



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Estimativas de Precipitação por Satélite para o Nordeste do Brasil: O Uso do Algoritmo 3B42_V6 em Condições Meteorológicas Extremas

Nilzele de Vilhena Gomes Jesus¹; Magaly de Fátima Correia²; Edmir dos Santos Jesus³

¹Doutoranda em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, Brasil, Meteorologista do Sistema de Proteção da Amazônia, Belém, Pará, Brasil, nilzele@gmail.com. ²Prof. Doutora, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, Brasil, magaly@dca.ufcg.edu.br. ³Doutorando em Ciências Climáticas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil, edmir.jesus@gmail.com.

Artigo recebido em 29/07/2013 e aceito em 05/08/2013

RESUMO

O objetivo deste estudo foi comparar a distribuição de precipitação média no Nordeste do Brasil obtida de estimativas de precipitação por satélite com o algoritmo 3B42_V6 (resultado de uma combinação de estimativas multi-satélites nos canais de micro-ondas e infravermelho) com a distribuição de precipitação média obtida de dados de pluviômetros em superfície, além de verificar a aplicabilidade do algoritmo 3B42_V6 na detecção de períodos anômalos extremos de precipitação na região. Os dados utilizados são do período de 1998 a 2011. Os períodos anômalos de precipitação foram selecionados a partir de um levantamento bibliográfico prévio. Os eventos foram identificados no conjunto de dados estimados por satélite através do Índice de Anomalia de Precipitação (RAI), ajustado para o período de dados disponível do algoritmo estimador. Os resultados mostram que as metodologias são complementares e que representam técnicas eficientes tanto na estimativa da variabilidade espacial da precipitação quanto na identificação de áreas afetadas por eventos extremos.

Palavras-chave: precipitação, eventos extremos de precipitação, RAI, 3B42_V6.

Satellite Rainfall Estimates for the Northeast of Brazil: The Use of 3B42_V6 Algorithm for Meteorological Conditions Extremes

ABSTRACT

The objective in this study was to compare the average rainfall distribution in Northeast Brazil obtained by means of satellite rainfall estimates through the 3B42_V6 algorithm (the result of a combination of multi-satellite estimates in the microwave and infrared channels) with the average rainfall distribution obtained from data collected by surface rain gauges, and to verify the applicability of the 3B42_V6 algorithm in detecting anomalous periods of extreme rainfall. The data used are from 1998 to 2011. The anomalous precipitation periods were selected with a basis on a literature review. The events were identified in the satellite estimated data ensemble by means of the rainfall anomaly index (RAI) adjusted for the period of the available estimator algorithm data. The results show the two methodologies to be complementary and efficient not only in estimating the rainfall spatial distribution but also in identifying the areas affected by extreme events.

Key-Words: rainfall, extreme rainfall events, RAI, 3B42_V6.

Introdução

A precipitação, componente aéreo do ciclo hidrológico, é considerada um dos principais elementos meteorológicos nos

tropicais. Tendo isso em vista, é importante o conhecimento da sua distribuição e variabilidade; sendo de suma importância para aprimorar o conhecimento sobre os mecanismos dinâmicos e termodinâmicos

* E-mail para correspondência: nilzele@gmail.com (Gomes Jesus, N. de V.).

associados com os sistemas atmosféricos locais, de meso e grande escala que atingem uma região.

Dentre os sistemas atmosféricos que modulam a atividade convectiva e ocorrência da precipitação no Nordeste Brasileiro (NEB), destaca-se a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), considerado como principal sistema meteorológico que provoca chuva na região (Rao & Hada, 1990). Outro sistema extremamente importante na produção de chuvas na região são os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) responsáveis pelos maiores acumulados no leste do NEB (Mota, 1997).

Durante os meses de primavera e verão no hemisfério sul, a precipitação do NEB sofre influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (Kodama, 1992; Da Silva & Brito, 2008) em baixos níveis em conjunto com a alta da Bolívia em altos níveis (Kousky & Kagano, 1981). A precipitação no NEB também é afetada pelos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) que inibem a formação de nuvens e chuvas nas áreas sob a influência desses mecanismos, porém, nas regiões periféricas dos vórtices têm-se movimentos convectivos intensos que favorecem a ocorrência de precipitação (Gan, 1982).

O desenvolvimento e intensificação de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMs) estão entre os principais mecanismos associados com precipitação intensa na região. Barbosa e Correia (2005) mostraram

que a ocorrência de SCMs na região semiárida é responsável por casos extremos de chuva e inundações em várias localidades do NEB. Um dos tipos de SCMs bastante frequente no litoral norte do NEB são as Linhas de Instabilidade formadas pela organização da convecção em linhas e cuja intensificação está fortemente associada com o contraste de temperatura entre o continente e o oceano (Hastenrath & Heller, 1977; Cohen et al., 1995).

O crescimento das atividades antropogênicas no semiárido brasileiro está fortemente associado com mudanças no regime de chuvas o que torna essencial o conhecimento de padrões atmosféricos a nível local. Diversos trabalhos sobre climatologia destacam a importância das análises a nível regional e local cujos efeitos na variabilidade climática continuam pouco explorados. Além disso, algumas localidades do NEB sofrem tanto devido às secas severas como também as chuvas intensas associadas com a ocorrência de eventos meteorológicos extremos. A preocupação neste sentido se dá devido aos impactos sociais, ambientais e econômicos consequentes a ocorrência desses episódios, causando muitas vezes danos irreversíveis à economia da região, atingindo fortemente os setores vinculados a agricultura, pecuária e energia.

