



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

CARLOS DENYSON DA SILVA AZEVEDO

**ANÁLISE DA ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO PR-TRMM DURANTE A
ESTAÇÃO CHUVOSA PARA OS ESTADOS DE ALAGOAS E SERGIPE**

Maceió
2015

CARLOS DENYSON DA SILVA AZEVEDO

**ANÁLISE DA ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO PR-TRMM DURANTE A
ESTAÇÃO CHUVOSA PARA OS ESTADOS DE ALAGOAS E SERGIPE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção de grau de Mestre em Meteorologista.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Tejo Di Pace

Maceió
2015

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

A994a Azevedo, Carlos Denyson da Silva.

Análise da estimativa de precipitação PR-TRMM durante a estação chuvosa para os estados de Alagoas e Sergipe / Carlos Denyson da Silva Azevedo. – 2015.

93 f. : il.

Orientador: Frederico Tejo Di Pace.

Dissertação (mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2014.

Bibliografia: f. 88-92.

Apêndices: f. 93.

1. Precipitação (Meteorologia). 2. Sensoriamento remoto. 3. Precipitação – Nordeste, Brasil – Estimativa. 4. Satélites meteorológicos. 5. Sensor PR-TRMM.
I. Título.

CDU: CDU: 551. 501.86(812/813)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-124.

**“ANÁLISE DA ESTIMATIVA DA PRECIPITAÇÃO TRMM-TR DURANTE A ESTAÇÃO
CHUVOSA PARA OS ESTADOS DE ALAGOAS E SERGIPE”**

Carlos Denyson da Silva Azevedo

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Aprovado pela Banca Examinadora composta por:

Frederico Tejo Di Pace

Prof. Dr. Frederico Tejo Di Pace
(Orientador)

Ricardo

Prof. Dr. Ricardo Ferreira Carlos de Amorim
(Membro Interno)

Daniel

Prof. Dr. Daniel Alejandro Vila
(Membro Externo – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)

Maio/2015

*A minha família,
Pai, Mãe e Noiva, este dedico...*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus acima de tudo, por seu meu amigo e me proporcionar tantas maravilhas.

A minha querida Mãe Isabele Azevedo, sempre guerreira em defender sua família e demonstrar seu amor sincero para com os mesmos. Ao meu Pai Carlos Frazão de Azevedo, que sempre me manteve calmo durante esses anos de mestrado e pelo homem da família que ele é. A minha querida Irmã Karla Azevedo, que mesmo com nossas diferenças sempre cuidamos um do outro. A minha linda Noiva Elaine Roque que manteve lúcido e vivo durante esses dois anos tão importantes e felizes na minha vida, ajudando e me tranquilizando durante a realização deste trabalho. E pela confiança e amor em dividir sua vida comigo, além de minha amada, é minha melhor amiga e eterna paixão.

A pessoa que contribuiu imensamente para meu crescimento, tanto no pessoal e profissional, meu orientador Prof. Dr. Frederico Tejo Di Pace, que nestes anos, durante a graduação e mestrado, foi mais que um grande educador e amigo para mim, foi um verdadeiro Pai.

Ao Prof. PhD. Daniel Alejandro Vila que me acolheu em meus estudos e me direcionou, compartilhando seus valiosos conhecimentos, que foram de tal importância para a realização deste trabalho, a quem tenho estima admiração e apreço.

Ao M.e Ramon Braga, a quem devo muito do que aprendi durante minha ida ao INPE, sempre sincero e com palavras de forte efeito motivador para a realização deste trabalho. E ao M.e Rômulo Oliveira pelos ensinamentos passados e por ter sido um dos principais propulsores para minha participação durante o Encontro dos Alunos de Pós-Graduação do INPE, uma das mais valiosas atividades realizadas durante o PROCAD. A participação destas duas pessoas foi de fundamental importância para a realização deste trabalho.

Ao professor Prof. Dr. Ricardo Amorim por ter aceitado a fazer parte da banca avaliadora deste trabalho, e também pela contribuição em correções e sugestões para o mesmo e pelo incentivo prestado.

A Professora e Coordenadora da Pós-Graduação em Meteorologia na UFAL Prof. Dr. Luciene Melo, que sempre se manteve presente e por ter sido uma grande facilitadora da minha participação no programa PROCAD.

Aos meus professores nas aulas de mestrado, em especial aos professores Dr. PhD. Luiz C. Molion, Dr. Natália Fedorova, Dr. Vlademir Levi e Dr. Roberto Lyra, que me fizeram compreender em que etapa da vida acadêmica eu estou e pelos conhecimentos passados.

Aos meus irmãos Emerson Damasceno, Aribert Milhahn e Marshall por compartilharmos, durante seis anos, nosso aprendizado na Meteorologia, sempre me dando forças para continuar. Profissionais a quem admiro muito.

Aos irmãos de Banda, meu primo Waneverson Azevedo, Samário Lino e Wagner Tavares que proporcionaram momentos de grande descontração e felicidade.

Aos primos Fabio Bispo, Fabiana Bispo, Marinilton Melo, Gil de Sá, Maria e Ruan. Grandes motivadores e companheiros em horas difíceis nessa jornada no mestrado.

Aos parceiros do laboratório Thomás, Dimas e Jéssica, por todos os “debates” científicos e momentos de descontração. Pessoas que me deram suporte em muitos momentos difíceis e trabalhosos.

Aos meus Amigos que conheci na UFAL, em especial a Kedyna, Maryana, Renato, Juliete, Dany, Diva, Jefferson, Ana, Fabiano, Rodolfo, Lelo, Leandro, Anselmo, e outros que não lembro no momento.

A todo o pessoal que me acolheu no INPE, professores Nelson Ferreira, Simone Sievert, Dirceu Herdies, a Mayra, Bruno, Vinicius, Valesca, Mauro, Dias, Rafael, Rayonil, Francisco, Davi, Henrique, Rayana, Liviane, Alan, Diogo, Roberto, Antony, Caetano e Cristiano.

A uma das melhores bandas de heavy metal do universo, o IRON MAIDEN por suas canções conseguirem me tranquilizar em momentos de muita tensão.

A UFAL por seis anos de muito enriquecimento interior. Minha segunda casa. Ao INPE por me acolhido. E a CAPES pela bolsa de estudos.

A todos meu eterno obrigado!

RESUMO

A precipitação é uma das variáveis mais importantes e difíceis de mensurar para a região tropical, principalmente a costa leste do Nordeste Brasileiro (NEB), onde estão localizados os Estados de Alagoas (AL) e Sergipe (SE) devido à grande carência de estações pluviométricas. A estação chuvosa para a costa leste do NEB é de Abril a Agosto e entre os principais mecanismos que influenciam em sua precipitação estão os distúrbios ondulatórios nos ventos Alísios, os efeitos de brisa e resquícios de frentes frias. Contudo a região está sobe uma zona de subsidência devido a sua adjacência com a região Amazônica, resultando que as maiorias das chuvas sejam oriundas de nuvens da quais a fase de gelo não contribuam significativamente em sua precipitação, nuvens convectiva de topo quente (WRC) e estratiforme (STR). Técnicas de sensoriamento remoto (SR) têm sido utilizadas para detecção espacial de chuva ao redor do globo. Entretanto a maioria das técnicas de SR não é eficaz na recuperação de chuva para WRC e STR, porque se baseiam no topo das nuvens, e são voltadas para nuvem convectiva de topo frio (CNV). Um marco na estimativa da precipitação por SR ocorreu com o lançamento do radar Precipitation Radar (PR) a bordo do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), porque com o uso de microondas ativas é possível recuperar a precipitação abaixo da superfície da nuvem sem interferência de ecos de superfície, ideal para as WRC. O objetivo desta pesquisa foi realizar uma análise da estimativa da precipitação durante a estação chuvosa nos Estados de AL e SE utilizando o sensor PR-TRMM para o período 2004-2013. Com este propósito foram coletados a lat e lon de cada pixel para cada passagem do TRMM, e posteriormente foram passados para uma matriz com ponto de grade $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$, que abrange a área de $8-12^{\circ}S$ e $40-35^{\circ}O$. A priori foi realizada a classificação dos tipos de nuvens precipitantes na região utilizando a metodologia proposta por Awaka et al. (1997). A posteriori foram adotadas diferentes relações entre refletividade do radar e a taxa de precipitação (Z-R) propostas na literatura, uma geral encontrada por Marshall-Palmer (1948) (Z-R MP) e específicas para a região desenvolvidas por Tenório et al (2010) (Z-R TEN), além da estimativa pelo PR-TRMM; para estimar a precipitação mensal cada mês e a média mensal para 2004-2013, o ciclo diário da precipitação usando os intervalos das 00-06h, 06-12h, 12-18h e 18-00h (horário local) e a contribuição dos tipos de precipitação, durante a estação chuvosa. Posteriormente foi feita a comparação entre as taxas de precipitação mensais estimadas pelas Z-R propostas e obtidas pelas estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) condicional a passagem do TRMM calculando o coeficiente de correlação e a distribuição da frequência acumulada entre as duas variáveis. Foi possível a análise da estimativa da precipitação durante a estação chuvosa em AL e SE utilizando dados do PR-TRMM. Assim como, uma breve análise climatológica da precipitação durante 2004-2013, mostrando aproximações satisfatórias quanto a variabilidade sazonal da precipitação descrita na literatura. Fora computada a média mensal da precipitação e sua variabilidade interanual, e na comparação como os dados de superfície a Z-R TEN mostrou melhor desempenho tanto nas zonas do litoral, transição e semiárido. Foi recuperado o ciclo diário da precipitação e observou-se que sua distribuição espacial e temporal varia durante os meses da estação chuvosa, as precipitações durante a manhã nos últimos meses da estação se concentra mais ao litoral diferentemente dos primeiros meses. Os fechos de brisas foram observados no ciclo diário da precipitação, sendo que a brisa noturna conflui com a convergência de umidade transportada pelos ventos Alísios. As nuvens WRC contribuem 45%, no início da estação chuvosa, a 80%, no fim da estação, para as chuvas na região. Diante dos resultados o PR-TRMM, mesmo com baixa resolução temporal, mostrou-se como sensor em potencial para a estimativa da precipitação sobre os Estados de AL e SE.

Palavras-chaves: Precipitação (Meteorologia). Sensoriamento remoto. Precipitação – Estimativa. Satélite. Radar. Nuvens.

ABSTRACT

Precipitation is one of the most important variable and difficult to measure for the tropical region, especially east coast of Northeast Brazil (NEB), where are located the states of Alagoas (AL) and Sergipe (SE) due to the great lack of rainfall stations . The rainy season for the east coast of the NEB is from April to August and between the main mechanisms that influence in their rush are the wave disturbances in the trade winds, the effects of breeze and remnants of cold fronts. However the region is climbs a subsidence zone due to its adjacency to the Amazon region, with the result that the majority of the rains are coming from clouds of which the ice phase does not contribute significantly in their rush, hot top convective clouds (WRC) and stratiform (STR). Remote sensing techniques (SR) have been used for spatial detection of rain around the globe. However most of the SR techniques is not effective in the rain recovery for WRC and STR, because they are based on top of the clouds, they are geared towards convective cloud cold top (CNV). A milestone in estimating precipitation SR occurred with the radar Release Precipitation Radar (PR) on board the satellite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), because the use of active microwave to retrieve the precipitation below the cloud's surface without interference surface echoes, ideal for the WRC. The objective of this research was to conduct an analysis of the estimated rainfall during the rainy season in the AL and SE using TRMM PR-sensor for the period 2004-2013. For this purpose were collected Lat and Lon of each pixel for each run TRMM, and were subsequently passed to a matrix of grid point $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$, which covers the area $8-12^{\circ}$ S and $40-35^{\circ}$ O. A priori was held the classification of types of precipitating clouds in the region using the methodology proposed by Awaka et al. (1997). Subsequently were adopted different relationships between the radar reflectivity and precipitation rate (Z-R) proposed in the literature, a general found by Marshall-Palmer (1948) (Z-R MP) and specific for the region developed by Tenório et al (2010) (Z-R TEN), as well as estimated by the TRMM-PR; to estimate monthly rainfall each month and the monthly average for 2004-2013, the daily cycle of precipitation using the intervals between 00-06h, 06-12h, 12-18h and 18-00h (local time) and the contribution of the types of rainfall during the rainy season. After, the comparison of monthly rainfall rates estimated by the Z-R proposals and obtained by automatic weather stations of the National Institute of Meteorology (INMET) conditional on passage of TRMM calculating the correlation coefficient and the distribution of accumulated frequency between the two variables. Could the analysis of estimated rainfall during the rainy season in AL and SE using PR-TRMM data. As well as a brief analysis of climatological precipitation during 2004-2013, showing satisfactory approaches as the seasonal variability of rainfall reported in the literature. Off computed the average monthly rainfall and its interannual variability, and comparison as the surface data to ZR TEN showed better performance both in coastal areas, transition and semiarid region. Was recovered the daily cycle of precipitation and it was observed that its spatial and temporal distribution varies during their months of the rainy season, rainfall during the morning in the last months of the season focuses more to the coast unlike the first few months. The deeds of breezes were observed in the daily cycle of precipitation, and the night breeze converges with the moisture convergence carried by trade winds. The WRC clouds contribute 45% at the beginning of the rainy season, to 80% at the end of the season for the rains in the region. Based on the results the TRMM PR-even with low temporal resolution, it was shown as a potential sensor for estimating precipitation over the states of AL and SE.

Keywords: Precipitation (Meteorology). Remote sensing. Precipitation - Estimate. Satellite. Radar. Clouds.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área de estudo, em destaque os Estados de Alagoas e Sergipe.....	21
Figura 2 - Precipitação média anual (mm) calculada entre 1979-1995 com base em análises diárias de precipitação no Brasil e em médias mensais para o restante da América do Sul.....	22
Figura 3 - Cumulos congestos A) crescendo a B) cumulonimbus, estrutura da bigorna C) e D), gelo injetado na troposfera pela bigorna E) e bigorna na perspectiva de um satélite F).....	25
Figura 4 - Nuvem Nimbostratus.....	26
Figura 5 - Interação de frequência em microondas sobre o Continente e o Oceano.....	29
Figura 6 - Torre do radar em Maceió – Alagoas – Brasil ($9^{\circ}33'3''S$, $35^{\circ}46'14''W$), 25m de altura, 104m de altitude.....	30
Figura 7 - Área de estudo, em destaque os Estados de Alagoas e Sergipe.....	34
Figura 8 - Distribuição das estações meteorológicas automáticas para os Estados de Alagoas e Sergipe.....	36
Figura 9 - Estimativa da precipitação mensal a partir da Z-R PR-TRMM nos Estados de Alagoas e Sergipe, durante a estação chuvosa no ano de 2004.....	47
Figura 10 - Estimativa da precipitação mensal a partir da Z-R Marshall-Palmer (1948) nos Estados de Alagoas e Sergipe, durante a estação chuvosa no ano de 2004.....	49
Figura 11 - Estimativa da precipitação mensal a partir da Z-R Tenório et al (2010) nos Estados de Alagoas e Sergipe, durante a estação chuvosa no ano de 2004.....	51
Figura 12 - Distribuição média precipitação mensal (mm/mês) para a estação chuvosa na costa leste do NEB durante os anos de 2004 a 2013 de acordo com as Z-R: A) PR-TRMM, B) Marshall-Palmer e C) Tenório et al (2010).....	56
Figura 13 - Precipitação acumulada Normais 61-90 para o Estado de Alagoas.....	59
Figura 14 - Precipitação acumulada Normais 61-90 para o Estado de Sergipe.....	59
Figura 15 - Precipitação média mensal no período de 2004 a 2013 na área de estudo.....	60
Figura 16 - Desvio da precipitação média mensal no período de 2004 a 2013.....	61
Figura 17 - Estimativa da precipitação mensal a partir das Z-R PR TRMM A) e TEN B) para os Estados de Alagoas e Sergipe, para estação chuvosa durante a seca de 2012.....	63

Figura 18 - Estimativa da precipitação mensal a partir das Z-R PR TRMM A) e TEN B) para os Estados de Alagoas e Sergipe, para os meses de Abril de Maio de 2009.....	64
Figura 19 - Ciclo diário da média da precipitação mensal (mm) para o mês Maio segundo as Z-R (1) PR-TRMM e (2) TEM nos intervalos: A) 09-15Z, B) 15-21Z, C) 21-03Z e D) 03-09Z durante o período 2004 – 2013.....	67
Figura 20 - Ciclo diário da média da precipitação mensal (mm) para o mês Julho segundo as Z-R (1) PR-TRMM e (2) TEM nos intervalos: A) 09-15Z, B) 15-21Z, C) 21-03Z e D) 03-09Z durante o período 2004 – 2013.....	68
Figura 21 - Contribuição dos tipos de precipitações CNV A), STR B) e WRC C) para as o mês de Abril no período de 2004 a 2013.....	71
Figura 22 - Porcentagem do numero de observações de precipitação CNV A), STR B) e WRC C) para mês de Abril no período de 2004 a 2013.....	72
Figura 23 - Porcentagem da frequência de precipitações CNV, STR e WRC para a área de estudo durante 2004 a 2013.....	73
Figura 24 - Regressão linear da taxa de precipitação observada pela estação de COR (AL), condicional a passagem do satélite TRMM, e a taxa de precipitação acumulada a partir das Z-R: PR-TRMM A), MP B) e TEN C).....	77
Figura 25 - Regressão linear da taxa de precipitação observada pela estação de PDI (AL), condicional a passagem do satélite TRMM, e a taxa de precipitação acumulada a partir das Z-R: PR-TRMM A), MP B) e TEN C).....	78
Figura 26 - Regressão linear da taxa de precipitação observada pela estação de PDA (AL), condicional a passagem do satélite TRMM, e a taxa de precipitação acumulada a partir das Z-R: PR-TRMM A), MP B) e TEN C).....	79
Figura 27 - Distribuição da frequência acumulada (CDF) da taxa de precipitação observada pela estação de PDA (AL), condicional a passagem do satélite TRMM, e a taxa de precipitação acumulada a partir das Z-R: PR-TRMM A), MP B) e TEN C).....	80
Figura 28 - Distribuição da frequência acumulada (CDF) da taxa de precipitação observada pela estação de PDI (AL), condicional a passagem do satélite TRMM, e a taxa de precipitação acumulada a partir das Z-R: PR-TRMM A), MP B) e TEN C).....	81
Figura 29 - Distribuição da frequência acumulada (CDF) da taxa de precipitação observada pela estação de PDA (AL), condicional a passagem do satélite TRMM, e a taxa de precipitação acumulada a partir das Z-R: PR-TRMM	

A), MP B) e TEN C).....	81
Figura 30 - Distribuição das estações que apresentam melhores valores de (r).....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Instrumentos relacionados a precipitação, a bordo do satélite TRMM.....	32
Tabela 2 - Fusão dos tipos de precipitação.....	40
Tabela 3 - Z-R para os meses da estação chuvosa Tenório et al. (2010).....	41
Tabela 4 - Coeficientes de correlação entre a taxa de precipitação observadas pelas estações meteorológicas condicional a passagem do satélite TRMM, e a taxa de precipitação acumulada a partir das Z-R: PR-TRMM, MP e TEN.....	76
Tabela 5 - Estações meteorológicas utilizadas para a pesquisa.....	93

LISTA ABREVIACOES E SIGLAS

AL	Alagoas
AMSU-B	Advanced Microwave Sensor Unit – B
AMW	Microondas ativas
ARA	Arapiraca
ARJ	Aracaju
BA	Bahia
BB	Banda Brilhante
CAPE	Energia convectiva potencial disponível
CAR	Carira
CDF	Cumulative Distribution Function
CERES	Clouds and Earths’s Radiant Energy System
CNV	Convectivas de topo frio
COR	Coruripe
DMSP	Defense Meteorological Satellite Program
DPR	Dual-Frequency (bandas ku-ka) Precipitation Radar
DSD	Distribuio do tamanho de gotas de chuva
GES DISC	Earth Sciences Data and Information Services Center
GOES	Geostationary Operational Environmental System
GPM	Medio da Precipitao Global
GSFC	Goddard Space Flight Center
HBB	Altura da Banda Brilhante
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IR	Infravermelho
ITA	Itabaianinha
IVDN	ndice de Vegetao da Diferena Normalizada
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
LIS	Lightning Imaging Sensor
MCZ	Maceió
MHS	Moisture Humidity Sounder
MP	Marshall-Palmer
MSG	Meteosat Segunda Gerao
MW	Microondas
NASA	National Aeronautics and Space Administration

NE	Nordeste
NEB	Nordeste Brasileiro
NNE	Norte do Nordeste
NO	Noroeste
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
PDA	Pão de Açúcar
PDI	Palmeira dos Índios
PE	Pernambuco
PVE	Poço Verde
PMW	Microondas Passivas
PR	Precipitation Radar
R	Taxa de precipitação
REF	Reflectância
REM	Radiação Eletromagnética
SLQ	São Luiz do Quitunde
SE	Sergipe
SNE	Sul do Nordeste
STR	Estratiforme
SR	Sensoriamento Remoto
TB	Temperaturas de Brilho
TEN	Tenório et al. (2010)
TMI	Microwave Imager
TRMM	Tropical Rainfall Measurement Mission
TSM	Temperatura da superfície mar
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UTC	Coordinated Universal Time
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
VIRS	Visible e Infravermelho Scanner
VIS	Canal Visível
WRC	Convectiva que topo quente
Z	Refletividade do radar
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Convergência Intertropical
Z-R	Relação entre refletividade do radar e a taxa de precipitação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	Geral.....	18
2.2	Específicos.....	18
3	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	19
3.1	Climatologia da precipitação no Nordeste Brasileiro.....	19
3.2	Climatologia da precipitação na costa leste do NEB durante a estação chuvosa.....	21
3.3	Nuvens precipitantes.....	24
3.4	Sensoriamento remoto da precipitação e estimativas da precipitação sobre o NEB.....	27
3.5	TRMM – Tropical Rainfall Measuring Mission.....	31
4	MATERIAIS E MÉTODOS	34
4.1	Materiais.....	34
4.1.1	Região de estudo.....	34
4.1.2	Dados de superfície e imagens de satélite.....	34
4.2	Métodos.....	36
4.2.1	Métodos para classificação dos tipos de precipitação.....	36
4.2.1.1	Método do perfil vertical.....	37
4.2.1.2	Método do padrão horizontal.....	38
4.2.2	Relações Z-R.....	40
4.2.3	Estimativa da precipitação mensal.....	43
4.2.4	Classificação dos tipos dos tipos de precipitação.....	44
4.2.5	Comparação com dados de superfície.....	45
5	RESULTADOS E DICUSSÕES	46
5.1	Estimativa da precipitação a partir dos dados PR-TRMM.....	46
5.1.1	Médias mensais e sazonais.....	46
5.1.2	Ciclo diário da precipitação.....	65
5.1.3	Classificação dos tipos de precipitação na costa leste do NEB.....	69
5.2	Comparação com os dados de superfície.....	74
6	CONCLUSÕES	85
	REFERÊNCIAS	88
	APÊNDICE A	93

1 INTRODUÇÃO

A chuva de origem tropical é uma das variáveis mais importantes para a meteorologia assim como nas áreas de hidrologia, engenharia agrícola, engenharia ambiental, oceanografia, entre outras, e de fundamental importância para estudos de mudanças climáticas, ciclo hidrológico e aperfeiçoamento de modelos de previsão de tempo e clima. Seu monitoramento é de total relevância para a defesa civil na mitigação de desastres naturais desde eventos relacionados a inundações ou fenômenos de secas. Porém continua sendo uma das variáveis mais difíceis de ser mensurada com acurácia, devido aos métodos convencionais serem apenas uma medição pontual de sua distribuição espacial, além do alto custo de instalação e manutenção de pluviômetros em vastos territórios. Os avanços nas técnicas de estimativa da precipitação por sensoriamento remoto (SR) têm proporcionado boa aproximação da verdadeira distribuição espacial e temporal da precipitação em grandes áreas, incluindo lugares inabitados e áreas oceânicas (VICENTE, 1989; MOLION e BERNARDO, 2000; NZEUKOU et al., 2004; COLLISCHONN, 2006; VILA, 2012; AZEVEDO, 2013; MORALES et al., 2013; CURTARELLI, 2014).

O monitoramento da precipitação por SR em curta escala de tempo é um dos meios mais econômicos para mitigação de possíveis desastres naturais devido a fenômenos meteorológicos ligados a fortes chuvas, como por exemplo, intensas nuvens convectivas (*Cumulonimbus*), zonas frontais, complexos convectivos de mesoescala, entre outros. Os dados podem ser utilizados para calibração de modelos de vazão em bacias hidrográficas e assimilação de modelos numéricos para a previsão do tempo, essenciais para um melhor acompanhamento da gênese e evolução destes fenômenos, a fim de fornecer alertas sobre possíveis enchentes e deslizamento de terra em áreas de risco. Em longa escala de tempo o sensoriamento remoto da precipitação pode fornecer séries climatológicas do regime pluviométrico de uma dada região. Em ambas as escalas de tempo o estudo remoto da precipitação se torna uma técnica em potencial na compreensão da comunidade científica sobre este fenômeno (BARRET et al., 1990; CONTI, 2002; GRIMES et al., 2003; BENETI et al., 2006; AVILA, 2006, MORALES et al., 2013, MACHADO et al., 2014).

A precipitação do Nordeste Brasileiro (NEB) é influenciada diretamente pelas interações entre a circulação geral da atmosfera e a temperatura da superfície mar (TSM). Sendo dividido em três regiões: Norte, Costa Leste e Sul, o NEB apresenta diferentes regimes de precipitação ao longo do ano para cada região. Os Estados de Alagoas (AL) e Sergipe (SE) fazem parte da costa leste, sua estação chuvosa compreende os meses de Abril a Agosto. O

principal mecanismo de produção de chuva para este período são perturbações ondulatórias nos campos dos ventos Alísios. A Alta Subtropical do Atlântico Sul causa convergência de umidade em direção a costa, e no trajeto da umidade próximo à costa, podem existir cavados de baixos níveis que causam convecção, essa convecção se amplifica ao chegar a costa causando precipitação na região. Entretanto a região do NEB fica em uma zona de subsidência, o que inibe a convecção profunda na região, isto resulta que, a maioria das precipitações que ocorrem na estação chuvosa do NEB são oriundas de nuvens de convecção rasa. Nuvens rasas possuem a temperatura do seu topo acima de 0°C e são nomeadas de nuvens de topo quente. Técnicas da estimativa da precipitação baseadas nos topos das nuvens, que usam canais do Infravermelho (IR) e Visível (VIS), não são adequadas para nuvens de topo quente (NOBRE E MOLION, 1989; HOUZE, 1993; MOLION e BERNARDO, 2000; REBOITA et al, 2010; TENÓRIO et al., 2010; MACHADO et al., 2014).

A maioria das estimativas por SR nesses comprimentos de onda é baseada na relação de quanto mais frios os topos das nuvens (Temperaturas de Brilho (TB) nos canais de IR) e/ou mais brilhantes (Refletância nos canais do VIS) maior a probabilidade da ocorrência da precipitação associada a nuvem. Essas técnicas fazem uma relação empírica entre o topo da nuvem e a precipitação registrada por pluviômetros em superfície, ou seja, estima-se a chuva de forma indireta, uma vez que os sensores medem apenas a radiância e a refletividade do topo da nuvem e não das gotículas de chuva. Infelizmente essas técnicas não são viáveis para nuvens de topo quente, tendendo a subestimar e até mesmo não apresentar chuva, em suas estimativas, na ocorrência de precipitação. Os métodos para a estimativa da precipitação por microondas (MW) são a maneira mais direta de estimar a precipitação que ocorre abaixo da superfície das nuvens. Nesse comprimento de onda os sensores medem a refletividade das gotas de chuva dentro e abaixo da nuvem. As técnicas por MW podem ser divididas pelo tipo de sensor utilizado: microondas passivas (PMW), onde os sensores capturaram a emissão de radiação eletromagnética (REM) em MW emitidas pela superfície, que interagem com os hidrometeoros (água, gelo, etc.) e microondas ativas (AMW) em que os sensores emitem REM em MW e recebem parte dessa radiação de volta, devido a refletividade das gotas de chuva ou partículas gelo no comprimento de onda escolhido. Sobre a superfície continental, a emissão da REM é muito próxima a emissão das gotas de chuva o que impossibilita a estimativa da precipitação usando baixas frequências. Por outro lado, as técnicas de estimativa de precipitação em altas frequências são baseadas em retroespalhamento das partículas de gelo presente nas nuvens de grande desenvolvimento vertical. Para nuvens quentes ou rasas sobre o continente na região do NEB, que é o foco nesta pesquisa, a melhor maneira de estimar a precipitação por SR é com o uso de AMW, uma vez que é possível ter uma boa aproximação

da chuva real que chega a superfície (COLLISCHONN, 2006; VILA, 2007; VILA, 2013).

Através do radar Precipitation Radar - PR a bordo do satélite Tropical Rainfall Measurement Mission - TRMM é possível além da estimativa de chuva, fazer a classificação da precipitação, e conseqüentemente inferir os tipos de nuvens precipitantes, analisando os perfis de refletividade horizontal e vertical (AWAKA, 1997; SCHUMAKER, 2003; LIU, 2012). Dessa forma o radar PR-TRMM caracteriza-se como uma ferramenta em potencial para a estimativa da precipitação sobre os Estados de AL e SE, diante das características microfísicas das nuvens precipitantes atuantes durante sua estação chuvosa.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

O objetivo principal desta pesquisa é realizar uma análise da estimativa da precipitação durante a estação chuvosa nos Estados de Alagoas e Sergipe utilizando os dados do sensor PR-TRMM para o período 2004-2013.

2.2 Específicos

- Realizar uma análise climatológica da precipitação durante a estação chuvosa nos Estados de AL e SE, utilizando os dados do sensor PR-TRMM para o período 2004-2013.
- Estimar a média mensal da precipitação e sua variabilidade interanual para o período de 2004-2013 nos Estados de AL e SE, utilizando os dados do sensor PR-TRMM.
- Analisar o desempenho de diferentes relações de refletividade e a taxa de precipitação (relação Z-R) propostas na literatura, utilizando dados do radar PR-TRMM.
- Comparar o desempenho das diferentes Z-R propostas com dados de estações pluviométricas da região.
- Estimar o ciclo diário da precipitação, assim como a sua distribuição espacial.
- Caracterizar a distribuição espacial dos tipos de precipitação e a sua distribuição sazonal durante a estação chuvosa para a costa leste do NEB.
- Identificar os possíveis sistemas atmosféricos que contribuem para a precipitação na região por intermédio do radar PR-TRMM.

