamento que melhor se encaixa nos dados em questão.

Após o tratamento dos dados pluviométricos foi então feita a identificação das regiões cuja precipitação seja semelhante e assim definir regiões climáticas de Roraima e LNEB. Para tal, neste estudo utilizou-se a medida de distância Euclidiana, conforme Equação 2 para definir os grupos homogêneos, e o aglomerativo hierárquicos de Ward (WARD, 1963) definida pela Equação 3 para a construção do dendograma. Especificamente  $k$  é o agrupamento em o qual, se está analisando,  $n$  é o número total de elementos do agrupamento  $k$  e  $x_i$  é o  $i$ -ésimo objeto do agrupamento  $k$ .

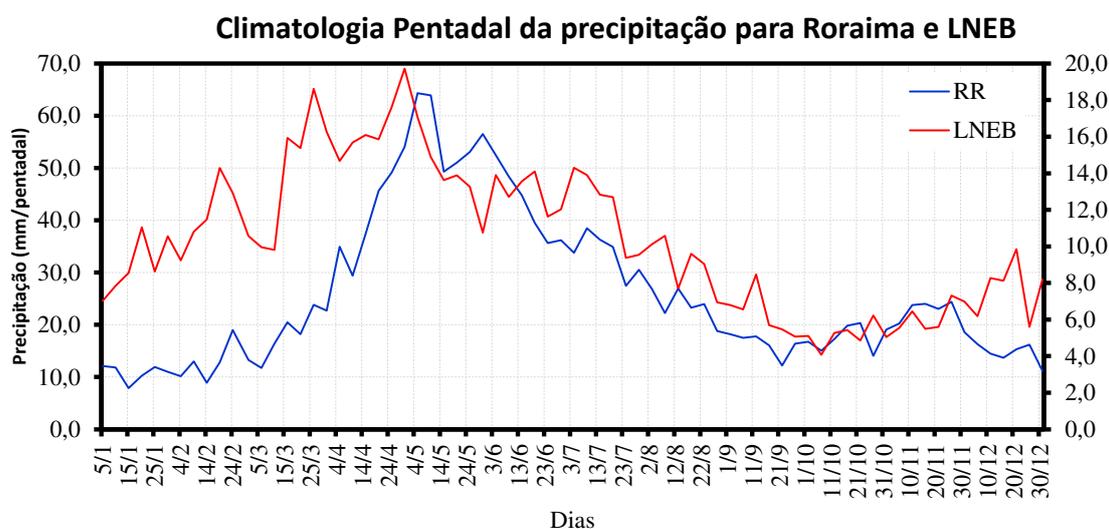
$$d_2(x, y) = \left[ \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$ESS_k = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \quad (5)$$

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Ciclo anual da precipitação em pântadas para Roraima e LNEB

Inicialmente são apresentadas as médias espaciais dos ciclos sazonais climatológicos pentadais da precipitação para Roraima e o LNEB (figura 5). Comparando as curvas da precipitação é possível observar que as mudanças da estação seca para a chuvosa, que ocorre em ambas na primeira metade do ano, são ligeiramente diferentes entre as duas regiões, enquanto que na segunda metade do ano, na transição da EC para seca, as curvas assemelham-se. Para Roraima a transição entre as estações seca para a chuvosa ocorre de maneira brusca, isso sugere que os sistemas de tempo atuantes na região são mais concentrados, ou mais prolongados nesse semestre e são semelhantes às monções, ou seja, aumento abrupto da precipitação e retorno relativamente lento. Por outro lado, no LNEB a mudança de estação ocorre mais gradual, sugerindo a atuação nos primeiros meses do ano de mais de um sistema de tempo atuando paralelamente.



**Figura 5.** Climatologia pentadal da precipitação para Roraima e o LNEB.

#### 5.1.1 Máximo e mínimo de precipitação em pântadas para Roraima

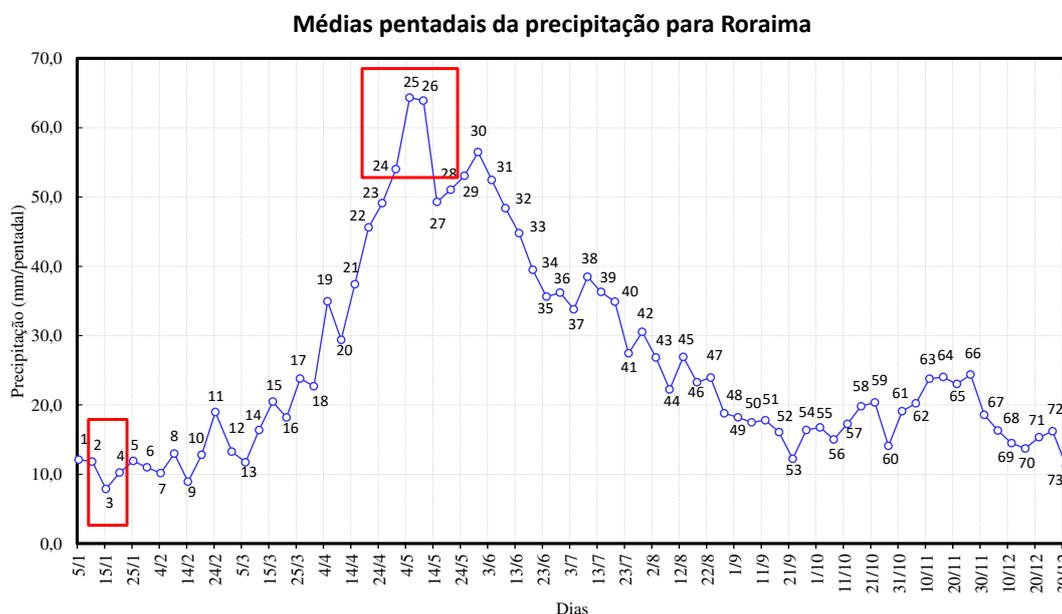
A climatologia em pântadas para o estado de Roraima é observada na Figura 6 que evidencia as três pântadas consecutivas de precipitação mínima (dentro da estação seca) e a de máxima precipitação (dentro da EC). A mesma segue uma variabilidade

sazonal com maiores totais médios de abril a junho e menores totais em dezembro e fevereiro. Este resultado são parcialmente parecidos com aqueles encontrados por Mourão Júnior et al. (2003), pois os meses de início para cada estação neste estudo apresenta-se com um mês de antecipação. Talvez essa discordância possa ser justificada pela diferença de região de estudo, que para este foi uma média de todo o Estado, enquanto para o estudo de Mourão Júnior et al. (2003) foi para uma área específica no centro-sul de Roraima.

As pântadas destacadas em vermelho na Figura 6 revelam as três pântadas consecutivas de maior pluviosidade, a saber, pântadas 24, 25 e 26 que correspondem ao período que vai de 26 de abril a 10 de maio, com total médio de 182,3 mm, tendo a pântada 25 (de 1 a 5 de maio) com maior valor (64,3 mm), enquanto que os menores totais pluviométricos foram encontrados nas pântadas 2, 3 e 4 que compreendem os dias entre 2 a 20 de janeiro com total médio de 30,0 mm, sendo o menor total na pântada 3 (11 a 15 de janeiro) com 7,9 mm. O ciclo anual apresenta uma estrutura bimodal com dois máximos de chuvas, concernente com resultados de Ringard et al. (2015), que observaram dois períodos chuvosos e dois períodos secos para o sul de Roraima e Guiana Francesa. O primeiro máximo ocorre de abril-junho considerado o período mais chuvoso que se inicia preferencialmente em maio e um secundário que se encontra no mês de novembro (pântadas 62, 63, 64, 65, 66 e 67), também observado nos resultados de Ringard et al. (2015).

A EC em Roraima está associada à ZCIT que, nos meses de verão boreal posiciona-se mais ao norte e apresenta-se mais intensa entre 5 °N e 10 °N (WALISER E GAUTIER, 1993 *apud* TOMAZIELLO, 2014), provocando grandes volumes de chuvas, ao passo que, nos meses de inverno no HN a ZCIT está ausente, o que conseqüentemente diminui a pluviosidade. O máximo secundário pode também está relacionado aos movimentos da ZCIT como explicado por Poveda et al. (2006), Ringard et al. (2015) e pelos resultados de Modelos de Circulação Geral analisado por Sierra et al. (2015). A posição transitório de Roraima à marcha sazonal da ZCIT pode ser a razão de sua submissão a dois períodos chuvosos, ou seja, sob a influência dupla da ZCIT na troca de hemisfério. Outras regiões das Américas assemelham-se a esse comportamento como, por exemplo, as ilhas do Caribe (HASTENRATH E POLZIN, 2013 e HIDALGO et al., 2016), Venezuela (LYON, 2002) e Suriname (NURMOHAMED E NAIPAL, 2006 e

MITRO, 2010), que em parte é relacionada a passagem dupla da ZCIT (KARMALKAR et al., 2013).



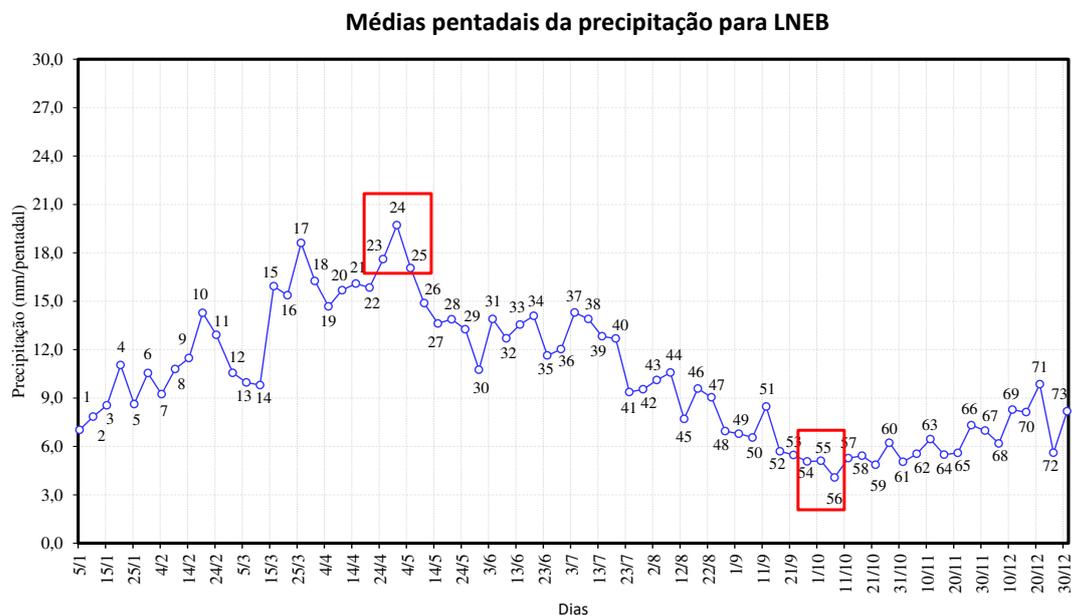
**Figura 6.** Macha anual do total médio climatológico da precipitação em pântadas para o Estado de Roraima.

### 5.1.2 Máximo e mínimo de precipitação em pântadas para o LNEB

Para a região LNEB o período chuvoso ocorre de abril a julho (figura 7), concernente com a climatologia apresentada por Molion e Bernardo (2002). O ciclo anual é unimodal, ou seja, um período chuvoso e outro seco. As pântadas com destaque em vermelho na Figura 7, aqui denominadas de pântadas “chaves”, são as de maiores e menores totais pluviométricos de três pântadas consecutivas. As pântadas 23, 24 e 25, exibem o maior total médio da precipitação em pântadas climatológicas para todo LNEB, apresentando um total de 54,4 mm, no período de 21 de abril a 05 de maio. O menor total médio climatológico de precipitação de três pântadas consecutivas é de 14,2 mm, verificado no período das pântadas 54, 55 e 56, ou seja, de 23 de setembro a 07 de outubro, sendo o menor total de 4,1 mm na pântada 56, compreendendo os dias 03 a 07 de outubro.

A precipitação verificada em abril no LNEB é decorrente da atuação indireta da ZCIT e também de alguns SF austrais. Por outro lado, o aumento no total pluviométrico

de maio a julho está relacionado à atuação de OL (PEREIRA E CAVALCANTI, 2014), que ocorrem em maior número no início do inverno com maior frequência no mês de junho (VAZ, 2011), e causam distúrbios no campo de pressão podendo aumentar a quantidade de nuvens convectivas para a região. Entretanto, apenas este sistema não seja o responsável por todo o período chuvoso, talvez outro sistema, associado a este e mais importante para o prolongamento do período chuvoso da região seja a intensidade e a extensão da ASAS. Esta beneficia significativamente o litoral LNEB principalmente pela atuação dos ventos no setor norte. Bastos e Ferreira (2000) comentam que os ventos nesse setor quando passam a ser perpendiculares a costa LNEB pode contribuir para o transporte de umidade, porém esse transporte depende da posição da ASAS como discutido por Reboita et al. (2010), a ASAS posicionando mais ao sul de sua posição climatológica e próximo ao continente intensificam os ventos de sudeste e leste o que pode aumentar significativamente a entrada de umidade LNEB. Nos meses entre o fim do outono e austral a alta subtropical está mais alongada longitudinalmente coincidindo com a EC do LNEB.



**Figura 7.** Macha anual do total médio climatológico da precipitação em pênadas para o LNEB.

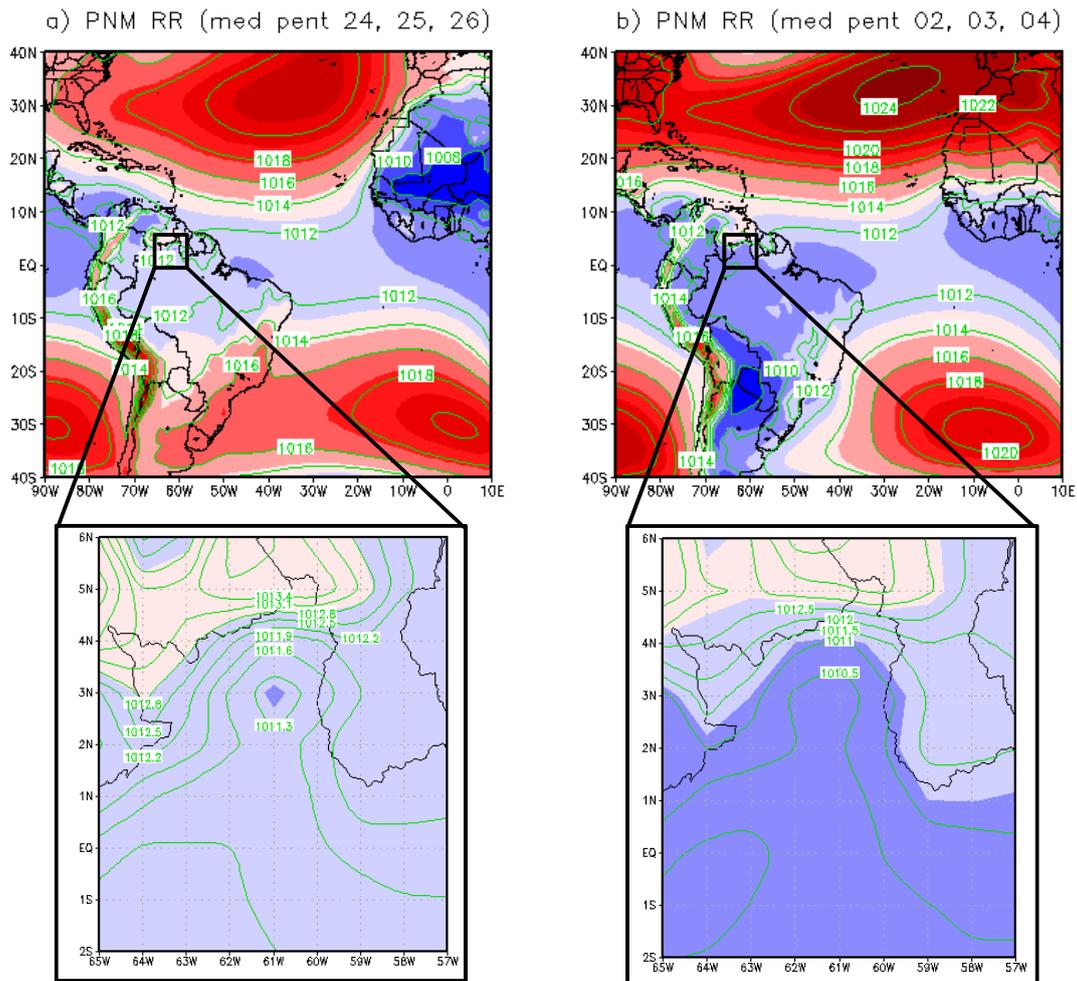
### 5.1.3 Caracterização dos padrões de PNM das pântadas de destaque para Roraima e LNEB

Os padrões espaciais de PNM (superfície) climatológicos das pântadas de destaque em Roraima (figura 6) e LNEB (figura 7) para a AS e oceano Atlântico são apresentados na Figura 8a e b e Figura 9a e b para valores de maiores e menores pluviosidades respectivamente. Os campos revelam a configuração do centro da ASAS e ASAN e sua influência sobre o continente Sul Americano.

A ASAS na média das pântadas 24, 25 e 26 (figura 8a) apresenta-se com centro mais afastado da AS e com valor de pressão de 1020 hPa, a posição é em torno de  $10^{\circ}\text{E}$  a  $0^{\circ}$  e de  $30^{\circ}\text{S}$ . A mesma mostra-se alongada longitudinalmente influenciando principalmente o sul da AS com valores de 1016 hPa acoplando-se com a Alta Pressão Subtropical do Pacífico Sul (ASPS), apesar que durante o inverno austral a ASAS encontrar-se fortalecida e expandida em direção a ASPS (FRANCA, 2011), essa configuração é observada antecipadamente, ou seja, no meio do outono austral. A ASAN tem centro de máxima pressão espacialmente maior posicionado próximo costa oeste do continente europeu e noroeste do continente africano com valor de 1022 hPa alongando-se de  $20^{\circ}\text{W}$  até aproximadamente  $50^{\circ}\text{W}$  entre as latitudes de  $25^{\circ}\text{N}$  a  $45^{\circ}\text{N}$  (figura 8a). Já a região tropical é dominado por pressões atmosféricas de 1012 hPa zonalmente estendido não ultrapassando as latitudes de  $10^{\circ}\text{N}$  e  $10^{\circ}\text{S}$  no oceano Atlântico e região tropical da AS, ao passo que sobre a África a região de domínio da PNM compreende as latitudes de  $20^{\circ}\text{S}$  e  $30^{\circ}\text{N}$ , tendo alguns centros de 1010 hPa e 1008 hPa.