No entanto, o conhecimento acurado da distribuição espaço-temporal da precipitação em uma região é totalmente dependente de uma densa rede de

pluviômetros. Porém, isto ainda não é completamente observado no NEB, quer seja pela inacessibilidade às vastas áreas da região ou pelo imenso custo da instalação e manutenção de radares meteorológicos para cobrir toda a região.

Alternativamente, a utilização de sensores remotos na estimativa de precipitação tem representado uma ferramenta importante para suprir a escassez dos instrumentos convencionais. Um grande avanço neste sentido foi o surgimento do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM). De posse dos dados obtidos pelo TRMM, diversos estudos têm sido realizados a fim de descrever o perfil da precipitação na América do Sul, incluindo o NEB (Negri & Adler, 2002; Mota, 2003; Nóbrega et al., 2008). Collischonn (2006) fez análises comparativas entre os dados de precipitação estimada por satélite e os dados medidos através de pluviômetros em duas grandes bacias hidrográficas Brasileiras: Bacia do Rio Tapajós e Bacia do Rio São Francisco. Os resultados mostram que as estimativas reproduzem com fidelidade o regime de chuvas nas referidas bacias apresentando um padrão espaço-temporal similar aos obtidos por interpolação de pluviômetros.

Em virtude do exposto este trabalho tem como objetivo comparar distribuição de precipitação no nordeste brasileiro utilizando as estimativas de precipitação por satélite com a distribuição de precipitação medida em superfície e a climatologia, além verificar a

aplicabilidade do algoritmo estimador na identificação de anomalias de precipitação.

Material e Métodos

A região foco das análises apresentadas neste trabalho engloba o Nordeste do Brasil. A área é de aproximadamente 1.558.196 km², equivalente a 18% do território nacional. Está situada entre os paralelos de 01°02'30"S e 18°20'07" S e entre os meridianos de 34°47'30"W e 48°45'24"W, limitando-se a norte e a leste com o oceano Atlântico, ao sul com os estados de Minas Gerais e Espírito Santo e a oeste com os estados do Pará, Tocantins e Goiás.

O relevo da região é caracterizado pela existência de dois extensos planaltos, o da Borborema e a bacia do rio Parnaíba e de algumas áreas altas e planas que formam as chamadas chapadas, como a Diamantina e a Araripe. Entre essas regiões ficam algumas depressões, nas quais está localizado o sertão, região de clima semiárido. O clima possui considerável variabilidade espacial devido a sua localização, que vai desde o úmido no litoral até o semiárido no interior do NEB (Nimer, 1979).

Para alcançar os objetivos foram utilizados os seguintes dados:

- *Normal climatológica de precipitação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)*: A normal climatológica do INMET é baseada em dados medidos em pluviômetros e o período dos dados é de 1961 a 1990.

- *Global Precipitation Climatology Center* (GPCC): Os dados estão organizados em totais mensais de janeiro 1998 até 2011 e possuem uma resolução espacial de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ de latitude – longitude, mais informações sobre o GPCC podem ser vistas em Rudolf (1993).

- *Algoritmo 3B42 Versão 6*: a precipitação estimada através do algoritmo 3B42_V6 é obtida a partir da Técnica de Análise de Precipitação de multi-satélites (Huffman et. al., 1995; Huffman et al., 1997; Huffman et al., 2004). O algoritmo resulta da combinação de estimativas de precipitação do canal de micro-ondas passivo provenientes do TRMM *Microwave Imager* (TMI), *Special Sensor Microwave Imager* (SSM/I), *Advanced Microwave Scanning Radiometer* (AMSR-E), *Advanced Microwave Sounding Radiometer* (AMSU-B) com as estimativas do canal infravermelho proveniente do *Geosynchronous Operational Environmental Satellites* (GOES), o *Geosynchronous Meteorological Satellite* (GMS), e o *Meteorological Satellite*, (METEOSAT). Em suma, o algoritmo 3B42_V6 é produzido através de quatro estágios: (1) a calibração de todas as estimativas de precipitação do canal de micro-ondas passivo que o algoritmo utiliza; (2) a calibração das estimativas de precipitação no canal infravermelho com o produto da estimativa no canal de micro-ondas obtida no estágio anterior; (3) Os dois conjuntos de estimativas calibrados nos estágios 1 e 2 são combinados; e (4) o

redimensionamento na escala temporal das estimativas utilizadas.

O conjunto de dados do algoritmo 3B42_V6 tem uma resolução espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ de latitude e longitude numa resolução temporal de 3 horas (equivalente a taxa de chuva do intervalo de 90 minutos antes e 90 minutos depois da hora cheia). O período utilizado neste estudo é de 1 de janeiro de 1998 a 31 de dezembro de 2011.

A aplicação do 3B42_V6 e GPCC permitiu comparar a distribuição espacial das médias anuais e mensais de precipitação no NEB no período de janeiro de 1998 a dezembro 2011, utilizando a precipitação medida através de pluviômetros (GPCC) e da precipitação estimada pelo satélite TRMM (3B42_V6). A climatologia do INMET foi usada para fazer uma comparação atemporal e verificar se o período escolhido para a análise comparativa está em conformidade com a climatologia da região.

Uma segunda análise para verificar a aplicabilidade dos dados estimados por satélites foi baseada na avaliação de eventos extremos anômalos de precipitação, através do Índice de Anomalia de Precipitação (*Rainfall Anomaly Index - RAI*), desenvolvido por Van Rooy (1965).