3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1 Climatologia da precipitação no Nordeste Brasileiro

A precipitação é uma das variáveis de grande importância para a região tropical e também uma das mais difíceis de serem observadas com acurácia (Molion e Bernardo, 2000; NZEUKOU et al., 2004). Em geral a precipitação é causada por convecção local. O movimento ascendente de ar úmido é resultante das baixas pressões na superfície, causadas por aquecimento do ar próximo a superfície ou por interações dinâmicas resultantes da troca de calor entre diferentes massas de ar na atmosfera. A convecção na região tropical pode ser inibida ou intensificada pelos ramos ascendentes e descendentes da circulação geral da atmosfera, esta circulação é resultante da complexa interação entre as superfícies continentais e oceânicas como fornecimento desigual de energia solar, da topografia e da cobertura vegetal. Molion e Bernardo (2000) descrevendo a climatologia e a fenomenologia que produz chuvas e secas na região do NEB relataram que as mudanças nas configurações de circulação atmosférica de grande escala, junto com a interação oceano-atmosfera no Pacífico e no Atlântico contribuem para a variabilidade interanual, nas escalas espacial e temporal, da distribuição da precipitação para a região. De acordo com Nobre e Molion (1989) a região do NEB está sobre uma área de subsidência devido a sua adjacência com o ramo ascendente da Circulação de Walker posicionada na região Amazônica, e que isto resulta na condição climática de semi-aridez na região. De acordo com os dados de Shi et al. (2000) apud Reboita (2010) esta região é umas das regiões mais secas da América do Sul, chegando a precipitação média anual de 700mm. Fenômenos de grande escala como sistemas frontais e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) são responsáveis por cerca de 30% a 80% da precipitação observada dependendo do local na região do NEB. Já os fenômenos que fazem parte da mesoescala, perturbações ondulatórias no campo dos ventos Alísios, complexos convectivos, brisas marítima e terrestre, assim como os de micro escala, circulações orográficas e pequenas convectivas completam os totais observados de precipitação (MOLION e BERNARDO, 2000; BARBOSA, 2005, REBOITA et al., 2010).

Sistemas frontais, ou resquícios destes, penetram nas regiões Sul do Nordeste (SNE) e para a costa leste do NEB, entre as atitudes 5°S e 18°S, em sua maioria durante verão do Hemisfério Norte, quando a ZCIT está entre as latitudes de 10°N a 14°N. Dependendo da intensidade dos sistemas frontais, ocorre uma interação com a convecção tropical. Se houver uma ampla penetração continental, os sistemas frontais se posicionam com seu eixo de inclinação variável no sentido NW-SE se tornando a Zona de Convergência do Atlântico Sul

(ZCAS), responsável mediante sua atividade intermitente pela estação chuvosa do SNE, que vai de novembro a março (MOLION e BERNARDO, 2000).

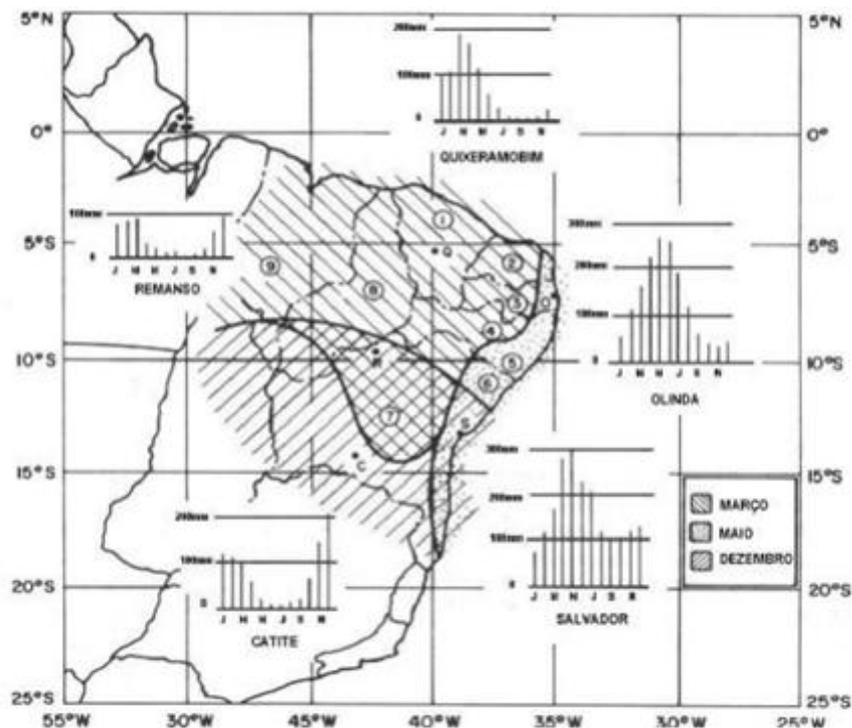
O Norte do Nordeste (NNE) tem como seu principal sistema responsável pelas chuvas na região, a migração da ZCIT para o Hemisfério Sul. Este mecanismo é formado pela confluência dos ventos Alísios de nordeste e sudeste, gerados pelas altas subtropicais localizadas em ambos os Hemisférios Norte e Sul respectivamente. Ao longo do ano sua posição varia, estando cerca de 14°N em Agosto-Setembro, e por volta de 4°S, durante março-abril. Em anos mais chuvosos no Hemisfério Sul a ZCIT chega até cerca de 5°S, em anos de seca fica bloqueada mais ao norte de sua posição normal. A TSM do Atlântico também pode exercer influência em sua posição, quando as águas do Atlântico Sul estão com anomalias de temperatura positivas e as águas do Atlântico Norte mais frias, evento chamado fase negativa do Dipolo do Atlântico, são associadas com anos chuvosos no NEB, e quando o fenômeno climático é inverso, são anos mais secos. Embora atue principalmente sobre o NNE, quando muito ativa, a ZCIT aumenta o gradiente de pressão entre o equador e os subtrópicos facilitando uma maior penetração de sistemas frontais em latitudes equatoriais que produzem mais chuvas sobre todo o NEB (NOBRE e MOLION, 1989; MOLION e BERNARDO, 2000; REBOITA et al., 2010).

Entretanto existem anos em que sistemas frontais ficam estacionários sobre o leste do NEB num período de 4 a 8 semanas, associados a um vórtice nos níveis superiores, uma circulação ciclônica fechada com o ar central mais frio. Este sistema designado VCAN (Vórtice Ciclônico de Altos Níveis) é de grande importância para o regime no NEB durante o verão. A circulação atmosférica em altos níveis fornece sua formação, neste período com a alta da Bolívia mais ao sul da América do Sul e o cavado sobre do nordeste Brasil, favorece sua formação que se desprende do escoamento e adentram no continente (KOUSKY e GAN, 1981).

De acordo com Nobre e Molion (1989) o NEB possui três regimes básicos quanto a distribuição espacial das precipitações, o Norte, Sul e Costa Leste do NEB. Na Figura 1 estão as estações chuvosas para as três regiões do NEB. Para a região Norte que abrange o Ceará e Partes do Rio Grande do Norte, Piauí, Maranhão e oeste da Paraíba e de Pernambuco, a quadrado chuvosa é de fevereiro a maio (caracterizada pelo pluviômetro de Quixeramobim no Estado do Ceará), tem seu máximo pluviométrico no mês de março. Molion e Bernardo (2000) destacaram os principais mecanismos de produção de chuva para norte do NEB, que são a ZCIT, a convergência de umidade gerada pelas brisas (marítimas e noturnas), as perturbações ondulatórias nos ventos Alísios, a convecção local e, muito raramente, a influência direta das frentes frias. Para a região Sul que envolve praticamente toda Bahia,

norte de Minas Gerais, noroeste do Espírito Santo, as partes Sul do Maranhão e Piauí, e extremo do sudoeste de Pernambuco a quadrada chuvosa é de novembro a fevereiro (caracterizada pela estação de Caetité ao sul do Estado da Bahia), sendo dezembro seu mês mais chuvoso. Seus principais mecanismos de chuva são a estacionaridade dos sistemas frontais que alimentados pela umidade proveniente do Atlântico Sul, definem a ZCAS, sistemas pré-frontais, convecção local e os efeitos das brisas. A costa leste do NEB é uma zona costeira de até 300km do litoral que se estende do Rio Grande do Norte ao Sul da Bahia, possui sua quadrada chuvosa de abril a junho (caracterizada pelas estações de Olinda e Salvador no Estado de Pernambuco e Bahia respectivamente), tendo o pico de precipitação no mês de maio.

Figura 1 - Área de estudo, em destaque os Estados de Alagoas e Sergipe.



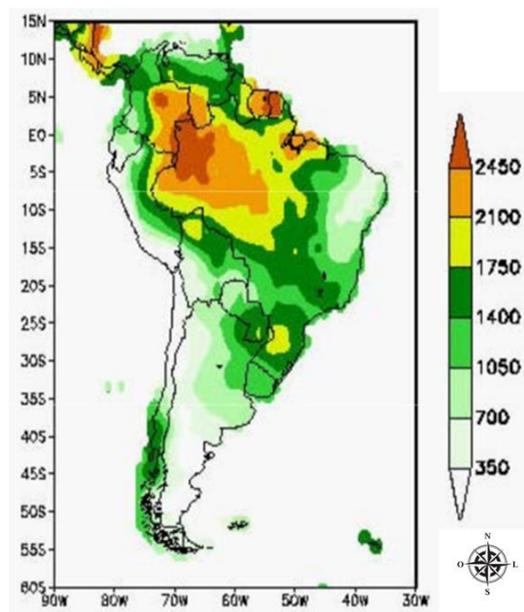
Fonte: Nobre e Molion, 1988, adaptado de Kousky, 1979a.

3.2 Climatologia da precipitação na costa leste do NEB durante a estação chuvosa

Tenório et al. (2010) descreveram que a estação chuvosa da costa leste do NEB que abrange o território dos Estados de AL e SE ocorre no período de abril a agosto. Dos fenômenos responsáveis para a produção de chuva na região, os principais são resquícios de frentes frias, brisas marítimas e noturnas e perturbações ondulatórias nos ventos Alísios

(MOLION e BERNARDO, 2000; BARBOSA, 2005; REBOITA et al, 2010). De acordo com Reboita et al. (2010) o litoral do NEB apresenta a precipitação anual em média de 1500mm/ano, e sendo que os maiores índices de precipitação corresponde ao primeiro trimestre do ano (Figura 2).

Figura 2 – Precipitação média anual (mm) calculada entre 1979-1995 com base em análises diárias de precipitação no Brasil e em médias mensais para o restante da América do Sul.



Fonte: Reboita et al., 2010 - Adaptado de Shi et al., 2000.

As brisas marítima e noturna conhecida como “terral” contribuem significativamente para a precipitação no litoral do nordeste brasileiro. Essas brisas se formam devido aos gradientes térmicos gerados nos períodos diurno e noturno entre a temperatura de superfície do continente e do oceano. De modo que estes gradientes geram linhas de circulação rasa, onde o ramo ascendente que acontece na região mais quente (baixa pressão) provoca a formação de nuvens e dependendo da convecção, precipitação. Durante as primeiras horas da manhã o continente se aquece mais rapidamente que o oceano resultando na ascensão do ar continental na área da costa, criando uma região de baixa pressão e forçando a entrada do ar marítimo para o continente. Para o litoral do NEB linhas de instabilidade geradas pela junção da convecção induzida da brisa marítima e a interação dos ventos Alísios, adentram no continente, transportando umidade e condições atmosféricas favoráveis a formação de nuvens precipitantes. Durante as primeiras horas do período noturno temos a situação inversa, o oceano está mais quente que o continente, que perde energia radioativa por onda longa, resultando em movimentos ascendentes sobre o oceano contribuindo para a formação de

nuvens e/ou chuvas próximas a orla marítima. Entretanto a costa leste do NEB recebe a influência dos Alísios de sudeste que confluindo com a brisa noturna pode contribuir fortemente para a produção de chuva na região costeira durante a noite (KOUSKY, 1979b; KOUSKY, 1980; MOLION e BERNARDO, 2000; VAREJÃO-SILVA, 2006; REBOITA et al., 2010).

A posição da Alta Subtropical do Atlântico Sul é outro mecanismo que pode exercer influência para o aumento ou redução da precipitação para o litoral do NEB. Quando sua posição está mais ao sul da sua posição climática e próxima ao continente, os ventos do seu setor norte podem intensificar os Alísios de sudeste contribuindo para um transporte maior de umidade para o litoral. Entrando quando sua posição está mais afastada do continente e não tão deslocada para o sul, o transporte de umidade reduz e conseqüentemente contribui para um decréscimo da precipitação na região. Durante o inverno no Hemisfério Sul a ASAS intensificando os Alísios, aumenta a confluência dos mesmos com a brisa terrestre produzindo chuvas na região (KOUSKY, 1979b; KOUSKY, 1980; REBOITA et al., 2010).

Um dos principais mecanismos para produção de chuvas para a costa leste do NEB é o fenômeno de perturbações ondulatórias nos ventos Alísios. Penetrações de sistemas frontais em baixas latitudes “perturbam” o campo de pressão atmosférica na região tropical sobre influência dos ventos Alísios formando ondas. No Atlântico Sul, a convergência dos ventos de sul, associados aos sistemas frontais, com os ventos de leste, provocam perturbações ondulatórias nos Alísios que se propagam para oeste imersas no campo dos Alísios (Molion e Bernardo, 2000). Estas as ondas são formadas sobre a costa oeste da África e dirigem-se até o leste do litoral do NEB. Devido a forte inversão psicrotérmica sempre presente sobre o campo dos Alísios, sobre oceano essas perturbações não se desenvolvem profundamente até chegarem a costa. Chegando a costa, elas se intensificam em proveito da convergência de umidade sempre presente na região. Durante o período diurno a brisa marítima pode contribuir para que estes sistemas entrem até 300km no interior do continente. No período noturno ao confluírem com a brisa terrestre se intensificam e causam fortes precipitações sobre a região costeira (CAVALCANTI e KOUSKY, 1982; MOLION e BERNARDO, 2000; REBOITA et al., 2010).

A costa leste do NEB abrange também em seu extremo oeste um pouco da região do semiárido nordestino que possui baixos totais pluviométricos de 200 a 500mm por ano e tem seu mínimo durante o inverno no Hemisfério Sul, esta região sofre forte influência dos movimentos subsidêntes gerados pela circulação de grande escala (MOLION e BERNARDO, 2000; REBOITA et al., 2010).

3.3 Nuvens Precipitantes

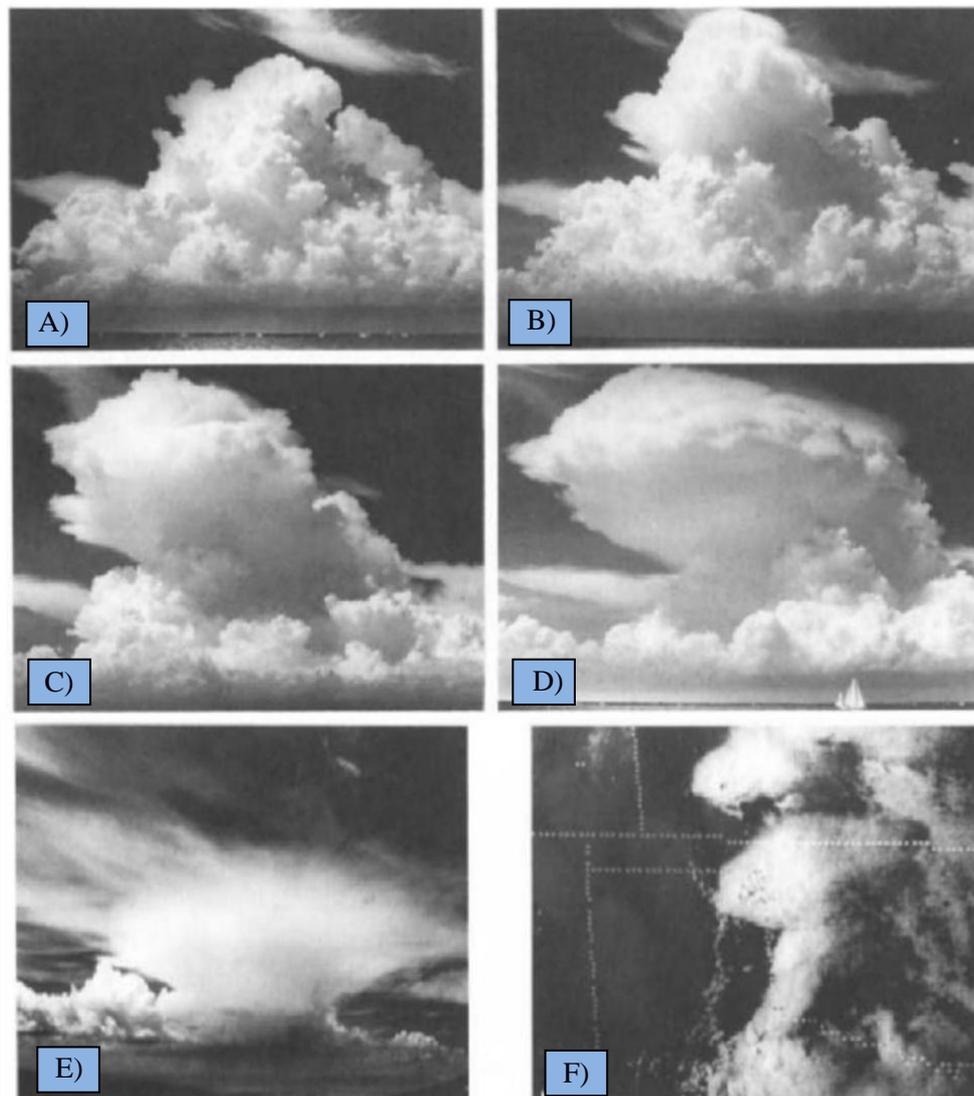
As nuvens são um conjunto visível de gotículas em estado líquido ou sólido, ou de ambos, que estejam em suspensão na atmosfera. Em algumas situações este conjunto possui elementos de maiores dimensões como poeira, fumaça e resíduos industriais. Estes conjuntos formam-se devido as condições atmosféricas (instabilidade ou inversões térmicas), contato entre diferentes massas de ar ou por efeito orográfico da topografia da região, e estes mesmos fatores de sua gênese interferem na sua forma (vertical e horizontal) e tamanho das gotículas da nuvem. Quando as gotículas atingem tamanho suficiente para que as forças que a mantêm em suspensão na atmosfera, sejam menores que a força da gravidade, eles caem (precipitam) em direção a superfície, dando origem ao fenômeno meteorológico conhecido como precipitação ou chuva. As gotas de chuva normalmente possuem diâmetro superior a 0.5cm, quando inferior, a precipitação é chamada de chuvisco, e a precipitação de partículas de gelo geram os fenômenos de granizo e neve (HOUZE, 1993; AVILA, 2006; VAREJÃO-SILVA, 2006; FEDOROVA, 2008).

As nuvens precipitantes de modo geral são classificadas como convectivas ou estratiformes, sendo a convectiva dividida em nuvens frias ou quentes. Nuvens precipitantes convectivas são nuvens densas formadas sobre condições atmosféricas instáveis. Quando elas possuem considerável extensão vertical formam “torres”, devido a fortes movimentos verticais em sua gênese, tendo a temperatura do topo abaixo de 0°C, e recebem o nome de *Cumulonimbus* sendo sempre associadas a forte precipitação. Sua base superior esta geralmente lisa, ou fibrosa ou estriada, quase sempre plana; e muitas vezes a parte se espalha formando uma bigorna ou uma grande pluma. A base desta nuvem é muitas vezes escura, e frequentemente nuvens baixas se fundem com ela, e por vezes a precipitação associada a ela fica sobre forma de virga (precipitação que não atinge o solo). Estas nuvens provem de nuvens *cumulus congestus* que continuam a crescer desenvolvendo precipitação (daí a inclusão de *nimbus* no nome, que significa chuva em Latin), e tendo em seu topo cristais de gelo (HOUZE, 1993; AWAKA, 1997).

A Figura 3 mostra uma *cumulos congestos* A) crescendo ao estágio de *cumulonimbus* B). Em seu ciclo de vida posteriormente, a estrutura de gelo em seu topo tem uma aparência fibrosa, ventos fortes pode “explodir” no seu topo a favor da direção, produzido uma estrutura de bigorna (Figura 3 C) e D)). O topo da bigorna no alto da nuvem é normalmente muito próximo do nível da tropopausa; e permanece achatada porque o ar ascendente na nuvem não pode penetrar de forma significativa nesta camada da atmosfera, tem que a característica de ser muito estável. No estágio da bigorna, uma grande quantidade de conteúdo de gelo da

nuvem é injetada na troposfera (Figura 3 E)). O escoamento da bigorna da direção do vento é o primeiro fator para identificação de uma *cumulonimbus* na perspectiva de um satélite (Figura 3 F)). Na região tropical, as fortes *cumululus*, do qual seu topo é bem abaixo de 0°C , frequentemente produz fortes precipitações. Em baixas latitudes, o formato de bigorna pode não ser observado nos níveis superiores da nuvem de precipitação cumuliforme se o cisalhamento do vento na região da nuvem é fraco, mesmo as porções superiores da nuvem sendo composta de partículas de gelo. Quando a temperatura do topo de uma nuvem convectiva é mais alta que 0°C é designada como nuvem convectiva quente, nas regiões tropicais a exemplo do NEB estas nuvens podem acarretar fortes chuvas (HOUZE, 1993; SCHUMAKER, 2003, MACHADO et al., 2014).

Figura 3 – Cumulos congestos A) crescendo a B) cumulonimbus, estrutura da bigorna C) e D), gelo injetado na troposfera pela bigorna E) e bigorna na perspectiva de um satélite F).



As nuvens precipitantes estratiformes são nuvens de camadas uniformes largas, formadas sobre uma atmosfera estável. Estas nuvens são geradoras de precipitações contínuas com considerável tempo de duração. Chamadas de *Nimbostratus*, são uma camada de nuvem cinzenta, a frequentemente escura, grossa o suficiente para “esconder” o sol quando o ângulo de visão é abaixo de sua base. Algumas nuvens baixas podem existir ou não abaixo de sua camada. As principais diferenças entre uma nuvem *nimbostratus* e uma nuvem estratiforme é que a primeira pode ser mais profunda na atmosfera, e também as nuvens estratos não produzem chuva. Assim como a *cumulonimbus*, a *nimbostratus*, também pode se estender até altos níveis e ter em suas camadas mais elevadas totalmente compostas por partículas e cristais de gelo. É difícil ilustrar a aparência visual de uma *nimbostratus* em uma fotografia devido grande extensão vertical e sua cobertura normalmente escura sobre o céu (Figura 4). A área da precipitação associada a ela é extensa e restringe a visibilidade horizontal como pode ser observado no canto esquerdo da Figura 4 (acima da superfície encontra-se a área chuvosa) (HOUZE, 1993; AWAKA, 1997; SCHUMAKER, 2003).

Figura 4 – Nuvem nimbostratus.



Fonte: World Meteorological Organization, 1987.

De acordo com Chaboureau (2013) as nuvens afetam o balanço de radiação, impactam a dinâmica e geram precipitações. Houze (1993) aborda que a identificação de nuvens por satélite possui suas vantagens e limitações. Uma de suas maiores contribuições é tornar possível a visualização da total extensão e estrutura de muitas nuvens. E principalmente para

identificação de como são organizadas e caracterizadas as nuvem geradoras de chuva sobre uma determinada região. Estas nuvens geralmente são sistemas sinóticos de mesoescala, como por exemplo, Complexos Convectivos de Mesoescala. Dados de SR (radar e satélite) podem também ajudar a entender melhor a microfísica das nuvens precipitantes e melhorar os esquemas de nuvens propostos nos modelos de previsão de tempo (MACHADO et al, 2014).

3.4 Sensoriamento remoto e estimativas da precipitação sobre o NEB

Ao longo dos anos, diferentes técnicas para avaliar a precipitação a partir de dados de satélite de órbita polar e geoestacionária vêm sendo utilizadas. Estas técnicas são geralmente categorizadas como LEO (satélites de órbita polar ou equatorial) e GEO (satélites de órbita geoestacionária). Os algoritmos são classificados de acordo com o espectro usado (VIS, IR, PMW, AMW) ou “multi-espectral” (quando se utiliza mais de um espectro). Se a metodologia usa múltiplos satélites e outras informações como radar e estações, são classificadas como técnicas “blended”. Em geral a eficácia de técnicas para estimativa da precipitação varia de acordo com sua finalidade, como os tipos de precipitação e região de aplicação (VICENTE, 1989; ANGELIS, 2012; BRAGA, 2013; VILA, 2013; MORALES et al., 2013).

As técnicas que usam os canais VIS e IR baseiam-se no fato de que; nuvens mais brilhantes estão correlacionadas positivamente com regiões de precipitação convectiva, e por outro lado, nuvens com topos frios (IR) produzem mais chuvas do que topos mais quentes. No canal VIS se obtém a REM refletida na porção do visível do espectro eletromagnético, estes dados são transmitidos pelos radiômetros instalados a bordo dos satélites. Nas imagens oriundas deste canal, o brilho indica o albedo, ou seja, o grau de refletividade dos alvos observados, de tal modo que as áreas que possuem alta refletividade apresentam as tonalidades do branco e os alvos com baixo albedo são representados por tonalidades de preto. A TB da nuvem, determinada através das imagens do IR, é aceita como um dos fatores importantes na geração da precipitação. Quanto mais fria a nuvem, maior é a sua penetração nas camadas mais frias da atmosfera e maior a tendência da mesma de gerar precipitação (BARRET et al, 1990; VICENTE, 1998; MOL, 2005; COLLISCHONN, 2006; VILA, 2013).

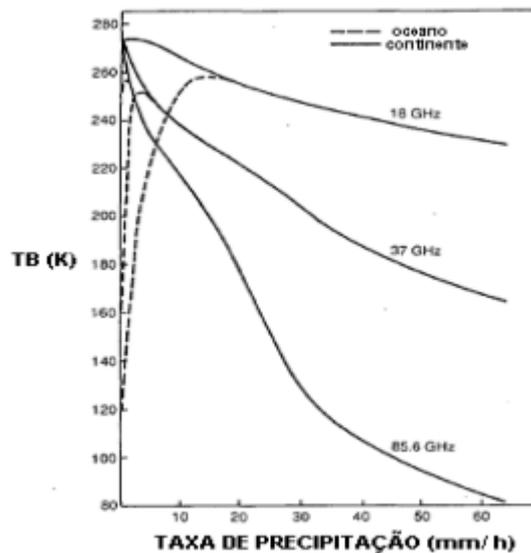
A grande vantagem destes canais em técnicas GEO é sua resolução temporal, satélites como GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) - 12 e MSG (Meteosat Second Generation) - 2 demoram, respectivamente, 30 e 15 minutos para fornecer uma nova imagem do globo, dados necessários para capturar o crescimento e declínio de nuvens precipitantes. Os métodos de estimativa de precipitação por estes canais podem ser divididos nas seguintes categorias: cloud-indexação, esquemas bi-espectrais, história de vida, e com

base no modelo de nuvem. Entretanto nem toda nuvem com baixa TB chove (Cirrus) e nem toda chuva é vinda de nuvens frias e brilhantes (por exemplo, Nimbostratus). As estimativas de precipitação que usam como dados de entrada os canais do VIS e do IR são feitas de forma indireta, uma vez que, é medida a radiância emitida/refletida do topo da nuvem e não a precipitação abaixo da nuvem. Por isso realiza-se uma relação empírica entre a taxa de precipitação medida em pluviômetros e reflectância/temperatura de brilho medidas pelos canais. De modo que estas técnicas são simples de se aplicar, mas mostram um grau relativamente mais baixo de precisão (BARRET et al, 1990; PETTY, 1995; VICENTE, 1998; CONTI, 2002; AVILA, 2006; COLLISCHONN, 2006; AZEVEDO, 2013; VILA, 2013).

Apenas o SR por microondas (MW) permite inferir a precipitação por baixo da superfície da nuvem. Uma atmosfera sem nuvens tem pouco efeito sobre a radiação emitida pela superfície da terra nesses comprimentos de onda (CECIL, 2013). Muitos instrumentos nos estudos de MW utilizam os canais “janelas” 10, 19, 37 e 85 GHz. Nestes canais, a maior parte da radiação é transmitida através de uma atmosfera clara. A temperatura de brilho emitida pela superfície é aproximadamente 290 K, quando nuvens e gotas de chuva atuam sobre uma superfície ela absorvem, emitem e retroespalham parte da radiação emitida inicialmente pela superfície, reduzindo (ou aumentando) assim sua temperatura de brilho. Hidrometeoros maiores como o gelo que, apesar de ter baixa absorção/emissão, possuem alto espalhamento da REM, e reduzem a TB em altas frequências. As gotas líquidas absorvem radiação, e emitem a sua própria temperatura (maior que a da superfície) de modo que áreas onde estão chovendo a TB aumenta. Esta técnica é utilizada no oceano que apresenta uma superfície radiometricamente fria e homogênea para os canais de baixa frequência (VILA, 2007; CECIL, 2013; VILA, 2013).

A estimativa da precipitação por satélite utilizando sensores passivos em microondas possui uma variação ao tipo de superfície sob a nuvem observada: Em baixas frequências de microondas (<40 GHz) utilizam-se algoritmos baseados na emissão (aumento de TB) pela presença de gotículas de água e em altas frequências (>60 GHz) utiliza-se algoritmos de espalhamento que estimam o retroespalhamento da REM de MW provenientes das partículas de gelo das nuvens comparando a TB se não houvesse nuvem (FERRARO, 2007; BRAGA, 2013). Observando a Figura 5 percebe-se que os algoritmos de emissão são mais eficientes sobre o oceano do que sobre o continente. Isto devido que as gotas de chuva aparecem mais quentes que a superfície do mar que é radiometricamente mais fria e homogênea. Para o continente são mais utilizados os algoritmos de espalhamento, porque, a superfície é radiometricamente mais quente e é observada uma grande variabilidade da emissividade (VILA, 2007; FERRARO, 2007, VILA, 2013).

Figura 5 – Interação de frequências em microondas sobre Continente e Oceano.



Fonte: Braga, 2013 - Adaptado de Kidder e Haar, 1995.

Trabalhos usando microondas passivas na estimativa da precipitação têm sido realizados sobre região do NEB (BRAGA, 2013). Além das estimativas da precipitação, estes fornecem informações necessárias para entender melhor sobre a física e a dinâmica das nuvens precipitantes (SANTOS e SILVA, 2012; AZEVEDO, 2013; BRAGA, 2013; VASCONCELLOS, 2014).