Similarmente analisado, a Figura 8b mostra o padrão espacial de PNM para as pântadas mínimas e apresenta a ASAS ligeiramente deslocado para oeste com centro máximo de 1020 hPa entre as longitudes de  $10^{\circ}\text{W}$  e  $0^{\circ}$  e dispõe-se latitudinalmente em direção a ASAN com pouca influência sobre a AS exceto sobre a extensão da costa do Brasil com isóbaras de 1012 hPa. De acordo com Franca (2011) a ASAS tem sua posição mais ocidental nos meses de verão, na qual, apresenta-se mais fraca e com área de influência mais reduzida, neste estudo é possível observar que a mesma em janeiro permanece relativamente próxima ao continente, e com área reduzida. Nota-se que a Alta dos Açores encontra-se estendida no sentido oeste-leste com núcleo mais intenso (1024 hPa) posicionada sobre a costa oeste do continente africano e europeu, essa configuração revela um gradiente meridional inter-hemisfério intenso direcionado para norte. A maior

parte da AS é dominada por baixas pressões (1012 hPa), porém alguns núcleos de baixas pressões ainda podem ser notados sobre o Paraguai, Bolívia e parte oeste da Argentina com valores de 1010 hPa e 1008 hPa, onde se observa a Baixa do Chaco. E sobre o Estado de Roraima observa-se que a região está sob o domínio transitório de PNM de valores 1010 hPa e 1012 hPa nas médias das pênadas 24, 25 e 26 enquanto durante as pênadas no período seco (02, 03 e 04) Roraima está completamente sob a isóbara de 1010 hPa.



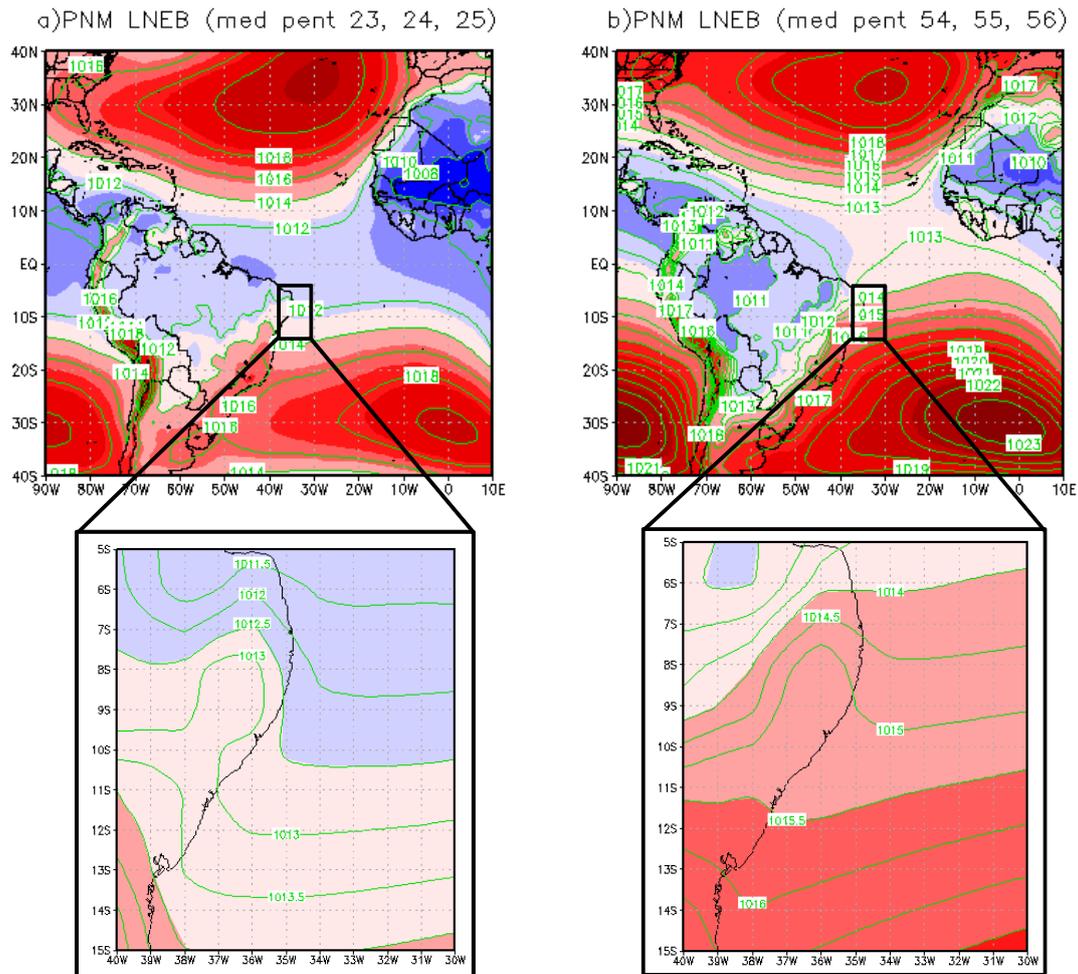
**Figura 8.** Campo de PNM em pênadas climatológicas, período 1979 a 2013, para a média das pênadas 24, 25 e 26 (a) maiores valores de precipitação e 02, 03 e 04 (b) menores valores de precipitação para Roraima.

A Figura 9a e b apresentam as características espaciais de PNM relacionadas às pênadas chaves do LNEB. A posição média dos centros dos Anticiclones Subtropicais

está bem definida sobre a bacia do Atlântico assim como a abrangência espacial do cinturão de baixas pressões na faixa próximo ao equador (figura 9).

O campo da Figura 9a é semelhante ao observado no campo de pressão na Figura 8a, a costa do LNEB está sob baixas pressões no intervalo de 1012 hPa e 1010 hPa. O centro da ASAS encontra-se afastada com valor de pressão de 1020 hPa centrado em  $0^\circ$  e  $30^\circ\text{S}$ , porém a área de abrangência das isóbaras de 1016 hPa e 1014 hPa atingem o interior do continente Sul Americano conectando-se a ASPS entre  $10^\circ\text{S}$  e  $40^\circ\text{S}$ . A posição do centro, apesar de ligeiramente afastado do continente, está favorável a advecção de umidade no setor norte da alta, e, portanto, contribui positivamente as precipitações, como discutido por Reboita et al. (2010), por outro lado, essa configuração da ASAS apresenta um fraco gradiente de pressão associado ao alongamento zonal e ao núcleo reduzido e menos intenso, e isso deve causar na região do LNEB ventos mais fracos, diferente do que comentado por Reboita et al. (2010), ou direção favorável dos ventos, que podem ser perpendicular à costa como destacado por Bastos e Ferreira (2000). A hipótese é que essa configuração da ASAS cause no LNEB convergência e favoreça também as brisas marítimas e contribua para o volume de chuvas na região.

Avaliando o campo de PNM para as três pênadas do período seco do LNEB (figura 9b) fica notável que o núcleo da ASAS está mais intenso e mais expandido em relação as pênadas do período úmido. As isóbaras da ASAS causam um gradiente bastante forte e uma configuração fechada. O núcleo tem valor de pressão de 1023 hPa juntando-se a ASPS somente na isóbara de 1016 hPa em aproximadamente  $30^\circ\text{S}$  a  $40^\circ\text{S}$ . O LNEB também sofre o forte gradiente de pressão estando sob o domínio de duas linhas de pressões, a saber, 1014 hPa e 1015 hPa. A maior parte da AS é dominada por baixas pressões com núcleo mínimo de 1011 hPa sobre a Amazônia. A ASAN encontra-se com núcleo fraco e reduzido, observa-se um gradiente de pressão moderado e um gradiente meridional inter-hemisférico forte direcionado para o sul. Fatalmente a disposição da alta pode está causando uma fraca convergência na região do LNEB devido a esse gradiente mais intenso de pressão que para uma região tão pequena, como o LNEB, faça uma grande diferença, principalmente relacionado ao campo de direção e intensidade do vento que será discutido adiante.



**Figura 9.** Campo de PNM em pântadas climatológicas, período 1979 a 2013, para a média das pântadas 23, 24 e 25 (a) maiores valores de precipitação e 54, 55 e 56 (b) menores valores de precipitação para LNEB.

#### 5.1.4 Caracterização dos padrões de vento das pântadas de destaque para Roraima e LNEB

Os campos de ventos à superfície associadas à PNM para a AS e Atlântico em médias climatológicas das pântadas de destaque (figura 6) para Roraima são exibidos na Figura 10a, no qual, observa total pluviométrico maior e Figura 10b em que, se nota o menor total pluviométrico da série pentadal de precipitação. As Figuras 11a e 11b idem Figura 10a e 10b, mas para o litoral LNEB.

A circulação média das pântadas 24, 25 e 26 (figura 10a) apresenta ventos convergentes entre o equador e 10 °N sobre a parte central da bacia do Atlântico e sobre

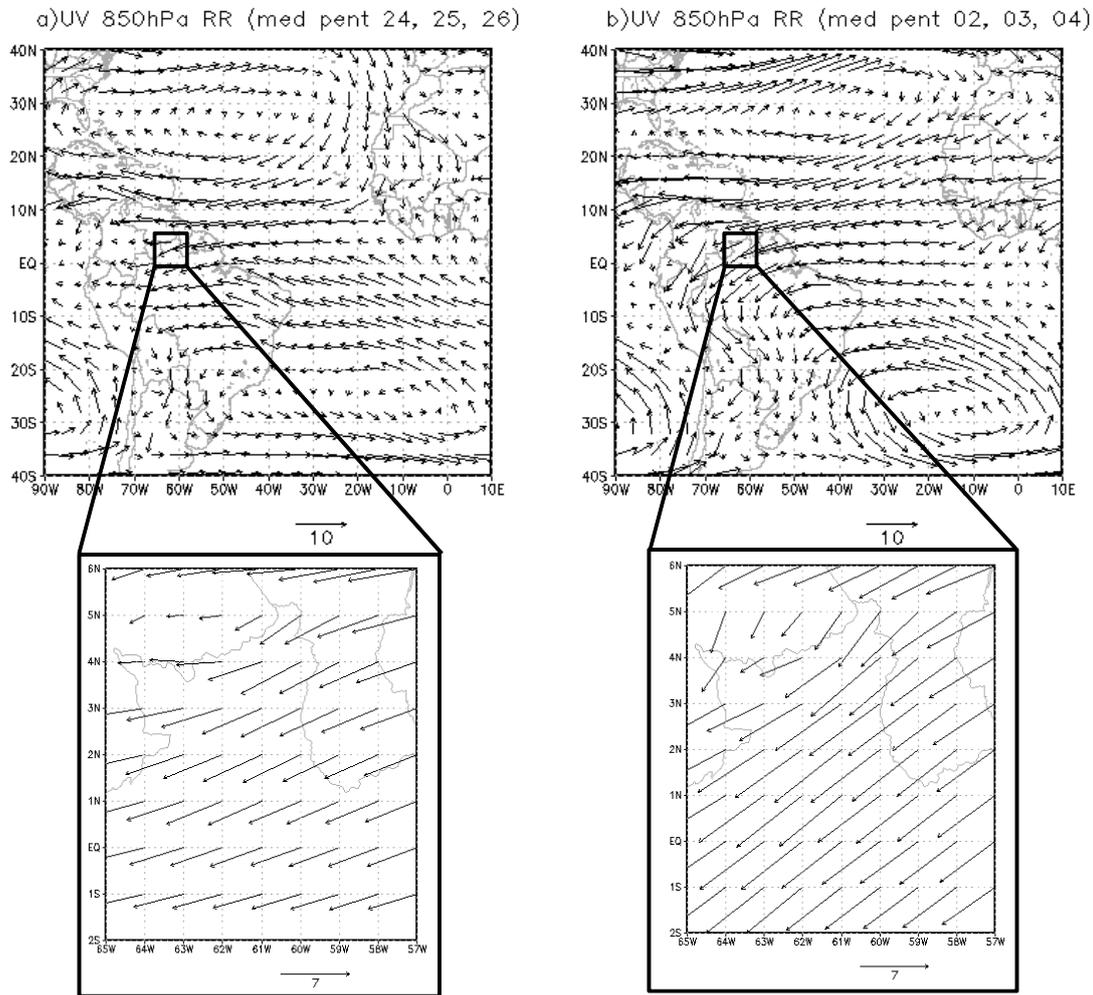
o NAS. A convergência dos ventos nessa região podem indicar a presença da ZCIT em aproximadamente 5 °N influenciando as atividades convectivas favorecendo as chuvas nessa região. Os ventos de sudeste estão mais fortalecidos e ultrapassam o equador em algumas regiões, enquanto os alísios de nordeste estão menos intensos, mudando de direção na América Central. Sobre o norte do Brasil o fluxo é predominante de leste e no extremo norte são preferencialmente de nordeste (figura 10a).

Analisando o campo de vento da Figura 10b é notável uma circulação típica de monções da AS. Observa-se ventos alísios de nordeste intensos superando a faixa equatorial convergindo em direção a Amazônia. Por conta da barreira dos Andes os ventos são defletidos para a parte central do continente, favorecidos pela força de Coriolis. O fluxo transporta umidade do oceano adjacente para a Amazônia e centro do sul da AS dando origem ao Jato de Baixos Níveis que está bem configurado, contribuindo para a formação da ZCAS (SILVA E KOUSKY, 2012).

De um modo geral, os campos apresentam similaridade na direção dos ventos sobre Roraima. Entretanto, avaliando com mais detalhes foi possível verificar que na média pentadal da figura 10a, o fluxo é predominante de leste a norte do Estado, e de nordeste ao sul, enquanto na Figura 10b, no qual, tem-se o total médio pentadal de precipitação menor, os ventos são predominante de nordeste sobre todo o NAS. Além disso, verificando a magnitude dos ventos comparando os dois campos, observa-se que na média das pênadas 24, 25 e 26 os ventos são menos intensos devido ao fraco gradiente de pressão inter-hemisférico (Figura 8a), e na média das pênadas 02, 03 e 04 os ventos apresentam-se mais fortalecidos, o que é concernente com o forte gradiente inter-hemisférico de pressão observado na Figura 8b. A velocidade do vento sendo maior nessa região aparentemente influencia negativamente as chuvas em Roraima, talvez a atmosfera sobre o estado não responda a tempo para a saturação do ar devido a escoamento mais intenso. A intensidade do vento pode ser responsável pela convergência sobre Roraima durante a pênada mais chuvosa e pela divergência na mais seca.

De fato a ausência da ZCIT no NAS proporciona a ASAN maior intensidade dos ventos formados na borda sul da célula do anticiclone do ATN, sendo mais forte sobre o Caribe, costa do Amapá, as Guianas e Venezuela e, geralmente trazem pouca precipitação para estas áreas, exceto no litoral das Guianas conforme Bovolo et al. (2012). Possivelmente, este tipo de configuração é o responsável pelo aumento da velocidade do

vento observado na figura 9b em Roraima bem como, pela diminuição da precipitação no Estado em janeiro e fevereiro.



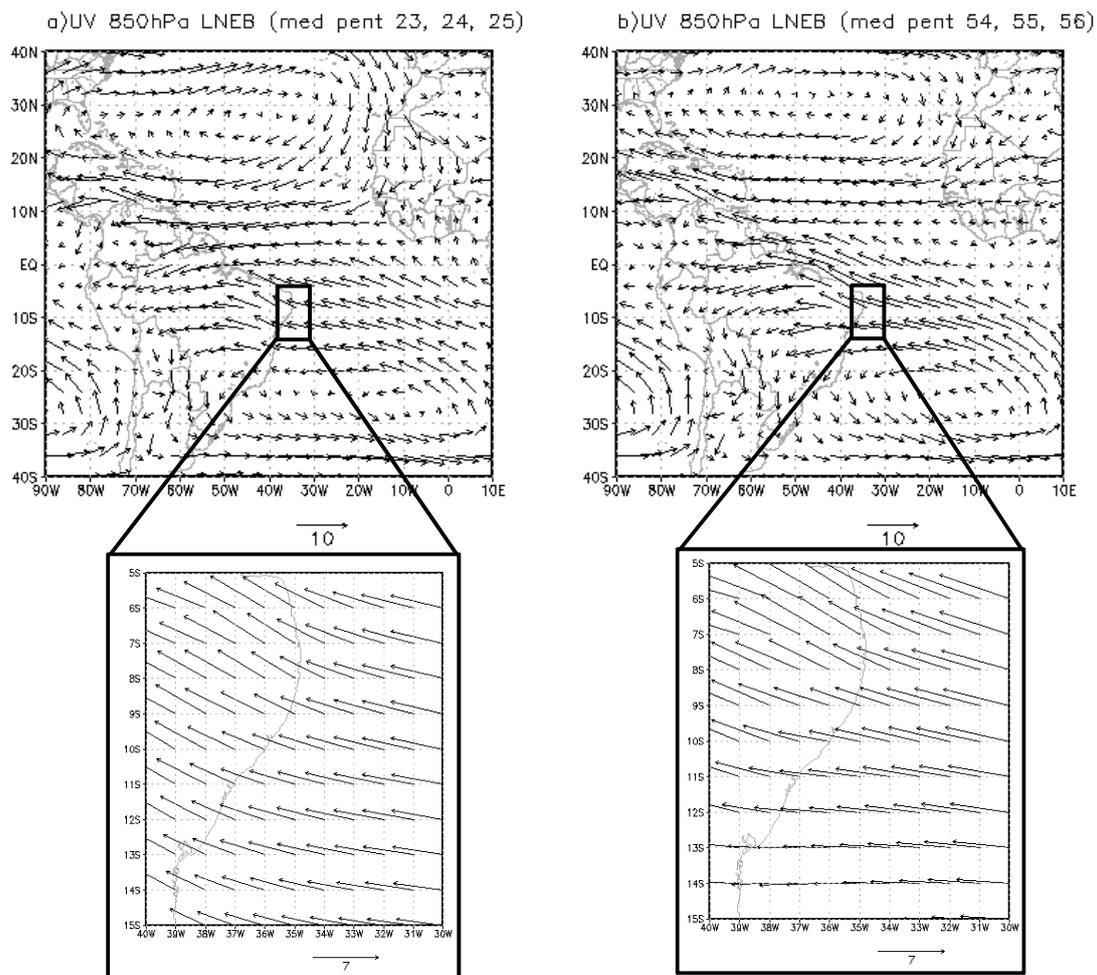
**Figura 10.** Campo de vento em pântadas climatológicas em 850 hPa, período 1979 a 2013, para a média das pântadas 24, 25 e 26 (a) maiores valores de precipitação e 02, 03 e 04 (b) menores valores de precipitação para Roraima.

Para o litoral LNEB os campos de ventos para a média das pântadas 23, 24 e 25 e para as médias das pântadas 54, 55 e 56 são respectivamente apresentados na Figura 10a e b. É possível notar circulações anticiclônicas na latitude de 25 °S e longitude de 30 ° W e outra entre 30 °N e 30 °W (figura 11a) que indicam respectivamente a posição da ASAS e da ASAN. Assim como visto na Figura 10a os campos de ventos convergem em aproximadamente 10 °N sobre o Atlântico e Caribe, associado à convergência dos ventos temos uma ideia da posição aproximada da ZCIT em 5 °N. Logo durante o período de

maior volume pluviométrico no litoral LNEB as chuvas associadas a ZCIT têm influência discreta no LNEB.