É recomendável que o índice RAI seja aplicado em um conjunto de dados de pelo menos 30 anos. Neste estudo foi extremamente importante adaptar as equações do índice para aplicação do método nos dados de precipitação estimados pelo algoritmo

3B42_V6 (disponíveis somente a partir de 1998). Sob o ponto de vista climatológico estas séries são consideradas bastante curtas, mas permitem formular hipóteses sobre tendências de aumento ou redução das chuvas em condições atmosféricas extremas. Essa informação possibilita verificar a aplicabilidade do 3B42_V6 na identificação de eventos anômalos de precipitação no NEB.

Neste contexto, o Índice RAI foi adaptado, tendo como base a média dos quatro maiores (menores) valores para as anomalias positivas (negativas) de precipitação (originalmente as anomalias são baseadas na média dos 10 maiores ou menores valores), para calcular os eventos extremos através da série temporal mensal de precipitação estimada pelo 3B42_V6 (janeiro de 1998 a dezembro de 2011). Nesta análise os dados do 3B42_V6 foram redimensionados para uma resolução espacial de $1,0^\circ \times 1,0^\circ$ de latitude e longitude (totalizando 473 grades em todo o NEB). Os valores do índice RAI serão obtidos para anomalias positivas através da equação (1) e para anomalias negativas através da equação (2).

$$RAI = 3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{M} - \bar{N})} \right], \quad (1)$$

$$RAI = -3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{X} - \bar{N})} \right], \quad (2)$$

Em que N é a precipitação medida (mensal), $\bar{N}$ é a precipitação média da série histórica, $\bar{M}$ é a média das quatro maiores precipitações da série temporal e $\bar{X}$ é a média

das quatro menores precipitações da série temporal.

As análises apresentadas neste trabalho foram concentradas em períodos classificados como anômalos sob o ponto de vista meteorológico e hidrológico e documentados na literatura como episódios extremos de precipitação.

Estudo de caso 1: Janeiro a março de 2004

Eventos extremos de precipitação registrados janeiro de 2004 com valores muito acima da normal climatológica foram analisados por vários autores (Brito et al., 2005; Tenorio et al., 2006; Santana et. al., 2007; Marengo, 2008). Os resultados indicam que as anomalias positivas de precipitação na região foram influenciadas pela interação dos principais sistemas meteorológicos do verão: a ZCIT, episódios de VCANs e influência da oscilação 30-60 dias. Essa interação se associou ao estabelecimento da ZCAS ao norte de sua posição climatológica, potencializando a persistência das chuvas no centro-norte do NEB durante este mês. Alves et al. (2006) também mostraram a distribuição das anomalias positivas de precipitação neste período para o NEB. Os autores utilizaram os dados de precipitação derivados pluviômetros em superfície, interpolados espacialmente para uma resolução de $1^\circ \times 1^\circ$ de latitude e longitude sobre a região do NEB, calculando as anomalias com base nas correspondentes médias climatológicas mensais (média de 1971-2000).

Estudo de caso 2: Biênio 2007-2008

O biênio 2007/2008 foi marcado por anomalias positivas de precipitação no leste do NEB devido à atuação do La Niña, normalmente favorável ao aumento no volume de chuvas na região Nordeste. Gurjão et al. (2012) mostraram através da análise do Índice RAI, que no mês de março de 2008 os Estados do Sergipe, Alagoas, Pernambuco e em localidades situadas a oeste da Bahia apresentaram anomalias positivas de precipitação durante este período. Nesta área do NEB está localizada a Usina de Sobradinho a qual o seu funcionamento satisfatório é dependente da variabilidade de precipitação na região. Para chegar a estes resultados, os autores utilizaram os dados provenientes de 37 pluviômetros no período entre 1961 e 2010.

Estudo de caso 3:- Abril e maio de 2011.

Segundo o Centro de Previsão de Tempo e estudos Climáticos (CPTEC) o mês de abril e principalmente o mês de maio de 2011 foram marcados por anomalias de precipitação no leste do NEB. A ocorrência dos episódios extremos de precipitação registrada no período foi favorecida por anomalias positivas de TSM na região equatorial do Atlântico Sul. Com o enfraquecimento do El Nino, as condições atmosféricas contribuíram para o deslocamento da ZCIT para posições mais ao sul da sua posição climatológica (Climanálise, 2011).

Resultados e Discussão**Análise Comparativa**

A climatologia de precipitação anual para o Nordeste Brasileiro mostra que os maiores totais de precipitação estão concentrados na porção noroeste e no extremo leste da região, assim como os menores valores de chuva estão localizados na porção central (Figura 1).

A distribuição de precipitação média anual do GPCC e do 3B42_V6 é apresentada nas Figuras 2a e 2b, para o período entre 1998 a 2011. A configuração espacial de precipitação do GPCC e do 3B42_V6 é equivalente a climatologia, coincidindo as regiões com os maiores e menores totais anuais médios. Quantitativamente, a estimativa do 3B42_V6 mostra-se superestimada em relação aos dados do GPCC, principalmente nas regiões com os menores totais anuais. A distribuição espaço-temporal no NEB mostra grande variação, devido a sua extensão territorial, seu relevo e os diversos sistemas meteorológicos que produzem chuvas na região.