Em relação as estimativas de precipitação usando radares meteorológicos (técnicas de AMW), Tenório et al. (2010) desenvolveram relações Z-R para a costa leste no NEB usando a distribuição do tamanho de gotas de chuva (DSD) coletada com um disdrômetro RD-69. O disdrômetro é um sensor que mede a distribuição de gotas convertendo um pulso eletromagnético em diâmetro por intermédio de uma curva ajustada. Estes dados foram usados para implementação de um sistema de radar meteorológico na Universidade Federal de Alagoas (Figura 6).

O disdrômetro foi instalado no campus da universidade em 2001, 12 meses antes de completar a instalação do sistema radar. No estudo as formas da DSD registradas se mostram similares enquanto que a quantidade de gotas de cada uma varia consideravelmente. Isto pode ser devido ao curto período de coleta de dados ou devido a variabilidade intrassazonal da precipitação para região. As precipitações foram divididas em estratiformes e convectivas pelo método de classificação simples usado por NZEUKOU et al. (2004), baseado em observações da precipitação na região tropical, que propõe como precipitação estratiforme para chuvas abaixo de $10\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ e convectiva para sistemas com valores acima deste limiar.

Figura 6 – Torre do radar em Maceió – Alagoas – Brasil (9°33’3”S, 35°46’14”W), 25m de altura, 104m de altitude.



Fonte: Tenório et al., 2010.

Foi estabelecida uma relação Z-R geral para a costa leste do NEB sendo $Z=176.5R^{1.29}$, com coeficiente de correlação de 0.83, que está em conformidade com as relações encontradas na literatura para nuvens estratiformes. Para cada tipo de nuvem (estratiforme e convectiva) foi gerada uma relação conforme as equações (1) e (2) e respectivos coeficiente de correlação:

$$\text{Precipitação estratiforme: } Z = 167.8R^{1.26}; [r^2 = 0.70] \quad (1)$$

$$\text{Precipitação convectiva: } Z = 65.46R^{1.69}; [r^2 = 0.84] \quad (2)$$

Em adição foram feitas relações Z-R para todos os meses da estação chuvosa para a costa leste do NEB que serão abordadas na seção 4.3.

Técnicas com MW admitem conceitos mais diretos entre as taxas de chuva e a microfísica das nuvens (VICENTE, 1998). (BIGGERSTAFF e LISTERMAA, 2000) *apud* Braga (2013) relataram que métodos de classificação para os tipos de nuvens precipitantes, que fazem uso de refletividade de radares meteorológicos apenas em um nível de altitude, considerando a base das nuvens, apesar da considerável efetividade em separação entre nuvens convectivas e estratiformes, estão sujeitos a erros devido a não análise da estrutura vertical da nuvem. Contudo metodologias que analisam os dois perfis, horizontal e vertical, se sobressaem sobre estas técnicas.

3.5 TRMM – Tropical Rainfall Measuring Mission

O lançamento da Missão de Medição de Chuvas Tropicais (Tropical Rainfall Measuring Mission – TRMM), realizada entre uma união da agência espacial dos Estados Unidos NASA (National Aeronautics and Space Administration) e a agência espacial Japonesa JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency), ocorreu em 27 de novembro de 1997, e foi concluída em abril de 2015 com o desligamento do sensor de microondas passivo Microwave Imager (TMI). Foi um grande marco nos estudos de estimativa da precipitação por MW, por ter o primeiro radar meteorológico a bordo de um satélite, o Precipitation Radar (PR). Ferraro (2007) destaca que a missão apesar de não ser operacional, trouxe melhorias das estimativas da precipitação a partir de sensores de MW ao longo dos anos, assim como também acompanhou as melhorias dos processamentos, armazenamento e transmissão de dados de SR para os usuários ao redor do globo. De acordo com Liu (2012), o TRMM foi o primeiro satélite a fornecer o detalhamento, além de um denso banco de dados, em quatro dimensões, da distribuição da precipitação e o calor latente sobre o vasto território dos continentes e oceanos tropicais e subtropicais (40°S-40°N). Nos últimos dezoito anos o TRMM tem sido uma das maiores fontes de dados observacionais para pesquisas na meteorologia, hidrologia, e outras áreas de pesquisas, sendo de grande importância para o SR da atmosfera, proporcionando informação para climatologia sinótica de chuvas tropicais e sistemas meteorológicos. Essas informações foram descritas no relatório de avaliação no National Research Council (Conselho Nacional de Pesquisa) em 2006:

- Detalhamento do perfil vertical da precipitação e aquecimento latente;
- Determinação quantitativa da contribuição relativa da precipitação estratiforme e convectiva;
- Descrição de uma fina escala da estrutura dos sistemas precipitantes que podem ser determinados pelos dados de Radar de Precipitação (PR);
- Documentação de relâmpagos e relações de convecção entre os continentes e oceanos.

O satélite TRMM leva a bordo cinco instrumentos, e destes, quatro são voltados para a precipitação conforme mostrado na Tabela 1. Os sensores VIS e IR (Visible e Infravermelho Scanner-VIRS), o sensor de microondas passivo TRMM Microwave Imager (TMI), o radar de

precipitação (Precipitation Radar-PR), o detector de raios Lightning Imaging Sensor (LIS) e o Clouds and Earth's Radiant Energy System (CERES).

Tabela 1 - Instrumentos relacionados a precipitação, a bordo do satélite TRMM.

Nome do Instrumento	Frequências das bandas/ Comprimentos de onda	Resolução Espacial (km)		Varredura (km)	
		Pre-Calibração	Pós-Calibração	Pre-Calibração	Pós-Calibração
Visible and InfraRed Scanner (VIRS)	5 canais (0.63, 1.6, 3.75, 10.8 e 12 μm)	2.2	2.4	720	833
TRMM Microwave Imager (TMI)	5 frequências (10.7, 19.4, 21.3, 37 e 85.5 GHz)	4.4 (em 85.5 GHz)	5.1 (em 85.5 GHz)	760	878
Precipitation Radar (PR)	13.8 GHz	4.3 (Vertical: 250m)	5 (Vertical: 250m)	215	247
Lightning Imager Sensor (LIS)	0.7774 μm	3.7	4.3	580	668

Fonte: Autor, 2015 – Adaptado de LIU, 2012.

O satélite TRMM possui uma órbita equatorial com inclinação de 35°, não heliossíncrona, e passou por uma calibração em 2001 mudando sua órbita de 350 km para 402.5 km, reduzindo seu consumo de combustível, o que resultou em uma prolongação dos seus dias úteis. Seus produtos são divididos em três categorias; 1) Produtos orbitais, 2) Produtos de grades e 3) Produtos auxiliares do TRMM e dados de superfície (VICENTE, 1998; IGUCHI, 2000; LIU, 2012).

Awaka (1997) a partir dos dados do TRMM desenvolveu um algoritmo de classificação da precipitação, nomeado 2A23 que a classifica: estratiforme, convectiva e outro tipo de chuva. Além disto, quando identifica precipitações convectivas, faz uma análise complementar para determinar se a precipitação é gerada por nuvens topo quente (temperatura de topo acima de 0°C), em que a precipitação esta apenas na fase quente da nuvem, ou nuvens de topo frio (abaixo de 0°C), na qual a precipitação ocorre em níveis mais elevados onde a presença gotículas resfriadas, gelo e neve. O algoritmo também pode detectar a banda brilhante, região onde acontece o derretimento de gelo em uma camada de água líquida formando uma estreita camada de alta refletividade observada pelo radar (típica das nuvens estratiformes) e sua altura, caso seja detectada. Molion e Bernardo (2000) indicam que o TRMM é uma ferramenta que pode investigar a gênese e a estrutura das perturbações ondulatórias nos ventos Alísios.

De acordo com Calheiros (2013) o lançamento do TRMM aumentou o interesse sobre estudos globais associados a nuvens quentes no tempo e clima devido ao sensor do radar PR a bordo do TRMM permitir verificar a presença deste tipo de precipitação, a qual não era detectada por outros radiômetros.

As novas perspectivas no uso de microondas no estudo da precipitação são voltadas ao programa Medição da Precipitação Global (GPM). Que consiste em ser um observatório central que servirá de base de referência para uma constelação de sensores em microondas, afim de fornecer uniformemente medições calibradas de precipitação para todo o globo entre 2 a 4 horas que serão disponíveis para pesquisas e aplicações. O GPM tem como objetivo entender a estrutura vertical e horizontal e natureza física da precipitação. Assim providenciar uma amostragem suficiente para reduzir as incertezas na estimativa da precipitação. Serão fornecidos três tipos de dados científicos: produtos em tempo real, produtos para pesquisa e produtos de divulgação. O JAXA Dual-Frequency (bandas ku-ka) Precipitation Radar (DPR) possui uma melhoria na sensibilidade para a detecção de chuva leve e neve. O NASA Wide-Band (10-183 GHz) GPM Microwave Imager (GMI) possui melhor resolução espacial que o seu predecessor (o TMI) o que possibilita uma melhor detecção para chuva leve e neve. Com uma melhoria nos sinais de precipitação sólida sobre a superfície (especialmente superfícies cobertas de gelo), melhor precisão e calibração estável, o GMI servirá como um radiômetro de referência para a constelação de radiômetros do GPM (MACHADO, 2013; VILA, 2013; MACHADO et al., 2014).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

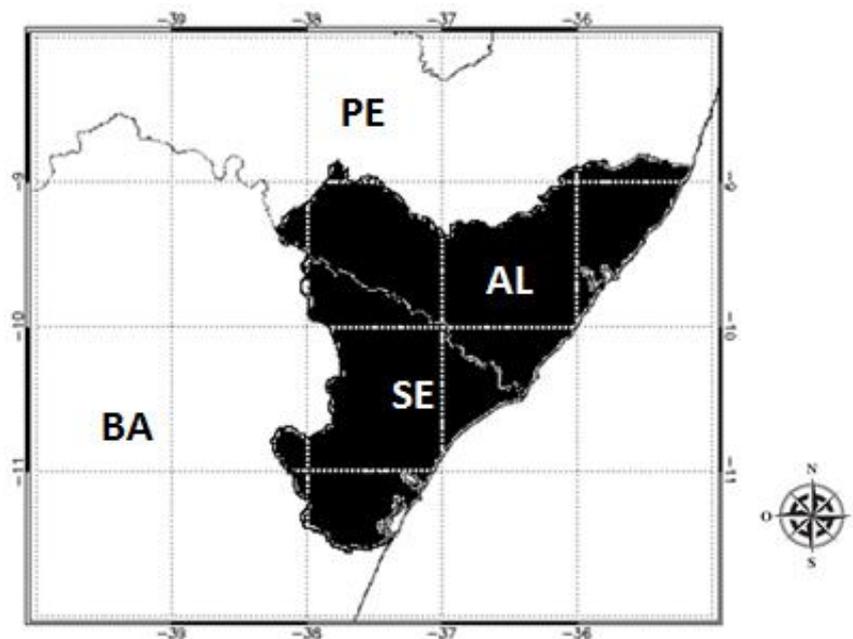
4.1 Materiais

Nesta seção é feita uma descrição dos dados utilizados para esta pesquisa e a região de estudo. Na seção 4.1.1 é descrita a região de estudo. A seção 4.1.2 especifica os dados de superfície e de satélites utilizados e o período de estudo.

4.1.1 Região de estudo

A área do estudo possui paralelos 8°S – 12°S como limites Norte e Sul respectivamente e os meridianos 40°O – 35°O como limites Leste e Oeste. O foco desta pesquisa são os Estados de AL e SE, ambos da costa leste do Nordeste Brasileiro (NEB) que fazem divisa com os Estados de Pernambuco (PE) e Bahia (BA) como destacado na Figura 7.

Figura 7 – Área de estudo, em destaque os Estados de Alagoas e Sergipe.



Fonte: Autor, 2015.

4.1.2 Dados de superfície e imagens de satélite

Nesta pesquisa foram coletados dados do radar PR-TRMM fornecidos pela NASA Goddard Space Flight Center (GSFC) Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), referente a um período de dez anos, tendo início a partir do ano de 2004 a 2013.

Nos meses que correspondem ao período chuvoso da região, Abril, Maio, Junho, Julho e Agosto foram extraídos dados de medição de chuva próximo a superfície, do produto 2A25 na versão 7 (IGUCHI et al., 2000; MENEGHINI et al., 2000; KIRFEFFER et al, 2013) e a refletividade do radar no mesmo nível. O tipo de precipitação (estratiforme, convectiva fria e convectiva quente) foi extraído do produto 2A25, que possui a classificação de nuvens gerada pelo algoritmo 2A23 (AWAKA, 1997; SCHUMAKER, 2003). No total ocorreram 3064 passagens do TRMM sobre a área de estudo, entretanto devido a erros em imagens, 1705 foram consideradas para esta pesquisa.

Dados de precipitação horária das estações meteorológicas automáticas dos Estados de AL e SE do Instituto Nacional de Meteorologia – (INMET), durante a estação chuvosa da Costa Leste do NEB, foram utilizados para comparar com as estimativas realizadas com o PR-TRMM. Foram utilizados todos os dados disponíveis para as 11 estações distribuídas pelos Estados (Figura 8). Informações sobre o número de registro, latitude e longitude de todas as estações usadas na pesquisa são apresentadas no Apêndice A. Esta pesquisa também utilizou os dados referentes a normais climatológicas 1961-1990 da precipitação mensal acumulada das estações convencionais do INMET (2015) nos Estados de AL e SE. O cálculo do valor normal de precipitação é feito conforme as equações 3 e 4:

Primeiro computa-se o valor acumulado da precipitação (X_{ij}) no mês i , do ano j , somando todos os valores diários disponíveis para aquele mês e naquele ano de acordo com a Equação (3):

$$X_{ij} = \sum_k X_{kij} \quad (3)$$

Onde X_{kij} é valor observado da precipitação no dia k , no mês i , do ano j . Seguidamente a normal da precipitação acumulada para o mês i é computada pela equação 4:

$$n(X_i) = \frac{\sum_j X_{ij}}{m_i} \quad (4)$$

Onde m_i é o número de anos para os quais se dispões de valores X_{ij} .

Figura 8 – Distribuição das estações meteorológicas automáticas para os Estados de Alagoas e Sergipe.



Fonte: Autor, 2015.- Adaptado de GoogleEarth, 2015.

4.2 MÉTODOS

Os métodos para a classificação dos tipos de precipitação do produto 2A23 são abordados na secção 4.2.1. A etapa posterior é a aplicação das relações Z-R encontradas por Tenório et al. (2010) e Marshall-Palmer (1948) detalhadas na secção 4.2.2. Na secção 4.2.3 são descritos os métodos utilizados para a estimativa da precipitação mensal a partir das taxas de precipitação do PR TRMM. Por fim, o método de validação é descrito na secção 4.2.4.

4.2.1 Métodos para classificação dos tipos de precipitação

O algoritmo de classificação dos tipos de precipitação proposto por Awaka (1997) usando PR-TRMM é dito como algoritmo 2A23. Este divide os tipos em três categorias: estratiforme, convectiva (Fria ou Quente) e outros. Ainda provem a detecção da banda brilhante e sua altura caso seja detectada.

As principais etapas do algoritmo/produto 2A23 são:

- Detecção da banda brilhante (BB).

- Determinação da altura da BB quando existir.
- Classificação em três categorias.
- Determinar se a chuva é provinda de nuvens rasas, caso a precipitação seja convectiva.

Awaka (1997) ressaltou que dois algoritmos para classificação do tipo de precipitação são acoplados no 2A23, os métodos do perfil de refletividade vertical (método – V) e horizontal (método – H). Estes métodos fazem a divisão em três categorias: estratiforme, convectiva e outro. A fusão de resultados destes dois algoritmos é a saída do produto do 2A23.

4.2.1.1 Método do perfil vertical

O método – V primeiro analisa a existência da BB na nuvem. Sendo a BB detectada a precipitação é temporariamente classificada como estratiforme. Em seguida o método parte para a detecção da precipitação convectiva, que é caracterizada por fortes ecos no radar. Quando a precipitação não é identificada como estratiforme e nem como convectiva, ela passar a ser classificada como outro tipo.

Para a detecção da BB é usado um filtro especial como descrito por Awaka (1997):

$$\begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 2 & 2 & 2 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Onde a linha indica a direção do ângulo do scan da antena, e a coluna a direção de alcance. Dado três varreduras adjacentes da antena é aplicado nos dados o filtro espacial. Assim é possível detectar a BB, que normalmente se estende uniformemente na direção horizontal. O filtro baseado na segunda derivada do fator de refletividade (Z) com a respectiva varredura do satélite é:

$$\frac{\partial^2 Z}{\partial r^2} \simeq -\{-Z(r - \Delta r) + 2Z(r) - Z(r + \Delta r)\}/(\Delta r)^2 \quad (6)$$

Onde r é a varredura e Δr a resolução espacial que é 250m para o PR-TRMM. As principais condições para a existência da BB segundo AWAKA (1997) são:

- 1 – Próximo a altura da BB (HBB), a saída do filtro espacial excede um determinado limiar;

- 2 – Acima da HBB, os valores de Z decrescem fortemente;
- 3 – A HBB deve aparecer em uma altura praticamente constante;
- 4 – A HBB deve estar dentro da janela da região da BB, que é estimada a partir da climatológica dos perfis de temperatura de superfície para região.

Quando a saída do filtro espacial é satisfatória para estas condições, é concluído que a BB foi detectada. Com as condições (2) e (3), pode-se discriminar o pico da BB e um pico fictício de precipitação convectiva, que ocorre devido a uma forte atenuação no sinal do radar do TRMM (PR), que possui a frequência de 13.8 GHz, quando for convectiva. Usando a informação da varredura e o ângulo zenital se obtém a HBB caso a BB seja detectada.

Depois da detecção ou não da BB, o método – V realiza a classificação da precipitação. As determinações para classificação da precipitação de acordo com Awaka (1997) são:

- a) Estratiforme: BB existe, e Z abaixo de BB é inferior que 40 dBz;
- b) Convectiva: (i) BB existe, mas Z abaixo da BB é suficientemente forte (≥ 40 dBz) para ser convectiva ou (ii) BB não existe, e o máximo valor de Z na varredura excede um certo limiar;
- c) Outro: não estratiforme e não convectiva.

A classificação pelo método – V depende fundamentalmente da detecção da BB, se a detecção da BB falhar o método automaticamente classifica a precipitação como sendo convectiva ou outro. Uma vez possível a análise do perfil vertical de Z, pode-se obter essa informação, no caso das nuvens convectivas, se a chuva advém de uma nuvem do topo quente. As condições apresentadas por Awaka (1997) para determinação de nuvens quentes foram:

- (α) O topo de nuvem de chuva é abaixo da altura estimada da fase do congelamento.
- (β) Chuvas de nuvens quentes, convecção quente, são isoladas a partir das nuvens convectivas frias e estratiformes.

4.2.1.2 Método do padrão horizontal

O método – H é baseado no método de separação estratiforme/convectiva da Universidade de Washington que foi desenvolvida pelo professor Houze (STEINER et al,

1995) do grupo de análise de dados obtidos por radares terrestres. Awaka (1997) ajustou o método original de Houze, que era o padrão horizontal fator de Z, em um plano com altura constante (normalmente 2km acima do nível do mar) com uma resolução de 2km na horizontal, para os dados do PR TRMM, que possui a resolução horizontal de 4,3km:

- a) Em vez do padrão horizontal de Z ser a uma dada altura, o padrão horizontal de Z passou a ser ao longo de cada ângulo de varredura abaixo da altura estimada do nível de congelamento (menos de 1km de margem) é examinado. Ou seja, elevou-se $Z_{\max[i]}$ para o máximo Z ao longo da varredura abaixo do estimado nível de congelamento, onde [i] indica o i-ésimo ângulo de visada da antena. O método examina $Z_{\max[i]}$ para a classificação da precipitação.
- b) Parâmetros são ajustados de modo que os dados de 2km e 4,3km de resolução mostrem resultados parecidos.

Excerto essas duas modificações, o método – H é essencialmente o mesmo que o método do Houze. A classificação da precipitação convectiva é feita primeiro detectando o núcleo convectivo e depois determinando o tipo de precipitação adjacente no centro convectivo. Quando a precipitação não é convectiva, a precipitação é basicamente classificada como estratiforme, mas, caso o eco seja muito fraco e isolado a chuva é classificada como outro tipo, que pode ser apenas um ruído.

Awaka (1997) mesclou os resultados de os ambos os métodos para definir o tipo de precipitação. O resultando desta fusão é escrita como saída do arquivo 2A23 na Tabela 2.

Tabela 2 - Fusão dos tipos de precipitação.

Método – V	Método – H	Fusão dos métodos
Estratiforme	Estratiforme	Estratiforme
Estratiforme	Outra	Estratiforme
Outra	Estratiforme	Estratiforme
Estratiforme (determinada a existência da BB)	Convectiva	Estratiforme
Convectiva	Convectiva	Convectiva
Outra	Convectiva	Convectiva
Convectiva	Outra	Convectiva
Convectiva	Estratiforme	Convectiva
Estratiforme (existência incerta da BB)	Convectiva	Convectiva
Outra	Outra	Outra

Fonte: Autor, 2015 – Adaptado de AWAKA, 1997.

4.2.2 Relações Z-R

A relação Z-R (Equação 7) entre a refletividade do radar (Z) e a taxa de precipitação (R) é o que torna possível a conversão de refletividade observada pelo radar meteorológico em taxa de chuva. Estas relações possuem dois coeficientes (a e b) que dependem da origem das precipitações (IGUICHI, 2000; TENÓRIO et al., 2010).

$$Z = aR^b \quad (7)$$

Tenório et al. (2010) relataram que a DSD para a costa leste do NEB possuiu uma variabilidade mensal acentuada. Isto pode ser devido a variabilidade sazonal da precipitação na estação chuvosa. NZEKOU et al. (2004) estudando a DSD na costa Oeste do continente Africano em Dakar (Cabo Verde), Senegal, constatou que a mesma não tinha grande variação durante os 4 anos de coleta. Portanto no intuito de avaliar o desempenho de diversas relações, três esquemas foram selecionados para a estimativa de precipitação a partir dos dados do PR-TRMM: a estimativa “precipitation near surface” extraída do produto 2A25, a relação Z-R Marshall-Palmer (1948) e as relações Z-R encontradas por Tenório et al. (2010) para cada mês da estação chuvosa da região, quer foram aplicadas sobre a refletividade corrigida perto da superfície do produto 2A25.

As Z-R encontradas por Tenório et al. (2010) são mostradas na Tabela 3. A partir da classificação do tipos de nuvens foram adotadas as Z-R para nuvens estratiformes para as nuvens classificadas estratiformes, e as Z-R para nuvens convectivas para as nuvens classificadas convectivas quente e fria no caso do Tenório et al. (2010). A refletividade (dBz) do produto 2A25 foi convertida em taxa de precipitação (mm/h) através das equações mostradas na Tabela 3.

Tabela 3 - Z-R para os meses da estação chuvosa Tenório et al. (2010).

Nuvens estratiformes (Prec abaixo de 10 mm.h⁻¹)	Nuvens convectivas (Prec acima de 10 mm.h⁻¹)
Abril: $Z = 161.4R^{1.26}$ (r=0.85)	Abril: $Z = 54.8R^{1.7}$ (r=0.79)
Mai: $Z = 143.4R^{1.26}$ (r=0.73)	Mai: $Z = 50.4R^{1.7}$ (r=0.80)
Junho: $Z = 150.9R^{1.28}$ (r=0.70)	Junho: $Z = 136.6R^{1.4}$ (r=0.92)
Julho: $Z = 152.0R^{1.22}$ (r=0.84)	Julho: $Z = 48.4R^{1.7}$ (r=0.88)
Agosto: $Z = 145.0R^{1.24}$ (r=0.76)	Agosto: $Z = 31.3R^{1.9}$ (r=0.75)

Fonte: Autor, 2015 – Adaptado de TENÓRIO, 2010.

A partir da refletividade próxima a superfície do produto 2A25 também foi aplicada a relação Z-R Marshall-Palmer (MARSHALL e PALMER, 1948). A seguir é mostrada a derivação da taxa de precipitação (R) (mm/h) de acordo com a Z-R.

$$Z = 200R^{1.6} \quad (8)$$

Primeiramente aplicando o log em ambos lados encontra-se:

$$\log Z = \log 200 + \log R^{1.6}$$

Seguidamente aplicando-se as regras de logs e expoentes:

$$\log z = \log 200 + 1.6 \log R$$

E subtraindo log 200 em ambos os lados:

$$\log z - \log 200 = 1.6 \log R$$

Dividindo por 1.6 em ambos os lados:

$$\frac{\log z - \log 200}{1.6} = \log R$$

Isola-se R para lado direito da Equação:

$$\log R = \frac{\log z}{1.6} - \frac{\log 200}{1.6}$$

Para a retirada da função logarítmica da função R, elava-se ambos os lados a potência de 10; uma vez que “log de R” é justamente a potência que se precisa elevar a 10 para se obter R, ou seja, elevando a potência de 10 em log R obtém-se R:

$$R = 10^{\log R} = 10^{\left(\frac{\log z}{1.6} - \frac{\log 200}{1.6}\right)}$$

Aplicando-se a regra dos expoentes:

$$R = 10^{\left(\frac{\log z}{1.6}\right)} \times 10^{-\left(\frac{\log 200}{1.6}\right)}$$

Calcula-se o fator numérico do lado direito:

$$R = 10^{\left(\frac{\log z}{1.6}\right)} \times 0.036463324$$

Reorganizando:

$$R = 0.036 \times 10^{\left(\frac{\log z}{1.6}\right)}$$

$$R = 0.036 \times 10^{(0.625 \times \log z)}$$

Como a refletividade (Z) esta em dBz de refletividade é necessário multiplicar por 10 vezes o log de Z:

$$\text{dBz} = 10 \times \log Z$$

$$\log Z = \frac{\text{dBz}}{10}$$

Substitui-se a expressão log Z da Equação:

$$R = 0.036 \times 10^{(0.625 \times (\frac{dBz}{10}))}$$

Assim se encontra a Equação (9) usada para converter a refletividade do radar em taxa de precipitação em mm/h:

$$R = 0.036 \times 10^{(0.625 \times dBz)} \quad (9)$$

Estes procedimentos de derivação também foram usados para a conversão de taxa de precipitação através da Z-R Tenório et al. (2010).

4.2.3 Estimativa da precipitação mensal

Para cada passagem do TRMM sobre a área de estudo foi recolhida a data e a hora da passagem, latitude e longitude de cada pixel, a taxa instantânea da precipitação (mm/h) e a refletividade próxima da superfície do produto 2A25. Utilizando as relações descritas na seção anterior, a taxa de precipitação a partir das diferentes metodologias foi calculada para cada pixel da orbita sobre a região de estudo. Na seguinte etapa do pré-processamento, os dados de cada orbita do PR-TRMM foram mapeados numa grade regular de 0.25 x 0.25 graus. A estimativa da precipitação mensal proposta nesta pesquisa é realizada utilizando o seguinte procedimento:

Computa-se o valor médio da taxa de precipitação X (mm/h) para o ponto de grade i,j (onde i é a latitude e j a longitude do pixel) somando todos os valores de sensor PR-TRMM disponíveis para cada mês e cada ano de acordo com a Equação (10):

$$TP_{ij} = \frac{\sum_{kp} X_{kpij}}{N^{obs}_{ij}} \quad (10)$$

Onde TP_{ij} é valor médio da taxa de precipitação nas coordenadas i,j da matriz, X_{kpij} é a taxa de precipitação observada nas coordenadas i,j durante a passagem kp do satélite TRMM e N^{obs}_{ij} o número de observações (amostras) do satélite TRMM nas coordenadas i,j para cada mês de cada ano. Esse procedimento é realizado para cada uma das metodologias propostas neste estudo. A unidade do TP_{ij} é em mm/hora. Para obter a precipitação mensal de foi adotado

a Equação 11:

$$Pe_{ij} = TP_{ij} \times Nd \times h_d \quad (11)$$

Onde Nd é o número de dias no mês e h_d é quantidade de horas do dia (24 horas).

O computo da média mensal da precipitação para o período 2004 a 2013 é realizado conforme a Equação 12.

$$(Pe_{ij}) = \frac{\sum_{2004}^{2013} Pe_{ij}}{N_e} \quad (12)$$

Sendo Pe_{ij} o valor médio mensal de um dado mês, e N_a o número de anos disponíveis para a pesquisa (10 anos).

4.2.4 Classificação dos tipos de precipitação.

Para cada passagem do TRMM sobre a área de estudo foi recolhida a data e hora da passagem, latitude e longitude de cada pixel e classificação do tipo precipitação. Neste caso as precipitação diferentes de zero foram consideradas no cálculo das frequências médias. Na seguinte etapa do pré-processamento, os dados de classificação de cada orbita do PR-TRMM foram mapeados em três grades regulares de 0.25×0.25 graus que correspondem ao número de recorrências de cada tipo de precipitação (estratiforme, convectiva e convectiva rasa). Uma matriz adicional com o número total de amostras também é calculada para cada mês de cada ano. A estimativa da frequência média mensal para cada tipo de chuva é realizada utilizando o seguinte procedimento:

Para cada mês de cada ano, computa-se a número de vezes que uma dada classificação C , (convectiva, convectiva rasa ou estratiforme) é computada para o ponto de grade i,j de acordo com a Equação (13):

$$F rel_{ij} = \frac{\sum_{kp} C_{kpij}}{N^{obs}_{ij}} * 100 \quad (13)$$

Onde $F rel_{ij}$ é a frequência relativa (em porcentagem) de cada tipo de precipitação nas coordenadas i,j da matriz, C_{kpij} a frequência absoluta de cada tipo nas coordenadas i,j durante a passagem kp do satélite TRMM e N^{obs}_{ij} o número de total de observações considerando os

três diferentes tipos de precipitação nas coordenadas i,j .

Para o computo da média mensal da frequência relativa para o período 2004 a 2013 foi realizado o cálculo conforme a equação 14:

$$(Frel_{i,j}) = \frac{\sum_{N_e} Frel_{ij}}{N_e} \quad (14)$$

Sendo $Frel_{i,j}$ a frequência relativa média mensal para um dado mês, e N_a o número de anos disponíveis para a pesquisa (10 anos).