Comparativamente, o campo médio das pântadas do período chuvoso da região de estudo tem direção ligeiramente perpendicular à costa LNEB, enquanto que no litoral norte e parte mais central do nordeste a direção é predominantemente de sudeste (figura 11a). Na Figura 11b mostra o campo médio das pântadas mínimas, e nos revela configuração dos ventos ligeiramente parecidos visto na Figura 11a para o LNEB, mas os fluxos são mais intensos em toda a região e ventos de sudeste mais bem definidos. A direção muda ao sul do litoral LNEB que no campo médio de vento nas pântadas mínimas passam a ter predomínio de leste. Analisando este resultado temos que em relação à direção dos ventos esta variável favorece a precipitação quando são perpendiculares à costa e desfavorece a precipitação quando são de leste. A mesma associação foi feita por Rao et al. (1993), estes autores mostraram que durante a EC do LNEB os ventos eram perpendiculares ou de sudeste, ao passo que, na estação seca a direção ou era de leste ou de nordeste. Aparentemente de acordo com o Quadro et al. (1996) estes ventos favorecerem atividades convectivas noturnas associadas com as brisas. Notavelmente os padrões espaciais dos ventos nos dois períodos para o LNEB estão de acordo com as configurações espaciais das pressões, observados nas Figuras 9a e 9b.

Ao que tudo indica apesar de ter sido encontrado padrões de circulação semelhantes entre os campos de vento para os dois períodos, o fato de o fluxo apresentar-se mais intenso pode explicar melhor a diferença entre a EC e seca no litoral LNEB do que a direção desse fluxo, ou seja, fluxos mais intensos causam divergência e fluxo menos intensos causam convergência.



**Figura 11.** Campo de vento em pântadas climatológicas em 850 hPa, período 1979 a 2013, para a média das pântadas 23, 24 e 25 (a) maiores valores de precipitação e 54, 55 e 56 (b) menores valores de precipitação para LNEB.

### 5.1.5 Espacialização da precipitação total máximo e mínimo em pântadas para Roraima e LNEB

As configurações espaciais do total médio de precipitação climatológica das três pântadas consecutivas de maiores e menores totais para o Estado de Roraima são mostradas nas Figuras 12a e 12b, respectivamente. Observa-se que durante as pântadas máximas são encontrados dois núcleo de precipitação intensa (figura 12a). O primeiro ao sul com total de 280,0 mm e o segundo na parte central do norte do Estado com total

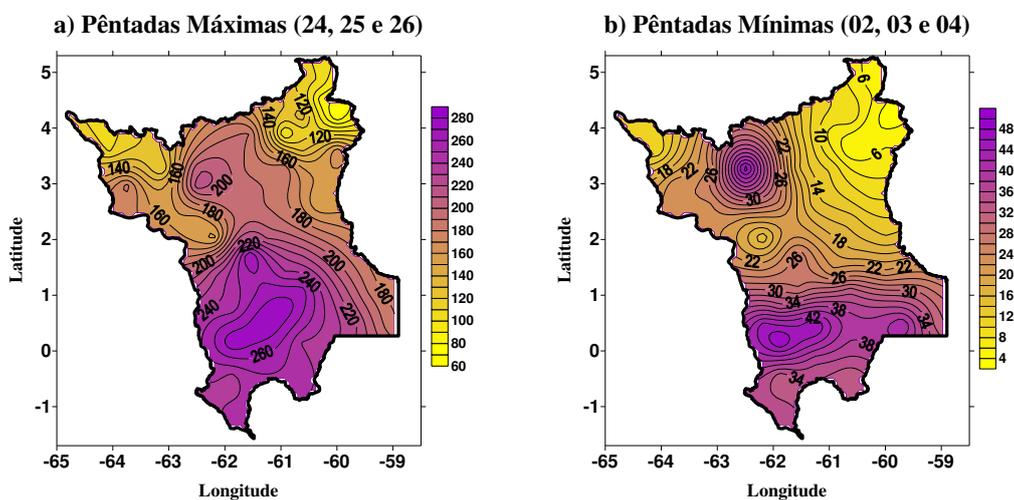
aproximadamente de 230,0 mm. Os mínimos nas pântadas máximas localizam-se no extremo nordeste e noroeste com totais de cerca de 100,0 mm cada. Já durante o período em que as chuvas são reduzidas nota-se que os dois núcleos de precipitação observada no período chuvoso apresentam-se mais fechados principalmente aquele localizado no norte (figura 12b). O núcleo mais ao sul está alongado zonalmente e possui um total 48,0 mm, enquanto que o núcleo mais ao norte um total de 40,0 mm. Os totais mínimos observados foram de 3,0 mm no extremo noroeste, 12,0 mm na parte central e por fim 8,0 mm no extremo noroeste.

De um modo geral é observado que a região apresenta padrões espaciais semelhantes, mas diferenças nos totais pluviométricos bastantes significativos da estação seca para a chuvosa, o que já era esperado. A precipitação observada no verão boreal é explicada pela presença da ZCIT destacado em diversos trabalhos (FIGUEROA E NOBRE, 1990; BARBOSA, 1997; AGOSTINHO, 2000; REBOITA et al., 2010; BOVOLO et al., 2012 e RINGARD et al., 2015), já na estação seca os sistemas dominantes são de pequenas ou escala local (convecção local).

A configuração espacial está relacionada à orografia local (BARBOSA, 1997 e BESERRA NETA E SILVA, 2004) e a proximidade da região da floresta Amazônica. O mínimo no extremo noroeste tem a presença da Serra Parima de altitude moderada (mais ou menos 600 m) e no nordeste a Serra de Pacaraima, onde se encontram o Monte Caburai com 1 465 m e o Monte Roraima com ponto mais alto localizado no extremo sul, que marca 2.875 m. O relevo é um importante mecanismo físico que impacta o microclima local, causando a barlavento da montanha região com alto índice pluviométrico e extensa vegetação, enquanto, a sotavento baixo total pluviométrico e região de vegetação de porte menos elevado. Acontece que na região noroeste do Estado os ventos são predominantes de leste e o fluxo é forçado a ascende a leste da montanha. Assim o ar é resfriado adiabaticamente e favorece a precipitação a barlavento, após esse processo o ar passa para o outro lado da montanha seco e frio e assim não chove ou chove pouco a sotavento da montanha.

O núcleo máximo no sul encontrado nas duas estações está associado à presença da floresta Amazônica que disponibiliza grande quantidade de calor latente para o processo de convecção. Já o núcleo de máxima precipitação secundário entre os dois relevos no norte de Roraima talvez esteja relacionada com brisas de vale-montanha e a

presença do Rio Uraricoera, no noroeste do estado, que no período seco observa-se um núcleo mais intenso do que a sua vizinhança em comparação ao observado no período mais chuvoso. Possivelmente isto é decorrente da pouca precipitação observada no período seco.



**Figura 12.** Configuração espacial do total médio climatológico de precipitação em Roraima das três pêntadas consecutivas com (a) maiores valores de chuva e (b) menores.

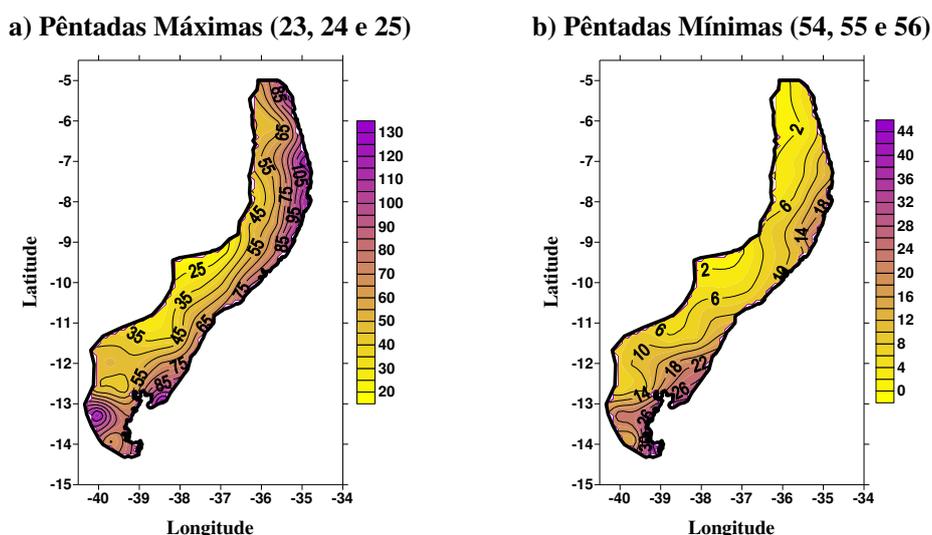
A Figura 13a e 13b mostra o campo espacial do total máximo e mínimo de precipitação respectivamente. Avaliando a distribuição das chuvas na Figura 13a nota-se que toda a extensão costeira do LNEB possui totais pentadais acima de 60,0 mm distribuídos em dois núcleos, um no litoral norte-leste com totais que variam de 85,0 mm e 105,0 mm e outro no extremo sul do LNEB onde apresenta total pluviométrico de 85,0 mm. Em relação ao padrão das chuvas nas pêntadas mínimas o que se destaca são os núcleos no extremo sul mais intenso, onde se observa totais de 26,0 mm a 30,0 mm e outro menos intenso em mais ou menos 9°S e 35°W com valores de precipitação não ultrapassando 18,0 mm. Notavelmente os maiores aumentos pluviométricos ocorreram no norte com diferença de quase 90,0 mm em relação ao período seco e de aproximadamente 60,0 mm no sul da região.

Verificando as duas figuras observa-se que os índices tiveram um aumento pouco significativo como um todo. As precipitações crescem de sul para norte na direção leste-oeste no período chuvoso e de norte para sul durante o período seco. Desse modo, sugere-se que no período chuvoso da região está sob o domínio de sistema de grande escala, ou

um conjunto de vários sistemas de meso e pequena escala (ALVES et al., 2004), pois o aumento pluviométrico ocorre de forma homogênea e atinge toda a região. Para Araújo e Sousa (2012) a intensidade do máximo de precipitação principalmente para o norte do LNEB está associada à atuação da ZCIT. Em conjunto a este sistema, Pereira e Cavalcanti (2014) enfatizam que toda a extensão costeira do LNEB tem forte relação com as OL, no qual, já havia sido estudado por Chan (1990) e anteriormente por Yamazaki e Rao (1977).

Outro importante sistema produtor de chuvas são os SF ou remanescentes que influenciam principalmente o sul do LNEB e atingem também a costa mais ao norte, que podem atuar em conjunto com circulação de brisa (KOUSKY, 1979; RAO et al., 1993; ARAÚJO E SOUSA, 2012 e PEREIRA E CAVALCANTI, 2014) sendo mais frequentes de novembro a fevereiro (ALVES et al., 2006) no sul do LNEB e maio a julho na costa (KOUSKY, 1979), no qual, é observado um maior contraste de temperatura entre o oceano e o continente (KOUSKY, 1980 e TEIXEIRA, 2008).

As configurações espaciais para os dois períodos são muito semelhantes. Isto é bastante interessante, pois na parte norte do LNEB tem-se a atuação da ZCIT, enquanto no sul esta atuação não é observada, ou seja, enquanto a ZCIT está atuando no norte da região outro sistema de tempo atua no sul. Ressalta-se que o principal sistema produtor de precipitação no LNEB no inverno são as OL, que atuam em toda região.



**Figura 13.** Configuração espacial do total médio climatológico de precipitação no LNEB das três pêntadas consecutivas com o (a) maiores valores de chuva e (b) menores.

## 5.2 Análise de agrupamento para Roraima e LNEB

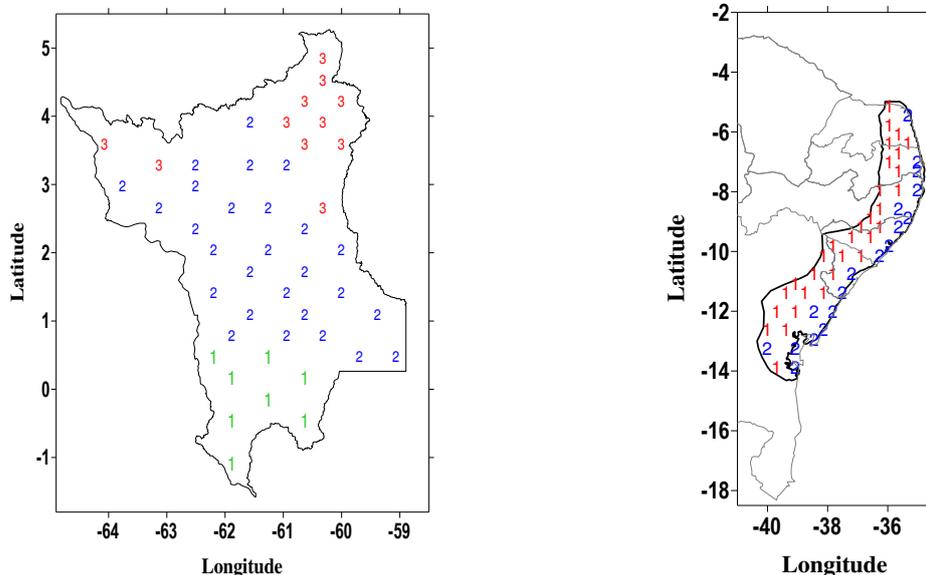
O objetivo deste tópico é verificar a existência de regiões semelhantes de regime pluviométrico em Roraima e no LNEB com intuito de melhorar a análise da EC e PEC para ambas as regiões. Com a aplicação da técnica de agrupamento são verificados que a solução com 3 grupos para Roraima (figura 14a) e 2 grupos para o LNEB (figura 14b) de características parecidas de precipitação, em relação a variabilidade sazonal mostra melhor coerência espacial. Ressalta-se que a regionalização por 2 grupos encontrados para o LNEB neste estudo são semelhantes aos encontrados no estudo de Pereira e Cavalcanti (2014). O padrão sazonal da precipitação para os respectivos grupos para cada região de estudo é apresentado na Figura 15a (Roraima) e 15b (LNEB).

A região GS para Roraima compreende a parte sudoeste do Estado próxima a Floresta Amazônica (figura 15a). O máximo de precipitação é observado na pântada 24 que compreende os dias entre 26 a 30 de maio e o mínimo na pântada 53 representativo do período entre 18 a 22 de setembro. Esta região apresenta a maior amplitude pluvial entre a pântada máxima e a pântada mínima, aproximadamente 75,2 mm. O grupo GC cobre a maior parte do Estado meridionalmente centrado que vai desde a região noroeste a sudeste do Estado, a pântada máxima é a 26 e possui um total de 64,1 mm, enquanto que a mínima é a pântada 09 e seu total não ultrapassa 8,0 mm. O último grupo é encontrado isoladamente no extremo norte abrangendo o extremo noroeste e nordeste incluindo também a capital Boa Vista. A região é marcada por baixos totais pluviométricos tendo o máximo de 37,5 mm na pântada 31 e o menor total de 1,9 mm na pântada 13.

A regionalização para o LNEB como dito anteriormente foi classificado em 2 grupos. O grupo 1 denominado RA tem uma extensão latitudinal com partes entre o litoral e o centro da Paraíba e Pernambuco, compreende quase que integralmente o Estado de Alagoas e Sergipe exceto litoral e a área nordeste do Estado da Bahia exceto litoral (figura 14b). A região totaliza uma média pluvial de 774,4 mm, em que, a pântada máxima é a 17 e corresponde ao período entre 22 e 26 de março somando 2,9 mm, enquanto a mínima é a 56 com 0,4 mm ocorrendo entre os dias 3 a 7 de outubro (figura 14b). Já o grupo 2 a partir daqui denominado RC fica restrito a faixa costeira do LNEB compreendendo o litoral leste do Rio Grande do Norte e vai até o Recôncavo Baiano (Figura 14b). Este grupo apresenta um padrão sazonal em pântadas com valores médios

mais elevados que na RC possuindo um total anual em torno de 1346 mm. As pên-tadas máxima e mínima são respectivamente 24 e 56, em que, a primeira representa o período equivalente de 26 a 30 de abril e a segunda entre os dias 3 a 7 de outubro (figura 15b).

a) Distribuição das estações em 3 grupos      b) Distribuição das estações em 2 grupos

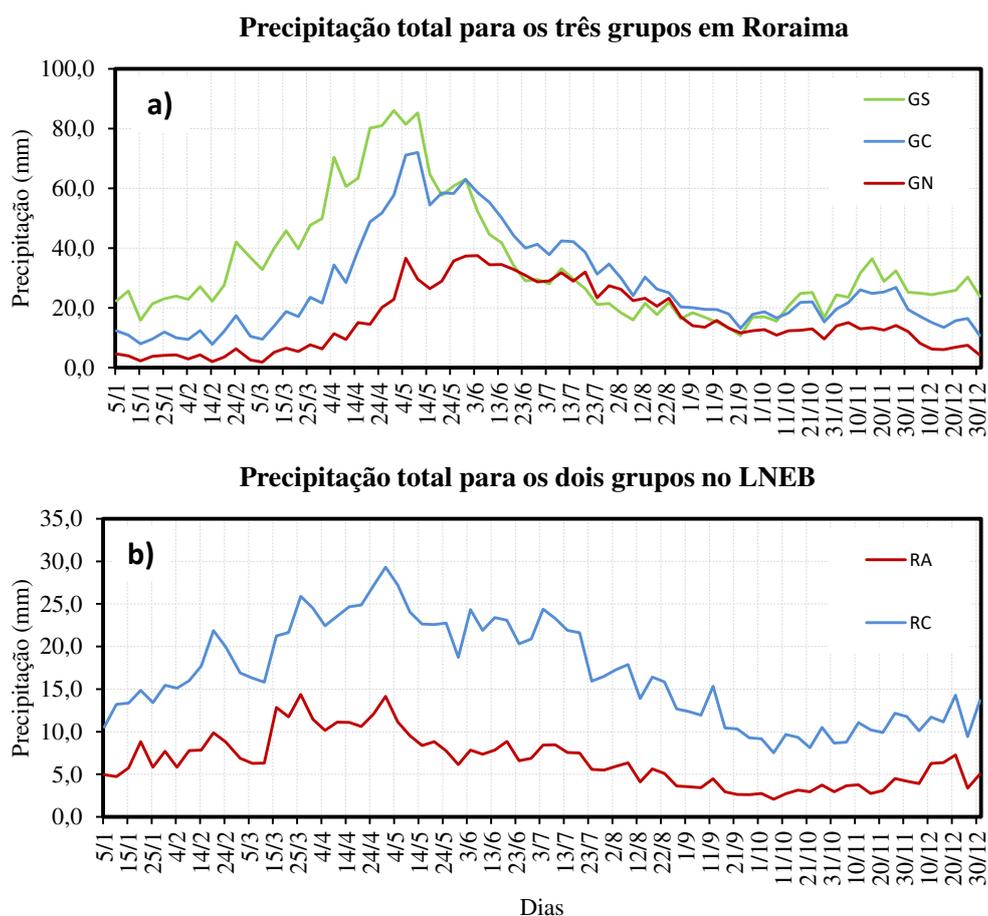


**Figura 14.** Classificação dos regimes pluviométricos, a) distribuição das estações classificadas em 3 grupos para Roraima e b) distribuição das estações classificadas em 2 grupos para LNEB.