A Figura 3 mostra a normal climatológica de precipitação mensal para o NEB. De forma geral, os meses mais chuvosos no NEB são os de março e abril nos os setores norte e centro, estes acumulados são principalmente devido a atuação da ZCIT que atua sobre os setores durante este período do ano. Os meses de maio, junho e julho são os meses chuvosos para o litoral leste do NEB, isto ocorre devido este período ser

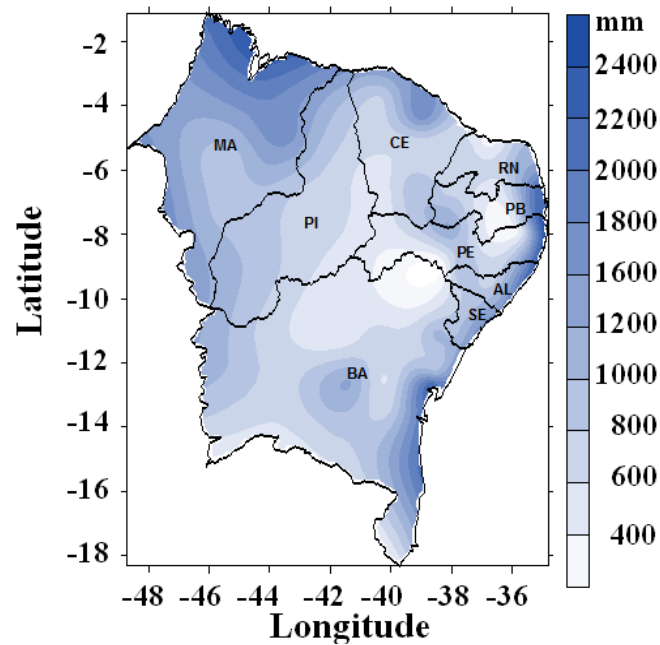


Figura 1. . Distribuição espacial da normal climatológica anual de precipitação para o Nordeste Brasileiro segundo dados do INMET (1961-1990).

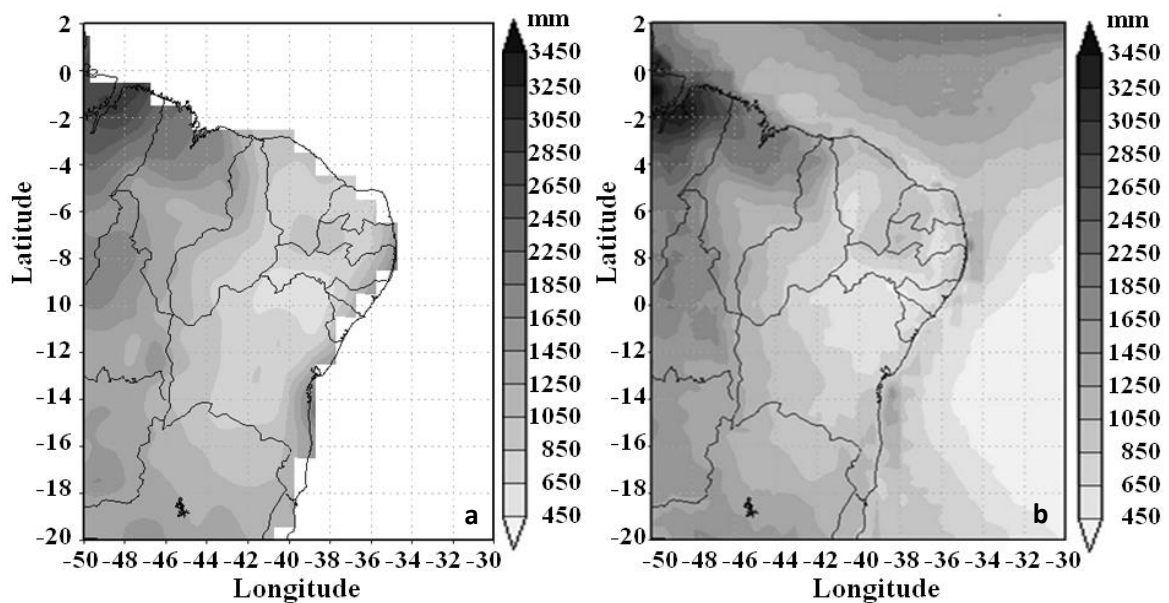


Figura 2. Distribuição espacial da média anual da precipitação através de (a) dados medidos por pluviômetros do GPCC e (b) estimativas de satélites do algoritmo 3B42_V6 (período: Janeiro de 1998 a Dezembro de 2011).

preferencial para ocorrência de DOLs que provocam precipitação nesta região durante este período, além disso, esta área sofre a influência de circulações locais, as quais contribuem para a produção e intensificação dos sistemas que provocam chuvas nesta área. Já os meses de novembro, dezembro e janeiro representam meses chuvosos para os setores

sul e sudoeste do NEB, devido atuação de sistemas transientes, como a ZCAS que influenciam o regime de precipitação nestes setores durante este período do ano.

A distribuição média mensal de precipitação (1998 a 2011) do GPCC que são baseados aos dados de precipitação medida