4.2.5 Comparação com dados de superfície

Foi realizada uma triagem das passagens (kp) do PR-TRMM, e foram considerados os pixels que coincidiram até o limite num raio de 0.1° de distância da localização (lat e lon) das estações meteorológicas. Neste trabalho foi considerado que por aproximação o valor pontual da precipitação registrado no intervalo entre uma hora UTC, onde houve a passagem do satélite TRMM, é igual a taxa de precipitação medida pelo radar PR-TRMM. Posteriormente foi realizado o registro do valor médio da taxa de precipitação TP_{ij} (Equação 10) para a localização da estação conforme os critérios de distância limite. Seguidamente foi realizado o computo da média dos valores pontuais dos registros do pluviômetro (X_{pluv}) da estação para cada passagem kp do satélite TRMM, no mês i , do ano j , gerando a taxa média de precipitação observado pelo pluviômetro $TP_{pluv_{ij}}$ condicionada a passagem do satélite conforme a Equação 15:

$$TP_{pluv_{ij}} = \frac{\sum_{kp} X_{pluv_{kpj}}}{N^{\circ}obsc_{ij}} \quad (15)$$

Onde $N^{\circ}obsc_{ij}$ o número de observações pluviômetro que coincidiu com a passagem do satélite TRMM nos critérios estabelecidos no estudo.

Posteriormente foi realizada uma regressão linear entre estas duas variáveis TP_{ij} e $TP_{pluv_{ij}}$ para cada estação e o cálculo do coeficiente de correlação (r). Como última análise foi realizada a distribuição da frequência acumulada para estas duas variáveis.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Estimativa da precipitação a partir dos dados PR-TRMM

5.1.1. Médias mensais e sazonais

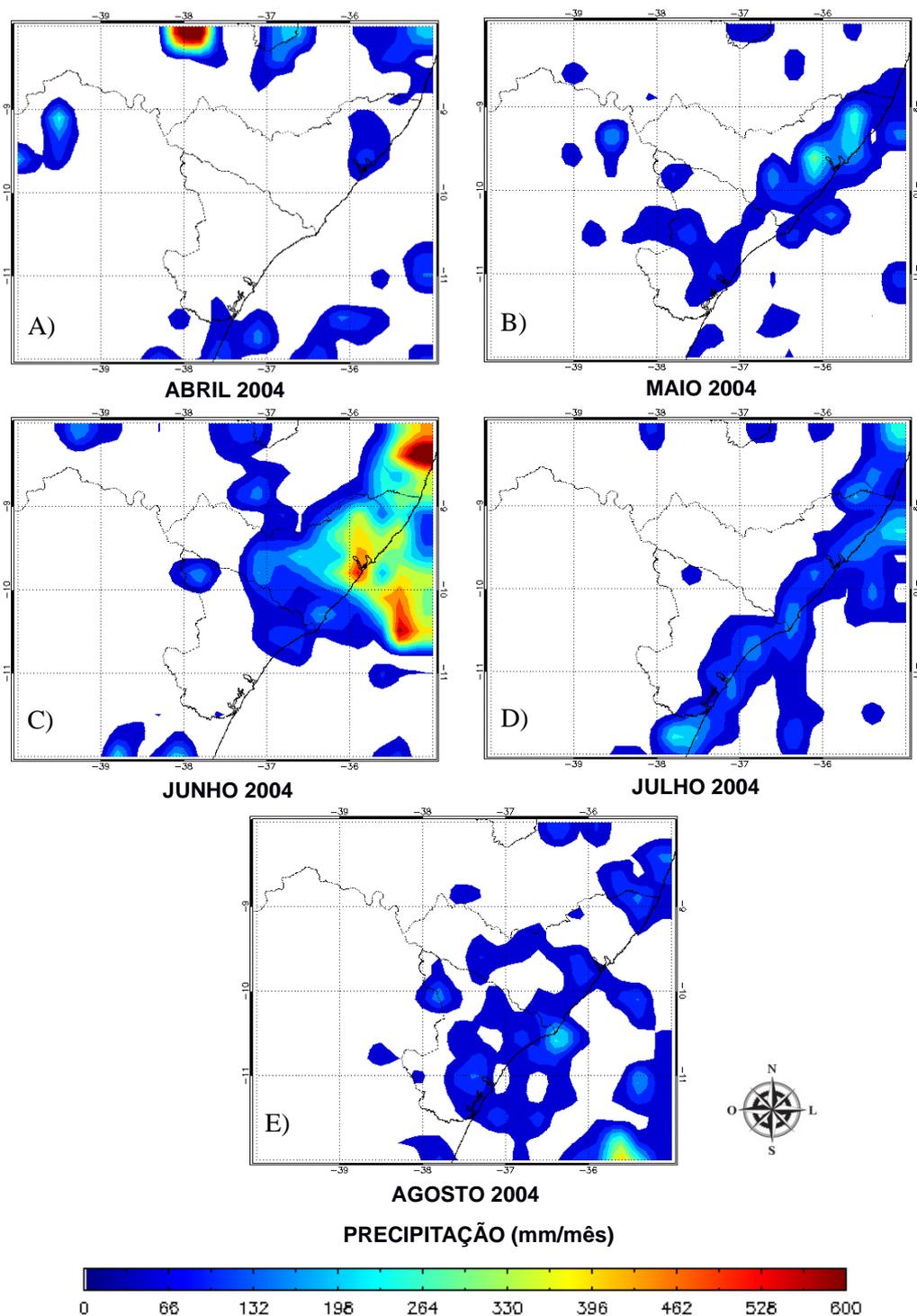
Realizadas as etapas descritas na secção 4.2 os resultados foram expressos em forma de mapas de precipitação para a área de estudo. A precipitação estimada para os meses da estação chuvosa no ano de 2004 segundo as diferentes relações Z-R propostas nesta pesquisa encontram-se nas Figuras 9, 10 e 11.

Segundo a estimativa da Z-R do PR-TRMM (Figura 9), durante a estação chuvosa na área de estudo pode-se notar que as precipitações se concentraram nos dois Estados em estudo. No início da estação durante o mês de Abril (A) praticamente não houve chuvas em SE, e em AL apenas apresenta chuvas a capital Maceió (MCZ) e regiões próximas (na Figura em tons de azul) que aproximadamente variam em torno de 60 a 80mm/mês. Maio (B) apresenta maiores valores de precipitação quando comparado com o mês de Abril. O litoral Alagoano exhibe chuvas que variam aproximadamente de 60 a 270mm/mês (em tons de azul), sendo a faixa de 8°S a 10°S a região mais chuvosa. Foi notado no Estado de SE precipitações de fraca intensidade que ficaram em torno de 60 a 80mm/mês. Em Junho (C) são encontrados os máximos de precipitação na estação chuvosa para ano de 2004 em AL, novamente a faixa entre 8°S a 10°S no litoral apresenta os maiores valores de precipitação (em tons de verde a vermelho) variando entre 300 a mais de 500mm/mês mais ao Sul desta faixa. A região “central” do Estado de Alagoas, região de transição entre o litoral e o semiárido, mostrou a precipitação mensal por volta de 80 a 140mm/mês. Neste mesmo mês o nordeste (NE) do Estado de Sergipe tem precipitações de 60 a 80mm/mês e a noroeste (NO) de 60 a 140mm/mês. Em (D) uma precipitação praticamente uniforme se encontra ao longo da costa dos Estados de AL e SE no mês de Julho, os valores da precipitação oscilam entre 80 a 140mm/mês. No último mês da estação chuvosa (Agosto (E)) a precipitação entra um pouco mais para o interior dos Estados, entretanto não se configura uniforme e varia entre 60 a 80mm/mês.

Mesmo com poucas passagens do PR-TRMM durante o dia, por volta de duas (LIU, 2012), o PR-TRMM forneceu a distribuição espacial da precipitação para os Estados de AL e PE. A sazonalidade observada das chuvas durante a estação em 2004 foi muito próxima da que consta nos trabalhos de Kousky (1979^a), Nobre e Molion (1988) e Molion e Bernardo (2000). Diante dos resultados, aparentemente o ano de 2004 as chuvas foram regulares para o período,

entretanto Agosto possuiu mais chuvas que Abril, o que normalmente é observado de forma contrária segundo a literatura. Ainda pode-se notar pelas estimativas que o estado de Alagoas foi mais chuvoso que o estado de PE durante a estação chuvosa no de 2004.

Figura 9 – Estimativa da precipitação mensal a partir da Z-R PR-TRMM nos Estados de Alagoas e Sergipe, durante a estação chuvosa no ano de 2004.



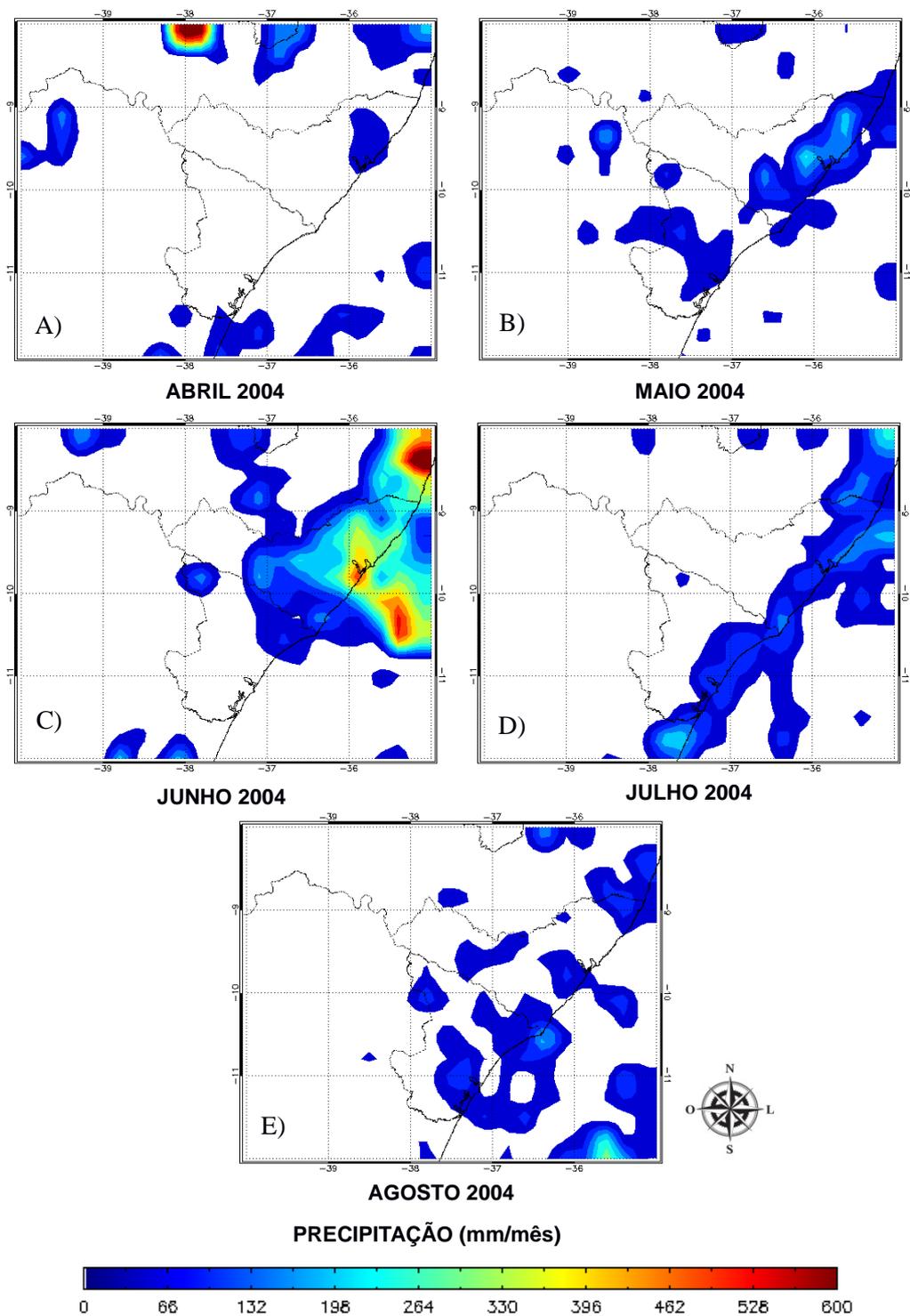
Fonte: Autor, 2015.

Na Figura 10 encontra-se a estimativa da precipitação para a estação chuvosa na região de estudo em 2004 segundo a Z-R Marshall-Palmer (MP). Percebe-se que a distribuição espacial e os valores da precipitação são próximos ao estimado pela Z-R PR-TRMM, entretanto a Z-R MP tende a estimar valores menores quando comparada a Z-R PR-TRMM. No mês de Abril (A) a precipitação variou de aproximadamente 60mm/mês na capital Alagoana e regiões próximas, e sem precipitação para o restante do território de AL e SE. Em Maio (B) a precipitação também variou de 60 a 270mm/mês no litoral Alagoano, mas a região de maior incidência de chuva se mostra menor do que a encontra na Figura 9.

Em Junho (C), o mês mais chuvoso, a precipitação no Estado é praticamente a mesma segundo da Z-R PR-TRMM, entretanto, com valores estimados levemente mais baixos, variando (aproximadamente) de 300 a mais de 450mm/mês no litoral Alagoano, 80 a 120mm/mês na região de transição entre o litoral e o agreste de AL e de 60 a 70mm/mês no NE Sergipano. A precipitação a NO de SE é a mesma segundo PR-TRMM de 60 a 140mm/mês. Em Julho (D) a precipitação sobre o litoral de AL e SE também oscila entre 80 a 140mm/mês. As precipitações que entraram sobre o continente em Agosto (E) sendo que a Z-R MP tem distribuição espacial menor, do que PR-TRMM, mas os valores são os mesmos, de 60 a 80mm/mês.

Era esperada esta diferença entre os valores da Z-R MP e PR-TRMM, devido a Z-R MP (Marshall e Palmer, 1948) ter sido desenvolvida para nuvens do tipo estratiformes o que resulta em uma subestimativa para a precipitação originada por nuvens de tipo convectivas. Isto é um dos fatores que geram as diferenças entre as Z-R MP e PR-TRMM. Entretanto os valores são próximos mostrando que a Z-R PR-TRMM se assemelha como uma Z-R para nuvens estratiformes.

Figura 10 – Estimativa da precipitação mensal a partir da Z-R Marshall-Palmer (1948) nos Estados de Alagoas e Sergipe, durante a estação chuvosa no ano de 2004.



Fonte: Autor, 2015.

A precipitação segundo Tenório et al. (2010) (TEN) (Figura 11) para estação chuvosa em 2004 tem uma intensidade maior do que as estimativas das Z-R PR-TRMM e MP. Nota-se valores superiores de precipitação mensal sobre os Estado de AL e SE quando comparados as Figuras 9 e 10. A distribuição espacial da precipitação (com maior incidência sobre os Estados

em estudo) também mostra-se maior. Considerando que o número e a localização de pixels que contém chuva em ambas as aplicações das Z-R são os mesmos, esta diferença na distribuição da precipitação se dá ao processo de suavização na elaboração da Figura da estimativa mensal, segundo cada Z-R.

As chuvas em Abril (A) são concentradas na faixa de 8°S a 10°S no Estado de AL variando entre aproximadamente de 60 a 120mm/mês, valores em média aproximadamente de 20 a 40mm/mês acima da precipitação estimada pelas Z-R PR-TRMM e MP.

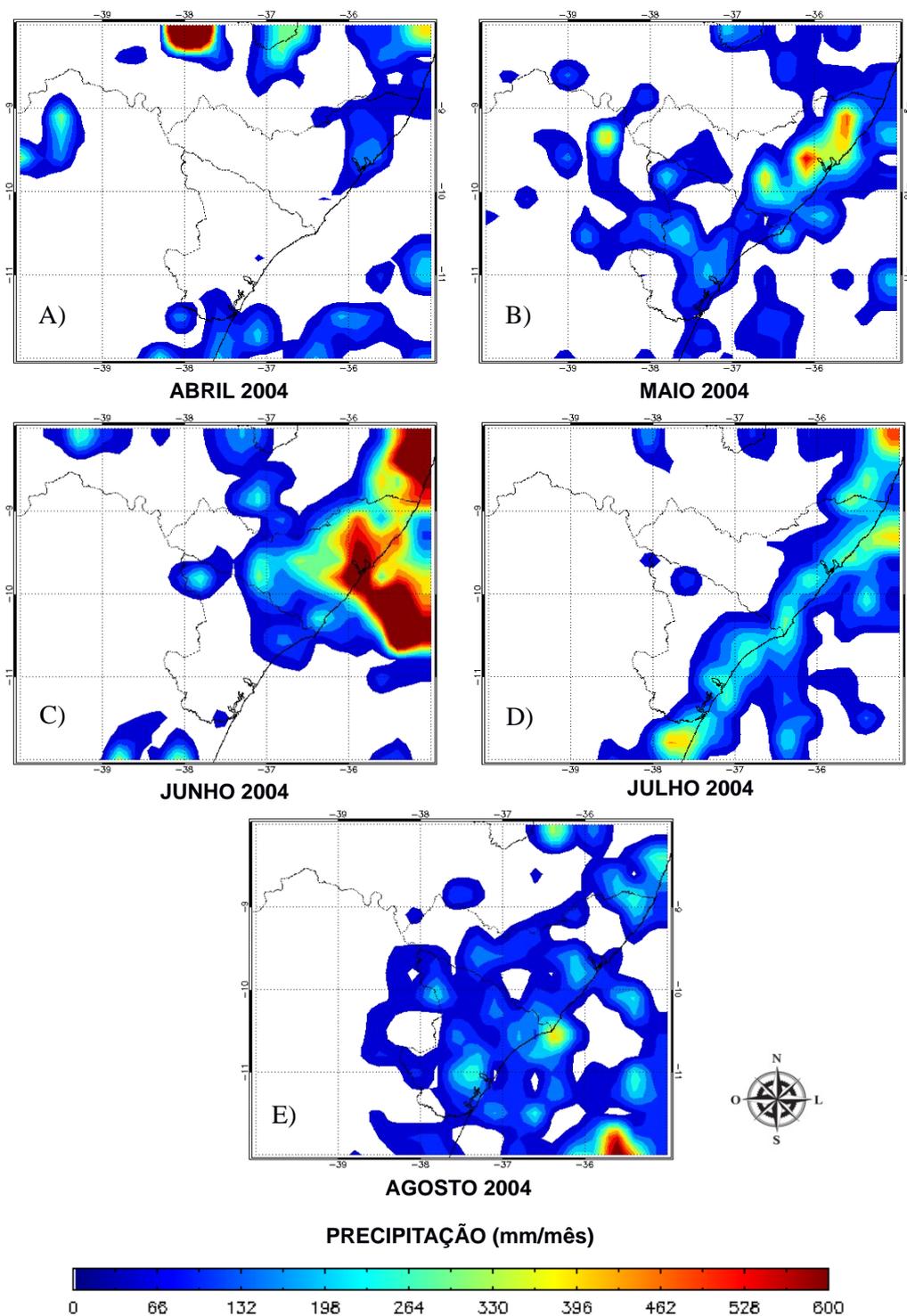
Em Maio (B) todo o litoral Alagoano teve chuva segundo a estimativa variando entre 140 a 450mm/mês, em média em algumas regiões pode-se aproximar um aumento de 130mm/mês sobre a costa quando comparado com os valores estimados pelas Z-R PR-TRMM e MP, mas sendo a faixa de 8°S a 10°S ainda a região mais chuvosa como visto nas Figuras 9 e 10. Nota-se também sobre o Estado de AL precipitação por volta de 60mm/mês sobre o sudeste do agreste que não chegou a ser notificado pelas as Z-R PR-TRMM e MP. Sobre SE a precipitação estimada varia entre 80 a 140mm/mês tendo um aumento significativo quando comparada as estimativas anteriores.

O mês mais chuvoso da estação sobre os Estados continua a ser Junho (C) segundo a estimativa pela Z-R TEN, entretanto os valores são consideravelmente acima dos estimados pelas Z-R PR-TRMM e MP. Para a faixa entre 8°S a 10°S no litoral, os valores variam entre 350 a mais de 600mm/mês, sendo os maiores valores sobre a região de MCZ e regiões próximas ao Sul da capital, um aumento de 50 a mais de 100mm/mês quando equiparadas as estimativas anteriores. A região de transição entre o litoral e o agreste em AL chega a ter aproximadamente de 200 a 260mm/mês, um aumento de aproximadamente 100mm/mês sobre as estimativas anteriores, sendo as menores precipitações de 60 a 100mm/mês no setor Oeste da região. Sobre SE os valores estimados pela Z-R TEN se aproximaram das demais estimativas, e giram 60 a 140mm/mês no NE, e 60 a aproximadamente de 200mm/mês no Leste, tendo uma diferença de 60mm/mês aproximadamente.

Para o mês de Julho (D) a precipitação sobre a costa apresenta-se mais intensa nos Estados de AL e SE e foi de 140 a 200mm/mês, também um aumento de aproximadamente 60mm/mês comparado as estimativas anteriores.

Para o mês Agosto (E) nota-se precipitação em praticamente todo o Estado Sergipano, com valores mais elevados sobre a costa (140 a 200mm/mês) e a predominância de chuvas mensais de 60 a um pouco mais de 80mm/mês sobre a maior parte do Estado, mostrando um aumento de aproximadamente 60 a 80mm/mês comparado as demais estimativas.

Figura 11 – Estimativa da precipitação mensal a partir da Z-R Tenório et al (2010) nos Estados de Alagoas e Sergipe, durante a estação chuvosa no ano de 2004.



Fonte: Autor, 2015.

Posteriormente a estimativa da precipitação mensal para cada ano, foi realizada a estimativa da média da precipitação mensal no período entre 2004 a 2013 para cada mês da quadra chuvosa segundo as três relações Z-R adotadas para a presente pesquisa.

A Figura 12 mostra a média da precipitação para os meses da quadra chuvosa para os Estados de AL e SE durante os anos de 2004 a 2013, estimada segundo as Z-R: (A) PR-TRMM, (B) MP (C) e TEN et al. (2010).

A distribuição espacial da precipitação, de acordo com as três Z-R, no mês de Abril sobre os Estados de AL e SE é praticamente a mesma, sendo que em (C) as áreas de não ocorrência de precipitação mostram-se menores quando comparadas a (A) e (B), isto se deve a interpolação valores estimados nas bordas de áreas de chuva para realização da Figura, que tende a suavizar as extremidades entre ocorrência de precipitação ou ausência. As Z-R PR-TRMM e MP tendem a apresentar valores de precipitação mensal próximos, sendo que a primeira possui valores maiores que a segunda, diferentemente a Z-R TEN estima valores maiores das demais.

Nota-se que no extremo Oeste no Estado de AL, região de semiárido do NEB, segundo as estimativas não houve ocorrência de precipitação. Em geral os maiores valores de precipitação se concentram na região do litoral dos dois Estados em estudo, sendo o Sul do litoral Sergipano a região mais chuvosa segundo as estimativas.

Na parte (A) observa-se no litoral Alagoano na faixa latitudinal entre 8°S a 10°S valores entre 80 a 90mm/mês, os maiores valores se encontram na região NE. Nesta mesma faixa em (B) a precipitação mensal é de 60 a 80mm/mês, com os maiores valores também localizados na parte nordeste do litoral. Em (C) encontra-se a mesma distribuição espacial da precipitação conforme (A) e (B), entretanto a precipitação varia entre aproximadamente 110 a 140mm/mês. O Sul de AL é a região mais chuvosa para o mês de abril, segundo as estimativas, para PR-TRMM os valores da precipitação mensal foram de aproximadamente 90 a 110mm/mês, para MP 80 a 90mm/mês e segundo TEN 120 a 140mm/mês. Na região mais chuvosa em SE (Sul do Estado) segundo PR-TRMM as precipitações variam de ~100 a 120mm/mês, por MP de 90 a ~110mm/mês e para TEN na região tem uma grande variação da precipitação entre 140 a ~220mm/mês. Para a região da zona da mata em AL e interior do SE, a precipitação estimada de acordo com as três Z-R é de aproximadamente 20mm/mês. Não obstante ao foco da pesquisa nota-se precipitação sobre o Estado da Bahia (BA) e de modo acentuado nas regiões NE e norte do Estado de Pernambuco (PE) e chuva em toda a parte oceânica da região de estudo tendo os maiores valores na direção sudoeste na costa do litoral Sergipano.

Segundo as estimativas, em Maio as chuvas entraram no interior do Estado de SE e AL, além de que com intensidade maior em comparativo com o mês de Abril. Os maiores índices de precipitação são localizados no litoral e os menores sobre a região do semiárido em ambos os Estados. Diferentemente da configuração no mês de Abril a região de chuva mais

intensa está localizado ao Sul do Estado de AL e não sobre SE.

Em (A) o NE do litoral de AL apresenta valores de precipitação média entre 80 a 110mm/mês, sobre a mesma região em B) a Z-R MP estimou 80 a 90mm/mês e pela Z-R TEN (C) o valor obtido foi de 120 a 200mm/mês, uma diferença de 40 a aproximadamente 100mm/mês. Sobre o Sul de AL de acordo com a Z-R PR-TRMM, a precipitação média varia 120 a 180mm/mês; para a Z-R MP esta região possui um variação de 120 a 140mm/mês, e a Z-R TEN estima a variação entre 150 a mais de 250mm/mês. Para a região de transição entre o litoral e o semiárido Alagoano, a chuva média mensal varia de 60 a 100mm/mês segundo a Z-R PR-TRMM e 60 a aproximadamente 90mm/mês de acordo com a Z-R MP, entretanto para a Z-R TEN é por volta de 100 a 170mm/mês. Precipitação média em torno de 20mm/mês é estimada para a região do semiárido tanto pela Z-R PR-TRMM quanto para MP, e de 60 a 90mm/mês, segundo a Z-R TEN. Sobre o litoral de SE a média mensal varia de 100 a 140mm/mês e 80 a cerca de 120mm/mês para as Z-R PR-TRMM e MP respectivamente, mas para a Z-R TEN fica em torno de 140 a acima de 250mm/mês. Em média, a Z-R TEN estima a precipitação 100mm/mês acima dos valores obtidos das demais Z-R para o mês de Maio. Nas regiões adjacentes dos Estados de AL e SE a precipitação sobre o Estado de PE é menos intensa quando comparada as observadas nas estimativas para o mês de Abril. A mesma análise pode ser feita sobre a distribuição e a intensidade de chuvas no Estado da BA, em contrapartida, as precipitações aumentam sobre a área oceânica.

Fazendo uma análise em termo de máximos de precipitação em geral sobre os Estados de AL e SE, em Junho se configura de menor intensidade do que o mês de Maio e maior que o mês de Abril. Sobre o litoral Alagoano a faixa entre 8°S a 10°S aparece mais chuvosa do que a região Sul da costa, o que não ocorreu em Abril e Maio. O semiárido volta a não apresentar chuva como visto no mês de Abril. A média da precipitação sobre SE sofre uma redução entre os meses de maio a Junho. Entretanto, analisando os valores estimados para SE separadamente, percebe-se que Junho no comparativo entre o mês de Abril, este último foi o mês o mais chuvoso.

A faixa de 8°S a 10°S a média fica em torno de 140 a 180mm/mês segundo a Z-R PR-TRMM, 100 a 140mm/mês segundo a Z-R MP e 180 a 250mm/mês pela Z-R TEN, sendo encontrados os maiores valores sobre a região ao Sul de MCZ. No Sul do litoral Alagoano a chuva média estimada por Z-R PR-TRMM é 60 a 80mm/mês, para a Z-R MP de 60mm/mês e para a Z-R TEN é de 80 a 100mm/mês. Na zona de transição sobre AL, Norte e Sudoeste de SE, a média de chuva segundo as Z-R PR-TRMM e MP é de aproximadamente 20mm/mês, mas a Z-R PR-TRMM estimou 40mm/mês em algumas regiões, para a Z-R TEN as áreas de 40mm/mês são maiores do que a estimativa pela Z-R PR TRMM, mas em geral também

distribuiu 20mm/mês no extremo Oeste da região. O Sul do litoral Alagoano apresentou segundo a Z-R PR-TRMM a média da precipitação entre 100 a 140mm/mês, para a Z-R MP valores menores entre 80 a 100mm/mês e para a Z-R TEN valores maiores, entre 140 a 160mm/mês. Para o NE Sergipano a média varia entre 40 a 60mm/mês para as Z-R PR-TRMM e MP, com pico de 100mm/mês e 80mm/mês respectivamente, enquanto a Z-R TEN 60 a 140mm/mês. Nas regiões adjacentes, a precipitação é menor sobre o Norte e Noroeste de PE e se intensifica sobre a costa Leste do Estado com precipitações a 250mm/mês pelas Z-R PR-TRMM e MP e acima de 250 pela Z-R TEN. Sobre os oceanos a precipitação é menos intensa quando comparada com o mês de maio. Sobre o território da Bahia coberto pela área de estudo praticamente não é observado chuvas nas estimativas, sendo apenas sua região costeira a apresentar precipitação 80mm/mês (PR-TRMM), 60mm/mês (MP) e 100mm/mês (TEN).

Segundo as estimativas em Julho, as chuvas se concentram ao longo do litoral nos Estados de AL e SE. No comparativo entre os meses anteriores, percebe-se que Julho sobre a faixa de 8 a 10°S para as Z-R PR TRMM e MP a intensidade da precipitação foi menor que as do mês de junho, mas pra Z-R TEM, o mês de Julho os valores são maiores, uma situação não observada antes em que as Z-R não entram em concordância quanto a distribuição dos máximos de precipitação. Para essa faixa sobre AL são encontradas as maiores médias de precipitação, 100 a 160mm/mês (PR TRMM), 80 a 120mm/mês (MP) e 180 a mais de 250mm/mês (TEN). No restante do litoral, segundo as Z-R PR TRMM e MP, a média fica em torno de 40 a 60mm/mês, e para a Z-R TEN da ordem de 80 a 160mm/mês. Nas áreas adjacentes as precipitações observadas em Julho, sobre PE e BA e as precipitações sobre o oceano reduziram sua intensidade na faixa de 10°S a 12°S e se intensificaram entre 8°S a 10°S.

Em Agosto, último mês da estação chuvosa, nota-se uma distribuição mais uniforme da precipitação ao longo do litoral Alagoano e Sergipano, com os valores levemente mais altos sobre a região costeira. Entretanto, os valores máximos observados em Julho são maiores que os máximos estimados para Agosto. Neste mês a precipitação volta a acontecer sobre o interior dos Estados em média 20mm/mês. Para o litoral, 60 a 100mm/mês (PR TRMM), 60 a 80mm/mês (MP) e 140 a 220mm/mês (TEN).