Avaliando o comportamento sazonal pentadal da precipitação para Roraima (figura 15a) percebe-se que as curvas têm padrões de comportamento semelhantes, porém é possível notar um atraso em relação aos maiores totais de precipitação. Assim temos um intervalo temporal de 2 pên-tadas entre a GS e GC, 5 pên-tadas entre GC e GN e de 7 pên-tadas entre os máximos da GS e GN, essa diferença pode ser explicada pelo movimento meridional da ZCIT. Em específico temos que a GS possui na primavera, verão e outono austral um volume de chuvas superior as das outras regiões enquanto que no fim do verão e início do outono boreal passam a ser inferior, voltando a ser superior no fim de outubro. A região GC tem comportamento intermediário entre as duas regiões durante o fim da primavera, todo o verão e outono do HS os totais médios sazonais passam a superar os totais das outras regiões somente entre os meses de inverno boreal e no mês de setembro. Enquanto que a última região (GN) possui um ciclo anual pentadal predominantemente inferior as duas regiões apresentando precipitações pluviais

intermediário em um curto período que vai desde a segunda quinzena de julho a primeira quinzena de agosto.

Para o LNEB as configurações temporais para os dois grupos são iguais. A distinção fica restrita aos totais que possuem uma diferença de aproximadamente 14,9 mm na pênstada máxima e de 5,5 mm na pênstada mínima (figura 15b). Os máximos ocorrem em pênstadas diferentes em um intervalo de 40 dias sendo mais cedo na RC e coincidem em relação a pênstada mínima (56). O total de precipitação superior observado na RC pode está associado a proximidade do oceano Atlântico, pois tem grande quantidade de fluxo de umidade enquanto na RA essa umidade diminui bastante o que afeta a convecção e consequentemente as chuvas, além do fator orografia, é importante frisar que na região do Planalto da Borborema o volume pluviométrico aumenta (RAO et al., 1993).



**Figura 15.** Ciclo anual em pênstadas para a) Grupos de Roraima e b) Grupos do LNEB.

### **5.3 Início, fim e duração da PEC e EC dos grupos de Roraima e LNEB**

A PEC é um período em que ocorre precipitação pluvial significativa que antecede as chuvas da EC, enquanto que a EC é o período que se observa um volume maior de chuvas, por tanto, EC propriamente dita (FUNCEME, 2009). Nesta seção serão avaliadas as datas de início, fim e duração da PEC e EC a partir da metodologia empregada por Vasconcelos Júnior (2014) descrito na seção 4.3.1. As Figuras 16a, 16b e 16c revelam os anos de ocorrência de PEC e EC nos grupos de Roraima, enquanto que a Figura 17a e 17b para os grupos do LNEB.

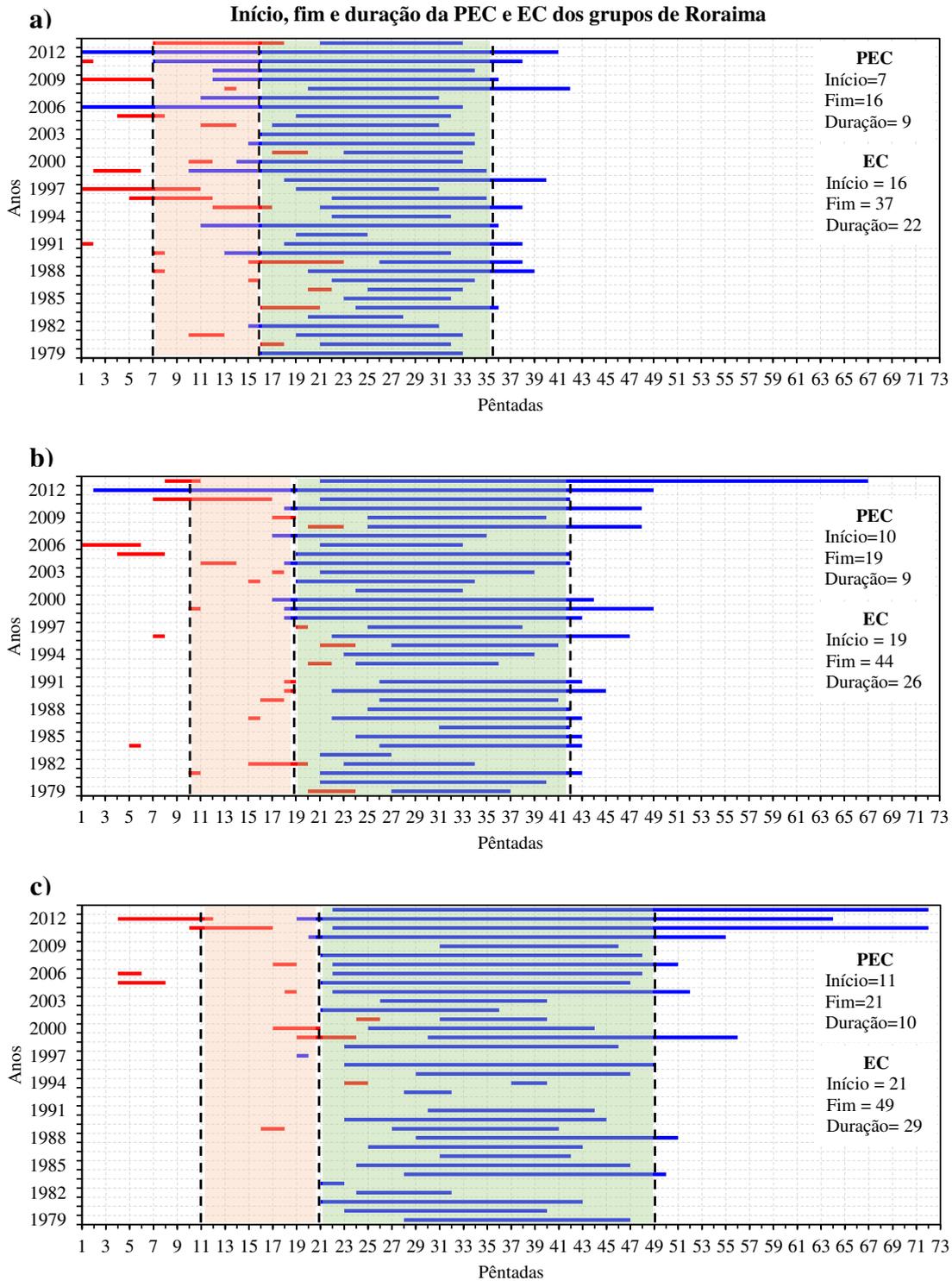
São contabilizados para os grupos de Roraima 35 períodos chuvosos do GS (figura 16a), 34 do GC (figura 16b) e GN (figura 16c), pois o ano de 1992 não foi possível determinar por essa metodologia nas duas últimas regiões, enquanto que na GS a EC é bastante regular. O início médio no GS ocorre aproximadamente na pântada 16 (21-mar) e o fim na pântada 37 (04-jul) com duração em torno de 22 pântadas, ou seja, 110 dias com chuva durante a EC, período inferior ao encontrado por Barbosa (1997). O GC apresenta a data de início em 05 de abril (pântada 19), fim em 08 de agosto (pântada 44) e duração de 130 dias (26 pântadas), concernente com Barbosa (1997). Já o GN exhibe duração da EC de 29 pântadas, o que é equivalente a 145 dias com chuva, duração superior ao apresentado por Barbosa (1997), tendo início médio na pântada 21 e fim na pântada 49, ou seja, as precipitações mais volumosas ocorrem de 15 de abril a 02 de setembro.

Em geral os resultados encontrados a partir da Figura 16a, 16b e 16c refletem aqueles discutidos na seção 5.1.5, a justificativa relacionada às datas distintas das pântadas máximas discutidas anteriormente para cada grupo são aplicadas aos resultados encontrados aqui. Em resumo temos que a duração da EC aumenta de sudoeste para nordeste, enquanto que a data de início apresenta-se mais cedo no sudoeste e mais tarde no nordeste o que refletem nas datas de fim da EC para cada grupo. Barbosa (1997) chegou a um resultado discordante em relação ao número de dias com chuva, pois o autor observou que a duração é maior no sudeste e diminui gradualmente em direção ao nordeste, no entanto é importante destacar que o autor considerou o número de dias chuvosos média anual e não somente durante a EC como mostrado aqui. Em relação aos meses de início da EC Barbosa (1997) chegou a resultado semelhante.

Para a PEC foi calculada uma média de 18 PEC em Roraima ao longo de 35 anos de dados sendo maior no GC (22 PEC) e GS (21 PEC) e menor no GN (11 PEC) de maneira intercalada, portanto a existência de PEC em Roraima não pode ser confirmada com clareza (figuras 16a, 16b e 16c). No entanto, a partir dos resultados encontrados é possível identificar que o início médio da PEC ocorre sequencialmente na pênstada 7, 10 e 11 para GS, GC e GN todos ao longo do mês de fevereiro. O término médio se dá preferencialmente nas pênstadas 16, 19 e 21 nas regiões pluviometricamente homogêneas GS, GC e GN respectivamente que compreendem o fim de maio e a primeira quinzena de abril. Por fim, a PEC tem uma duração média de 9 pênstadas (45 dias). Os anos de 1991 e 2011 destacaram por exibir tanto o início quanto o fim da PEC precocemente coincidindo com os anos de menor duração da mesma para o GS. Contrariamente para GC, o ano de 2011 apresentou maior duração da PEC, enquanto que 1991 em concordância com GS obteve a menor duração, assim como 1984, o qual, ocorreu um fim antes da data média para este grupo, e 1995 apresentou início e fim da PEC antecipado. No norte do Estado (GN) não houve anos de características coincidentes com os outros grupos, o que, revela que esta região apresenta distinções da parte sul e central do Estado. Os anos de destaque são: 2001 (início e fim tardio) e 2006 (início e fim precoce), enquanto que 2012 teve início da PEC antecipada e de maior duração.

Ao final desta avaliação também foi verificado o desvio padrão do início e fim da PEC e EC dos grupos de Roraima sendo de 5,94, 6,05 e 7,13 para respectivamente GS, GC e GN para início da PEC, enquanto que para EC foram de 5,98 (GS), 4,47 (GC), e 4,22 (GN), ao passo que para o fim da PEC foi encontrado desvios de 6,14 para GS, 5,51 para GC e 6,32 para GN e para EC tem-se 3,5, 6,64 e 10,69 para GS, GC e GN respectivamente. Esses resultados mostram que o fim da PEC e o início da EC são mais regulares nos grupos da parte central (GC) e norte (GN) do Estado. Por outro lado no sul de Roraima (GS) o início da PEC e o fim da EC são mais regulares.

As chuvas de PEC em Roraima podem ser causadas principalmente pelo aumento das atividades dos CCM (REBOITA et al., 2010) associadas a aproximação da ZCIT que embora, do ponto de vista climatológico não esteja em sua posição mais boreal a sua aproximação já favorece o aumento das chuvas via “pulsos” de nebulosidades que se desprendem de sua área de maior atuação e se dirigem para o Estado (TAVARES, 2014) ou mesmo CCM associados aos JBNCH (POVEDA et al., 2006 e SIERRA et al., 2015 ).



**Figura 16.** Pêntadas de início, fim e duração da PEC e EC para a) GS, b) GC e c) GN. Linhas pontilhadas grossas indicam o início e fim de cada período e sombreado em cores indicam a duração para ambas as estações.

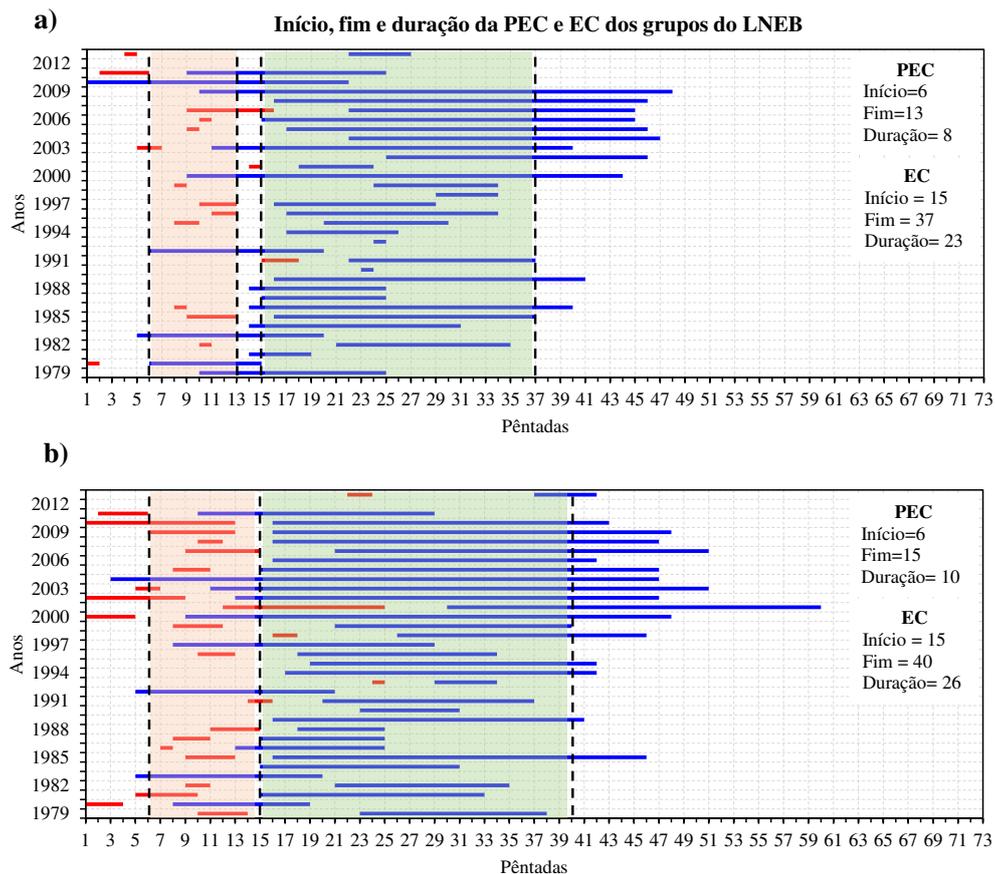
Os grupos do LNEB apresentam 34 EC bem definidas (figura 17a e 17b) somente no ano de 2012 a EC não foi encontrada. Os dois grupos têm início médio da EC na

pêntada 15 (16-mar) e diferem em relação à data de fim que ocorre em média na pêntada 37 para RA e 40 para RC que representam os dias iniciais de 04 de julho e 19 de julho respectivamente. Assim temos uma duração de aproximadamente 39 pêntadas no LNEB sendo maior na RC de duração em média de 130 dias (29 pêntadas) com chuvas acima da média regional e conseqüentemente menor na RA com duração de 115 dias (26 pêntadas).

Como as datas de início da EC são as mesmas para ambos os grupos do LNEB e as datas de fim da EC muito próximo é possível sugerir que os sistemas precipitantes responsáveis pela EC podem ser o mesmo ou a combinação de dois ou mais sistemas atmosféricos como visto na análise da seção 5.1.5. Os desvios padrões foram calculados para estes grupos do LNEB e apresentam respectivamente 3,36 e 6,14 para o RA e RC de início da PEC e 6,36 e 7,21 para EC. O fim de cada período apresentaram desvios de 3,67 e 5,67 para RA e RC respectivamente, enquanto que para a EC ficaram 9,56 para RA e 9,97 para RC. Em geral o início da EC é mais regular que o fim da mesma nos dois grupos sugerindo que os sistemas precipitantes são bastante regulares nessas regiões. Já para PEC os desvios ficaram invertidos sendo mais regular no RA.

A avaliação da PEC dos dois grupos do LNEB é mostrada na Figura 17a (RA) e 17b (RC). Observa-se uma média de 20 PEC dos 34 períodos chuvosos (2012 não é contabilizado) com maior quantidade na RC obtendo 24 PEC, ao passo que RA apresenta 16 PEC, assim tem-se aproximadamente 14 anos intercalados sem PEC, resultado que talvez indique que existência da PEC pode está associada a fator externo de teleconexões que causem variabilidade interanuais. A característica semelhante entre os grupos é marcada pelo ano de 1980 que apresenta início e fim da PEC antecipada, contudo apenas na RA essa particularidade refletiu em menor duração da PEC. Os anos de início e fim tardio foram diferentes para RA e RC, são eles: 1991 (RA) e 1993 (RC), este último também apresenta PEC mais curta, enquanto 2001 a duração da PEC foi mais longa que pode está associada ao fim tarde ocorrida nesse mesmo ano na RC. Em média a PEC para ambos os regimes tem início na pêntada 6 que corresponde as datas entre 30 de janeiro e 03 de fevereiro e o fim nas pêntadas iniciadas no dia 06 e 21 de março (pêntada 13 e pêntada 16 nessa ordem) para RA e RC respectivamente resultando em média um término para o LNEB aproximadamente na pêntada 14 (11 a 15 de março). Por conseqüência, a PEC no LNEB tem duração de 8 pêntadas, ou seja, 40 dias.

Com as médias das datas de início e fim da PEC é possível tentar explicar quais sistemas precipitantes atuam para a geração de grandes volumes de chuvas no LNEB nesse período. O principal deles é o VCAN (REBOITA et al., 2010; SILVA et al., 2011 e ALVES et al., 2006 ) que atingem a região, formando-se entre os meses de outubro a março, com maior frequência entre os meses de janeiro e fevereiro. Outro importante mecanismo causador de chuvas que atuam nesse período com mais frequência são SF ou suas extremidades (KOUSKY, 1979; REBOITA et al., 2010; ALVES et al., 2006 e SILVA et al., 2011). Em conjunto inclui a formação de alguns CCM que comumente se formam a partir da intensificação do VCAN (REBOITA et al., 2010 e SILVA et al., 2011). Associado a estes, tem-se a atuação de CJNEB (GOMES, 2003), que embora não desenvolva nebulosidade capaz de produzir grandes volumes de chuva, se as condições de superfície estiverem favoráveis a CJNEB pode organizar a convecção (SILVA et al., 2011).