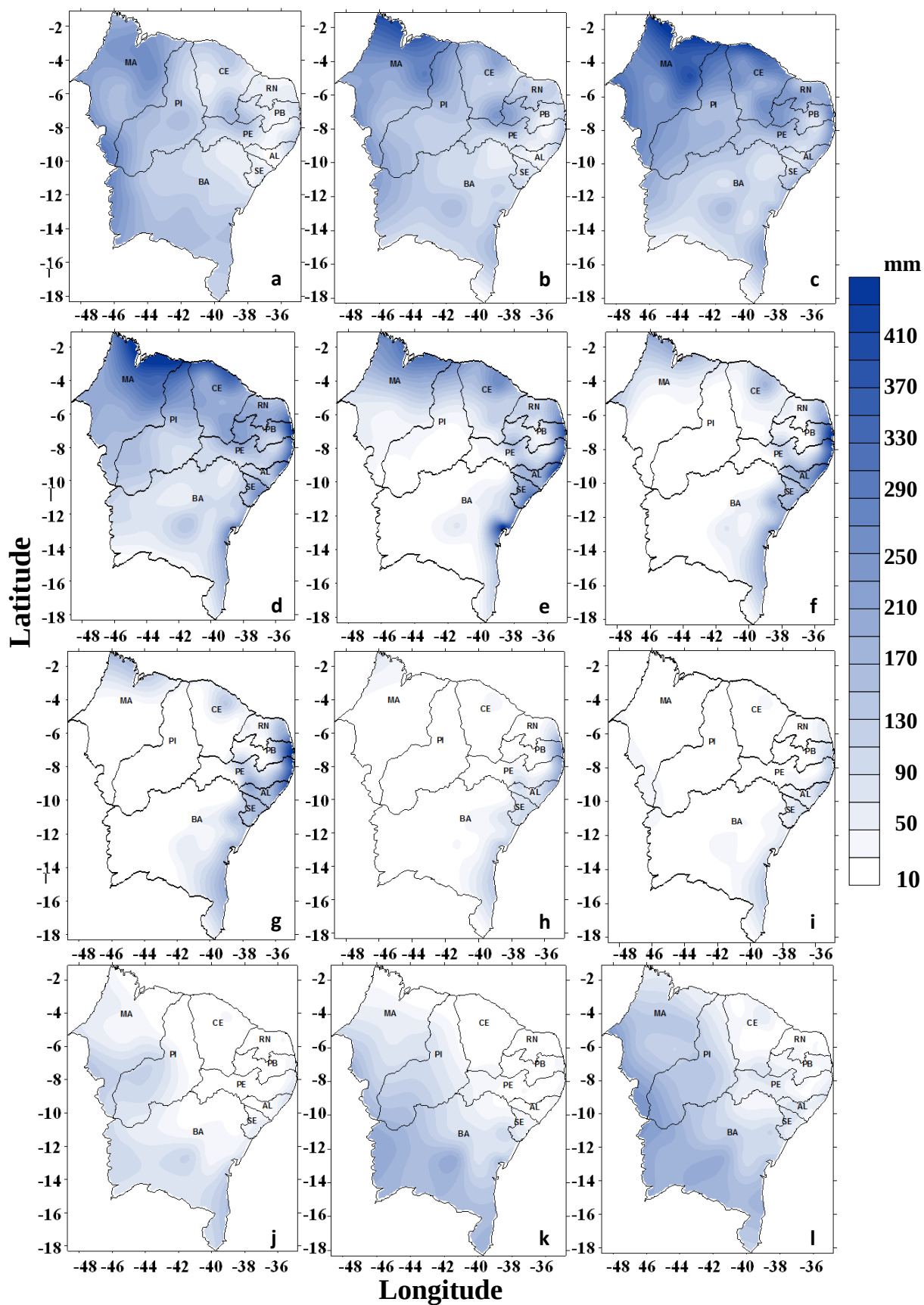


Figura 3. Distribuição espacial da precipitação nos meses de Janeiro (a), Fevereiro (b), Março (c), Abril (d), Maio (e), Junho (f), Julho (g), Agosto (h), Setembro (i), Outubro (j), Novembro (k) e Dezembro (l) segundo a normal climatológica INMET (1961-1990) para o NEB.

em superfície através de pluviômetros (Figura 4) para o NEB mostram resultados semelhantes aos mostrados com as normais climatológicas.

A distribuição média mensal (1998-2011) de precipitação no NEB baseado nas estimativas de precipitação por satélite do algoritmo 3B42_V6 é apresentada na Figura 5. Comparando a distribuição média mensal da precipitação pelo GPCC (Figura 4) e pelo 3B42_V6 (Figura 5) nota-se que as regiões e os períodos de máximos valores de precipitação são coincidentes tanto nos resultados obtidos com os dados do GPCC quanto nos dados obtidos através do 3B42_V6. Nos setores norte e centro durante os meses de março e abril, os quais representam os meses chuvosos nesses setores, o 3B42_V6 superestima os valores de máxima precipitação, e aumenta esta área em relação aos dados do GPCC.

Na comparação entre os dados medidos em pluviômetros e as estimativas por satélites, verificam-se semelhanças, no entanto, os máximos de chuva no litoral norte do Maranhão aparecem superestimados e maiores no 3B42_V6 em relação ao GPCC. Este resultado indica que a precipitação na região é em grande parte, proveniente de nuvens convectivas (devido a atuação da ZCIT), as quais possuem o topo frio (em relação a nuvens de baixo desenvolvimento vertical), fazendo com que o algoritmo que também é baseado em estimativas no canal infravermelho estime precipitação em áreas

que não precipitam (como nuvens *cirrus* provenientes de bigornas de nuvens *cumulunimbus*).

Na região e meses de máxima precipitação no litoral leste do NEB a precipitação mostra-se bem semelhante em ambas as fontes de dados, no entanto os dados estimados por satélites mostram um maior detalhamento da precipitação no litoral, haja vista que esta fonte de dados também contém informações sobre as áreas oceânicas, onde não possui uma rede de pluviômetros para aperfeiçoar a representação da distribuição de precipitação na faixa litorânea do NEB.

Já os meses de novembro, dezembro e janeiro representam meses chuvosos para os setores sul e sudoeste do NEB, devido atuação de sistemas transientes, como ZCAS e SFs que influenciam o regime de precipitação nestes setores durante este período do ano.

Na faixa sul do NEB durante os meses de novembro, janeiro e fevereiro a distribuição média de precipitação estimada através do 3B42_V6 são equivalentes a aquela obtida através do GPCC, embora os valores de precipitação provenientes do algoritmo estimador apareçam subestimados nesta região. Sugere-se que isto ocorra devido o 3B42_V6 se basear no canal infravermelho, fazendo com que em áreas que a precipitação é advinda de nuvens baixas o algoritmo não estime com fidelidade o valor da precipitação real.