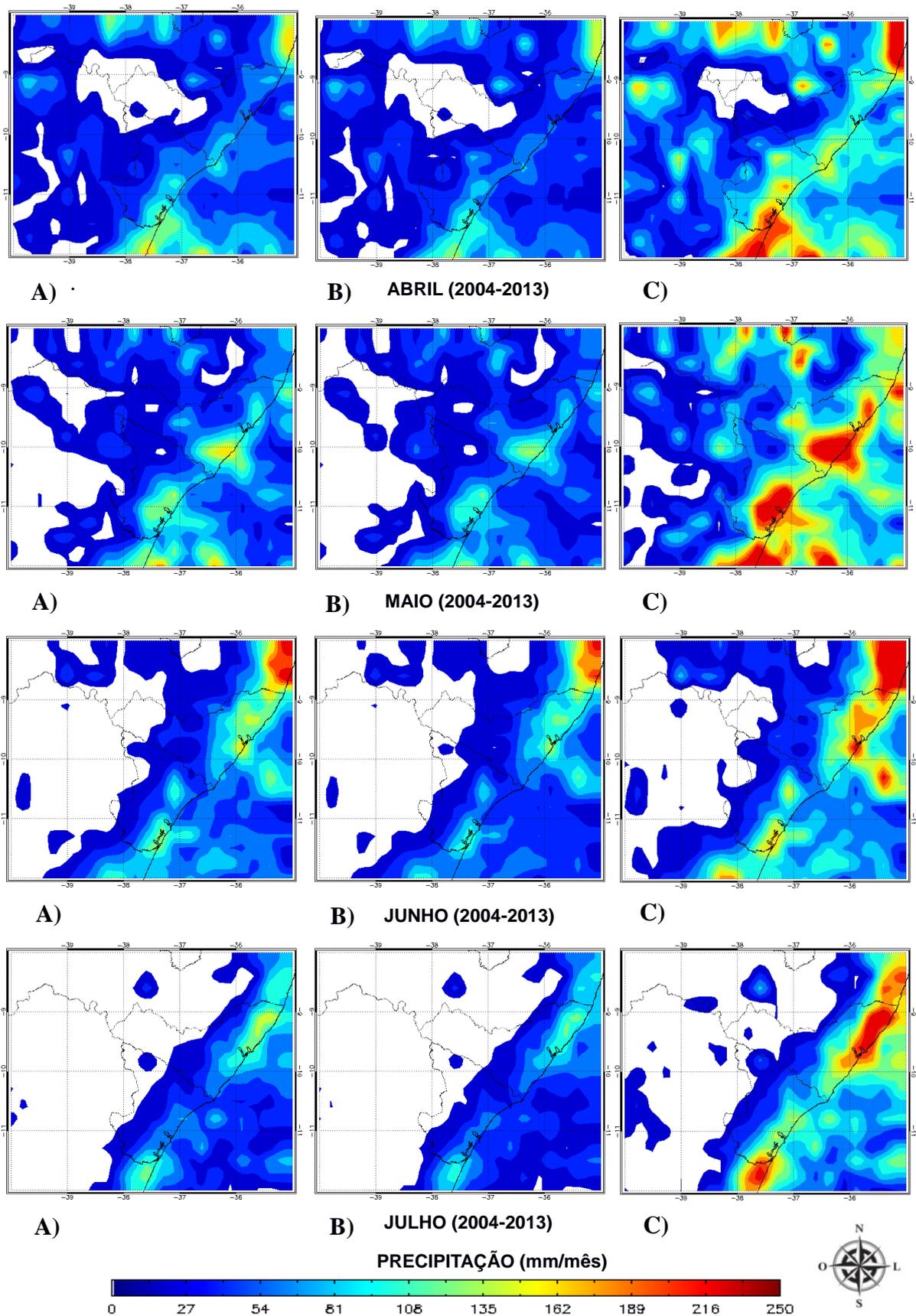
Pelas estimativas, nota-se que a distribuição das precipitações para os Estados de AL e SE durante a estação chuvosa no período de 2004 a 2013 (conforme a Figura 12) começaram mais intensas próximas sobre o litoral no mês de Abril, sendo que SE apresentou uma distribuição de precipitação em praticamente todo seu território, enquanto que na região do semiárido Alagoano não ocorre precipitação. Em seguida, no mês de Maio, as precipitações

penetram sobre os dois Estados e com intensidade maior. E para os demais meses da estação chuvosa a precipitação tende a se concentrar mais uniformemente sobre a costa litorânea dos dois Estados. De modo geral na área de estudo, a distribuição da precipitação sobre o continente diminuiu, se concentrando na costa leste do NEB, enquanto sobre o oceano a precipitação permanece praticamente constante, mas mudando de maiores intensidades entre o SO oceânico da região de estudo (Abril e Maio) para o NE oceânico da região de estudo.

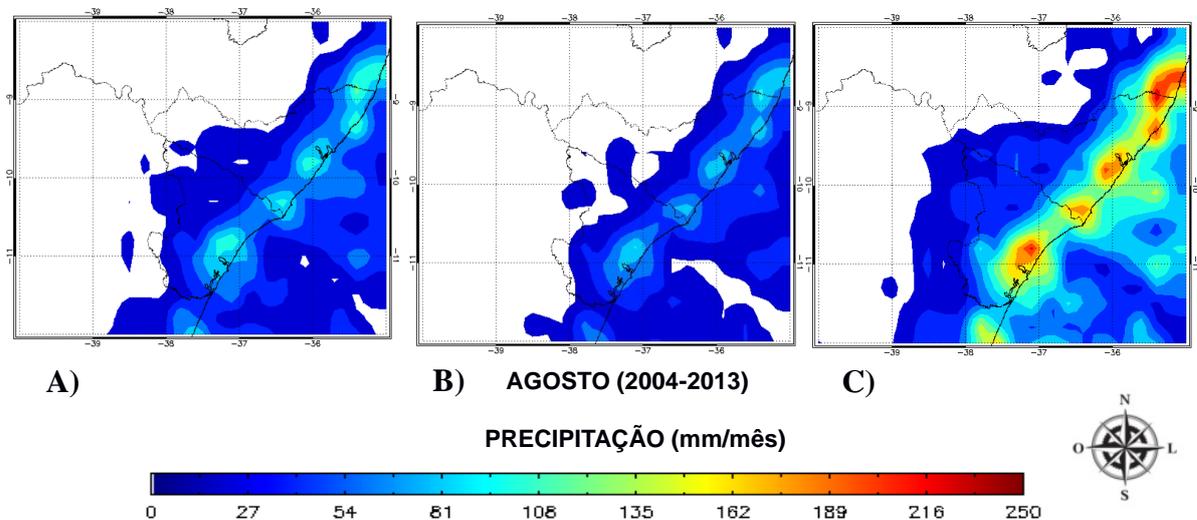
Shi et al. (2000) apud Reboita (2010) a partir de dados de precipitação obtidos da Agência Nacional de Energia Elétrica do Brasil, construíram análises diárias com resolução espacial de $1^\circ \times 1^\circ$ de latitude por longitude no período de 1960 a 1997 para o Brasil e fundindo estas análises com os totais mensais de chuva do restante da América do Sul obtidos pelo Sistema de Monitoramento de Anomalias Climáticas (Climate Anomaly Monitoring System – Ropelewski et al., 1985) geraram um atlas de precipitação para a América do Sul no período de 1979 a 1995 corresponde a um período de maior número de estações no Brasil e em seus dados também encontraram essa “migração” da precipitação, que é mais homoganeamente distribuída para a área de estudo em Abril, se direciona mais próxima da costa do litorais Alagoano e Sergipano em julho. Em seus resultados a precipitação média ficou entre 100 a 200mm em Abril e de 50 a 150mm em julho. No comparativo com as estimativas em Abril a Z-R TEN estimou a precipitação média mais próxima aos resultados de Shi et al. (2000). Entretanto em Julho a Z-R que estimou valores mais em conformidade com os dados de Shi et al. (2000) foi a MP.

Nota-se que a grande variabilidade espacial da precipitação sobre a região de estudo foi bem representada pelas estimativas. Nobre e Molion (1989) já abordavam que o NEB era considerado uma região anômala quando comparado com outras regiões tropicais por ser um semiárido, e que a precipitação na costa leste do NEB exemplificava bem isso. Segundo os autores enquanto a região costeira mostrava a média anual de 1 600mm ou mais, a região do interior apresentava 400mm. Mas tarde Reboita (2010) indica que a precipitação anual no litoral do NEB é de 1 500mm/ano e para a região do interior do NEB varia entre 200 a 500mm/ano.

Figura 12 – Distribuição média precipitação mensal (mm/mês) para a estação chuvosa na costa leste do NEB durante os anos de 2004 a 2013 de acordo com as Z-R: a) PR-TRMM, b) Marshall-Palmer e c) Tenório et al. (2010).



Fonte: Autor, 2015. (continua)

Figura 10 – (continuação).

Fonte: Autor, 2015.

Os máximos de precipitação entre os meses de Maio e Junho também estão de acordo com a literatura. Yamazaky e Rao (1977) *apud* Kousky (1980) já sugeriam que os máximos de precipitação para a costa leste do NEB eram os meses Maio e Junho devido a propagações de sistemas de nuvens na direção de leste para o continente. Estes sistemas são agora entendidos de acordo com Molion e Bernardo (2000) como perturbações ondulatórias no campo dos Alísios e são gerados por penetrações de sistemas frontais em latitudes baixas sobre o continente e oceano. E segundo Kouky (1979) estes sistemas também interagem com sistemas frontais (que entram entre 5°S a 18S° (MOLION e BERNARDO; 2000) durante a estação chuvosa. E Kousky (1980) evidência que outro fator a influenciar na precipitação nestes meses são as interações de brisas marítimas e terrestre com os Alísios de sudeste.

Mas nos meses de Julho e Agosto segundo as estimativas a precipitação se organizava em toda litoral no NEB podendo ser que nestes meses os efeitos de interação entre brisas e os Alísios sejam mais presentes. Kousky (1980) diz que durante o inverso astral quando os Alísios de sudeste estão mais intensos sua fluência com a brisa terrestre contribui fortemente para a precipitação na costa leste do NEB. Em contrapartida Moscati e Gan (2007) observaram que quando os ventos de leste e de sul em 850hpa a precipitação diminui na região do interior da costa. Reboita (2010) explica que como há uma serra no interior do continente que acompanha o litoral do NEB, os ventos de leste, ao encontrarem esta barreira topográfica ascendem e favorece a precipitação orográfica, e que para a região do interior (semiárido) recebe, portanto ventos secos (não favoráveis a formação de nuvens precipitantes.

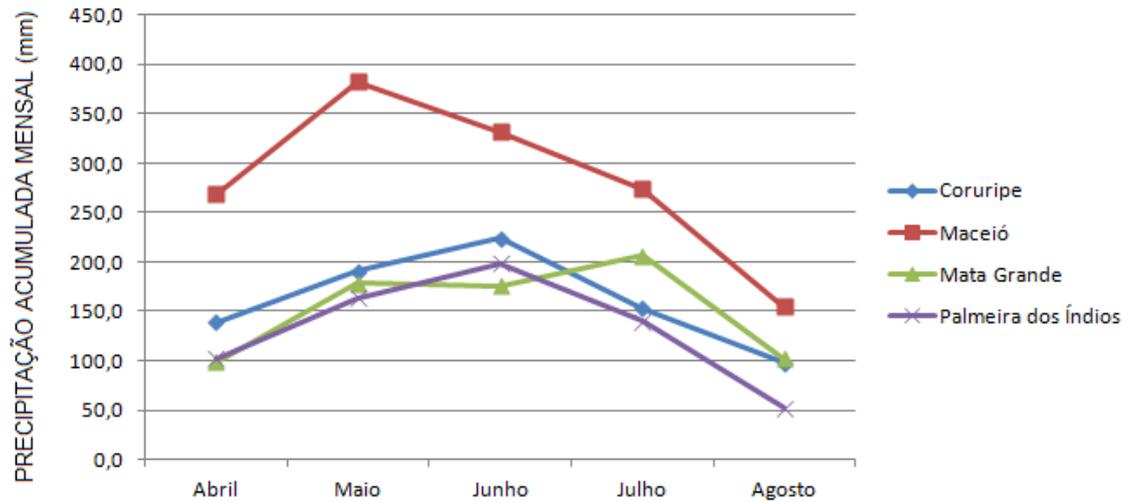
Portanto a ausência de precipitação no interior da costa leste do NEB está de acordo

com a literatura que descreve que durante a estação chuvosa da costa leste (inverno do Hemisfério Sul (H.S)) acontecem os mínimos de totais pluviométricos desta região. No entanto mínimos não quer dizer total ausência de chuva, nos resultados de Shi et al. (2000) *apud* Reboita (2010) é notificado chuvas em Julho no interior da costa enquanto as estimativas geram uma média de chuva 0mm/mês, devendo-se ressaltar a diferença entre os (diferentes) métodos de recuperação de chuva ocorre tanto em período de dados quanto a resolução espacial dos pontos de grade.

Outra explicação sobre o motivo desta diminuição no interior do NEB é devido a forte atuação dos movimentos subsidentes na região durante essa época do ano. Parte da circulação leste-oeste gerada pelo ramo ascendente associado a convecção da Amazônia que decai no Atlântico Sul atinge a região do NEB normalmente durante o ano. Mas no inverno estes movimentos descendentes são agregados aos movimentos de subsidência da circulação de Hadley, porque esta (sentido norte-sul) possui ramo ascendente na região da ZCIT e que durante o inverno (H.S) a ZCIT desloca-se mais ao norte desloca também subsidência para o interior do NEB (NOBRE e MOLION, 1989, MOLION e BERNARDO, 2002; REBOITA, 2010).

Para melhor explanação do comportamento climatológico sazonal da precipitação sobre a costa leste do NEB, foram requeridas do INMET as normais climatológicas de 1961-1990 referentes a precipitação acumulada pelas estações meteorológicas convencionais dos Estados de AL e SE. Analisando as normais da precipitação acumulada para o estado de AL para notificar o comportamento sazonal da precipitação ao longo da estação chuvosa conforme a Figura 13. Observa-se para as estações convencionais de Coruripe e Maceió municípios da costa alagoana, juntamente com o município de Palmeiras dos Índios situada na região de transição entre litoral e semiárido, que a precipitação aumenta ao longo do início da estação chuvosa, as precipitações crescem até junho (excerto MCZ), e decrescem até agosto onde mesmo padrão sazonal foi observado pelas estimativas geradas para a costa alagoana. Embora o município de Mata Grande situado no extremo oeste do estado apresente um padrão bem distinto do que foi observado nas estimativas, vale ressaltar que as estimativas estão dentro do período das normais que serão de 1991 a 2020 (INMET, 2015).

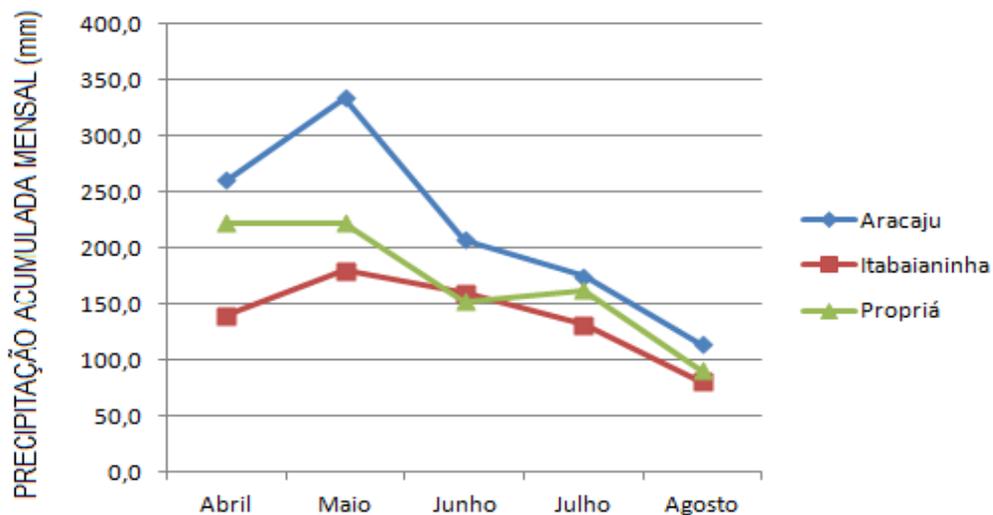
Figura 13 – Precipitação acumulada Normais no período de 61-90 para o Estado de Alagoas.



Fonte: Autor, 2015.

De forma análoga, ao observar as normais para os Estados de SE (Figura 14) nota-se que o padrão sazonal da precipitação do Estado tem os maiores índices pluviométricos nos três primeiros meses da estação chuvosa tendendo a crescer deste o início em Abril tendo seu máximo em Maio e começa a decrescer para os demais meses. Foi o mesmo padrão sazonal da precipitação para SE obtido pelas estimativas.

Figura 14 – Precipitação acumulada Normais no período de 61-90 para o Estado de Sergipe.

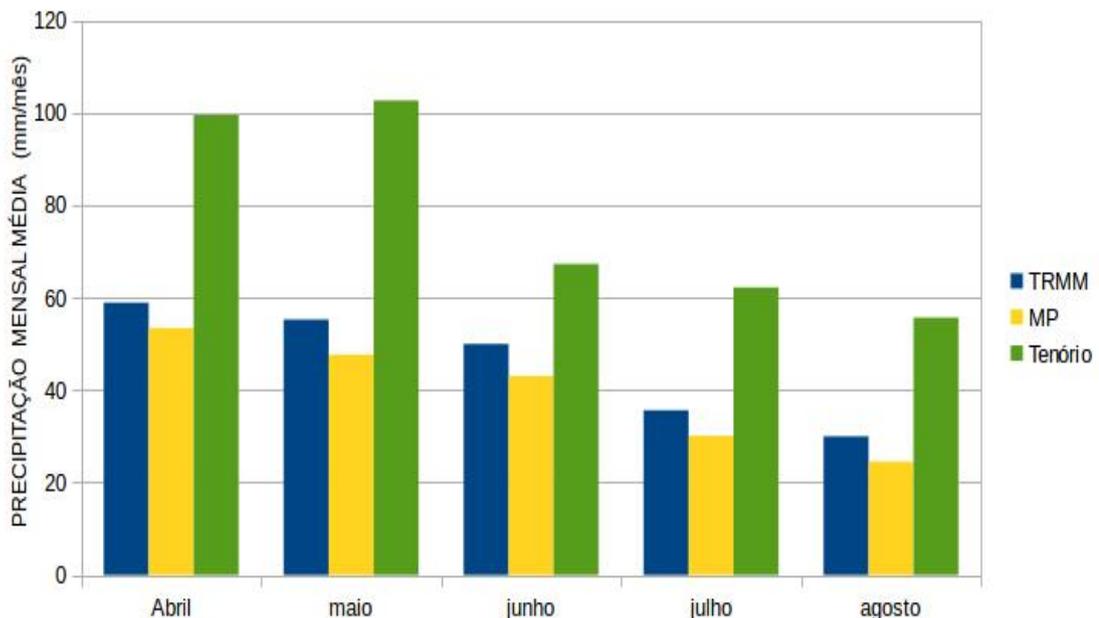


Fonte: Autor, 2015.

Na Figura 15 é mostrada precipitação mensal média em toda a área de estudo, para o período de 2004 a 2013, para cada mês da estação chuvosa segundo as Z-R PR TRMM, MP e TEN. Este cálculo foi realizado a partir da média da somatória de todos os pixels dentro a área de estudo.

Observa-se que durante a estação chuvosa segundo as estimativas de cada Z-R que a precipitação tende a decrescer de Abril para Agosto. Esse decaimento da precipitação se deve a diminuição da precipitação sobre o continente durante a estação chuvosa, uma vez que esta média leva em conta a precipitação média em toda a área de estudo. Para as Z-R PR TRMM e MP a precipitação maior é encontrada no mês de Abril, cerca de aproximadamente 60mm/mês e 55mm/mês respectivamente, e segue decrescendo até Agosto último mês da estação chuvosa e o menos chuvoso. A Z-R TEN estimou valores muito próximos entre os meses de Abril e Maio, aproximadamente 100mm/mês, sendo os dois os meses mais chuvoso, e valores decrescentes de Junho a Agosto em torno de 60mm/mês. Nota-se que a diferença de precipitação entre as duas primeiras Z-R e a última é de 40mm nos meses mais chuvosos e de 10mm nos demais meses.

Figura 15 – Precipitação média mensal no período de 2004 a 2013 na área de estudo.

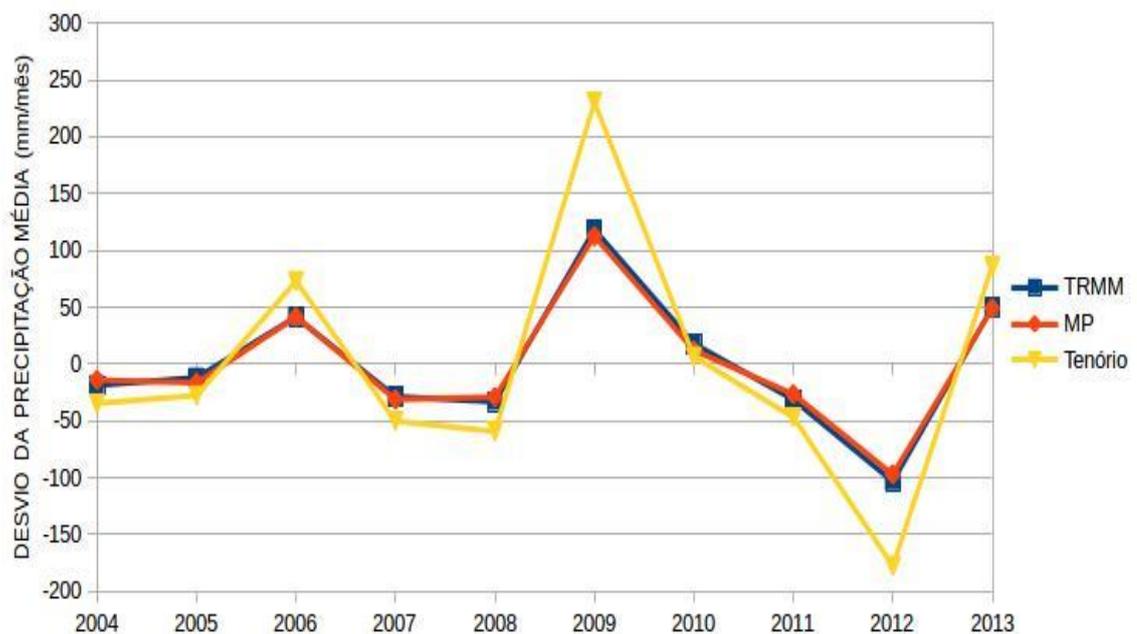


Fonte: Autor, 2015.

Na Figura 16 observa-se o desvio da média de precipitação mensal para cada estação chuvosa durante o período de 2004 a 2013 para toda área de estudo. Este cálculo foi realizado fazendo a diferença entre o valor da precipitação média mensal para uma estação chuvosa

subtraído pelo valor da média para estação chuvosa durante 2004 a 2013. De modo geral como as Z-R PR TRMM e MP estimam valores muito próximos, seus respectivos desvios são praticamente iguais, analogamente como a Z-R PR TRMM estima valores mais altos que as demais Z-R é a que apresenta maiores desvios de precipitação. Analisando este desvio pode-se inferir os anos que tiveram estações chuvosas mais intensas e os anos que foram mais secos no intervalo dos dez anos analisados. De modo que se o desvio é positivo corresponde a uma estação chuvosa intensa e se negativo a uma estação chuvosa mais seca, quando comparada a média da precipitação para estação chuvosa durante 2004 a 2013. Observa-se que o ano de 2009 apresentou, segundo as estimativas, a estação chuvosa mais intensa, e o ano de estação chuvosa menos intensa foi 2012. As Z-R PR TRMM e MP estimam durante 2009 o desvio positivo de um pouco mais de 100mm/mês para estação chuvosa, de acordo com a Z-R TEN este desvio é maior em torno de 225mm/mês. Para 2013 um desvio negativo de 100mm/mês foi estimada pelas Z-R PR TRMM e MP, enquanto que para a Z-R TEN este desvio é de aproximadamente de 175mm/mês. O segundo ano a apresentar chuvas mais intensas segundo as estimativas foi 2006 e os anos mais secos excerto 2013, foram em ordem de intensidade, 2008, 2007 e 2011.

Figura 16 – Desvio da precipitação média mensal no período de 2004 a 2013.



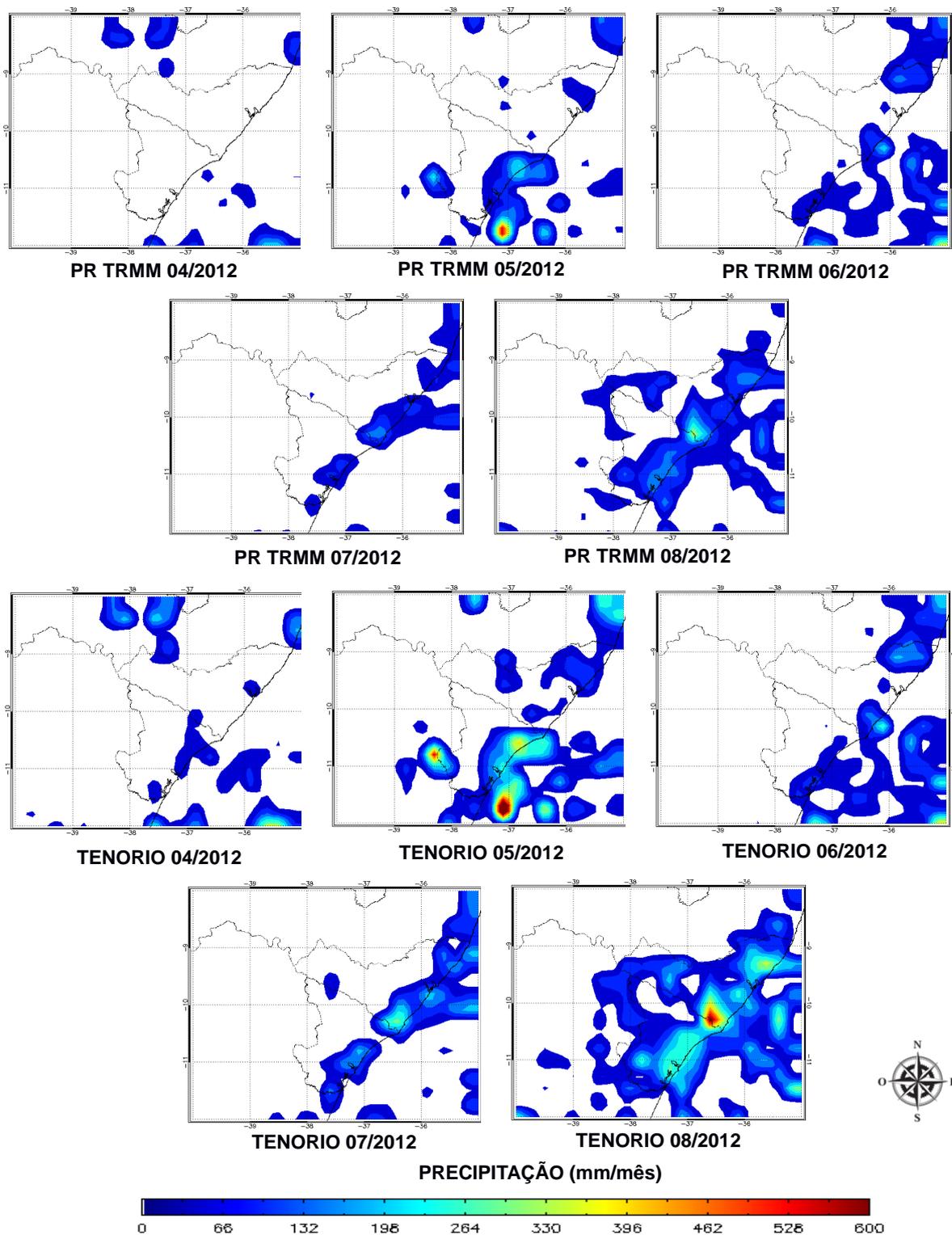
Fonte: Autor, 2015.

De acordo os trabalhos de Santos et al (2012), Leivas et al. (2014) e Ferreira et al. (2014) o ano de 2012 nos Estados de AL e SE estavam passando por um período de forte

estiagem e que essa seca pode ser observada também dentro da estação chuvosa, estudos corroboram com o resultado obtido anteriormente na Figura 14. A Confederação Nacional de Municípios (2015) relatou que o nordeste brasileiro enfrentou a maior seca dos últimos 50 anos e que em 2011 os Estados do NEB já sofriam efeitos de uma seca. As estimativas mostram 2011 abaixo da média mas com leve “intensidade”.

Leivas et al. (2014) com intuito de avaliar o comportamento do Índice de Vegetação Padronizado (IVP), obtido a partir do produto Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) decendial do satélite SPOT-Vegetation, na identificação da seca no NEB em 2012 usou o produto 3B43 do satélite TRMM, que é o acumulado mensal de precipitação estimada ajustado a partir de dados de uma rede mundial de postos pluviométricos. Em seus resultados notou que a variabilidade do IVP é em resposta defasada da ausência de precipitação mostrada a partir do TRMM. E ressaltou que uma característica importante sobre o satélite TRMM é que o mesmo estima corretamente a ausência de chuva, fator de suma importância para monitoramento da seca na região e que em geral as estimativas superestimaram o total de precipitação. As estimativas mensais para a quadra chuvosa para o ano de 2012 segundo as Z-R PR TRMM A) e TEN B) se encontra na Figura 17. Em geral pelas duas Z-R observa-se poucas chuvas sobre os Estado de AL e SE apenas em Agosto que as chuvas são mais distribuídas pela região de estudo.

Figura 17 – Estimativa da precipitação mensal a partir das Z-R PR TRMM A) e TEN B) para os Estados de Alagoas e Sergipe, para estação chuvosa durante a seca de 2012.