**Figura 17.** Pêntadas de início, fim e duração da PEC e EC para a) RA e b) RC. Linhas pontilhadas grossas indicam o início e fim de cada período e sombreado em cores indicam a duração para ambas as estações.

Avaliando a variabilidade dos extremos das datas de início, fim e duração da EC (figuras 16 e 17) para Roraima e LNEB e seus grupos homogêneos observa-se que anos de ocorrência de início/fim antecipado, início/fim tardio e duração acontecem em anos distintos para cada região exceto no ano de 2012 que apresentou início da EC mais cedo para os grupos de Roraima. Porém é possível observar que nos anos de maior prolongamento da EC está relacionada ou ao início precoce da EC ou ao fim tardio da mesma para todos os grupos, enquanto que em anos de menor duração da EC está relacionado ao fim precoce para todos os grupos de Roraima o que não é observado para os grupos do LNEB. Mas não é uma relação simples, por exemplo, nem sempre que uma EC inicia cedo a mesma pode apresentar naquele ano uma EC prolongada em relação a média, isso porque, a mesma pode apresentar término da EC precoce e vice-versa. Em média as duas regiões apresentam 34 EC bem definidas e os inícios médio para cada um dos grupos das regiões se mostram muito próximos entre os dias 26 a 30 de março (pêntada 17) e o fim médio tem datas aproximadas em torno dos dias que vai de 19 a 23 de julho (pêntada 40) com duração de 25 pêntadas ou 125 dias.

O padrão interanual de ocorrência de PEC encontrado revela um ciclo de 1,7 anos para GS e 1,59 anos para GC e de 3,18 anos para GN culminando em uma média de 2,1 anos de variabilidade para todo o Estado. No LNEB a variabilidade média de ocorrência da PEC é parecida com o que foi encontrado para Roraima, sendo de 1,8 anos. Os grupos obtiveram um ciclo de 2,18 anos (RA) e 1,45 anos (RC), reiterando a importância da componente oceânica do Pacífico e do AT no clima do LNEB e de Roraima. Não é notado nas Figuras 16 e 17 uma relação comum a todos os grupos, contudo o ano de 1991 é observado uma relação inversa entre o GS e RA das datas de início e fim da PEC, ou seja, enquanto o início/fim da PEC foi mais cedo no GS nesse mesmo ano teve início/fim atrasado no RA. De forma geral, a média de ocorrência de PEC para as regiões são de 19 períodos, as pêntadas de início médio da PEC ocorre na 8 e correspondem os dias de 9 a 13 de fevereiro e o fim médio na pêntada iniciada no dia 21 de março até 25 desse mesmo mês, resultando na duração de 11 pêntadas totalizando 55 dias, sendo maior em Roraima (14 pêntadas) que no LNEB (8 pêntadas)

É possível ainda verificar a partir da Figura 16 e Figura 17 que não há uma relação linear simplista entre o início tarde (cedo) da PEC e fim atrasado (antecipado) da EC. Assim, tem que as características temporais de cada início e fim da EC são independentes

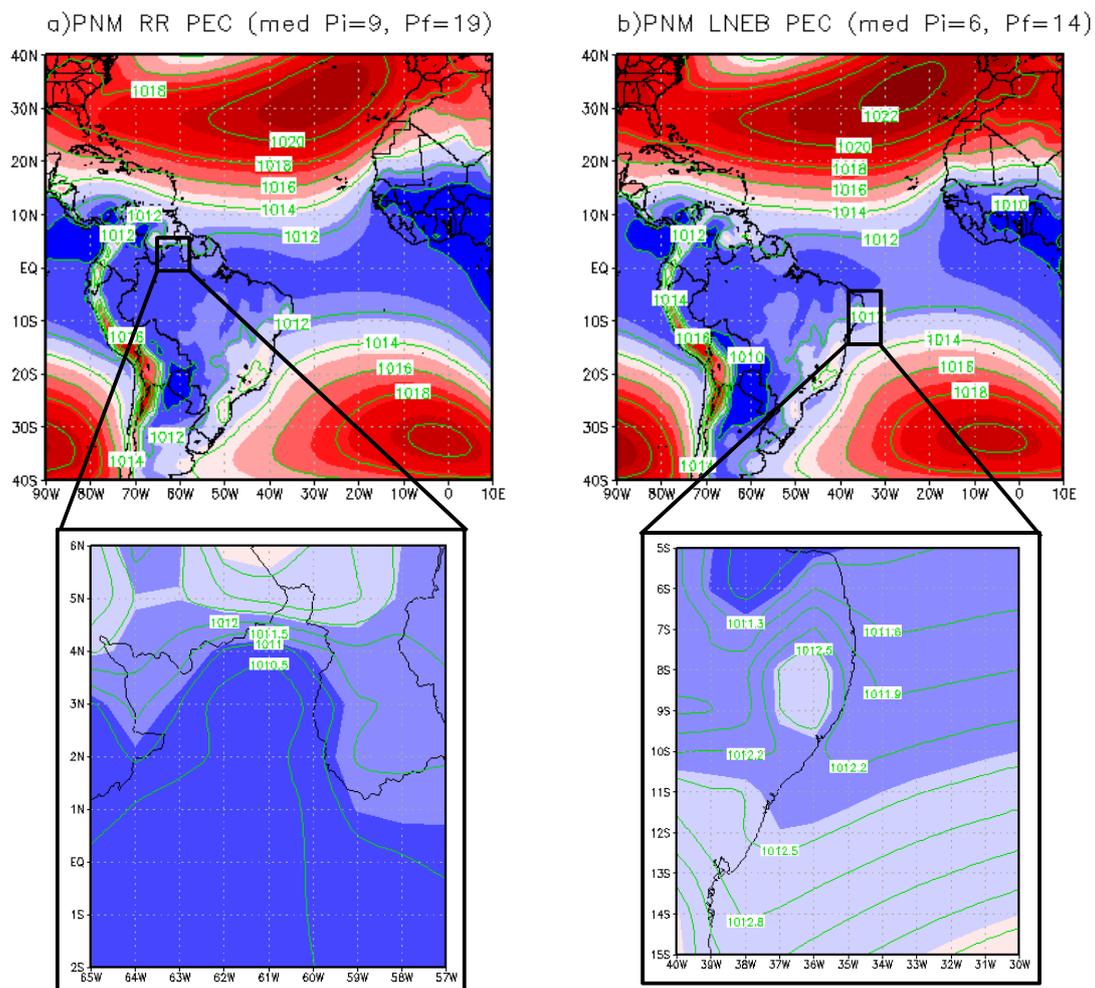
das datas médias de início e fim da PEC. Embora em alguns anos exista uma coincidência, como por exemplo, 1999/2000 que observa-se início e fim cedo e 1989/1995 com início e fim tarde da PEC e EC no GS, enquanto que, 2008 teve início e fim tarde na GC, assim como 1999 para GN. No LNEB os grupos RA e RC dos anos 1980 e 2011 tiveram início e fim antecipado.

#### **5.4 Caracterização atmosférica média do período de PEC dos grupos de Roraima e do LNEB**

Para a análise do comportamento atmosférico para o período de ocorrência de PEC foram avaliados os campos de PNM e vento em 850 hPa sobre uma área de 40 °N a 40 °S e de 90 °W a 10 °E. Assim, têm-se os padrões atmosféricos que propiciariam as condições favoráveis na formação de pluviosidade durante os anos de ocorrência de PEC sobre as regiões de estudo. Entretanto, na análise dos campos não foi verificada características significativas que diferem os campos de PNM e ventos em 850 hPa para a média dos anos com PEC e sem PEC. Assim não foram aqui apresentados, tendo sido preferido utilizar a média dos campos para o período de PEC de todos os anos para o LNEB e Roraima sem separar por grupos pluviometricamente homogêneos.

Os campos médios de PNM da Figura 18a e 18b apresentam respectivamente o comportamento desta variável para as chuvas de PEC de Roraima e do LNEB que ocorrem para a primeira área entre a média das pântadas 9 até 19 e para a segunda área entre as pântadas 6 a 14. Nota-se claramente que pelo fato de as regiões terem a PEC em período muito próximos os campos são semelhantes. Ainda sim, observa-se que as altas do Atlântico possuem intensidades de pressões diferentes para Roraima e o LNEB. A ASAS nos dois campos está fechada com isóbaras muito próximas, porém a ASAS no campo da média da PEC para Roraima (figura 18a) atua em uma área maior. O núcleo possui pressão de 1020 hPa diminuindo gradualmente, estando mais deslocado para o continente sul americano no campo da média da PEC no LNEB localizando-se aproximadamente entre as longitudes de 13 °W e 0° enquanto no campo referente a média da PEC em Roraima está entre 10 °W e 5 °E. A ASAN tem uma área de atuação maior nos dois campos, tendo núcleo mais intenso no campo da PEC no LNEB. O núcleo possui uma pressão de 1022 hPa para o LNEB e de 1021 hPa para Roraima. A região equatorial

em geral está sob isóbaras de 1012 hPa sobre o oceano Atlântico enquanto a AS está sob as isóbaras de 1011 concentrados sobre a maior parte da Amazônia e costa norte do Nordeste Brasileiro. Já as regiões de estudo, as isóbaras de 1011 hPa e 1012 hPa produzem um gradiente de pressão sobre o LNEB (figura 18b) enquanto Roraima está sob pressões de 1011 hPa (figura 18a). Ressalta-se, que configurações semelhantes foram obtidas para os anos com ausência de PEC. Sugerindo, que a PEC destas regiões possivelmente esteja relacionada com sistemas de teleconexões, como, por exemplo, ENOS, ou até mesmo intrasazonal, como as Oscilações de Madden e Julian.

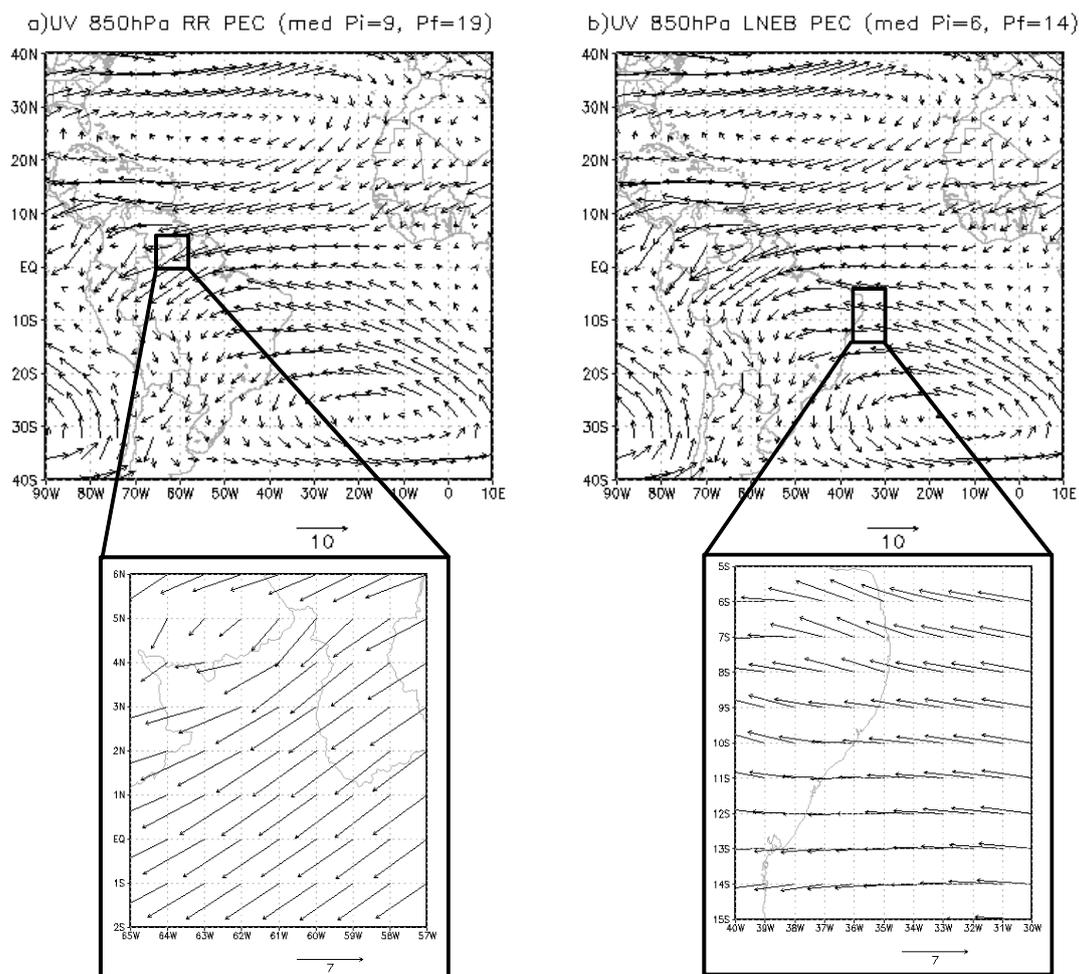


**Figura 18.** Campo médio de PNM durante a PEC do a) Roraima e de b)LNEB.

A média dos campos de vento em 850 hPa são apresentados na Figura 19a, para a média da PEC em Roraima, e 19b, para o LNEB. Em resposta ao campo de pressão os ventos também se comportaram de forma semelhante. Mostrando uma circulação

monçônica bem caracterizada sobre a AS. A circulação anti-horária no sul do Atlântico nos dois campos encontra-se fechada gerando ventos fortes de sudeste no flanco nordeste da alta e aparentemente mais intensos na média do campo do LNEB que no campo de Roraima. Ao passo que o anticiclone do ATN gera ventos de nordestes que ultrapassam a linha do equador e dirigem-se em direção a Amazônia. Sobre o LNEB (figura 19b) os ventos têm direção ligeiramente de sudeste e sobre Roraima (figura 19a) esta variável possui direção de nordeste sobre a parte sul do Estado e ligeiramente de leste sobre o norte desta região apresentando intensidade menor que no sul do Estado.

Em comparação com o campo de circulação da EC de Roraima (figura 10a) é possível observar uma configuração bastante parecida, porém a ASAS produz uma circulação aberta no campo da EC (figura 10a) enquanto que ASAN gera ventos mais intensos durante a PEC (figura 19a), pois os mesmos chegam a ultrapassar a linha do equador. Sobre o Estado os campos de PEC e EC são bastante semelhantes, mas possuem ao norte ventos mais de nordeste durante a PEC e mais de leste durante a EC. Em relação ao campo de circulação da EC do LNEB (figura 11a) é possível observar que durante a PEC (figura 19b) a ASAS produz uma circulação fechada e ventos no flanco nordeste mais intensos e mais perpendiculares à costa do LNEB, enquanto que durante a EC esses ventos são mais de sudeste próximo ao litoral aumentando de intensidade à medida que entram no interior do continente, e isto, não é observado durante a PEC.



**Figura 19.** Campo médio de vento em 850 hPa durante a PEC do a) LNEB e de b) Roraima.

### 5.5 Influência dos oceanos nas precipitações pluviais do LNEB e Roraima.

Uma análise de correlação foi usada para determinar a relação entre a ATSM das regiões do El Niño (Niño 1+2 (N1+2), Niño 3 (N3), Niño 4 (N4), Niño 3.4 (N3.4)), ATN e ATS e as chuvas em cada grupo de Roraima e LNEB. Esta é uma relação entre a média anual de TSM de cada oceano e o total anual das chuvas dos anos entre 1982 a 2013. Adicionalmente é apresentada também a relação entre a média da TSM e as precipitações somente dos meses chuvosos das respectivas regiões, são eles: GS de março a junho, GC de abril a julho, GN de maio a agosto e para o LNEB os dois grupos são para os meses entre março a julho. O coeficiente de correlação entre esses parâmetros estão presentes nas Tabelas 1-5.

Baseado nos resultados da Tabela 1 e Tabela 2 fica claro que a TSM de todas as áreas do El Niño tem correlação negativa com as chuvas totais anuais e os totais do período chuvoso do LNEB, enquanto para as do ATS obteve correlações positivas. Estes resultados concordam com os de Moura et al. (2000), porém com uma diferença importante, nesta pesquisa foram obtidas maiores correlações com as ATSM dos Niño do que com as do ATS, enquanto Moura et al. (2000) observaram o contrário. Provavelmente, isto decorre do período de dados utilizados. A ATSM para o grupo do Agreste (RA) apresentam correlações maiores nas regiões N3, N4 e N3.4 com  $R=-0,435$ ,  $R=-0,4$  e  $R=-0,485$ , respectivamente (tabela 1) no período chuvoso, concernente com resultados de Moura et al. (2009) que encontraram maiores correlações no N3. Na região mais costeira (RC) observa-se o mesmo comportamento, porém a região do N1+2 é a que se apresenta mais forte com  $R=-0,389$ , seguido de N3 com  $R=-0,371$  todos para o período chuvoso. Esta relação negativa indica que enquanto a TSM dessas áreas aumenta as precipitações pluviais diminuem.

Em relação ao Atlântico, é notado que as relações em geral são menores no ATS e inexistente no ATN. A propósito, com relação ao RA, o ATN apresenta correlação negativa para o total do período chuvoso (-0,074) e positiva para o total anual (0,098). Entretanto, estes valores não tem significado nenhum, pois não apresentam significância estatística e são quase nulos. Para ATS as correlações foram positivas para ambos os totais, porém estatisticamente significativa apenas para o período chuvoso. Para RC as correlações são negativas para o ATN e positiva para o ATS, porém não são estatisticamente significativas. De modo geral, estes resultados reporta a ideia já documentada que ATS seja mais importante para a qualidade da pluviosidade no LNEB que o ATN (SOUZA et al., 1998; MOURA et al., 2009; KOUADIO et al., 2012 e AMORIM et al., 2014).

Tabela 1. Correlações das TSM do Pacífico e Atlântico com a Precipitação Pluvial do grupo RA, os sombreados têm significância estatística de 95 % e os sombreados em negrito 99 %.

<b>Correlações Niños e TSM do Atlântico com precipitações pluviais do grupo RA</b>						
	N 1+ 2	N 3	N 4	N 3.4	ATN	ATS
Anual	-0,379	-0,395	-0,333	-0,381	0,098	0,224
EC	-0,327	-0,435	-0,400	-0,485	-0,074	<b>0,339</b>

Tabela 2. Correlações das TSM do Pacífico e Atlântico com a Precipitação Pluvial do grupo RC, os sombreados têm significância estatística de 95 % e os sombreados em negrito 99 %.