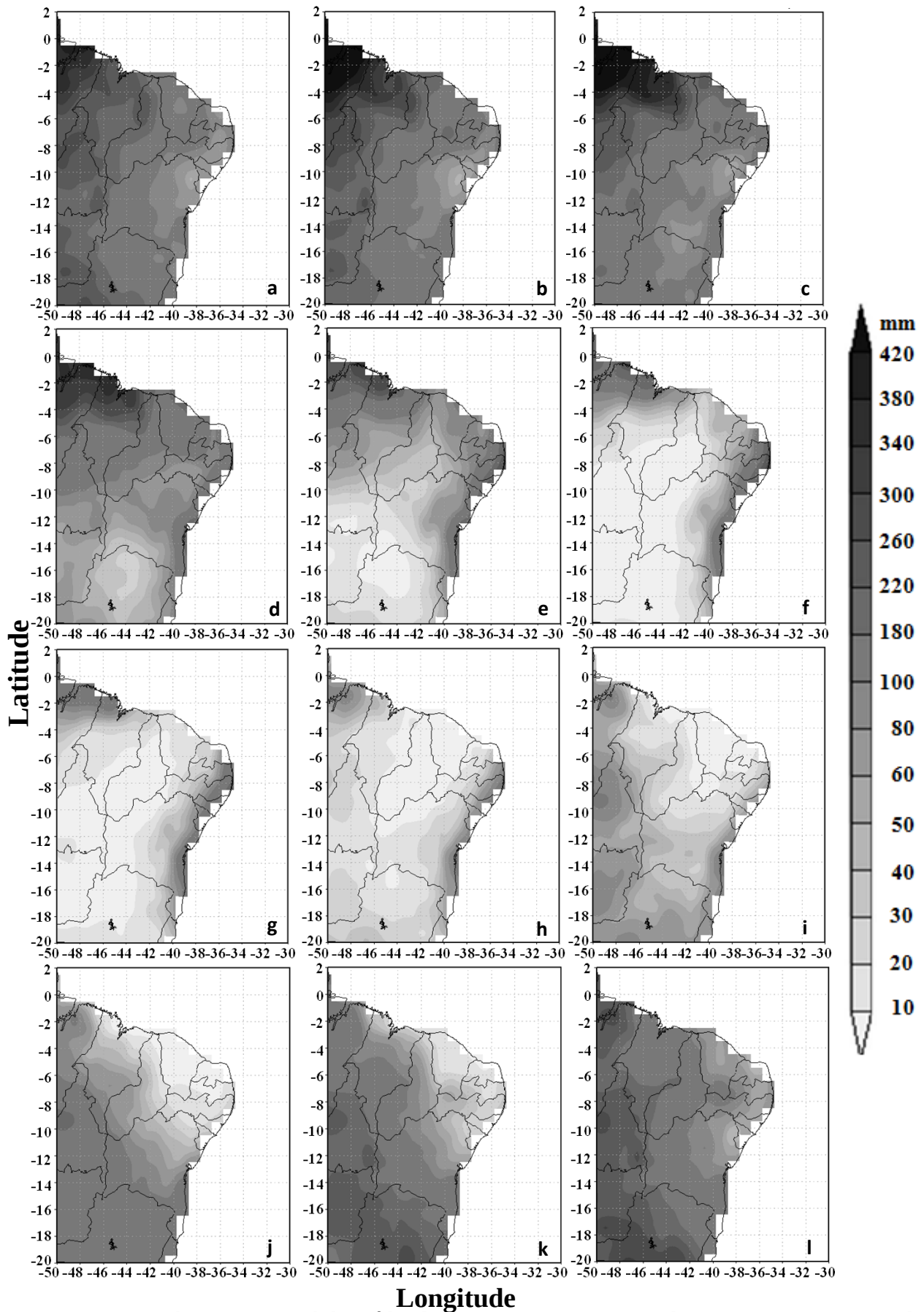


Figura 4. Distribuição espacial da média de precipitação nos meses de Janeiro (a), Fevereiro (b), Março (c), Abril (d), Maio (e), Junho (f), Julho (g), Agosto (h), Setembro (i), Outubro (j), Novembro (k) e Dezembro (l) segundo GPCC (período: Janeiro de 1998 a Dezembro de 2011).