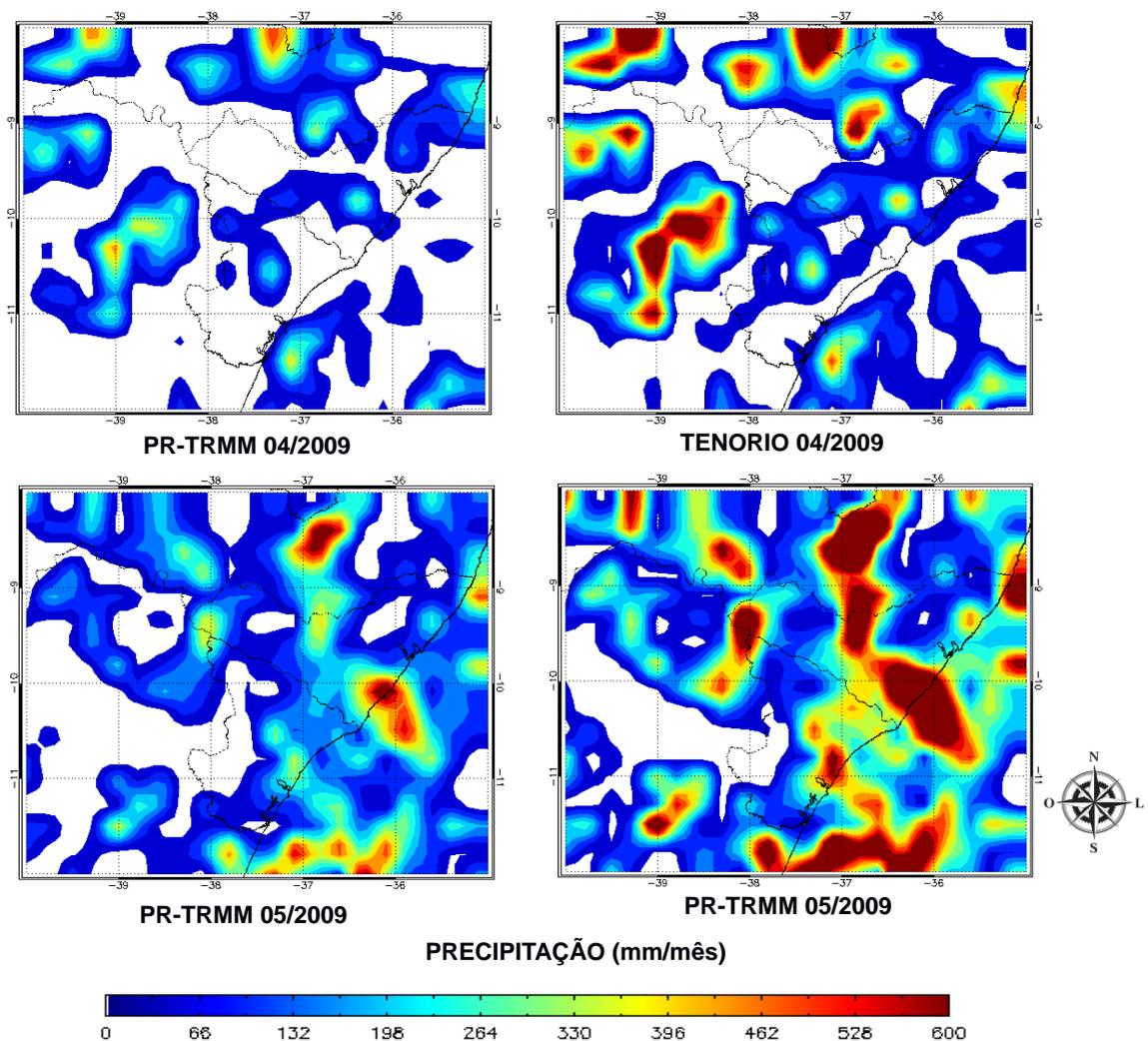


Fonte: Autor, 2015.

Por outro lado Marengo et al. (2011) relataram que 2009 foi um ano de fortes excessos de chuva e ocorrência de enchentes para os Estados do NEB, principalmente entre os meses de

Abril e Maio, que segundo seu levantamento o volume de chuva se manteve 200 a 300% acima do normal na maior parte dos Estados nordestinos. Segundo o autor o número de mortes no estado de Alagoas foi 7 e em SE 2. Segundo a estimativa pela Z-R TEN o desvio positivo da precipitação para a região de AL e SE foi de aproximadamente 250mm a mais da média no período de 2004 a 2013, de modo que a interferências das cheias no total de chuva durante a quadra chuvosa em 2009 para a região estudo foram perceptíveis nas estimativas. As estimativas para os meses de Abril e Maio em 2009 na estação na Figura 18. Maio segundo as estimativas foi o mês mais chuvoso, tendo a precipitação mais intenso no Sul do Estado de Alagoas a Z-R PR TRMM 450 a mais de 600mm/mês, para a Z-R as áreas com precipitação acima de 600mm/mês consideravelmente maior.

Figura 18 – Estimativa da precipitação mensal a partir das Z-R PR TRMM A) e TEN B) para os Estados de Alagoas e Sergipe, para os meses de Abril e Maio de 2009.



Fonte: Autor, 2015.

5.1.2 Ciclo diário da precipitação

Vicente (1989) aborda a dependência de tipo de alvo a ser observado no momento de escolha do tipo de satélite e técnica que são utilizados para estimar a precipitação sobre o mesmo. Diferentemente de outros satélites polares como os da série National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e os da Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) que são heliossíncronos, o satélite TRMM está em uma órbita equatorial, não heliossíncrona, com inclinação de 35° isto permite aproximadamente duas passagens sobre uma área sobre região tropical em diferentes horários tornando TRMM uma ferramenta em potencial para o estudo da variação do ciclo diário da precipitação.

Para analisar o ciclo diário da precipitação a partir das passagens do TRMM sobre a área de estudo foram avaliados os meses de Maio e Junho que apresentaram características distintas na secção 5.1.1. Foram abordadas para o ciclo diário as Z-R PR-TRMM e TEN, uma vez que os valores estimados pela Z-R MP são muito próximos aos valores obtidos pela Z-R PR TRMM. A Figura 19 mostra o ciclo diário da precipitação a cada seis horas para o mês de Maio, de modo que os dois primeiros intervalos correspondem aos períodos de manhã e tarde (durante o dia), e os dois restantes as seis primeiras e as seis últimas horas do período noturno. O primeiro intervalo (A) 9-15Z (Z = horário zulu, que equivale ao horário UTC – Tempo Universal Coordenado), corresponde a 6-12 horas no horário local (manhã), o horário local é três horas a menos do horário UTC, o segundo (B) 15-21Z a 12-18 horas (tarde), o terceiro (C) 21-03Z a 18-0 horas local e o quarto (D) 21-03Z a 0-06 horas local.

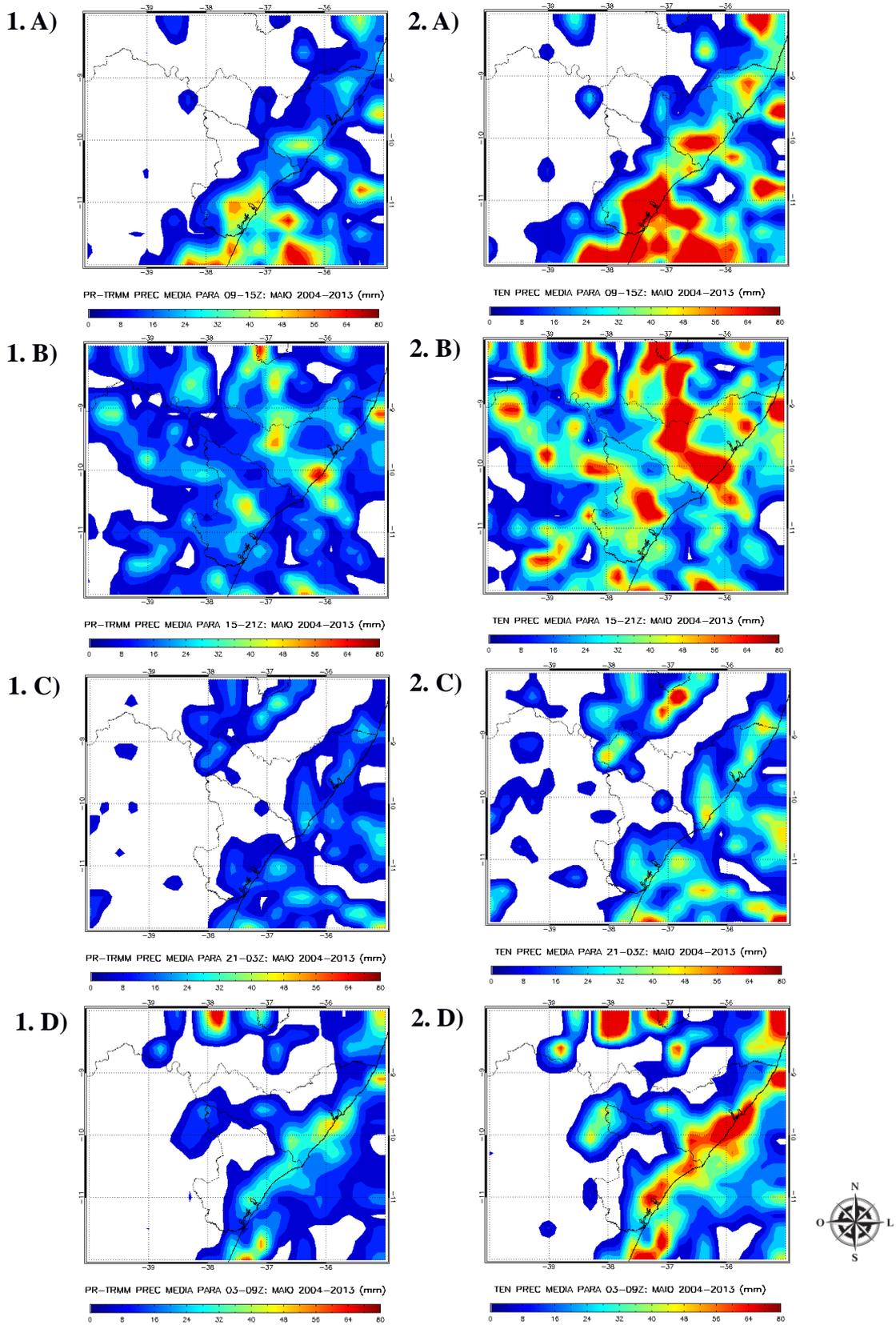
No período diurno as chuvas mais intensas para AL entre 12-18h no horário local enquanto para SE entre 06-12h, entretanto, em SE as chuvas são mais bem distribuídas durante o período da tarde. Durante o período da manhã as precipitações ficaram mais localizadas sobre o litoral de ambos os Estados de AL e SE, sendo o Estado de SE o mais chuvoso nesse horário, que segundo Molion e Bernardo (2000) o feito da brisa marítima é observado. Durante o período da tarde as chuvas acontecem em praticamente toda a área de estudo. O que tudo indica que o fator determinante para a precipitação durante a tarde seja a convecção causada pela forçante radioativa, uma vez que o máximo de temperatura acontece durante as primeiras horas da tarde, o que impulsiona a convecção. Barbosa (2005) relata a contribuição do aquecimento radioativo no processo de formação de células convectivas. Em seu estudo de sistemas convectivos intensos no semiárido brasileiro usando dados de radar encontrou que no período da tarde foi evidente o aumento no número de ecos, bem como o alto grau de desenvolvimento e intensificação dos sistemas. Para estes sistemas, em grande parte, a estrutura termodinâmica foi a presença de instabilidade convectiva, alto teor de

umidade atmosférica e valores relativamente alto da CAPE (energia convectiva potencial disponível), mais o fluxo de umidade também pode interagir com estes sistemas, a estes fatores parecem influenciar na distribuição, estrutura e morfologia dos sistemas precipitantes sobre a região.

No período noturno o intervalo entre 00-06h no horário local é o mais chuvoso, durante as seis primeiras horas as precipitações se concentram no litoral e sobre a região oceânica. Observa-se que as precipitações sobre o litoral entram menos ao continente quando comparada as seis primeiras horas do dia. Reboita et al. (2010) e Molion e Bernardo (2000) relatam que o litoral do NEB possui atuação das brisas marítimas transportando umidade para o interior do litoral. Os Alísios intensificam a circulação da brisa que junta com a convecção induzida pelo sistema geram linhas de instabilidade tropical que adentram no continente. Entretanto a brisa noturna conhecida como “terral” não se manifesta no litoral Alagoano e Sergipano, porque os Alísios são em direção contrária a circulação da brisa noturna. A circulação do terral se manifesta do continente para oceano na direção oeste enquanto os Alísios são de sudeste inibindo a brisa. Diferentemente do período diurno as direções da brisa e Alísios são na mesma direção. Logo o efeito de brisa terrestre não é efetivamente observado sobre a costa da região, porque de acordo com Kousky (1980) os Alísios de sudeste entram em confluência com a brisa terrestre o que ocasiona esta configuração de precipitação similar, porem com intensidade menor, ao efeito da brisa marítima.

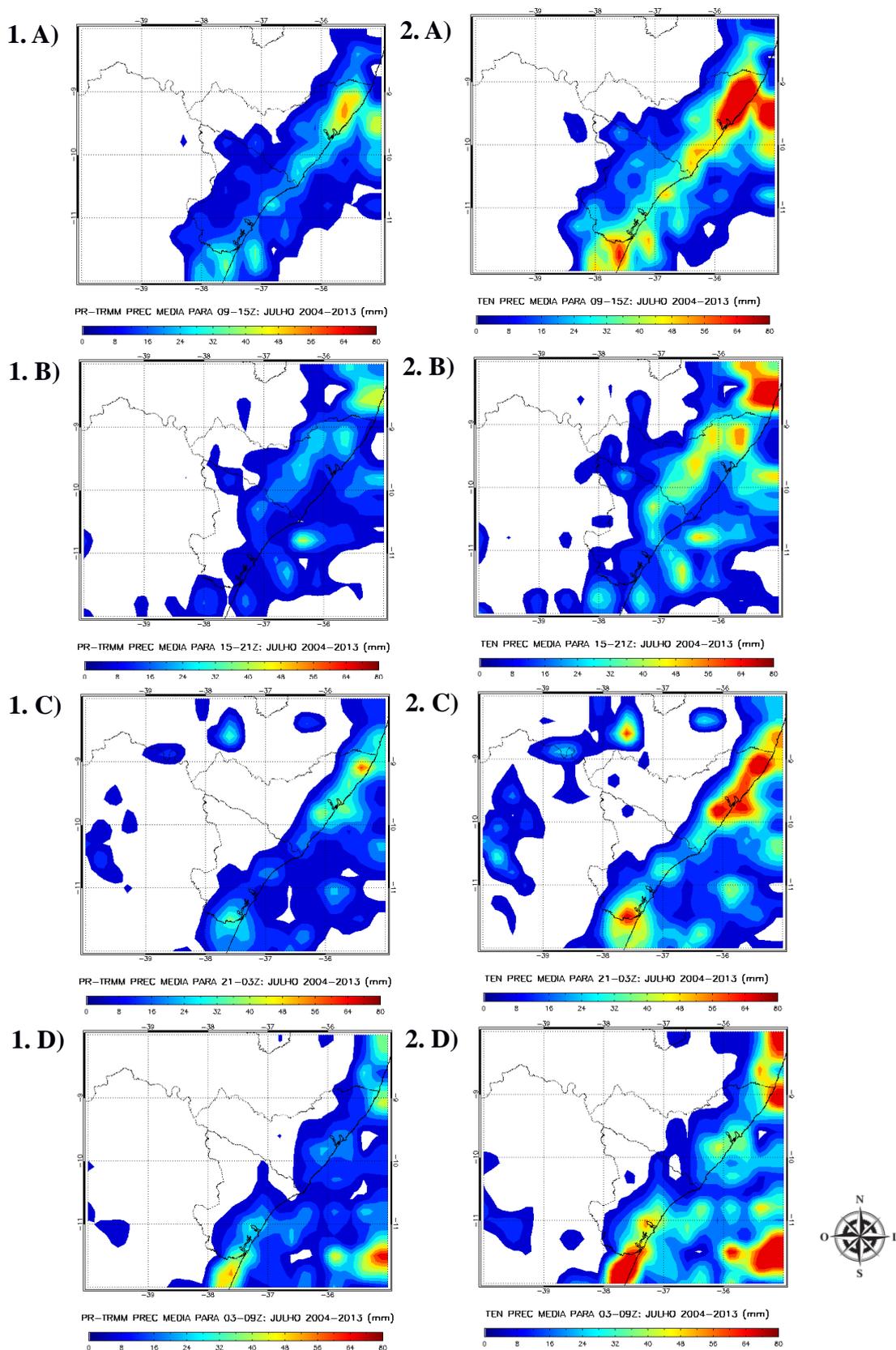
Para Julho (Figura 20), mês que apresentou na seção 5.1.1 a precipitação praticamente apenas sobre o litoral, percebe-se claramente dois padrões na distribuição da precipitação em seu ciclo diário: um no período diurno onde as precipitações mostram-se mais distribuídas pelos Estados de AL e SE, sendo que no semiárido não apresenta chuvas (conforme visto e discutido na seção 5.1.1) e maiores valores de chuva sobre a costa. E outro durante a noite em que a precipitação se concentra mais perto da costa e sobre o oceano. Durante o dia as chuvas mais intensas ocorrem entre 06-12h para AL e SE e durante a noite para AL ocorrem entre 18-00h e para SE de 00-06h horário local. Estes resultados evidenciam claramente o efeito das brisas marítimas e terrestre sobre a região. Ressaltando que durante a noite a brisa terrestre entra em confluência com os Alísios de sudeste ocasionando chuvas na costa. Sobre o continente os máximos de precipitação ocorrem nas primas horas dos períodos diurnos e noturnos.

Figura 19 – Ciclo diário da média da precipitação mensal (mm) para o mês Maio segundo as Z-R (1) TRMM e (2) TEN nos intervalos: A) 09-15Z, B) 15-21Z, C) 21-03Z e D) 03-09Z durante o período 2004 - 2013.



Fonte: Autor, 2015.

Figura 20 – Ciclo diário da média da precipitação mensal (mm) para o mês Julho segundo as Z-R (1) TRMM e (2) TEN nos intervalos: a) 09-15Z, b) 15-21Z, c) 21-03Z e d) 03-09Z durante os anos de 2004 a 2013.



5.1.3 Classificação dos tipos de precipitações na costa leste do NEB

Iguchi (2007) frisa que os algoritmos para a recuperação de chuva devem atender as diferentes variedades de sistemas precipitantes ao redor do mundo. A costa leste do NEB é região que possui características climáticas muito peculiares, por um lado a maior de seu território é semiárida e no seu litoral sobre o efeito conjunto de brisas, confluências dos Alísios e influência dos movimentos subsidêntes da circulação geral da atmosfera na região que formam condições favoráveis a convecção rasas e estas são um grande desafio para as estimativas usando SR (NOBRE e MOLION, 1989; VICENTE, 1998; COLLINSHOW, 2006, REBOITA, 2010; MACHADO et al., 2014). Azevedo (2013) indica a importância nos estudos voltados para as nuvens precipitantes na região do NEB e quanto isto influia na escolha da técnica a ser usada para estimativa de precipitação. Por isso é de fundamental importância ter o conhecimento da contribuição dos tipos de nuvens precipitantes para a região. Nesse intuito foi feita a realização de uma distribuição espacial da fração da contribuição das nuvens para a região de estudo. Infelizmente apenas no mês de abril foi possível fazer essa distribuição espacial. Nos demais meses as interpolações geraram figuras “ilégíveis” dos tipos de nuvens, provavelmente por falta de um número suficiente de dados, as interpolações tendiam a gerar contornos ilógicos. Na Figura 21 observa-se em porcentagem a contribuição das precipitações de nuvem convectiva de topo frio (CNV) A), precipitação estratiforme (STR) B) e precipitação de nuvem convectiva de topo quente (WRC) C) para o total de precipitação observado na região de estudo no mês de Abril. Segundo as estimativas a maior contribuição na precipitação mensal para o mês foi de precipitações WRC que sobre o Estado de Alagoas, a porcentagem varia 50 a 80%. O mesmo comportamento pode ser observado em SE; de 40 a 60% do total da precipitação no estado de SE e oriundas de precipitações do tipo WRC. As precipitações STR contribuem cerca de 10 a 20% da chuva no litoral para ambos; sem nenhuma contribuição para a região mais ao Sul de MCZ, e cerca 30 a 40% nas chuvas localizadas sobre a região do semiárido. As precipitações CNV contribuem em de cerca de 30 a 40% para a região mais ao Sul de MCZ e 10 a 30% para o restante do litoral, de 30 a até 50% das chuvas na região próxima a leste de PDA.

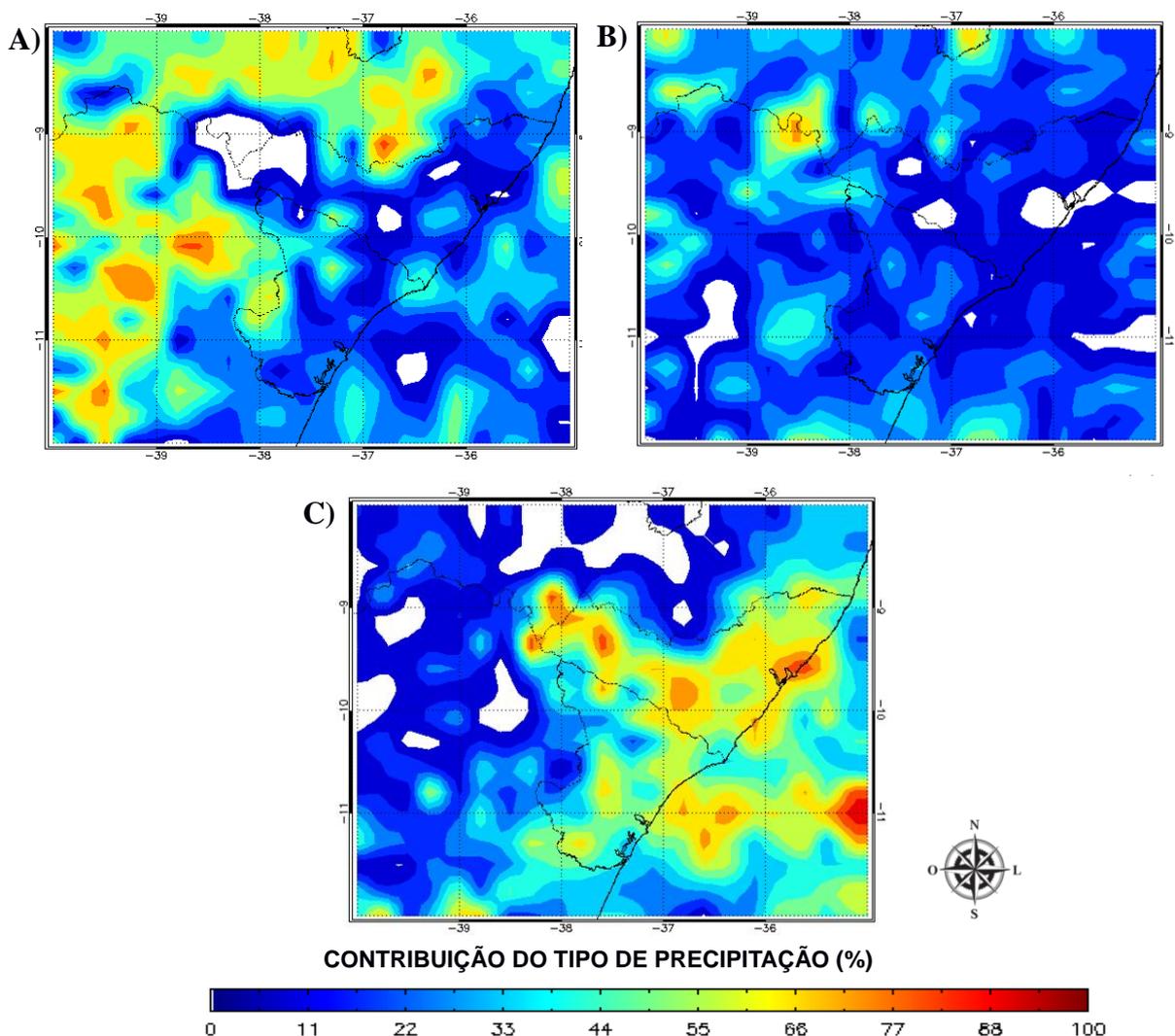
Analisando a contribuição de cada tipo de precipitação, e inferido conseqüentemente os tipos de nuvens precipitantes em toda a área de estudo, percebe-se que as nuvens WRC são as maiores causadoras de precipitação sobre os estados de AL e SE e sobre o oceano. Machado et al. (2014) relata que a campanha do Projeto Chuva sobre a região do NEB tinha como um dos objetivos caracterizar as nuvens precipitantes de topo quente. Autores como Colton (1982) e Costa (2000) abordam sobre a microfísica destas nuvens, sendo o primeiro autor a definir

que nuvens quentes podem ser entendidas como nuvens da qual a fase de gelo não participa de forma substancial de sua precipitação, o segundo aborda que a distribuição do tamanho de gotas vindas do oceano tende a diminuir quando estas gotas entram para regiões com grande quantidade de aerossóis. Calheiros (2013) medindo os conteúdos integrados de água líquida e vapor d'água, por um radiômetro em microondas na superfície, relata que são maiores para regiões costeiras e principalmente para o NEB. Conforme Molion e Bernardo (2000) a configuração de grande escala da circulação atmosférica ocasiona uma forte subsidência para a região. Isto ocorre segundo Nobre e Molion (1988) devido sua adjacência com a região amazônica, que devido à forte atividade convectiva gera uma área de ascendência formando um dos ramos ascendentes da célula de Walker. Provavelmente os movimentos de subsidência sobre a região atuam na inibição das nuvens para a média e alta troposfera “aprisionando” as nuvens em baixos níveis, ou seja, as nuvens acabam não alcançando fortes desenvolvimentos verticais e conseqüentemente a temperatura do seu topo não atingem baixas temperaturas. A quantidade de úmida próxima a costa é grande e mecanismos como ondas de leste, resquícios de frente fria, linhas de instabilidade, entre outros, tendem a “alimentar” as nuvens e conseqüentemente ocasionar precipitação, e o quanto esses mecanismos persistem também está direcionado diretamente com a duração das precipitações para os Estados de AL e SE. Em contrapartida ainda em análise a Figura 21 as nuvens CNV contribuem para a as precipitações que ocorrem nos Estados de PE e BA, deve adicionar que nestas nuvens também possuem áreas de precipitação STR. Segundo Nobre e Molion (1988), Molion e Bernardo (2000) e Reboita et al (2010) sobre os estado de Pernambuco em Abril o estado sofre influência da aproximação da ZCIT sobre o Norte do NEB. A entrada da ZCIT quebra os movimentos subsidentes na região favorecendo movimentos ascendentes o que impulsiona a convecção local, ou seja, as nuvens convectivas atingem níveis mais altos, tornando sua temperatura do topo mais frias, que nos Estados de AL e SE. As precipitações SRT, tanto as que fazem parte de nuvens CNV quanto as geradas apenas por nuvens SRT, também possuem uma parcela de contribuição relevante na precipitação sobre o continente, e foram mais ativas para na faixa de 39 a 38°O na divisa entre PE e BA. As nuvens estratiformes como descritas por Houze (2003), Varejão (2006), Fedorova (2006) e Fedorova (2008) possuem taxas de precipitação de leve intensidade, entretanto, sua duração pode se estender por horas, e para os Estados de AL e SE seu monitoramento é de grande importância devido a desastres como deslizamento, e além disto pode ocasionar também inundações. Entretanto sua contribuição foi menos efetiva sobre os oceanos.

A Figura 22 mostra analogamente a Figura 21, a porcentagem de observações de precipitações CNV (A), STR (B) e WRC (C) para os meses de Abril no período de 2004 a

2013. Esta figura revela indiretamente a quantidade de um determinado tipo de precipitação, consequentemente nuvens (mas levando em consideração a precipitação STR nas nuvens CNV), para a região durante este mês, e deve ser analisada juntamente com a Figura 21. As duas figuras fornecem informações sobre a intensidade da precipitação para cada tipo (e de cada nuvem), uma vez que, a Figura 21 mostra a contribuição de chuva por tipo e a Figura 21 indiretamente indica a quantidade de ocorrência para os três tipos de precipitação analisados no estudo.

Figura 21 – Contribuição dos tipos de precipitação CNV A), STR B) e WRC C) para as chuvas no mês de Abril no período de 2004 a 2013.

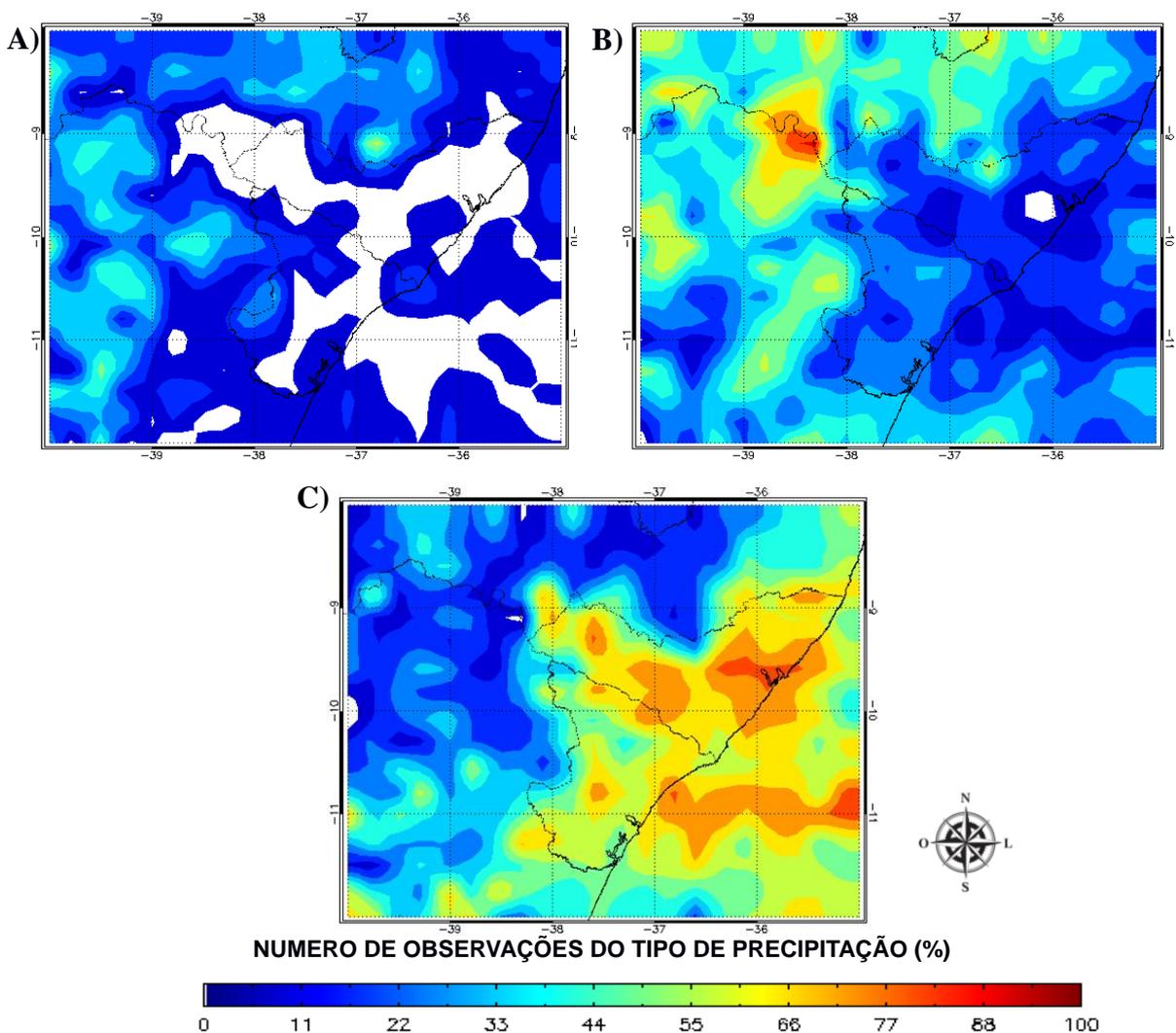


Fonte: Autor, 2015.