<b>Correlações Niños e TSM do Atlântico com precipitações pluviais do grupo RC</b>						
	N 1+ 2	N 3	N 4	N 3.4	ATN	ATS
Anual	-0,350	-0,278	-0,167	-0,225	-0,105	0,187
EC	-0,389	-0,371	-0,232	-0,328	-0,205	0,232

Similarmente analisado, as Tabelas de 3 a 5 apresentam as correlações das ATSM nos oceanos Pacífico Equatorial e AT com a precipitação dos grupos de Roraima. Notavelmente, para todos os grupos observaram-se correlações negativas e estatisticamente significativas entre o total anual de precipitação e a TSM de todas as áreas dos Niños, exceto as chuvas do GN com a TSM do N1+2, que apresentou correlação negativa, porém não significativa (Tabelas 3 a 5). Por outro lado, para os totais de precipitação do período chuvoso também verificou-se correlações negativas, porém apenas as do grupo GC com a TSM do N3.4 foi estatisticamente significativa, portanto, para as demais combinações (TSM de áreas de Niños e precipitação do período chuvoso das regiões de Roraima) não é possível afirmar a existência de correlação (Tabelas 3 a 5).

Ressalta-se que a observação de que as correlações apresentam-se negativamente mais forte com as chuvas anuais do que do período chuvoso concorda com estudo de Silva et al. (2015) que analisaram a série histórica pluviométricas em Boa Vista. Também foi obtido que a área do Niño que mais afetam negativamente o total médio de chuvas anuais em Roraima é a N3.4 (Tabelas de 3 a 5), resultado semelhante ao obtido por Ronchail et al. (2002). Entre as regiões de Roraima, a precipitação do grupo GC foi a que mostrou a maior correlação negativa com El Niño (-0,501), enquanto as menores correlações são observadas entre a TSM da área N1+2 com a precipitação total de todos os três grupos. Para o total de precipitação do período chuvoso as relações seguem um padrão similar ao observado para o total anual.

A TSM dos dois setores do Atlântico relacionam-se positivamente com as precipitações pluviais no Estado de Roraima. A relação entre a TSM do ATN com a pluviosidade do Estado varia um pouco de região para região, por exemplo, no GS e GC

a correlação é maior no total anual da precipitação (0,505 e 0,594 respectivamente) e menor no período chuvoso (0,316 e 0,557 respectivamente), enquanto que para GN é menor na média anual (0,587) que no período chuvoso (0,592) (Tabelas 3 a 5), deve ser ressaltado, que as correlações entre a TSM do ATN e os totais de chuvas anuais e do período chuvoso de todas as regiões de Roraima foram estatisticamente significativas, exceto com total de precipitação do período chuvoso do grupo GS. Por outro lado, as correlações entre TSM do ATS com as chuvas em Roraima só foram estatisticamente significativas com o total anual e do período chuvoso do grupo GC, para demais combinações não se pode afirmar a existência de correlação, pois os resultados obtidos não apresentaram significância estatística. Estes resultados mostram que as chuvas no Estado de Roraima são mais dependentes do comportamento da TSM do ATN do que do ATS, na realidade a TSM do ATS praticamente não interfere nas chuvas de Roraima.

Os valores das correlações entre a TSM do ATN e as chuvas em Roraima são maiores que da TSM das áreas dos Niños, inclusive N3.4, com as chuvas, entretanto, pelos resultados obtidos não é possível afirmar que a TSM do ATN tem maior influência na precipitação pluvial de Roraima que a do N3.4

Tabela 3. Correlações das TSM do Pacífico e Atlântico com a Precipitação Pluvial do grupo GS, os sombreados têm significância estatística de 95 % e os sombreados em negrito 99 %.

<b>Correlações Niños e TSM do Atlântico com precipitações pluviais do grupo GS</b>						
	N 1+ 2	N 3	N 4	N 3.4	ATN	ATS
Anual	-0,374	-0,431	-0,412	<b>-0,474</b>	<b>0,505</b>	0,383
EC	-0,235	-0,242	-0,155	-0,275	0,316	0,292

Tabela 4. Correlações das TSM do Pacífico e Atlântico com a Precipitação Pluvial do grupo GC, os sombreados têm significância estatística de 95 % e os sombreados em negrito 99 %.

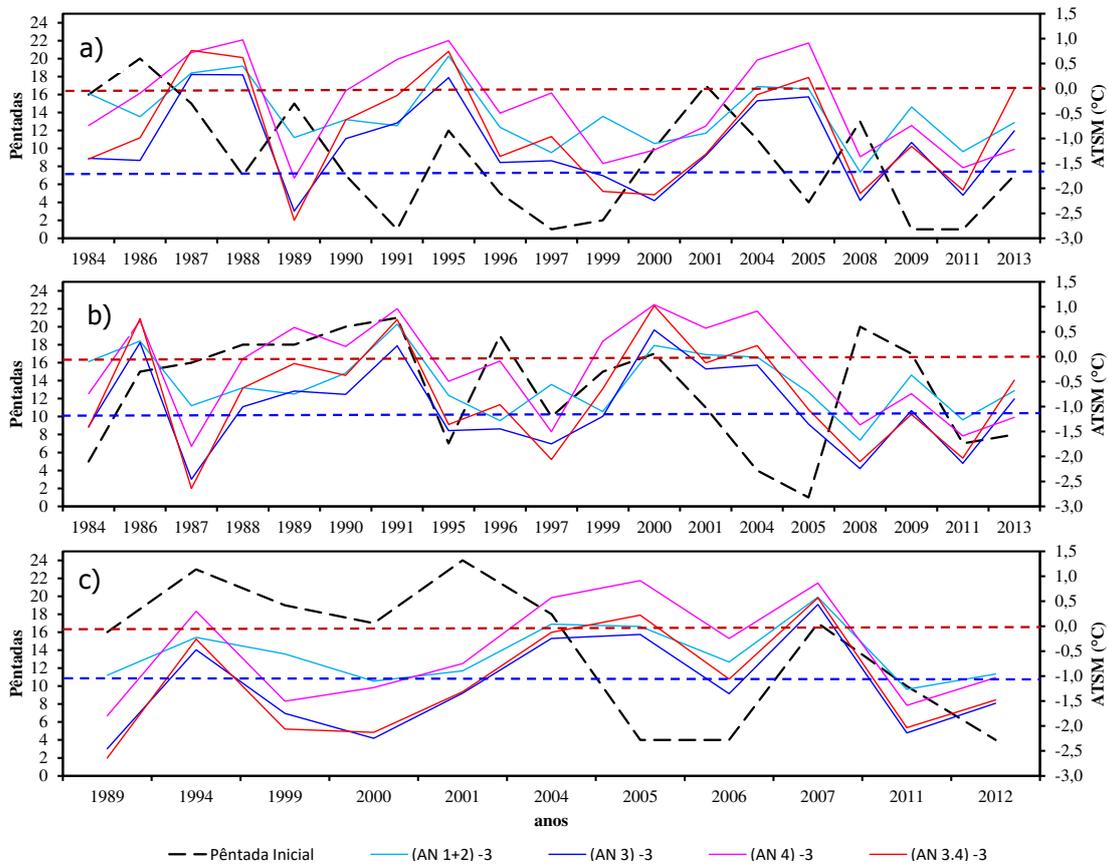
<b>Correlações Niños e TSM do Atlântico com precipitações pluviais do grupo GC</b>						
	N 1+ 2	N 3	N 4	N 3.4	ATN	ATS
Anual	-0,359	-0,448	-0,439	<b>-0,501</b>	<b>0,594</b>	0,353
EC	-0,259	-0,314	-0,311	-0,385	<b>0,557</b>	0,399

Tabela 5. Correlações das TSM do Pacífico e Atlântico com a Precipitação Pluvial do grupo GN, os sombreados têm significância estatística de 95 % e os sombreados em negrito 99 %.

<b>Correlações Niños e TSM do Atlântico com precipitações pluviais do grupo GN</b>						
	N 1+ 2	N 3	N 4	N 3.4	ATN	ATS
Anual	-0,294	-0,398	-0,400	<b>-0,451</b>	<b>0,589</b>	0,242
EC	-0,228	-0,292	-0,300	-0,320	<b>0,592</b>	0,330

Em adição, a influência das ATSM dos oceanos nas datas de início da PEC dos grupos de Roraima e do LNEB é avaliada utilizando o índice da anomalia dos oceanos com “lag” de -3 meses antes do mês que inicia a PEC. As Figuras 20a, 20b, 20c apresentam as curvas dos índices de ATSM e as pântadas de início da PEC para respectivamente GS, GC e GN, no qual nos revela que cada região do El Niño tem uma interação diferente com os grupos, e as Figuras 21a, 21b e 21c são referentes às ATSM do ATN e ATS e os grupos de Roraima. É interessante notar que a temperatura das águas superficiais do Pacífico encontram-se predominantemente frias na maior parte dos anos de ocorrência de PEC. Para a data de início da PEC é observado que as curvas são inversas na maioria dos anos, ou seja, à medida que a TSM cresce as datas de início da PEC dentem a antecipar ou se aproximar da média na região do GS (Figura 20a), exceto para o ano de 1995. Por outro lado, essas observações não são válidas para o GC (Figura 20b) e GN (Figura 20c) que apresentam aparente proporcionalidade entre as curvas, assim têm-se que quando a TSM aumenta as datas de início da PEC pode ser atrasadas.

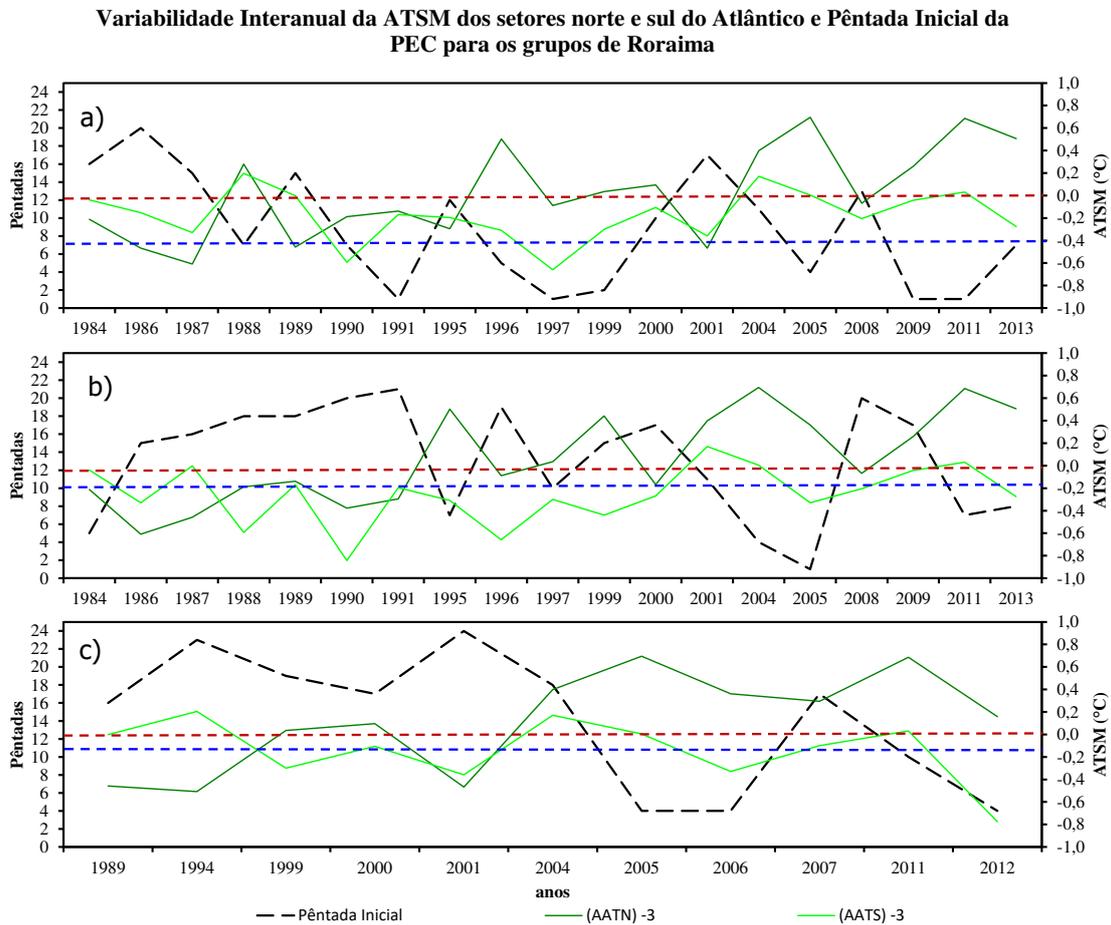
**Variabilidade Interanual da ATSM nas regiões de El Niño e Pêntada Inicial da PEC para os grupos de Roraima**



**Figura 20.** Ciclo interanual dos índices de ATSM das regiões do El Niño e pêntadas de início da PEC dos anos de ocorrência da mesma para a) GS, b) GC e c) GN. Linha pontilhada em azul corresponde a pêntada do início médio da PEC e em vermelho marca a transição entre índice positivo e negativo da ATSM.

Apesar das ATSM do ATN e ATS em alguns anos não estarem em fase é possível observar que as águas superficiais do setor norte do Atlântico foram predominantemente mais frias na primeira metade da série para os grupos de Roraima, ao passo que no ATS este comportamento é observado em praticamente a série toda como pode ser visto na Figura 21a-c. Analisando as curvas para cada grupo temos que a relação entre ATN e pêntadas iniciais é inversa, somente em 1990/1997, 1999/2005 e 2012, isto não é observado nos grupos GS, GC e GN respectivamente. Para o ATS nota-se que a maioria dos anos ocorre inversão entre as curvas, mas com pequeno atraso. No sul do Estado (GS) a PEC teve início em sua maioria mais atrasados ou próximos da média (figura 21a), similarmente no GC a PEC concentra as pêntadas iniciais depois da média (figura 21b),

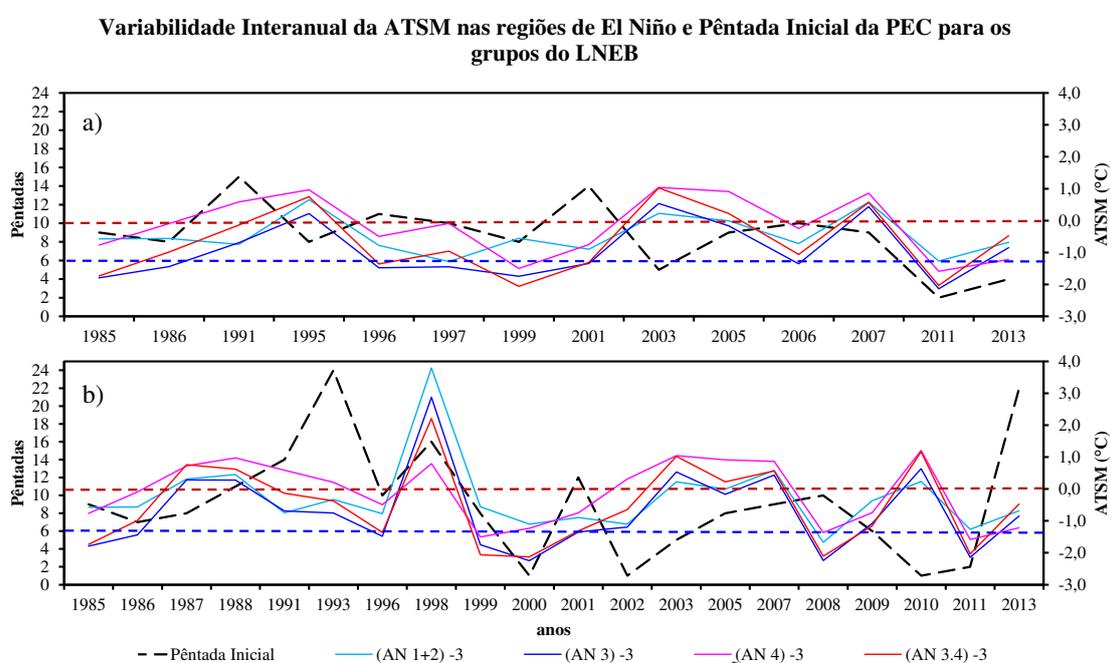
ou seja, atrasadas, enquanto que no grupo do norte (GN) é interessante observar que os primeiros anos de ocorrência de PEC obtiveram inícios bastante atrasados e durante segunda metade da série teve pântadas de início intercalados entre adiantados e próximo da média (figura 21c).



**Figura 21.** Ciclo interanual dos índices de ATSM dos setores do ATN e ATS e pântadas de início da PEC dos anos de ocorrência da mesma para a) GS, b) GC e c) GN. Linha pontilhada em azul corresponde a pântada do início médio da PEC e em vermelho marca a transição entre índice positivo e negativo da ATSM.

Assim como observado nos grupos de Roraima, as águas superficiais nas regiões do El Niño encontraram-se predominantemente mais frias nas duas séries dos grupos do LNEB (Figuras 22a-b). É verificado que no geral tanto o RA (Figura 22a) quanto no RC (Figura 22b) as datas de início da PEC estão atrasadas em relação à média para estes grupos. Também é revelado que as curvas, ainda que com pequena defasagem, apresentam-se opostas, sendo mais evidente no RA que no RC. Algumas exceções são

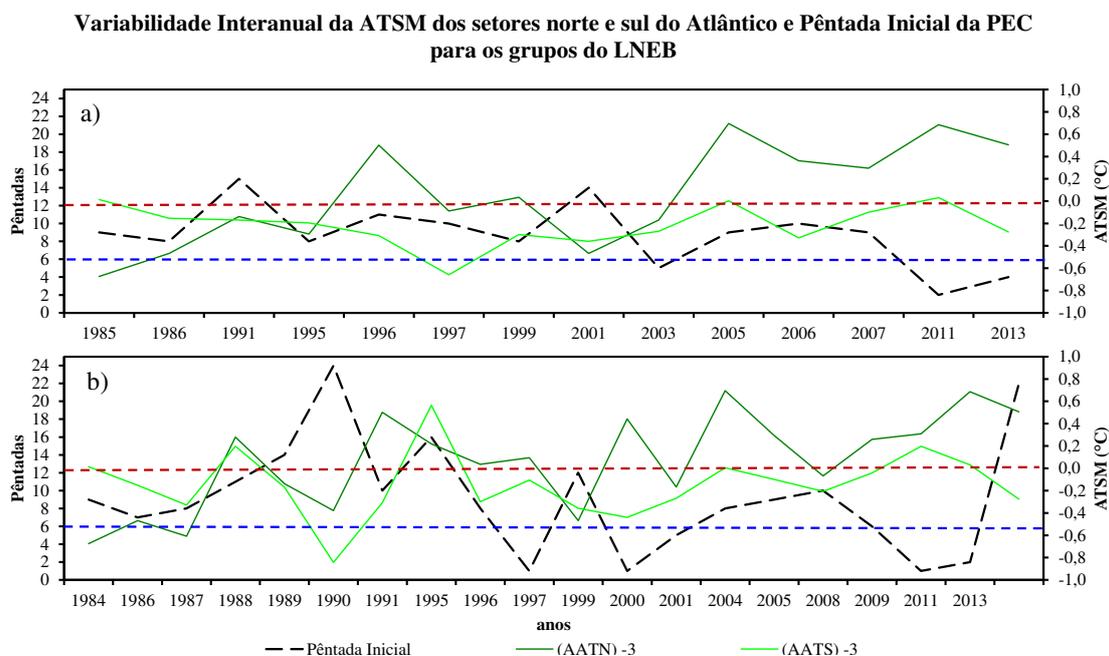
notadas no RA, por exemplo, os anos de 2003, 2011 e 2013 são os únicos em que as datas de início da PEC ocorreram antes do esperado, além do mais, os anos de 2011 e 2013 apresentam sincronia entre as curvas de ATSM e data do início da PEC, ou seja, ambas as curvas crescem ou decrescem. Para o RC (Figura 22b) o que se destaca é o ano de 1998 considerado um dos mais fortes El Niño (SAMPAIO E SATYAMURTY, 1998 e RAO et al., 2002). Observa-se que todas as regiões do El Niño durante este ano estão com índices positivos (águas mais quente que o normal) 3 meses antes do ano em vigência e refletiu o início da PEC moderadamente naquele ano, uma vez que no ano de 1993 teve início bem mais tarde (pêntada 24) que 1998 (pêntada 16). Na segunda metade da série do RC as curvas são intercaladas em anos de curvas com padrões simétricos (2000, 2001, 2003 e 2013) e assimétricos.