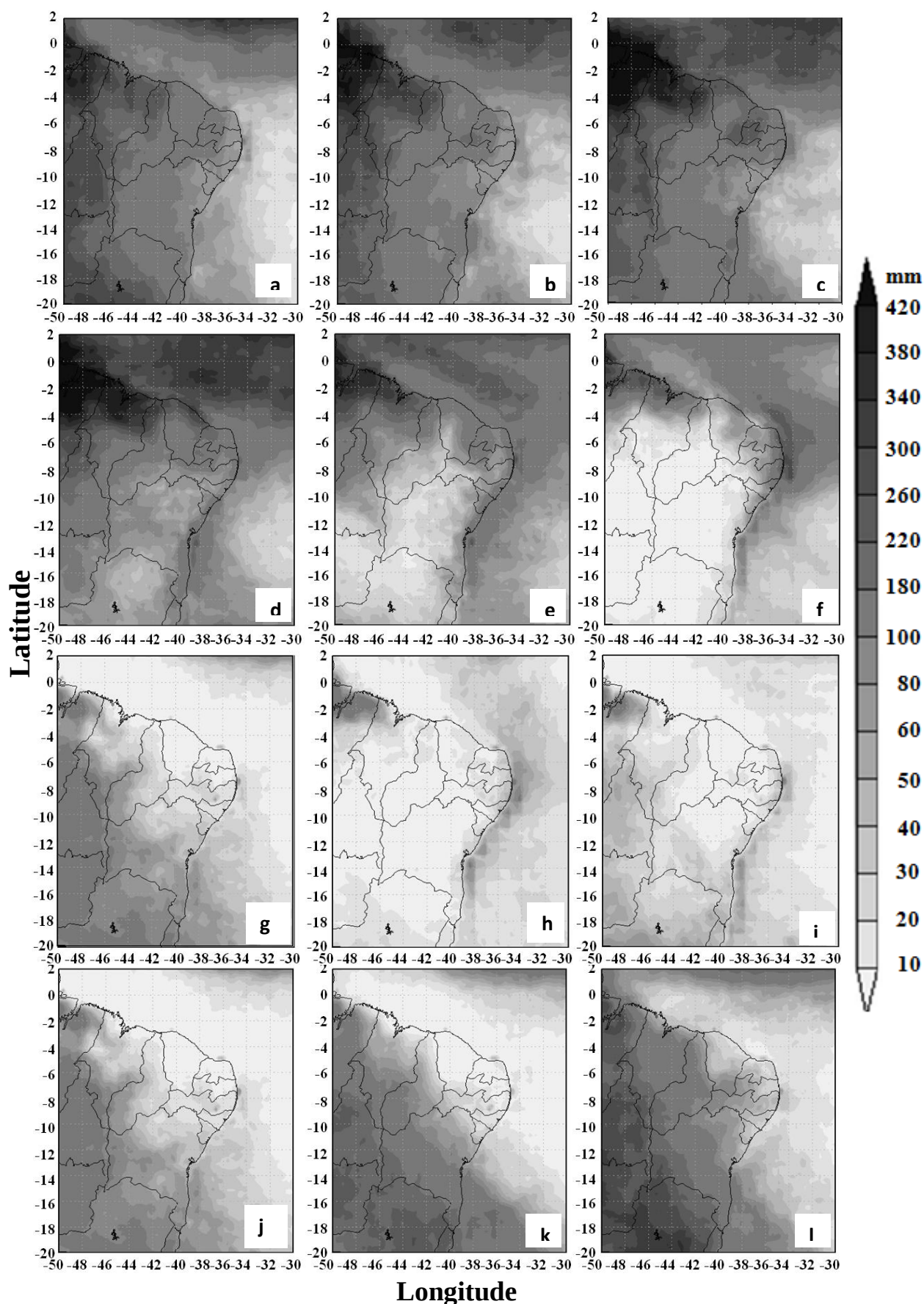


Figura 5. Distribuição espacial da média de precipitação nos meses de Janeiro (a), Fevereiro (b), Março (c), Abril (d), Maio (e), Junho (f), Julho (g), Agosto (h), Setembro (i), Outubro (j), Novembro (k) e Dezembro (l) segundo 3B42_V6 (período: Janeiro de 1998 a Dezembro de 2011).

Em áreas e período de mínima precipitação, como o sertão nordestino nos meses junho, julho e agosto, por exemplo, os valores de precipitação estimados por satélites (Figura 5) são maiores do que aqueles medidos por pluviômetros (Figura 4). Este período é de fato considerado seco na região, conforme visto na normal climatológica (Figura 3), no entanto, as precipitações que ocorram provenientes de células isoladas na região pode não ter sido registrada por pluviômetros, devido a escassez da rede pluviométrica no NEB, e foram estimadas devido a resolução espacial da estimativa do 3B42_V6 no NEB. A resolução de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ do algoritmo 3B42_V6 permite não só o registro, como também o detalhamento espacial da área precipitada.

Então, de uma forma geral, nota-se que a estimativa por satélite 3B42_V6 possui limitações, porém se mostra eficiente em suas estimativas, além de que sua resolução espacial faz com que esta mostre um detalhamento nas áreas de precipitação, suprimindo a falta de instrumentos convencionais, que é uma informação de extrema importância para as atividades agrícolas e hidrológicas desenvolvidas no NEB.

Estudos de casos

Estudo de caso 1: Janeiro a março de 2004.

A distribuição espacial do RAI para os meses de janeiro (Figura 6a) e fevereiro (Figura 6b) de 2004 mostram valores

positivos do índice RAI obtido com base no conjunto de dados de precipitação estimada através do algoritmo 3B42_V6. Valores positivos substancialmente elevados são observados numa extensa área da região mês de janeiro. Este resultado indica anomalias positivas de precipitação e precipitação bem acima da normal climatológica no NEB.

Em fevereiro os valores positivos do índice RAI estão concentrados nos setores norte e leste do NEB. No entanto, são valores relativamente baixos quando comparados aos de janeiro. A configuração espacial do RAI para o mês de março apresentada na Figura 6c mostra que as áreas com valores positivos diminuíram consideravelmente. Valores próximos de zero e negativos em algumas localidades indicam que o total mensal de precipitação esteve próximo ou abaixo dos valores climatológicos para este mês.

Estes resultados corroboram com os encontrados por Alves et al. (2006). Os autores analisaram a ocorrência de anomalias de precipitação com base em observações pluviométricas. Concluíram que janeiro de 2004 foi marcado por anomalias positivas de precipitação no NEB e que fevereiro e março mostraram uma redução destas áreas.