Em comparativo com Figura 21, os setores Norte, Oeste e Sudoeste, nota-se que as observações são maiores para as precipitações SRT (~30 a 50%) que para as CNV (~20 a 30%), entretanto na Figura 21 nestes mesmo setores as precipitações que tem maior

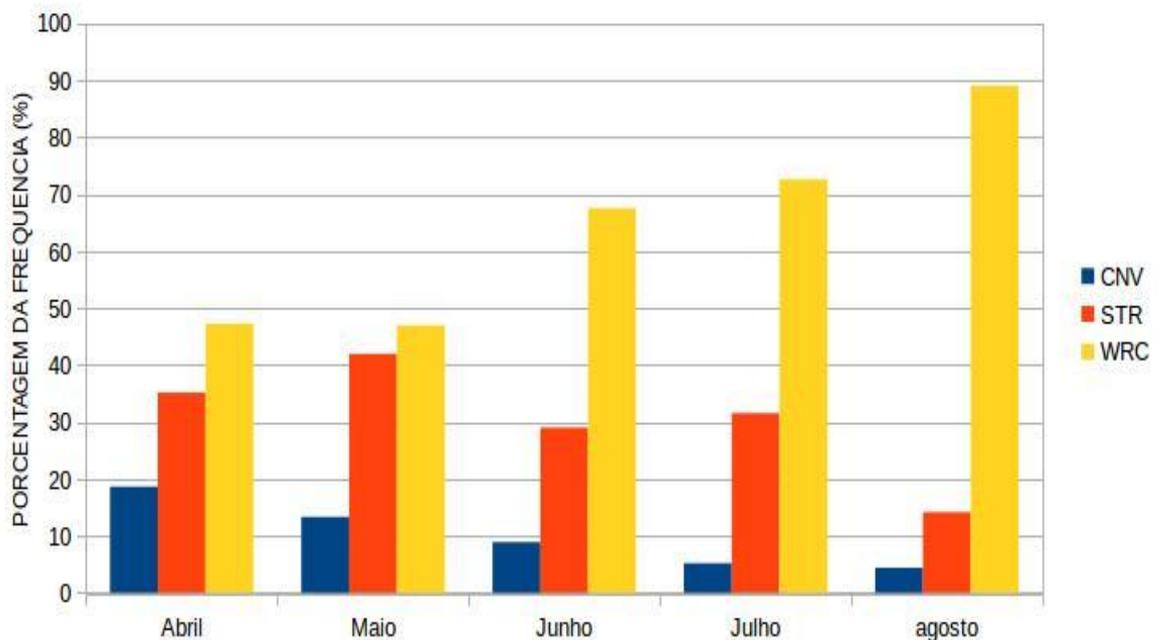
contribuição pelas chuvas na região são originadas de nuvens CNV. A razão por trás disto é que as precipitações CNV são muito intensas, com taxas de precipitação acima de 10mm/h, diferentemente das STR que normalmente produz taxas abaixo de 10mm/h (HOUBE, 1993; CECIL, 2013). De acordo com as Figuras 21 e 22 nuvens WRC são as que mais contribuem para a precipitação nos Estados de AL e SE, além de que por boa parte do litoral da costa do NEB variando entre 60 a 90%. Este resultado está de acordo com o que Machado, et al. (2014) relata sobre a predominância de nuvens WRC sobre o NEB. As regiões onde o número de observados das WRC são maiores, também são regiões onde as contribuições maiores da precipitação pertencem a nuvens quentes, ou seja, possivelmente a intensidade das chuvas de nuvens WRC pode variar entre precipitações de baixas intensidades a fortes intensidades.

Figura 22 – Porcentagem do número de observações de precipitação CNV A), STR B) e WRC C) para o mês de Abril no período de 2004 a 2013.



Fazendo a análise de todos os pixels contidos na área de estudo conforme o tipo de precipitação para cada mês da estação chuvosa. Pode-se notar pela Figura 23 a porcentagem da frequência das precipitações CNV, STR e WRC para todos os meses da estação chuvosa durante os anos de 2004 a 2013. Segundo as estimativas as nuvens WRC foram as maiores responsáveis pela precipitação durante toda a estação chuvosa para os Estados de AL e SE, e possui a menor incidência em Abril (cerca de 48%) e cresce ao longo de meses da estação chuvosa até seu último mês, Agosto, onde chega a ser praticamente 90% da precipitação sobre a área de estudo. As precipitações STR correspondem aproximadamente de 35 a mais de 40% em Abril e Maio, praticamente 30% em Junho e Julho e menos de 15% em Agosto. As precipitações CNV tem o comportamento de decréscimo ao longo da estação chuvosa, com contribuição sempre abaixo de 20% da chuva sobre a região de estudo, após Maio não chega a ser responsável por 10% da precipitação total.

Figura 23 – Porcentagem da frequência de precipitações CNV, STR e WRC para área de estudo durante 2004 a 2013.



Fonte: Autor, 2015.

Braga (2013) utilizando os sensores de alta frequência (89 e 150 GHz) *Advanced Microwave Sensor Unit – B* (AMSU-B) e *Moisture Humidity Sounder* (MHS) (NOAA 16-19) calculou o conteúdo total de gelo das nuvens em regiões com regimes de precipitação diferentes; a região de São José dos Campos (23.2°S, 45.95°W) no Sudeste do Brasil e a região de Fortaleza (5.06°S, 39.26°W) no Nordeste Brasileiro, constatou durante o período de estudo, que na região Sudeste 84% das nuvens precipitantes tem gelo em sua estrutura,

enquanto que na região nordeste metade das nuvens precipitantes possuíam gelo, mostrando a grande contribuição das nuvens que topo quente para o NEB. Como Fortaleza faz parte do Norte do NEB está contida na região onde a ZCIT exerce influência que segundo MOLION e BERNARDO (2000) quebra a inversão psicrotérmica sobre a região e favorece a convecções profundas. Para a costa leste a ZCIT não exerce influência, a não ser em anos muito atípicos (NOBRE e MOLION, 1988), e em geral as convecções são rasas responsáveis por sua precipitação (MACHADO et al., 2014) e esta pesquisa também encontrou a mesma situação para Abril.

Azevedo (2013) estudando as precipitações que ocorreram no dia 17/06/2013 na costa leste no NEB, observou que a precipitação tinha sido causada por nuvens de topo quente e que em alguns momentos durante o dia o topo da nuvem precipitante ficava poucos graus abaixo de 0°C. Nos campos sinóticos foi observado que existia convecção em baixos níveis da atmosfera, e que em médios níveis existia uma circulação anticiclônica que “aprisionava” a convecção em baixos níveis devidos aos seus movimentos decentes associados, que também foram vistos no mesmo nível no campo de movimentos verticais. A convecção sobre o continente era alimentada pela convergência vinda de leste e sudeste e ocasionava precipitação sobre a costa dos Estados de AL e SE.

Calheiros (2013) e Braga (2013) abordam que os métodos utilizando PMW não são indicados para nuvens quentes, devido ao seu baixo espalhamento, o que resulta que os sinais no espectro do MW por WRC sobre os continentes sejam pequenos, e ainda ser mascarado pelas variações da emissividade da superfície. Deste modo os resultados indicam que técnicas baseadas no espalhamento do gelo em alta frequência do MW não são viáveis na estimativa da precipitação sobre a estação chuvosa para os Estados de AL e SE, pois grande das nuvens precipitantes na região são nuvens de topo quente, ou seja, não possuem gelo em sua camada.

5.2 Comparação com os dados de superfície

Morales et al. (2014) relataram que muitas estimativas da precipitação através de dados do PR TRMM estão sendo avaliadas através de radar meteorológico, estações meteorológicas e até mesmo DSD medidas por perfil de vento. Alguns dos métodos estáticos mais úteis utilizados para avaliação das estimativas da precipitação por sensoriamento remoto são as regressões lineares e a distribuição de frequência acumulada ou função distribuição acumulada (CDF - Cumulative Distribution Function (PORTNOI, 2005)). Neste propósito a presente pesquisa pretende, como análise preliminar, notificar o quanto a média mensal das taxas de precipitação estimadas instantaneamente pelas Z-R PR-TRMM, MP e TEM, no momento da

passagem do TRMM, se aproxima da precipitação mensal registrada pelos pluviômetros de forma pontual no intervalo da hora de passagem do satélite.

Nesse intuito foram realizadas regressões lineares entre as duas variáveis, precipitação estimada e observada, e analisado o coeficiente de correlação (r) apresentado por cada para estimativa para cada estação meteorológica automática nos Estados de AL e SE. Foi adotado nesta pesquisa que coeficientes de correlação “ r ” maiores que 0.7, expressam que a taxa mensal da precipitação de uma estação (medida de forma pontual) possuiu uma correlação satisfatória com a taxa mensal da precipitação medida de forma instantânea pelas Z-R utilizadas neste trabalho. Segue análises de três estações: uma no município do litoral alagoano, Coruripe (COR), uma na zona de transição Palmeira dos Índios (PDI) e outra no semiárido Pão de Açúcar (PDA).

A Tabela 4 mostra os coeficientes (r) entre a taxa de precipitação observadas pelas estações meteorológicas, condicional a passagem do satélite TRMM, e a taxa de precipitação estimada a partir das Z-R PR-TRMM, MP e TEN.

Os coeficientes para cada estação para as diferentes Z-R são em geral próximos. As maiores diferenças entres os (r) são observadas na estação de CAR, nesta estação o melhor desempenho foi obtido pela Z-R PR TRMM com 0.789, seguida pela Z-R MP (0.704) e posteriormente a Z-R TEN (0.608). É possível observar que nas estações de PVE e CAR do Estado de SE, nas estações do litoral alagoano BRG, MCZ, COR e SLQ, e as estações do oeste e norte, PDA e PDI respectivamente, a Z-R TEN foi a que obteve os melhores valores de (r), totalizando oito estações das onze utilizadas nesta pesquisa. Para as estações de ARA e ITA o melhor desempenho foi obtido pela Z-R PR TRMM. Nas estações de ARA, ARJ, BRG, CAR e ITA a Z-R PR-TRMM obteve melhores resultados que a Z-R MP, estas estações se concentram mais ao sul do Estado de AL e no Estado de SE. Entretanto para as demais estações COR, MCZ, PDA, PDI, PVE e SLQ, que excerto a estação de PVE, todas estão localizadas no Estado de AL a Z-R MP apresentou melhor desempenho que a Z-R PR-TRMM.

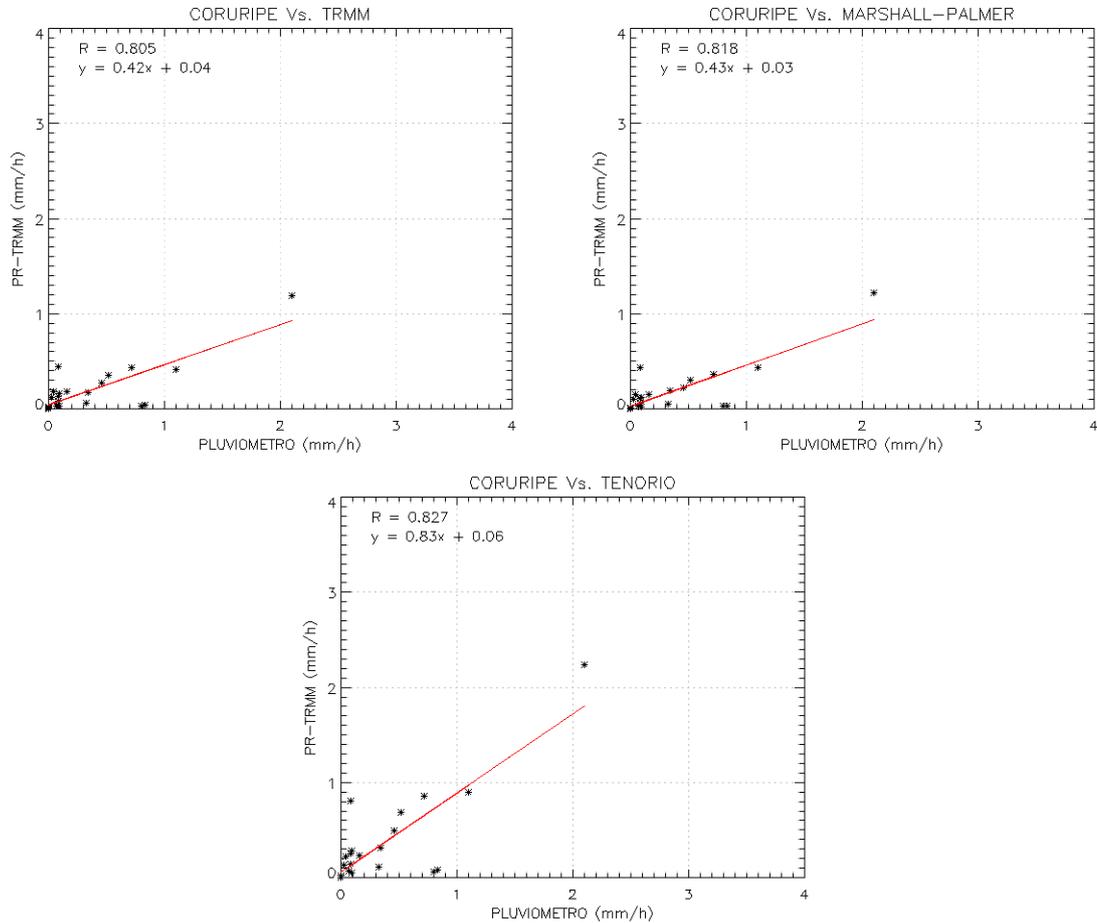
Tabela 4 – Coeficientes de correlação entre a taxa de precipitação observadas pelas estações meteorológicas condicional a passagem do satélite TRMM, e a taxa de precipitação estimada a partir das Z-R: PR-TRMM, MP e TEN.

ESTAÇÃO	PR-TRMM	MARSHALL- PALMER	TENÓRIO
ARA-A353	R = 0.585	R = 0.580	R = 0.572
ARJ-A409	R = 0.370	R = 0.359	R = 0.370
BGR-A421	R = 0.505	R = 0.478	R = 0.539
CAR-A420	R = 0.789	R = 0.705	R = 0.608
COR-A355	R = 0.805	R = 0.818	R = 0.827
ITA-A417	R = 0.515	R = 0.498	R = 0.468
MCZ-A303	R = 0.733	R = 0.752	R = 0.755
PDA-A323	R = 0.815	R = 0.826	R = 0.833
PDI-A327	R = 0.707	R = 0.710	R = 0.703
PVE-A419	R = 0.772	R = 0.783	R = 0.785
SLQ-A356	R = 0.788	R = 0.798	R = 0.809

Fonte: Autor, 2015.

Na Figura 24 encontra-se as regressões referentes a estação de COR município do litoral alagoana, em (A) com a Z-R PR-TRMM, (B) com a Z-R MP e por fim com a Z-R TEN (C). As taxas entre as Z-R PR-TRMM e MP se mostram muito semelhantes e subestimam a taxa de precipitação do pluviômetro, embora o coeficiente de correlação entre as duas variáveis com o pluviômetro são bons, 0.805 e 0.818 respectivamente. Entretanto a Z-R TEN estima taxas de precipitação mais próximas as medidas pela estação. E em contraste das demais Z-R, a Z-R TEN tende a superestimar a taxa de precipitação, embora que não superestima tão quanto (em intensidade) a Z-R PR-TRMM e MP subestima a taxa de precipitação da estação. O coeficiente para a Z-R TEN foi de 0.827, ou seja, relativamente maior correlação que as demais Z-R.

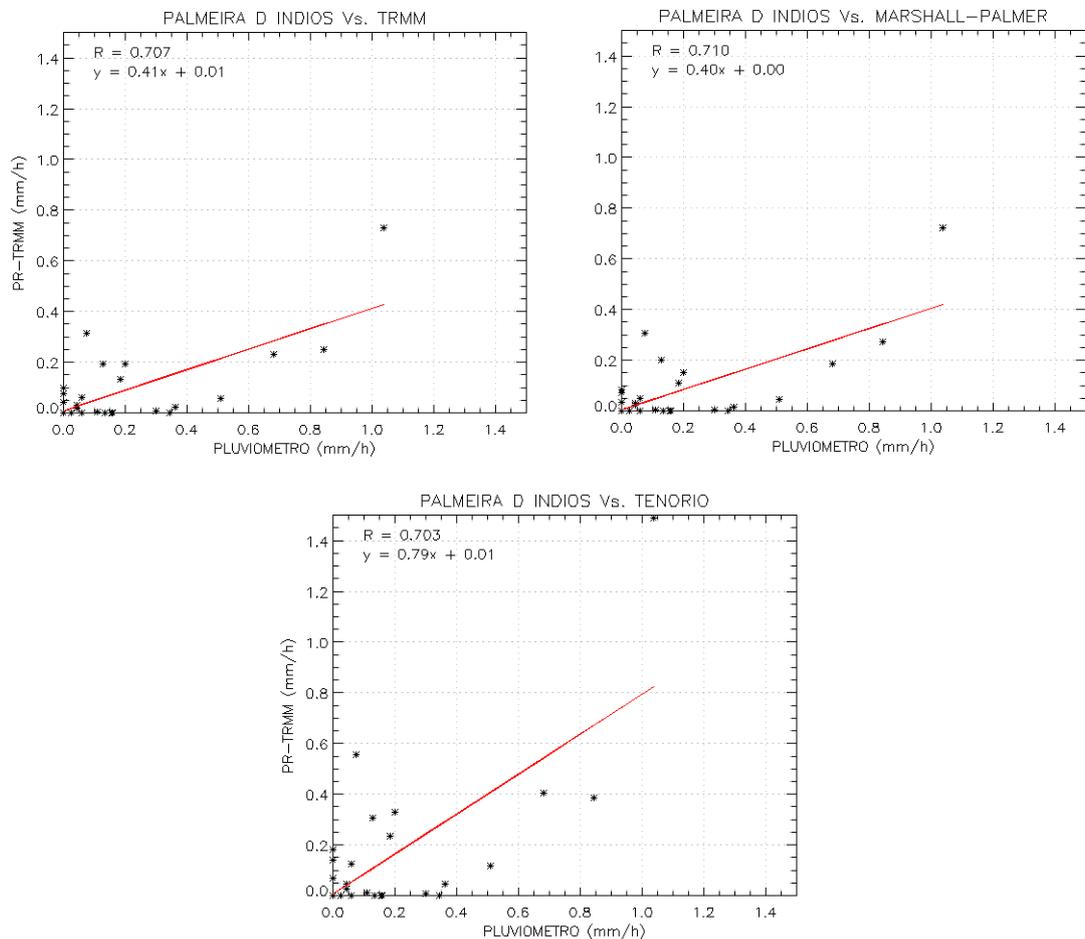
Figura 24 – Regressão linear da taxa de precipitação medida pela estação COR (AL), condicional a passagem do satélite TRMM, e a taxa de precipitação estimada a partir das Z-R: PR-TRMM A), MP B) e TEN C).



Fonte: Autor, 2015.

As regressões lineares para o município de PDI se encontra na Figura 25. As taxas de precipitação são menores das taxas de COR, ficando por volta de 1mm/h. A Z-R PR-TRMM (A) obteve o coeficiente de 0.707 e a Z-R MP (B) 0.710. Embora novamente as Z-R PR-TRMM e MP tendem a subestimar a precipitação. Para a Z-R TEN (A) o coeficiente foi de 0.703 e também subestimou as maiores taxas de precipitação na estação de PDA, mas também apresenta superestimava para as taxas menores. Observa-se que os coeficientes de correlação mais uma vez são muito próximos entre as Z-R. As taxas sobre PDI são menores que COR, como já era de esperar, devido a localização das duas estações, um a na costa região mais chuvosa da costa leste do NEB e a outra na zona de transição para o semiárido onde as chuvas foram menos intensas.

Figura 25 – Regressão linear da taxa de precipitação medida pela estação PDI (AL), condicional a passagem do satélite TRMM, e a taxa de precipitação estimada a partir das Z-R: PR-TRMM A), MP B) e TEN C).

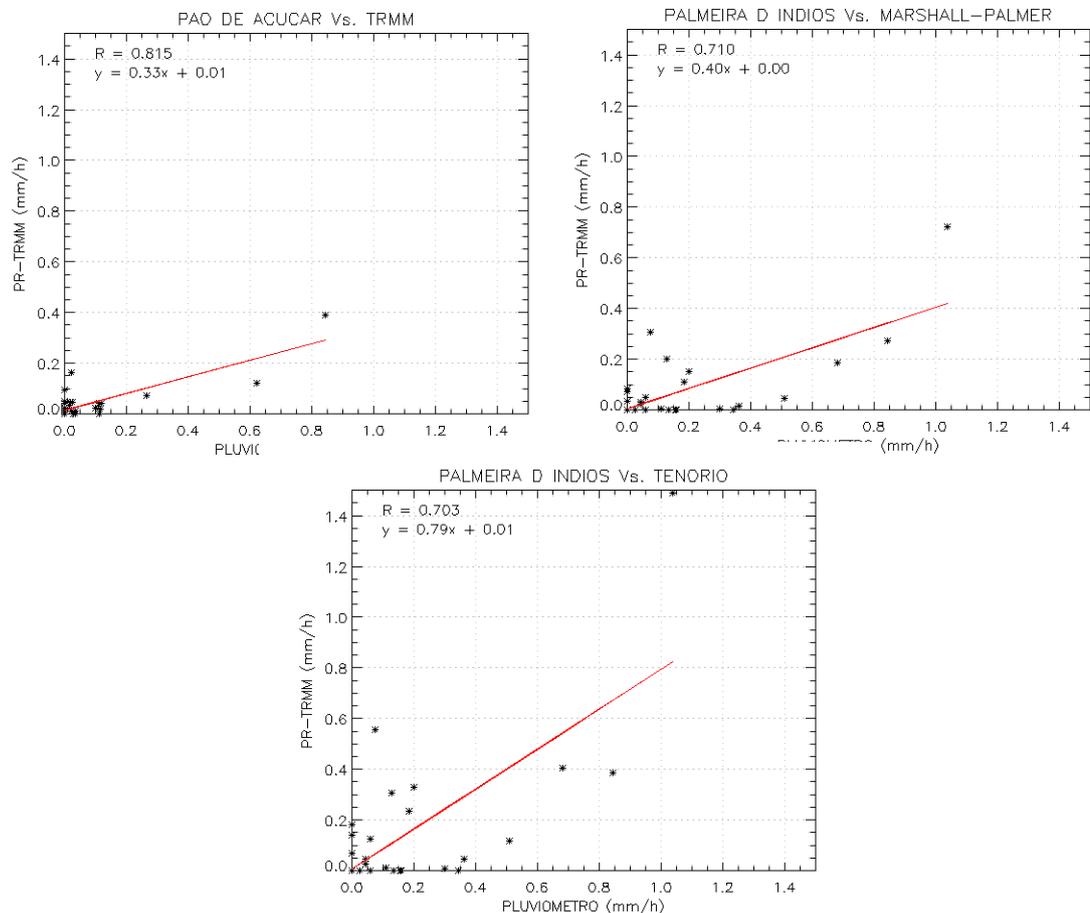


Fonte: Autor, 2015

As taxas de precipitação na estação próxima ao semiárido PDA (Figura 26) são menores no comparativo entre as estações COR e PDI municípios do litoral e zona de transição respectivamente. Nota-se muitos valores na dispersão são próximos ou são zero. A razão disto é que nessa as precipitações não foram observadas em todos os meses da quadra chuvosa apresentando-se a área mais seca da região, e isto é observado pela dispersão. Para a Z-R PR-TRMM (A) o coeficiente de correlação foi de 0.815, para a Z-R MP (B) o (r) foi de 0.826 e para Z-R TEN (C) 0.833.

Diferente da estação de COR em PDA os coeficientes mostraram melhor diferenciação do desempenho das Z-R, sendo da Z-R TEN o melhor desempenho na estimativa da taxa de precipitação mensal e a Z-R a que apresenta menor correlação.

Figura 26 – Regressão linear da taxa de precipitação medida pela estação PDA (AL), condicional a passagem do satélite TRMM, e a taxa de precipitação estimada a partir das Z-R: PR-TRMM A), MP B) e TEN C).



Fonte: Autor, 2015.

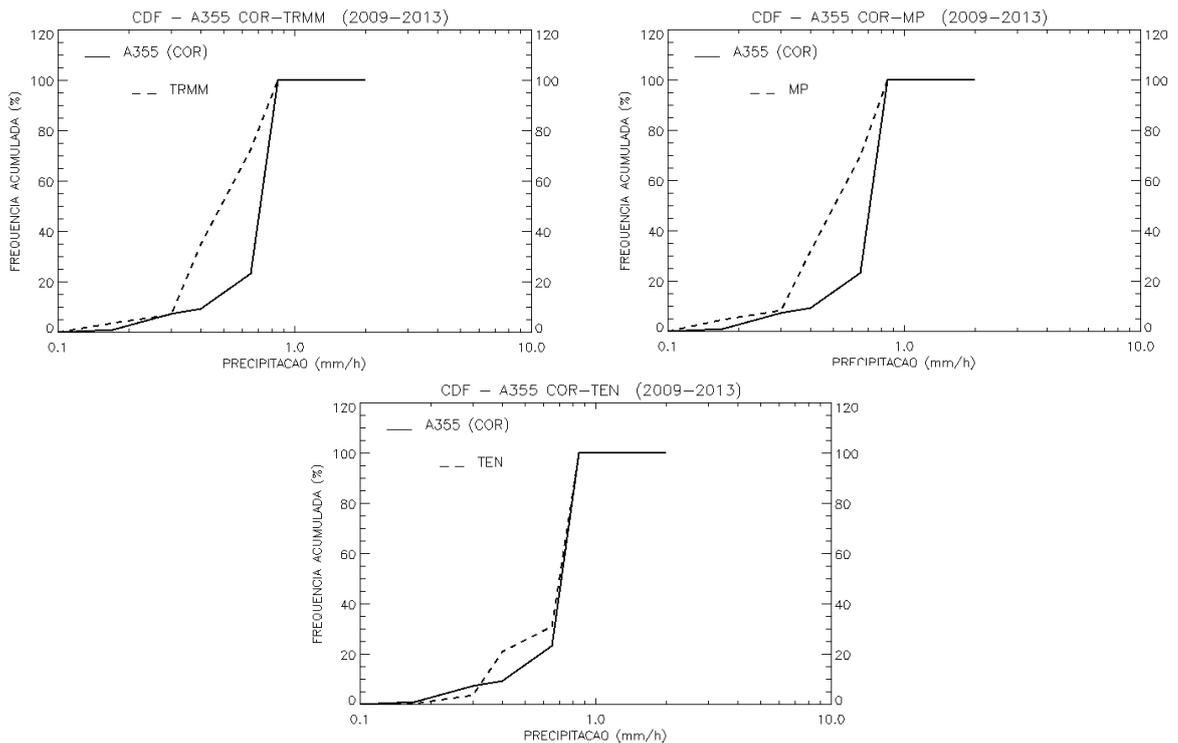
Para aprimorar a análise do desempenho de cada Z-R e principalmente para notificar em quais as intensidades de taxa de precipitação as Z-R tendem a subestimar ou superestimar, foi realizada a distribuição da frequência acumulada (CDF) entre a taxa de precipitação mensal estimada e a observada condicionada a passagem do satélite para as três estações COR, PDI e PDA.

Na Figura 27 está a CDF para a estação de COR, neste índice estatístico quanto mais a linha tracejada (precipitação estimada) se aproxima da linha contínua (precipitação observada) maior é a precisão na estimativa. O intervalo de dados para a estação de PDA é do ano de 2009 a 2013.

A CDF para Z-R PR-TRMM (A) e MP (B) mostra que existe leve subestimativa para as taxas entre 0.1 a 0.3mm/h e superestimativa para as taxas acima de 0.3mm/h, sendo que no primeiro intervalo as Z-R se aproximam mais das taxas observadas pelos pluviômetros, o comportamento das duas Z-R são muito similares. A Z-R TEN (C) pela CDF é a Z-R que

estima taxas de precipitação mais próximas a observadas das estações de COR. Tende a subestimar as taxas entre 0.2 a 0.3mm/h e superestimar entre o intervalo de 0.4mm/h.