**Figura 22.** Ciclo interanual dos índices de ATSM das regiões do El Niño e pêntadas de início da PEC dos anos de ocorrência da mesma para a) RA e b) RC. Linha pontilhada em azul corresponde a pêntada do início médio da PEC e em vermelho marca a transição entre índice negativo e positivo da ATSM.

Em similaridade ao verificado na Figura 21a-c o ATN apresenta índices de TSM negativos predominante na primeira metade das séries e ATS com temperaturas

superficiais prevalentemente abaixo da média nos dois grupos. As datas de início da PEC atrasadas em geral estão relacionadas à ATSM abaixo da média nos setores norte e sul do Atlântico (Figura 23a-b), porém na segunda metade das séries dos grupos o ATN apresentou-se com temperatura acima da média enquanto que as datas de início foram próximas ou abaixo da média.



**Figura 23.** Ciclo interanual dos índices de ATSM dos setores do ATN e ATS e pêntadas de início da PEC dos anos de ocorrência da mesma para a) RA e b) RC. Linha pontilhada em azul corresponde a pêntada do início médio da PEC e em vermelho marca a transição entre índice positivo e negativo da ATSM.

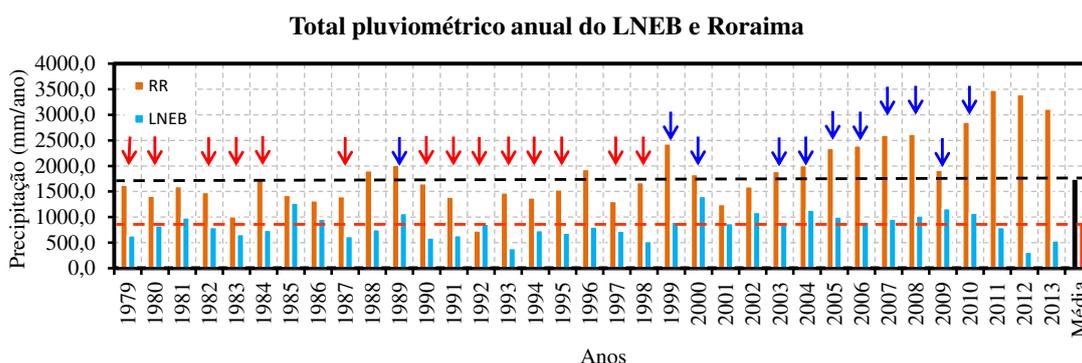
### 5.6 Relação entre a precipitação pluvial do LNEB e Roraima.

Embora as regiões de estudo sejam geograficamente e morfologicamente diferentes seus regimes pluviométricos são bastante semelhantes em relação aos meses que compõem a EC. Nesse sentido uma ferramenta estatística foi usada para saber se as precipitações pluviais destas regiões possuem relação positiva ou negativa, ou mesmo não tenham nenhuma relação em termos de variabilidade interanual ou mensal, são os coeficientes de correlação dos totais de precipitação interanuais dessas regiões, tanto os valores anuais como os totais mensais. Os valores destes coeficientes são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Correlações entre Roraima e LNEB. Valores sombreados indicam significância estatística de 95 % e valores sombreados e em negrito indicam significância estatística de 99 %.

<b>Correlação entre precipitação de Roraima e do LNEB</b>	
Total anual	0,371
Total mensal	<b>0,599</b>

De um modo geral as correlações possuem coeficientes positivos tanto para os totais anuais quanto para os totais mensais. Isso mostra que as regiões estão relacionadas positivamente, ou seja, os totais pluviométricos aumentam ou diminuem nas duas regiões. Como era esperado, o total mensal apresenta maior correlação ( $R=0,599$ ), e isto é reflexo do ciclo sazonal bastante semelhante entre as regiões. O resultado interessante a se discutir aqui é o coeficiente referente ao total anual ( $R=0,371$ ) que apesar de baixo, o mesmo é positivo e tem significância estática de 95 %, o que é relevante, indicando que os anos secos e chuvosos nas áreas de estudo em alguns casos ocorreram nos mesmos anos. Este resultado pode ser corroborado a partir da Figura 24 que apresenta os totais anuais para as duas regiões. Fica claro que apenas em poucos anos não houve eventos chuvosos e secos concomitantes. A ocorrência de anos secos nas duas regiões são mais frequentes que anos chuvosos (Figura 24).



**Figura 24.** Total anual da pluviosidade do LNEB e Roraima. Tracejado em preto indica a média anual da precipitação pluvial em Roraima e tracejado em vermelho média anual da precipitação pluvial no LNEB. Setas em azul e vermelha identificam os anos cujos totais foram acima e abaixo da média respectivamente para as suas áreas simultaneamente.

Ainda na figura 24 é interessante observar que nos últimos três anos, a saber, 2011, 2012 e 2013 Roraima apresenta totais muito acima da média enquanto o LNEB mostra totais abaixo ou próximo da média, outro ponto importante é que a frequência maior de anos secos ocorreram nos primeiros 20 anos, ao passo que anos chuvosos são observados nos últimos 15 anos. Isso sugere que existe oscilação de baixa frequência nos totais anuais dessas regiões que estão em fase e podem está associada a influência remota de algum mecanismo de oscilação mais longa. Também pode concluir que as causas para que as anomalia interanuais de precipitação entre as duas regiões estão em fase é decorrente do fenômeno El Niño/La Niña, enquanto, nos poucos casos em que estão fora de fase, possivelmente seja decorrente das ATSM do ATN. Além disso, os resultado obtidos demonstram indiretamente que as ATSM do AT não apresentam grande dependência das do Pacífico Equatorial.

## 6. CONCLUSÃO E SUGESTÕES

Neste estudo foi avaliada a pluviosidade da EC e PEC do LNEB e Roraima e as conclusões são:

- A EC em Roraima possui regime tipo monções enquanto a do LNEB apresenta configuração diferente das de monções;
- Os sistemas meteorológicos produtores de precipitação nas duas regiões são diferentes, porém atuam na mesma época do ano;
- As duas regiões de estudo têm os regimes pluviométricos relacionados à intensidade e deslocamento das altas PNM do ATN e ATS. ASAS com isóbaras distantes, núcleo reduzido e deslocado para leste e ASAN de núcleo expandido favorecem as chuvas nas regiões de estudo;
- A resultante dos ventos mostram que o escoamento mais intenso causa divergência e menos intenso causa convergência em Roraima e LNEB. Ventos perpendiculares a costa do LNEB e ventos predominantes de nordeste em Roraima contribuem para o aumento da precipitação.
- Na análise de agrupamento foram identificados três grupos homogêneos para Roraima e dois grupos para o LNEB. Os grupos do LNEB foram agrupados pela diferença no total pluviométrico, ao passo que em Roraima além dos totais serem diferentes as pântadas máximas são defasadas no tempo.
- A pântada que inicia a EC para as duas regiões são muito próximas, em média ocorre na pântada 17 e a PEC na pântada 8. Entretanto, pela metodologia empregada e partir dos resultados encontrados a PEC para LNEB e Roraima não são consistentes, pois a quantidade de ocorrências de PEC foram pequenas, exceto para a região costeira do LNEB e as possíveis PEC observadas nos demais grupos podem ser consideradas eventos chuvosos anômalos.
- Ainda pode-se concluir que a variabilidade da TSM no Pacífico Equatorial produz variabilidade interanual nos totais de precipitação de Roraima e do LNEB, foi observado que quando há uma ATSM positiva (negativa) verifica-se diminuição (aumento) das chuvas em Roraima e LNEB. Enquanto que a variabilidade da TSM do ATN influencia na precipitação de Roraima e não tem nenhuma relação com as chuvas do LNEB. Já a variabilidade da TSM do ATS tem relação com apenas um grupo do LNEB (RA) e outro

de Roraima (GC). Portanto, a influência da TSM do ATS nas chuvas de ambas regiões é apenas local.

- A ocorrência das PEC estão associadas as ATSM dos dois oceanos. Os resultados mostraram que em anos de ocorrência de possíveis PEC as águas superficiais dos dois oceanos estavam anormalmente mais frias.
- Também é possível concluir que as variabilidades interanuais da precipitação de Roraima e do LNEB estão em fase, tanto para os totais anuais como para os mensais do período chuvoso, ou seja, em geral, nos anos de aumento das chuvas em Roraima também ocorre aumento no LNEB, enquanto, nos anos de diminuição das chuvas em Roraima observa-se diminuição desta variável no LNEB, exceto em poucos casos isolados. Entre as prováveis causas para que estas variabilidades interanuais estejam em fase estão o fenômeno ENOS que afeta as duas regiões, ao passo que, os casos isolados podem está relacionadas as anomalias do ATN e ATS que afetam diferente em ambas as regiões.

#### **Como sugestões para novos estudos:**

- Aprofundamento das causas para o reduzido número de ocorrência de PEC observado em Roraima e na região da costa do LNEB.
- Investigar a influência de outros índices climáticos, como Oscilação do Atlântico Norte (NAO), ODP, Oscilação Multidecenal do Atlântico (OMA) nas chuvas de Roraima.
- Estimar regiões pluviometricamente homogêneas em todo Brasil e determinar as pântadas de início e fim da PEC e da EC, usando a metodologia desta pesquisa, em cada uma das regiões homogênea obtidas.

## 7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGOSTINHO, J. D. **Subsidio a discussão de um plano de desenvolvimento sustentável para o estado de Roraima**. Universidade de São Paulo, São Paulo. Tese de Doutorado, 2000.

ALVES, J. M. B., TEXEIRA, R. F. B., e FERREIRA, A. G. Um intenso sistema convectivo de meso-escala no setor leste da região nordeste: o caso de 20 a 21 de 1999. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 16, n. 1, p. 19-31, 2001.

ALVES, J. M. B., CAMPOS, J. N. B. e STUART, T. M. C. **As chuvas de janeiro/2004 no nordeste do Brasil, suas características atmosféricas e seus impactos nos recursos hídricos da região**. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, São Luís – MA. A Gestão Democrática e Sustentabilidade das Águas, 2004.

ALVES, J. M. B., FERREIRA, J. N. B., CAMPOS, J. N. B., FILHO, F. A. S., SOUZA, E. B., DURAN, B. J. SERVAIN, J. e STUART, T. M. Mecanismos atmosféricos associados à ocorrência de precipitação intensa sobre o nordeste do Brasil durante janeiro/2004. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 1, p. 56-76, 2006.

AMADOR, J. A. e ALFARO, E. J. Weather climate socio-economic impacts in Central America for the management and protection of world heritage sites and the Diquis Delta culture in Costa Rica (a case study). **Advances in Geosciences**, v. 35, p. 157-167, 2014.

AMORIM, A. C. B., CHAVES, R. R. e SILVA, C. M. S. Influence of the Tropical Atlantic Ocean's Sea Surface Temperature in the eastern northeast Brazil precipitation. **Atmospheric and Climate Sciences**, v. 4, p. 874-883, DOI 10.4236/acs.2014.45077, 2014.

ANDREOLI, R. V. e KAYANO, M. T. A importância relativa do Atlântico Tropical Sul e Pacífico leste na variabilidade de precipitação do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 1, p. 63-74, 2007.

ANDREOLI, R. V., SOUZA, R. A. F., KAYANO, M. T. e CANDIDO, L. A. Seasonal anomalous rainfall in the central and eastern Amazon and associated anomalous oceanic

and atmospheric patterns. **International Journal of Climatology**, v. 32, p. 1193-1205. Published Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/joc.2345, 2012.

ARAGÃO, R. D., SANTANA, G. R. D., DA COSTA, C. E. F. F., CRUZ, M. A. S., FIGUEIREDO, E. D., SRINIVASAN, V. S. Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Paraíba, v. 17, n. 3, p. 243-252, 2013.

ARAÚJO, W. S. e SOUSA, F. D. A. S. D. Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no nordeste do Brasil usando análise multivariada. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 8, v. 10, p. 136-152. INSS: 1980-055x (Impressa), 2237-8642 (Eletrônica), 2012.

ARAÚJO, R. G., ANDREOLI, R. V., CANDIDO, L. A., KAYANO, M. T. e SOUZA, R. A. F. A influência do evento El Niño-Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. **Acta Amazônia**, v. 43, n. 4, p. 469-480, 2013.

BARBOSA, R. I. Distribuição das chuvas em Roraima. **Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima. Manaus**. INPA, p. 324-335, 1997.

BASTOS, C., FERREIRA, N. **Análise Climatológica da Alta Subtropical do Atlântico Sul**. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2000. Anais. Rio de Janeiro, p. 612-619, 2000.

BESERRA NETA, L. C.; SILVA, G. D. F. N. A influência dos elementos climáticos e a variação da ocorrência de focos de calor no espaço geográfico de Roraima. **Textos e Debates (UFRR)**, v. 07, p. 58-63, 2004.

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

BOMBARDI, R. J., CARVALHO, L. M. V. Variabilidade do regime de monções sobre o Brasil: o clima presente e projeções para um cenário com 2xCO<sub>2</sub> usando o modelo MIROC. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n.1, 58-72, 2008.

BOMBARDI, R. J., CARVALHO, L. M. V. {IPPC} global coupled climate model simulations of the South America Monsoon System. **Climate Dynamics**, v. 33, p. 893–916, 2009.

BOMBARDI, R. J. CARVALHO, L. M. V., JONES, C. e REBOITA, M. S. Precipitation over eastern South America and South Atlantic sea surface temperature during neutral ENSO periods. **Climatology Dynamic**, v. 42, p. 1553-1568, DOI 10.1007/s00382-013-1832-7, 2014.

BOVOLO, C. I., PEREIRA, R., PARKIN, G., KILSBY, C. WAGNER, T. Fine-scale regional climate patterns in the Guianas, tropical South America, based on observations and reanalysis data. **International Journal of Climatology**, v. 32, p. 1665-1689, and Wiley Online Library, (wileyonlinelibrary.com), 2012.

BRITO, B. M. D., LEVIT, V., FEDEROVA, N. MOLION, L. C. B., TENÓRIO, R. S., RODRIGUES, R. N. e DA SILVA, B. F. P. Análise do comportamento das trovoadas no estado de Alagoas, previsão à curto prazo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 2, p. 243 - 256, 2011.

CARVALHO, M. A. V. D. e 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. 305-316, 2013.

CAVALCANTI, I. F. D. A. The influence of extratropical Atlantic Ocean region on wet and dry year in North-Northeastern Brazil. **Frontiers in Environmental Science** (www.frontiers.org), v. 3, art. 34. Original Research, DOI 10.3389/fenvs.2015.00034, 2015.

CHAN, C. S. **Análise de distúrbios ondulatórios de leste sobre o oceano Atlântico Tropical Sul**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. INPE, São José dos Campos, SP, Brasil, 1990.

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

COSTA, M. D. S., **Vórtice Ciclônico em Altos Níveis associado à Corrente de Jato no nordeste Brasileiro nos anos de 1998-2007**. Dissertação em Meteorologia – Universidade Federal de Alagoas – UFAL. p. 113, 2010.

COSTA, M. D.S., LEVIT, V. e FEDEROVA, N., Padrões de circulação atmosférica no nordeste Brasileiro dos eventos de Vórtice Ciclônico de altos Níveis com Corrente de Jato. **Revista Brasileira de Geografia Física** v. 6, n. 4, p. 794-804. Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe). 2013.

COSTA, R. L., SOUZA, E. P. D. e SILVA, F. D. D. S. Aplicação de uma teoria termodinâmica no estudo de um Vórtice Ciclônico de Altos níveis sobre o Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 1, p. 96-104, 2014.

COUTINHO, E. C., FISCH, G. Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) na Região do Centro de Lançamento de Alcântara – MA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 2, p. 193-203, 2007.

CAMPOS, A. M. V. e FEDEROVA, N. **Corrente de jato do nordeste brasileiro**. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. Florianópolis, 2006.

CHEN, T-C. Maintenance of Summer Monsoon Circulations: A planetary-scale perspective. American Meteorological Society. **Journal of Climate**, v. 16, p. 2022-2037, 2003.

CUSTÓDIO, L. L. M. **Variabilidade de TSM no Atlântico Tropical e sua influência na precipitação sobre a América do Sul Tropical**. Monografia. Universidade do Estado do Amazonas. 2014.

DE SOUSA, A. M. L., ROCHA, E. J. P., VITORINO, M. I., PONTES DE SOUZA, P. J. O. e BOTELHO, M. N. Variabilidade espaço-temporal da precipitação na Amazônia durante eventos Enos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 1, p. 13-24, ISSN: 1984-2295, 2015.

DEGOLA, T. S. D. **Impactos e variabilidade do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul sobre o Brasil no clima presente e em cenários futuros**. Dissertação de Mestrado. USP – São Paulo, p. 112, 2013.

DEE, D. P., UPPALA, S. M., SIMMONS, A. J., 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.

DILE, Y. T. e SRINIVASAN, R. H. Evolution of CFSR climate data for hydrologic prediction in datascarc watersheds: An application in the Blue Nile River Basin. **Journal of the American Water Resources Association**, p. 1-16, 2014.

FERREIRA, A. G. e MELLO, N. G. D. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1. p. 15-28, 2005.

FERREIRA, S. A., GAN, M. A. Intraseasonal variability in the South American monsoon system. Royal Meteorological Society. **Atmospheric Science Letters**, v. 12, p. 253-260. Website: wileyonlinelibrary.com (DOI: 10.1002/asl.328), 2011.

FIGUEROA, S. N. e NOBRE, C. A. . **A new precipitation distribution over tropical South America West of 40W**. In: VI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Salvador, p. 179-184. 1990.

FORTUNE, M. A. E KOUSKY, V. E. Two severe freezes in Brazil: Precursors and synoptic evolution. **American Meteorological Society**, v. 111, p. 181-196, 1983.

FRANCA, R. R. **Climatologia mensal do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul**. In: IV Simpósio Internacional de Climatologia. João Pessoa. Anais IV SIC, 2011.

FREIRE, J. L. M., LIMA, J. R. A. e CAVALCANTI, E. P., Análise de aspectos meteorológicos sobre o nordeste do Brasil em anos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, p. 429-444, 2011.

FUKA, D. R., WALTER, M. T., MACALISTER, C., DEGAETANO, A. T., STEENHUIS, T. S. e EASTON, Z. M. Using the Climate Forecast System Reanalysis as weather input data or watershed models. **Hydrological Processes**. Website: wileyonlinelibrary.com, 2013.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME. **Para entender melhor a previsão meteorológica para a estação chuvosa no Ceará. Glossário de Termos Meteorológicos**, 2009.

GAN, M. A. e KOUSKY, V. E. **Um Estudo observacional sobre as Baixas Frias da alta troposfera nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e leste do Brasil**. INPE, São José dos Campos, SP. 25 p., 1982.

GAN, M. A., KOUSKY, V. E. e ROPELEWSKI, C. F. The South America monsoon circulation and its relationship to rainfall over West-Central Brazil. **Journal of Climate**, v. 17, n. 1, p. 47-66, 2004.

GARCIA, S. R. **Variabilidade do sistema de Monção da América do Sul: Relações com a Oscilação Decadal do Pacífico**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. INPE, p. 142, 2006.

GOMES, H. B. **Estudo da Corrente de Jato próximo ao estado de Alagoas**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Alagoas – UFAL. p. 113, 2003.

GRIMM, A. M. The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: Regional processes versus remote influences. **Journal of Climate**, v. 16, p. 263-280, 2003.

HASTENRATH, S. Variations in low-latitude circulation and extreme climatic events in the tropical Americas. **Journal Atmospheric Sciences.**, v. 33, p. 202-215, 1976.

HASTENRATH, S., HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 107, p. 77-92, 1977.

HASTENRATH, S. On modes of tropical circulation climate anomalies. **Journal. Atmospheric Science**, v. 35, p. 2222 - 2231, 1978.

HASTENRATH, S. e POLZIN, D. Climatic variation in Central America and the Caribbean. **International Journal of Climatology**, v. 33, p. 1348-1356. In Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/joc.3515, 2013.

HERDIES, D. L., SILVA, A., SILVA DIAS, M. A. e FERREIRA, R. N. Moisture budget of the bimodal pattern of the summer circulation over South America. **Journal of Geophysical Research**, p. 107, 42/1-42/10, 2001.

HIDALGO, H. G. ALFARO, E. J. e QUESADA-MONTANO, B. Observed (1970-1999) climate variability in Central America using high-resolution meteorological dataset with implication to climate change studies. **Climatic Change**. DOI 10.1007/s10584-016-1786-y, 2016.

JONES, C. e CARVALHO, L. M.V. Active and break phases in the South American monsoon system. **Journal of Climate**, v. 15, p. 905–914, 2002.

KARMALKAR, A. V., TAYLOR, M. A., CAMPBELL, J., NEW, S. M., CENTELLA, A., BENZANILLA, A. e CHARLERY, J. A review of observed and projected changes in climate for the islands in the Caribbean. **Atmósfera**, v. 26, n. 2, p. 283-309, 2013.

KAYANO, M. T., ANDREOLI, R. V. e SOUZA, A. F. Relations between ENSO and the South Atlantic SST modes and their effects on the South American rainfall. **International**

**Journal of Climatology**, v. 33, p. 2008-2023. Published Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/joc.3569, 2013.

KOUADIO, Y. K., SERVAIN, J., MACHADO, L. A. T. e LENTINI, C. A. D., Heavy rainfall episodes in the lastern northeast Brazil linked to large-scale ocean-atmosphere conditions in the Tropical Atlantic. Hindawi Publishing Corporation. **Advances in Meteorology**, v. 2012, article ID 369567, p. 16, DOI: 10.155/2012/369567, 2012.

KOUSKY, V. E. Frontal Influences on northeast Brazil. American Meteorological Society. **Monthly Weather Review**, v. 107, p. 1140-1153, 1979.

KOUSKY, V. E. Diurnall rainfall variation in the northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 108, n. 4, p. 488 – 498, 1980.

LANDAU, S. e CHIS TER, I. Cluster Analysis: Overview. **In International Encyclopedia of Education**. Ed 3, Oxford: Elsevier. p. 72–83, 2010.

LIEBMANN, B. e MARENGO J. Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 14, p. 4308-4318, 2001.

LIEBMANN, B. e MECHOSO, C. R. The South American Monsoon System. **World Scientific Publishing Co. Research and Forecast**. Ed 2, p. 137-157, 2011.

LINDEN, R. Técnicas de agrupamento. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**, n. 4, p. 18-36. <http://www.fsma.edu.br/si/sistemas.html>, 2009.

LUCENA, D. B., SERVAIN, J. e GOMES FILHO, M. F., Rainfall response in northeast Brazil from ocean climate variability during the second half of the twentieth century. American Meteorological Society. **Journal of Climate**, v. 24, p. 6174-6184. DOI: 10.1175/2011JCI4194.1, 2011.

LYON, B. Enhanced seasonal rainfall in northern Venezuela and the extreme events of December 1999. **Journal of Climate**, v. 16, p. 2302-2306, 2002.

MADDOX, R. A. Mesoscale convective complexes. **Bulletin American Meteorology Society**, v. 61, p. 1374–1387, 1980.

MADDOX, R. A. Large-scale meteorological conditions associated with midlatitude, Mesoscale convective complexes. **Monthly Weather Review**, v. 111, p. 1475-1493, 1983.

MARENGO, J. A., LIEBMANN, A. M., GRIMM, V., MISRA, P. L., SILVA DIAS, I. F. A., CAVALCANTI, L. M. V., BERBERY, E. H., AMBRIZZI, T., VERA, C. S., SAULO, A. C., NOGUES-PAEGLE, ZIPSER, E., SETH, A. e ALVES, L. M. Review: Recent developments on the South American monsoon system. **International Journal of Climatology**, v. 32, p. 1-21. Published Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/joc.2254, 2012.

MECHOSO C. R., ROBERTSON, A. W., ROPELEWSKI C. F. e GRIMM, A. M. **The American monsoon systems**. In The 3rd International Workshop on Monsoon (IWM-III), Hangzhou, China, November 2–6, p. 89–98, 2004.

MECHOSO, C. R., ROBERTSON, A. W., ROPELEWSKI, C. F. e GRIMM, A. M. **The American Monsoon Systems: An Introduction**. C-P. Chang, B. Wang and N. -C. G. Lau, Eds WMO/TD No. 1266 (TMRP Report No. 70), p. 197-206, 2005.

MITRO, S. **The influence of the subtropical high-pressure systems on rainfall and temperature distribution in Suriname and implications for rice production in the Nickerie District**. Dissertação de Mestrado em Ciências. The University of the West Indies. 2010.

MOLION, L. C. B., BERNARDO, S. O. Uma Revisão da Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 1, p. 1-10, ISSN0102-7786, 2002.

MOLION, L.C.B., BERNARDO, S. O. **Variabilidade temporal e espacial na precipitação da costa leste do nordeste no período 1992-97**. In: XIII Congresso

Brasileiro de Meteorologia. Fortaleza (CE). Anais XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2004.

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, p. 2653-2675, 1981.

MOURA, G. B. A., ARAGÃO, J. O., LACERDA, F. F., PASSAVANTE, J. Z. O. Relação entre a precipitação no setor leste do nordeste do Brasil e a temperatura da superfície nos oceanos Atlântico e Pacífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.247-251, 2000.

MOURA, G. B. A., ARAGÃO, R., MELO, J. S. P., SILVA, A. P. N., GIONGO, P. R., LACERDA, F. F. Relação entre a precipitação do leste do nordeste do Brasil e a temperatura dos oceanos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.4, p.462-469, Campina Grande, PB, UAEA/UFCG. Website: <http://www.agriambi.com.br>, 2009.

MOURÃO JÚNIOR, M., XAUD, M. R., XAUD, H. A. M., MOURA NETO, M. A. D., ARCO-VERDE, M. F., PEREIRA, P. R. V. D. S. e TONINI, H. Precipitação pluviométrica em áreas de transição savana-mata de Roraima: campos experimentais Serrada Prata e Confiança. **Comunicado Técnico n. 17 – Embrapa Roraima**, ISSN 0102-099, 2003.

NURMOHAMED, R. J. e NAIPAL, S. Variability of rainfall in Suriname and the relation with ENSO-SST and TA-SST. **Advances in Geosciences**, v. 6, p. 77-82, ID 1680-7359/adgeo/2006-6-77, 2006.

PEREIRA, R. C. G. e CAVALCANTI, E. P., Regimes pluviométricos da região NE do Brasil: Uma análise dos dados climatológicos de 1961 a 1990 utilizando ACP. **Revista de Geografia (UFPE)**, v.31, n. 2, p. 248-257, 2014.

PINHO, V. N., NASCIMENTO, A. A., MEDEIROS, F. C., MEDEIROS, I. R., TENÓRIO, R. S. e MORAES, M. C. D. S. **Características de evento extremo de**

**precipitação na costa leste do Brasil: caso de janeiro de 2004.** XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010.

POLZIN, D. e HASTENRATH, S. Climate of Brazil's Nordeste and Tropical Atlantic sector: Preferred time scales of variability. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 2, p. 153-160, 2014.

POVEDA, G. e MESA, O. J. La corriente de corro superficial de oeste ("Del Chocó") e otras dos corrientes de Chorro em Colombia: Climatología y variabilidad durante las fases del Enso. **Revista Academica Colombiana Ciencias**, v. 23, n. 89, p. 517-528, ISSN 0370-3908, 1999.

POVEDA, G., WAYLEN, P. R. e PULWARTY, R. S. Annual and inter-annual variability of the present climate in northern South America and southern Mesoamerica. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 234, p. 3-27. DOI: 10.1026/j.palaeo.2005.1.0.031, 2006.

POVEDA, G., JARAMILLO, L. e VALLEJO, L. F. Seasonal precipitation patterns along pathways of South American low-level jets and aerial rivers. **Water Resources Research**, v. 50, p. 98-118, DOI: 10.1002/2013WR014087, 2014.

QUADRO, M. F. L., MACHADO, L. H. R., CALBETE, S., BATISTA, N. N. M. e OLIVEIRA, G. S. Climatologia de precipitação e temperatura. **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. Edição Especial Comemorativa de 10 anos, 1996, Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/chuesp.html>, acessado em 16 de outubro de 2016.

RAIA, A., CAVALCANTI, I. F. A. The life cycle of the South American Monsoon System. American Meteorological Society. **Journal of Climate**. v. 21, p. 6227-6246. 2008.

RAO, V. B., LIMA, M. C. e FRANCHITO, S. H. Seasonal and interannual variations of rainfall over eastern northeast Brazil. **American Meteorological Society**, v. 6, p.1754-1763, 1993.

RAO, V. B., CHAPA, S. R. FERNANDEZ, J. P. R e FRANCHITO, S. H. A diagnosis of rainfall over South America during the 1997/98 El Niño event, Part II: Roles of Water Vapor Transport and Stationary Waves. **Journal of Climate**, v. 15, p. 512-521, 2002.

REBOITA, M. S., GAN, M. A., DA ROCHA, R. P. e AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: Uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia (impresso)**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

RINGARD, J., BECKER, M., SEYLER, F., LINGUEST, L. Temporal and spatial assessment of four satellite rainfall estimates over French Guiana and north Brazil. **Remote Sensing**, v. 7, p. 16441-16459. doi:10.3390/rs71215831. Website: [www.mdpi.com/journal/remotesensing](http://www.mdpi.com/journal/remotesensing). 2015.

RONCHAIL, J., COCHONNEAU, G., MOLINIER, M., GUYOT, J-P., CHAVES, A. G. M., GUIMARAES, V., OLIVEIRA, E. Interannual rainfall variability in the amazon basin and sea-surface temperatures in the equatorial Pacific and the tropical Atlantic oceans. Royal Meteorological Society. **International Journal Of Climatology**, v. 22, p. 1663–1686. Website: [www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com). 2002.

SAHA, S., MOORTHY, S., PAN, H-L., WU, X., WANG, J., NADIGA, S., TRIPP, P., KISTLER, R., WOOLLEN, J., BEHRINGER, D., LIU, H., STOKES, D., GRUMBINE, R., GAYNO, G., WANG, J., HOU, Y-T., CHUANG, H-Y., JUANG, H-M. H., SELA, J., IREDELL, M., TREADON, R., KLEIST, D., DELST, P. V., KEYSER, D., DERBER, J., EK, M., MENG, J., WEI, H., YANG, R., LORD, S., DOOL, H. V. D., KUMAR, A., WANG, W., LONG, C., CHELLIAH, M., XUE, Y., HUANG, B., SCHEMM, J-K, EBISUZAKI W., LIN, R., XIE, P., CHEN, M., ZHOU, S., HIGGINS, W., ZOU, C-Z., LIU, Q., CHEN, Y., HAN, Y., CUCURULL, L., REYNOLDS, R. W., RUTLEDGE, G., e GOLDBERG, M. The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. **American Meteorological Society**, v. 91, n. 8, p. 1015-1057, 2010.

SAMPAIO, G. D. O. e SATYAMURTY, P. **El Niño de 1997/98: Evolução e Impactos no Brasil**. In: X Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10 e Congresso da Federação Latino-americana e Ibérica de Sociedades de Meteorologia, 8., 1998, Brasília. Anais. Brasília: SBMET, 1998.

SANTOS, A. H. M. D., ARAGÃO, M. R. D. S., CORREIA, M. D. F., ARAÚJO, H.A. D. e SILVA, A. B. Distúrbio ondulatório de leste e seus impactos na cidade de Salvador. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 3, p. 355 - 364, 2012.

SANTOS, D. C., MEDEIROS, R. M., CORREIA, D. S., OLIVEIRA, V. G. e BRITO, J. I. B. **Variabilidade de índice de precipitação e temperatura na Amazônia Ocidental**. In: I CONICBIO / II CONABIO / VI SIMCBIO, v. 2. Resumo Expandido. Universidade Católica de Pernambuco – Recife-PE-Brasil, 2013.

SIERRA, F. P., ARIAS, P. A. e VIEIRA, S. C. Precipitation over northern South America and Its seasonal variability as simulated by the CMIP5 Models. Hindawi Publishing Corporation. **Advances in Meteorology**, v. 22, Article ID 634720, DOI: 10.1155/2015/634720, 2015.

SIERRA, J. P., ARIAS, P. A., e VIEIRA, S. C. **Sobre la representación de la precipitación en el Norte de Suramérica por los modelos del CMIP5**. Sociedad Colombiana de Ingenieros. XXII Seminário Nacional de Hidráulica e Hidrologia – Bogotá-Colombia, 2016.

SILVA, B. F. P. D. **Contribuição dos distúrbios ondulatórios de leste para a chuva no leste do nordeste do Brasil: evolução sinótica média e simulações numéricas**. Dissertação de Mestrado em Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo, 2011

SILVA, B. F. P. D., FEDEROVA, N., LEVIT, V., PERESETSKY, A. e BRITO B. M. D. Sistemas Sinóticos associados às precipitações intensas no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 3, p. 323-338, 2011.

SILVA, V. B. S. e KOUSKY, V. E. The South American Monsoon System: Climatology and Variability. **Modern Climatology**, cap. 5, p. 123-152. Website: [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com), 2012.

SILVA, D., SANDER, C., ARAÚJO, A. e WANKLER, F. Análise dos ciclos de precipitação na região de Boa Vista – RR nos anos de 1910 a 2014. **Geografia Acadêmica**, v. 9, n. 2, XII, p. 34-49, ISSN 1678-7226, 2015.

SODRÉ, G. R. C., FILHO, J. D. C. S. Estudo de caso: Análise sinótica de um evento extremo de precipitação no estado de Pernambuco entre os dias 17 e 19 de Junho de 2010. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 06, n. 01, 2013.

SOUZA, E. B. e NOBRE, P. Uma revisão sobre o padrão de dipolo no Atlântico Tropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 13, n. 1, p. 31-44, 1998.

SPIEGEL, M. R., STEPHENS, L. J. **Estatística**, 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 600p.

STRANG, D. M. G. D. Análise climatológica das normais pluviométricas do nordeste do Brasil. São José dos Campos, **CTA**, p. 29. 1972.

TAVARES, J. P. N. Características da climatologia de Macapá-AP. **Caminhos de Geografia – Revista On line (UFU)**, v. 15, n. 50, p. 138-151, site: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/>, ISSN: 1678-6343, 2014.

TEIXEIRA, R. F. B. O fenômeno da brisa e sua relação com a chuva sobre Fortaleza-CE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 3, n. 3, p. 282-291, 2008.

TEXAS A&M UNIVERSITY. **Global Weather Data for SWAT**. 2012. Disponível em: <http://globalweather.tamu.edu/>. Acesso em junho, 2016.

TOMAZIELLO, A. C. N., **Variabilidade da Zona de Convergência Intertropical do Atlântico durante as estações seca e chuvosa da América do Sul tropical**. Tese de Doutorado em Meteorologia, Universidade de São Paulo, 2014.

VASCONCELOS JÚNIOR, F. D. C. **Pré-Estação Chuvosa e a Estação Chuvosa do norte do nordeste do Brasil: Aspectos interanuais, intrazonais e extremos.** Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado em Meteorologia, p. 129, 2014.

VAZ, J. C. M. **Análise das ondas de leste sobre a costa leste do nordeste do Brasil para o período entre 1999-2009.** Dissertação de Mestrado em Meteorologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2011.

VERA, C., HIGGINS, W., AMADOR, J., AMBRIZZI, T., GARREAUD, R., GOCHIS, D., GUTZLER, D., LETTENMAIER, D., MARENGO, J., MECHOSO, C. R., NOGUES-PAEGLE, J., SILVA DIAS, P. L.; e ZHANG, C. Toward a unified view of the American Monsoon Systems. American Meteorological Society. **Journal of Climate – Special Section**, v. 19, p. 4977-5000, 2006.

WANG, C. Atmospheric circulation cells associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Journal of Climate**, v. 15, p. 399-319, 2002.

WARD, J. H. Hierarchical grouping of optimize an objective function. **Journal American Statistical Association**, v. 58, p. 236-244, 1963.

YAMAZAKI, Y., RAO, V. B. Tropical cloudiness over South Atlantic Ocean. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 55, n. 2, p. 205-207, 1977.

ZHOU J. E LAU, K-M. Does a Monsoon Climate Exist over South America? American Meteorological Society. **Journal of Climate**, v. 11, p. 120-1040, 1998.