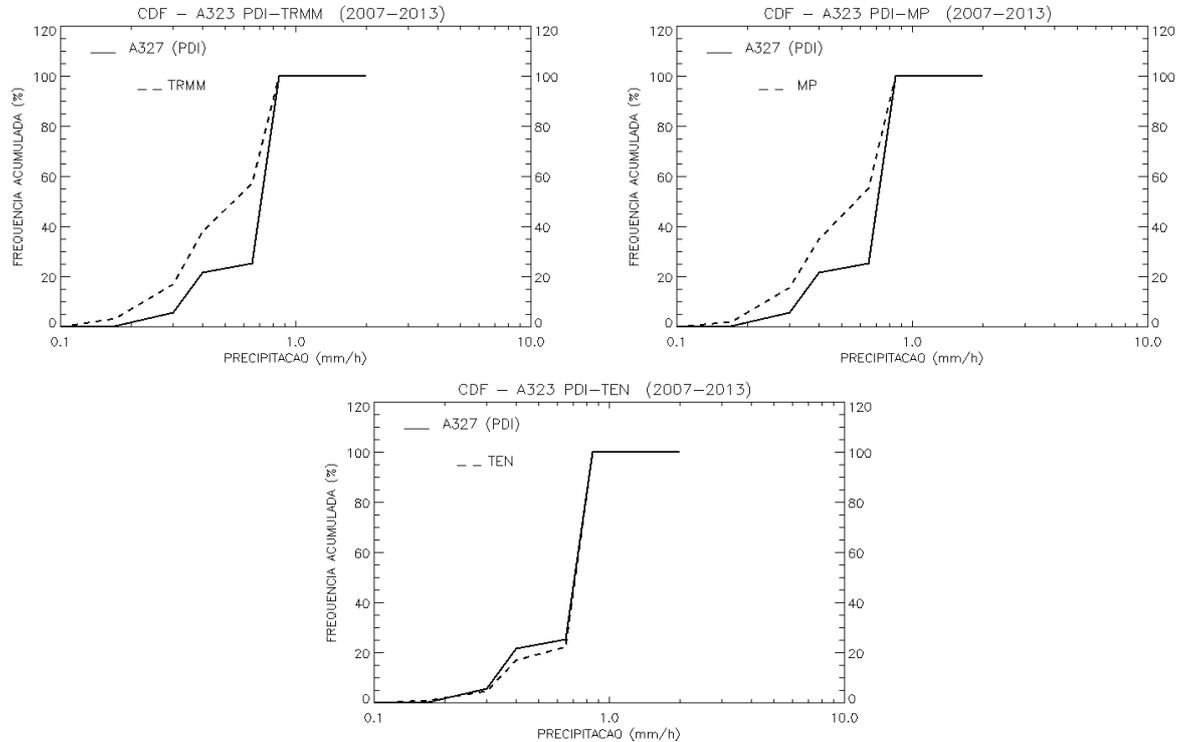
Figura 27 – Distribuição da frequência acumulada (CDF) da taxa de precipitação medida pela estação COR (AL), condicional a passagem do satélite TRMM, e a taxa de precipitação estimada a partir das Z-R: PR-TRMM A), MP B) e TEN C).



Fonte: Autor, 2015.

A CDF para o município de PDI (Figura 28) também mostra que as estimativas pela Z-R TEN (C) se aproxima melhor dos valores observados da taxa de precipitação pela estação, do que as Z-R PR-TRMM (A) e MP (B). O período de dados disponíveis para a estação de PDI é de 2007 a 2013. As Z-R PR-TMM e MP superestimam consideravelmente a taxa de precipitação para a estação PDI, sendo o intervalo de 0.4 a 0.7mm/h onde acontecem as maiores superestimativas. Por outro lado analisando a CDF Z-R TEN percebe-se que a linha tracejada descreve praticamente o mesmo percurso da linha contínua, evidenciando, a forte correlação entre as duas variáveis (estimada e observada) no município de PDI. Embora se perceba uma leve subestimativa pela Z-R TEM no intervalo 0.3 a 0.7mm/h. Em comparativo com a imagem anterior a Z-R TEN obteve melhor desempenho no município de PDI.

Figura 28 – Distribuição da frequência acumulada da taxa de precipitação medida pela estação PDI (AL), condicional a passagem do TRMM, e a estimada a partir das Z-R: PR-TRMM A), MP B) e TEN C).

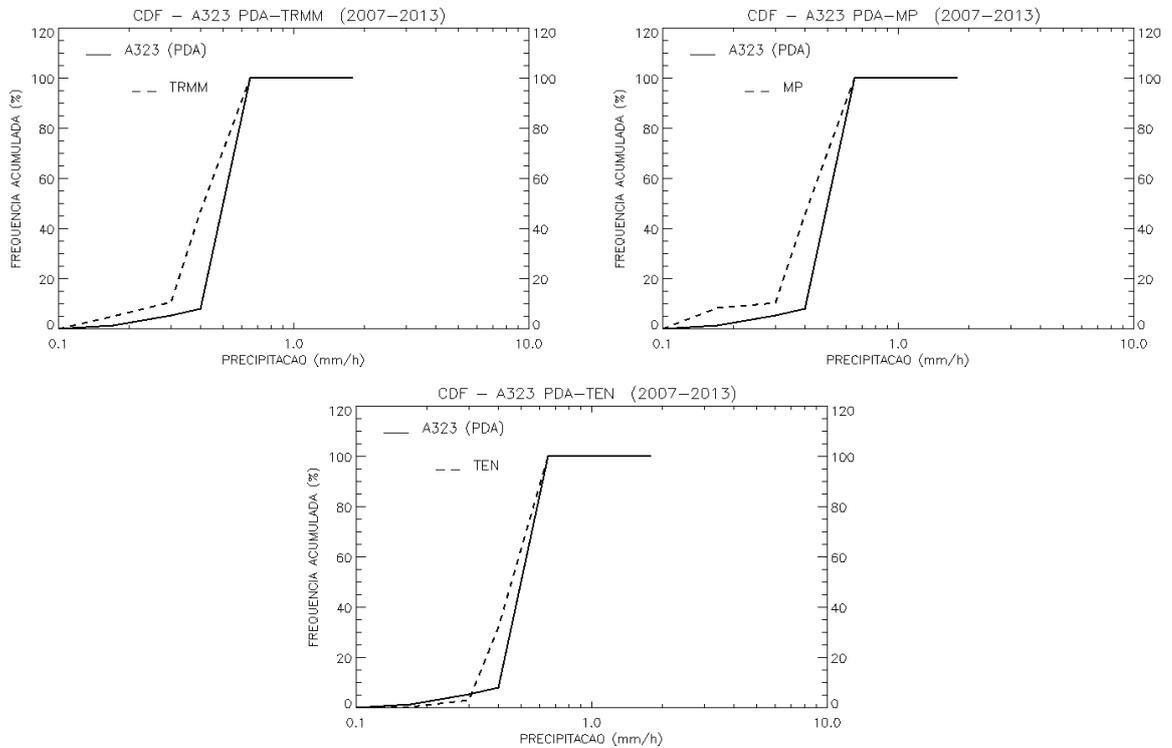


Fonte: Autor, 2015.

A CDF entre a taxas de precipitação estimadas segundo as Z-R PR-TRMM (A), MP (B) e TEN (C) com as taxas observado pela estação meteorológica do município de PDA é mostrada na Figura 29. O período de dados para estação de PDA é igualmente de 2007 a 2013. O melhor desempenho mais uma vez é da Z-R TEN, embora que as Z-R PR-TRMM e MP também obtiveram boa aproximação sobre as taxas observadas pelas estações meteorológicas as superestimativas começam a partir de 0.3mm/h.

Tanto as estações do litoral, da zona de transição e do semiárido a taxa de precipitação estimada pela Z-R TEN é a que mais se aproxima da taxa observada pelas as estações. A diferença entre as Z-R PR-TRMM e MP de acordo com os resultados são muitos pequenas enquanto que a Z-R TEM segue estimando valores mais próximos aos observados pelas estações. Em geral pode-se notar que as Z-R tendem a subestimar as precipitações leves e superestimar as chuvas intensas. Entre os autores que trabalham com a validação das estimativas do PR-TRMM como Morales et al. (2013), mostraram em seus resultados a tendência de subestimativa em precipitações com fraca intensidade e superestimativa em chuvas com fortes intensidade.

Figura 29 – Distribuição da frequência acumulada da taxa de precipitação medida pelas estação PDA (AL), condicional a passagem do TRMM, e a estimada a partir das Z-R: PR-TRMM A), MP B) e TEN C).



Fonte: Autor, 2015.

Curatelli (2014) avaliou a precipitação mensal do produto TRMM 3B43 versão 7 para o interior de uma área no Centro Sul do Brasil. Além de ter investigado o efeito da calibração feita no TRMM em agosto de 2001 sobre as estimativas do 3B34. O 3B43 TRMM foi comparado com dados de precipitação medidos por pluviômetros distribuídos aleatoriamente na área. Os resultados mostraram uma boa concordância com as estimativas mensais do TRMM 3B43 e dados de referência ($r=0,97$). Os dados do 3B43 tenderam a superestimar a média da precipitação mensal em 1,24%. A raiz quadrada média do erro RMSE para o período foi 19.66mm/mês (15,75%). Os dados mostram que depois da calibração a RMSE aumento de 15.20 para 23.06mm/mês. Entretanto isto não prejudicou a estimativa da precipitação ao longo da bacia do Alto Paraná, os erros foram observados nos valores superiores a 250 mm/mês.

Nesta pesquisa, no estado Alagoano cinco estações das sete automáticas disponíveis pelo INMET, mostraram bons resultados quando feita as regressões lineares e analisados os respectivos coeficientes de correlação. Para o estado de SE das quatro estações disponíveis no estado, duas mostram coeficientes acima de 0.7. De modo que mais da metade das estações utilizadas para a pesquisa tiveram boa concordância com as estimavas das taxas de

precipitação mensal. Observa-se que os coeficientes de correlação não variam consideravelmente para cada Z-R. Apesar de uma variação muito pequena de (r), no estado de AL a Z-R TEN teve o melhor desempenho nas estações dos municípios de MCZ, SLQ e COR que são próximos a costa litorânea. Enquanto a Z-R MP obteve os melhores nas estações dos municípios de PDI e PDA que ficam na zona de transição entre o litoral e o semiárido Alagoano. Mas quando analisada a CDF a Z-R TEN foi Z-R que tem melhor desempenho nas estimativas em geral. Em SE a Z-R PR-TRMM obteve melhor resultado sobre o município de CAR e a Z-R TEN sobre PVE.

Os resultados das regressões provavelmente são em consequência da finalidade e especialidade de cada Z-R. A Z-R TEN foi feita através de um disdrômetro instalado em MCZ onde a predominância das precipitações são realizadas, como visto anteriormente na secção 5.1, por convecção (Molion e Bernardo, 2000; Tenório et al. 2003) e ao que a pesquisa indica, a região de transição climática do Estado possui mais influência de nuvens estratiformes nos seus totais pluviométricos, de modo que provavelmente, a Z-R MP sendo específica para as nuvens estratiformes obteve melhores resultados sobre PDA e PDI. Analogamente como a Z-R TEN foi encontrada a partir de um disdrômetro sobre a costa conseguiu capturar melhor o comportamento da precipitação nas estações ao longo da costa. Entretanto isto é não observado na estação BRG que também localiza-se na costa Alagoana não apresentou um bom resultado nas correlações. Mas também percebeu-se na secção 5.1 que a precipitação no Sul da costa de AL tinha um comportamento levemente diferenciado da faixa 8°S a 10°S. Se analisar no Estado de SE as estações PVE e CAR não estão em região muito diferentes e mesmo assim apresenta resultados distintos, tendo Z-R PR-TRMM e TEN os melhores resultados.

A Figura 30 mostra a distribuição espacial das estações que tiveram os melhores resultados na validação do presente trabalho. As estações do litoral Alagoano, da região de transição e semiárido (PDI e PDA) e as estações de PVE e CAR marcam três zonas climáticas diferentes em que as estimativa mostrou boa aproximação entre a taxa de precipitação observada. Ressalta-se que as estações meteorológicas que não obtiveram coeficientes acima de 0.7 também possuem, devido ao nível da dificuldade da estimativa, resultados relativamente bons.

Figura 30 – Distribuição das estações que apresentaram melhores valores de (r).



Fonte: GoogleEarth (2015), adaptada pelo Autor, 2015.

6 CONCLUSÕES

Baseado nas metodologias utilizadas e nos objetivos propostos pode-se concluir que foi possível realizar a análise da estimativa da precipitação durante a estação chuvosa nos Estados de Alagoas e Sergipe utilizando os dados do sensor Precipitation Radar (PR) a bordo do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM).

Uma breve análise climatológica da precipitação durante a estação chuvosa nos Estados de Alagoas e Sergipe utilizando os dados do sensor PR-TRMM foi feita para o período 2004-2013. E as estimativas mostraram aproximações satisfatórias quanto a variabilidade sazonal de chuva descrita na literatura.

Fora computada a média mensal da precipitação e sua variabilidade interanual para o período de 2004 a 2013 nos Estados de AL e SE utilizando os dados do sensor PR-TRMM.

Analizando o desempenho de diferentes relações de refletividade e a taxa de precipitação (relação Z-R) propostas na literatura utilizando dados do radar PR-TRMM. Em sete estações meteorológicas, das onze disponíveis para os Estados de Alagoas e Sergipe, foram encontrados bons resultados nos critérios adotados pela pesquisa.

A Z-R TEN que foi desenvolvida utilizando dados de chuvas atuantes na região durante a estação chuvosa no trabalho de Tenório et al (2003), mostrou o melhor desenho tanto nas zonas do litoral, transição e semiárido, o que pode-se afirmar que Z-R desenvolvidas a partir das análises da distribuição de gotas de chuva de uma dada região apresenta uma possível melhoria nas estimativas do PR-TRMM.

Foi possível recuperar o ciclo diário da precipitação para os Estados de AL e SE durante a estação chuvosa no período de 2004-2013. A distribuição espacial e temporal do ciclo diário da precipitação varia durante os meses da estação chuvosa; as precipitações durante a manhã nos últimos meses da estação se concentra mais ao litoral diferentemente dos primeiros meses do ano. Durante o mês de Maio os períodos mais chuvosos são durante o intervalo das 12 as 18h em AL e entre 06 as 12h para SE no horário local. Durante o mês de Julho as chuvas mais intensas ocorrem entre 06 as 12h no período diurno e das 18 a 00h em AL e 00 as 06h em SE no período noturno. Os fechos de brisas foram observados no ciclo diário da precipitação, sendo que a brisa noturna conflui com a convergência de umidade transportada pelos ventos Alísios.

As chuvas durante a estação chuvosa nos Estados de AL e SE são oriundas em sua maior parte de nuvens convectivas de topo quente. Precipitações convectivas de topo frio contribuíram pouco para a precipitação da estação chuvosa (nunca chegando a ser 20%), as precipitações estratiformes mostram ter contribuição maior (30% a 40%). Nuvens convectivas

de topo quente contribuíram para maior parte das chuvas na região (aproximadamente 45% a 60%) e tem sua contribuição mais intensificada nos últimos meses da quadra chuvosa (80% aproximadamente). Tornando o PR-TRMM o sensor ideal para verificar a presença de chuvas oriundas de nuvens quentes sobre os Estados de AL e SE diferentemente dos demais radiômetros antes do seu lançamento. Uma vez que as técnicas baseados por retroespalhamento são indicadas para nuvens que possuem conteúdo de gelo em sua camada, para que sua emissão seja maior substancialmente que a da superfície. E conseqüentemente o satélite seu sucessor Dual-Frequency Precipitation Radar (DPR) é uma ferramenta potencial e melhorada para os estudos remotos da precipitação para os Estados de AL e SE, assim como para toda a costa leste do Nordeste Brasileiro.

Ao caracterizar a distribuição espacial e contribuição dos tipos de precipitações na região durante o mês de abril, foi evidenciado que as nuvens de topo quente podem provar chuvas de médias a grandes intensidades, e que as nuvens de convecção profunda mesmo com poucas ocorrências nos Estados de Pernambuco e Bahia contribuem forte para a precipitação nestas regiões.

O sensor PR mesmo com baixa resolução temporal, conseguiu estimar as taxas de precipitação obtidas das estações meteorológicas por três metodologias diferentes com desempenho satisfatório. Entretanto o número de dados interfere na interpolação da distribuição espacial dos tipos de nuvens. É necessário um maior banco de dados para poder representar a distribuição espacial dos tipos de nuvens precipitantes para todos os meses da estação chuvosa.

A pesquisa seguirá agora analisando os totais acumulados mensais estimados pelas Z-R propostas na pesquisa comparando com a precipitação mensal acumuladas obtidas para estações meteorológicas.

A pesquisa mostrou que é possível verificar através do sensor PR abordo do satélite TRMM os sistemas atmosféricos que contribuem para a precipitação nos Estados de AL e SE, bem como fazer análises climatológicas da precipitação para a região. O estudo remoto da precipitação através de microondas ativas para a costa leste do Nordeste Brasileiro é possível e precisa ser explorado. As melhorias nos sensores e na resolução temporal advindos do programa de Medição da Precipitação Global (GPM) proporcionarão dados mais confiáveis sobre as características quantitativas e físicas dos tipos de nuvens precipitantes para a região.

As sugestões para trabalhos futuros são a aquisição de outras variáveis, como conteúdo de água líquida, vapor d'água na coluna atmosférica e o espectro de distribuição do tamanho de gotas e suas concentrações na superfície durante a passagem do satélite, e ter dados sobre a quantidade de aerossóis sobre a região. Estes dados serviram para analisar melhor os fatores

regionais para as precipitações que ocorrem na estação chuvosa nos Estados de Alagoas e Sergipe, assim como uma melhor amostra temporal de dados.

REFERÊNCIAS

- ANGELIS, C. F. Estimativa de precipitação por satélites: In: CURSO: sensoriamento remoto e modelagem dos processos de formação da precipitação, Fortaleza, 2011. Disponível em: <<http://chuvaproject.cptec.inpe.br/portal/fortaleza/br/curso.html>>. Acesso em: 22 nov. 2012.
- AWAKA, J. et al. Rain type classification algorithm for TRMM precipitation radar. In: Geoscience and Remote Sensing Symp. '97, 1997, Singapore. **Proceedings...** New Jersey: Proc. IEEE, 1997. v.4, p.1633–1635.
- AVILA, A. M. H. **Estimativa de precipitação em tropicais utilizando imagens do satélite GOES 12**. 2006. 122 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2006.
- AZEVEDO, C. D. S. **Análise preliminar da estimativa da precipitação para os Estados de Alagoas, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe, através do sensor SEVIRI/MSG-2**. 2013. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso –TCC (Graduação em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, 2013.
- BARBOSA, T. F.; CORREIA, M. F. Sistemas convectivos intensos no semi-árido brasileiro: O controle da grande escala. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Brasília, DF, v.20, n.3, p.395-410, 2005.
- BARRET, E. C.; POWER, C.H.; MICALLEF, A. **Satellite remote sensing for hydrology and water management**. University of Bristol, Bristol, Reino Unido, 1990.
- BRAGA, R. C. **Estudo do conteúdo de gelo das nuvens em função do ciclo de vida utilizando sensores em microondas passivos**. 2013. 87 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2013.
- CALHEIROS, A. J. P. **Propriedades radiativas e microfísicas das nuvens continentais: uma contribuição para a estimativa da precipitação de nuvens quentes por satélite**. 2013. 180 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 20013.
- CAVALCANTE, I. F. A., KOUSKY, V.E. Influência da Circulação da Escala Sinótica na Circulação de Brisa Marítima na Costa NNE da América do Sul. INPE-2573-PRE/221, São José dos Campos, 1982.
- CECIL, D. J. Severe Thunderstorms and their Radiometric Signatures. In: CURSO: sensoriamento remoto e modelagem dos processos de formação da precipitação, Santa Maria, 2012. Disponível em: <<http://chuvaproject.cptec.inpe.br/portal/santamaria/curso.html>>. Acesso em: 01 jan. 2013.
- COLLISCHONN, B. **Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído**. 2006. 175 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS. Análise sobre a seca do Nordeste.

Disponível em:

<http://www.nordeste.cnm.org.br/img/download/estudoCNM/Estudo_Seca_Nordeste_Final.pdf>
f> Acesso em: 02 maio 2015.

COSTA, A. A. Microphysical observations of warm cumulus clouds in Ceará, Brazil. **Atmospheric Research**, v.54, p.167-199. doi:10.1016/S0169-8095(00)00045-4.

COTTON, W. R. Modification of precipitation from warm clouds – A review. **Bulletin American Meteorological Society**. v.63.

CHABOUREAU, J. P. Cloud Microphysics. In: CURSO: sensoriamento remoto e modelagem dos processos de formação da precipitação, Santa Maria, 2012. Disponível em: <<http://chuvaproject.cptec.inpe.br/portal/santamaria/curso.html>>. Acesso em: 01 jan. 2013.

FEDOROVA, N. **Problemas de Previsão do Tempo no Estado de Alagoas**. Maceió: EDUFAL, 2006. (Coleção Meteorologia & Sociedade, 1). Bibliografia: p.39-72.

FEDOROVA, N. **Sinótica 1: fenômenos atmosféricos, dados sinóticos e massas de ar**: Material didático: sinopses, figuras, equações. Maceió: EDUFAL, 2008.

FERRARO, R. R. Past, present and future of microwave operational rainfall algorithms. In: Levizzani, V. et al. **Measuring precipitation from space eurainsat and future**, v.28: Advances in global change research. Advisory Board. 2007. p.189-198.

FERREIRA, T. R. et al. Análise preliminar da seca de 2012 no agreste e sertão alagoano, utilizando índices de vegetação através do sensor modis. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XVII, 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. p.5998-6005.

GES DIC. **Mirador Data Access Made Simple**. Disponível em:

<<http://mirador.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/mirador/presentNavigation.pl?tree=project&dataset=2A25%20%28Version%20007%29:%20Radar%20Rainfall%20Rate%20and%20Profile%20%28PR%29&project=TRMM&dataGroup=Orbital&version=007>>. Acesso em: 12 ago. 2014.

HOUZE, R. A. J. **Cloud Dynamics**. San Diego, California, Academic Press, Inc., 1993, p.556.

IGUCHI, T. et al. Rain-Profiling Algorithm for the TRMM Precipitation Radar. **Journal of Applied Meteorology**. v. 39. p.2038-2052, dez. 2000.

IMAI, T, et al. Estudo da micro física de nuvens quentes – crescimento e precipitação. In: O Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 13, 2007, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2007.

INMET (2013). **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/>> . Acesso em: 20 abr. 2013.

_____, (2015). Normais Climatológicas do Brasil/1961-1990. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <

<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>> . Acesso em: 01

fev. 2015.

KOUSKY, V. E. Frontal Influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, v.107, p.1140-1153, 1979a.

KOUSKY, V. E. Diurnal rainfall variation in northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, v. 108, p.488-498, 1979b.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical south atlantic. **Tellus**, São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, v. 36, n. 6, p. 538-551, 1981.

LEIVAS, J. F. et al. Monitoramento da Seca ocorrida em 2012 no Nordeste Brasileiro a partir dos dados do SPOT-Vegetation e TRMM. In: Geonordeste, VI, 2012, Aracaju. **Anais...** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2012.

LEVIZZANI et al. (eds.), **Measuring Precipitation from Space: EURAINSAT and the Future**, 2007, United States Governmet, p.189–198.

LIU, Z. et al. Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Precipitation Data and Services for Reserch and Applications. **American Meteorological Society**. Fairfax, Virginia, Gerson Mason University, p.1317-1325, sept. 2012. DOI: 10.1175/BAMS-D-11-00152.1

MACHADO, L. Meteorological Satellites and Nowcasting. In: CURSO: sensoriamento remoto e modelagem dos processos de formação da precipitação, Santa Maria, 2012. Disponível em: <<http://chuvaproject.cptec.inpe.br/portal/santamaria/curso.html>>. Acesso em: 01 jan. 2013.

MACHADO, L. et al. (2014) "The Chuva Project: How Does Convection Vary across Brazil?." *Bulletin of the American Meteorological Society* 95, no. 9, 1365-1380.

MARENGO, J. A. et al. Variabilidade e mudanças climáticas no semi-árido brasileiro. In: **Recursos Hídricos, Região Àridas e Semi-áridas**, INSA-MCT, 2011, p.383-416.

MARSHALL, J. S.; PALMER, W. M. The distributions of raindrops with size. **Jornal of Meteorology**, Montreal, McGill Unsiversity, v.5, p.165-166, 1948.

MOL, J. M. D. **Estimativa de Precipitação por meio de Sensoriamento Remoto**. 2005. 88 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Dinâmicas das Chuvas no Nordeste Brasileiro. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, XI, 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Brasília, DF: SBMET, 2000.

MORALES, C. A. **Estimativa da precipitação por satélite**. In: CURSO: sensoriamento remote e modelagem dos processos de formação da precipitação, 2011. Disponível em: <<http://chuvaproject.cptec.inpe.br>>, Acesso em: 8 nov. 2012.

MORALES, C. A. et al. Evaluation of TRMM PR rainfall estimates over Brazil: A contribution of CHUVA project. In: RELATÓRIOS: Anexo 16. (2013). Disponível em: <http://mogyb.cptec.inpe.br/portal/pdf/relatorios/anexo16_2013.pdf>. Acesso em: 4 fev. 2015.

National Research Council, 2006: Assessment of the benefits of extending the Tropical Rainfall Measuring Mission: A perspective from the research and operations communities. Interim Report, 104 pp.

NOBRE, C. A.; MOLION, L. C. B. The Climatology of Droughts and Drought Prediction. In: PARRY, M. L.; CARTER, T. R.; KONIJN, N. T. **Impacts of Climatic Variations on Agriculture**, v.2: Assessments in semi-arid regions. Laxenburg, Austria: 1988, v.2, p.305-323.

NZEUKOU, A. et al. Raindrop size distribution and radar parameters at Cabo Verde. **Journal of Applied Meteorology**, Toulouse, Université Paul Sabatier, v.45, 90-105, 2004.

PETTY, G. W. **The Status of Satellite -Based Rainfall Estimation over Land**. Remote Sensing of Environment 51, p. 125- 137, 1995.

PORTNOI, M. **Probabilidade, variáveis aleatórias, distribuição de probabilidades e geração aleatória**: Conceitos sob a ótica de Avaliação de desempenho de sistemas. Universidade Salvador. ed.26.6.2010. 2005.

PROJETO CHUVA. Experimento em Alcântara – Anexo 16. (2010). Disponível em: <<http://chuvaproject.cptec.inpe.br>> Acesso em 3 abr. 2013.

REBOITA, M. S. et al. Regimes da precipitação na América do Sul: Uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Brasília, DF, v.25, n.2, p.185-204, 2010.

SANTOS E SILVA, C. M. S.; LÚCIO, P.A.; SPYRIDES, M.H.C. Distribuição espacial da precipitação sobre o Rio Grande do Norte: estimativas via satélites e medidas por pluviômetros. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Brasília, DF, v.27, n.3, p.337-346, 2012.

SANTOS, E. et al. A seca no nordeste no ano de 2012: relato sobre a estiagem na Região e o exemplo de prática de convivência com o semiárido no distrito de Iguaçu/Canindé-CE. **REVISTA GEONORTE**, Ceará, Universidade do Ceará, 2. ed. esp., v.1, n.5, p.819 – 830, 2012.

SCHUMAKER, C.; HOUZE Jr, R. A. The TRMM Precipitation Radar's View of Shallow, Isolated Rain. **American Meteorological Society**. Washington, Seattle, University of Washington, v.42, p.1519-1524, 2003.

SILVA, B. F. P. **Sistemas Sinóticas Associados às Precipitações Intensas no Estado de Alagoas**. 2008. 149 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduado em Meteorologia), - Instituto de Ciências Atmosféricas , Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

STEINER, M. S.; HOUZE, R. A.; YUTE,S. Climatological characterization of three-dimensional storm structure from operational radar and rain gauge data. **Journal of Applied Meteorology**. v.34, p.1978-2007, 1995.

TENÓRIO, R. S. et al. Raindrop Distribution In The Eastern Coast of Northeastern Brazil

Using Disdrometer Data. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Maceió, Universidade Federal de Alagoas, v.25, n.4, p.415-426, 2010.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão digital, 2006. Disponível em:<http://www.agritempo.gov.br/publish/publicacoes/livros/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf>, Acesso em 01 mar. 2013.

VASCONCELLOS, S. M. et. al. Estimativa pontual de precipitação via satélite TRMM no semi-árido Alagoano. In: Simpósio de recursos hídricos do Nordeste, XII, 2004, Natal. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2004.

VICENTE, G. A.; FERREIRA, M. E. Estimativa de precipitação via satélite para estudo de tempo e clima: avanços e perspectivas. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10., 1998, Brasília. **Anais...** Brasília. DF:SBMET, 1998.

VILA, D. A.; FERRARO, R.; JOYCE, R. Evaluation and improvement of AMSU precipitation retrievals. **Journal of Geophysical Research**, v. 112, 2007. D20119, doi:10.1029/2007JD008617.

VILA, D. A. Satellite Rainfall Retrieval Techniques. In: CURSO: sensoriamento remoto e modelagem dos processos de formação da precipitação, Santa Maria, 2012. Disponível em: <<http://chuvaproject.cptec.inpe.br/portal/santamaria/curso.html>>. Acesso em: 01 jan. 2013.

O.W.M. **International cloud Atlas. V. 2.** World Meteorological Organization. ISBN 92.63.12407.8, Geneva, 1987.

APÊNDICE A

Tabelas das estações meteorológicas utilizadas para a pesquisa.

Tabela 5 - Estações meteorológicas utilizadas para a pesquisa.

ESTAÇÕES DO ESTADO DE ALAGOAS	ESTAÇÕES DO ESTADO DE SERGIPE
PÃO DE AÇÚCAR - A323(PDA)	BREJO GRANDE - A421 (BRG)
Latitude: - 9.7658° Longitude: -37.4478° Altitude: 19.00 m	Latitude: -10.4733° Longitude: -36.4819° Altitude: 10.00 m
PALMEIRAS DOS ÍNDIOS - A327 (PDI)	ARACAJU - A409 (ARJ)
Latitude: - 9.4206° Longitude: -36.6203° Altitude: 275.00 m	Latitude: -10.9500° Longitude: -37.0500° Altitude: 4.72 m
SÃO LUIZ DO QUITUNDE - A356 (SLQ)	CARIRA - 420 (CAR)
Latitude: - 9.28750° Longitude: -35.5658° Altitude: 19.00 m	Latitude: -10.3989° Longitude: -37.7467° Altitude: 308.00 m
MACEIÓ - A303 (MCZ)	POÇO VERDE - A419 (PVE)
Latitude: -9.55111° Longitude: -35.7700° Altitude: 64.50 metros	Latitude: -10.7375° Longitude: -38.1078° Altitude: 362.00 m
CORURIBE – A355 (COR)	ITABAIANINHA - A417 (ITA)
Latitude: -10.1286° Longitude: -36.2864° Altitude: 74.00 m	Latitude: -11.2725° Longitude: -37.7947° Altitude: 208.00 m
ARAPIRACA – A353 (ARA)	
Latitude: -9.80417° Longitude: -36.6189° Altitude: 241.00 m	

Fonte: Autor, 2015.