Embora que semelhantes os resultados, os valores do índice RAI (que indicam períodos de eventos extremos anômalos de precipitação), obtidos através dos dados provenientes de satélites, apresentam um

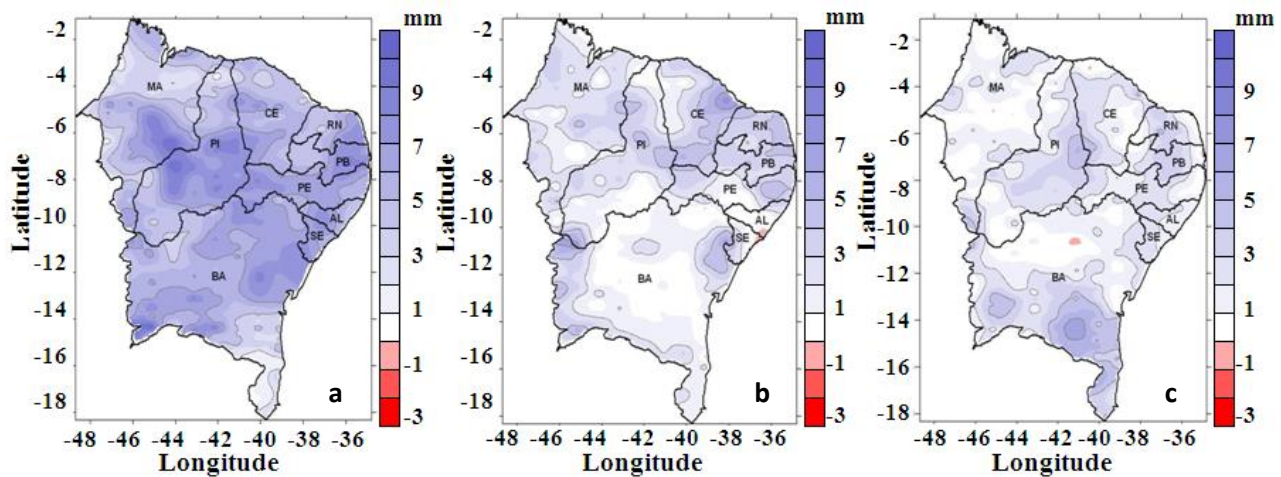


Figura 6. Valores do Índice RAI calculados com base em estimativas de precipitação por satélites do algoritmo 3B42_V6 para o Nordeste Brasileiro nos meses de Janeiro (a), Fevereiro (b) e Março (c) de 2004.

maior detalhamento espacial dos núcleos de maiores e menores valores, certamente devido a sua maior resolução espacial em relação aos dados utilizados por Alves et al. (2006).

Estudo de caso 2: Biênio 2007-2008

Março é considerado, juntamente ao mês de abril, um dos meses de maior volume de precipitação no NEB. Na distribuição espacial do índice RAI no NEB baseado nos dados do 3B42_V6 para março de 2007 (Figura 7a) verificam-se áreas de valores positivos na faixa oeste. O mês de março de 2008 (Figura 7b) também apresentam áreas com valores positivos do índice RAI baseado nos dados do 3B42_V6 no NEB, porém com valores maiores que em 2007 e com os núcleos valores elevados localizados nos setores centro e leste da região, indicando anomalias positivas de precipitação e precipitação bem acima da normal climatológica nesta porção do NEB. Valores aproximados a zero e negativos são

observados na Bahia, isto significa que o total mensal de precipitação esteve próximo ou abaixo da média climatológica no Estado durante este período.

Gurjão et al. (2012) também verificaram eventos extremos de precipitação no setor sul e leste do NEB. Há algumas diferenças no que diz respeito ao tamanho da área de índice RAI negativo entre os resultados obtidos por Gurjão et al. (2012) para março de 2007 e março de 2008 e os resultados deste estudo. Sugere-se que estas diferenças estejam relacionadas com a resolução espacial utilizada, pois o número de pluviômetros disponíveis são reduzidos na área de estudo dos autores citados, o que pode ter maximizado, na interpolação dos dados, as áreas de anomalias positiva de precipitação aumentando a área real de ocorrência de secas neste período.

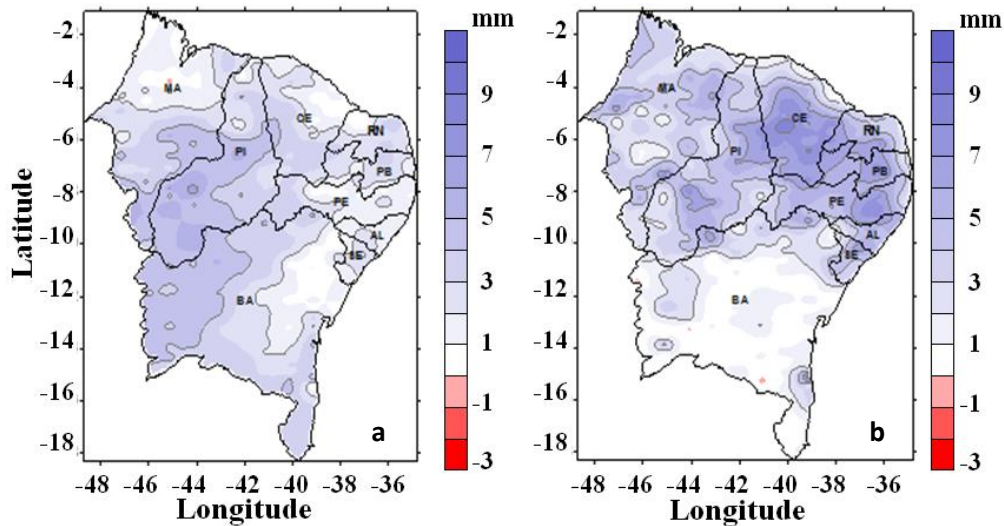


Figura 7. Valores do Índice RAI calculados com base em estimativas de precipitação por satélites do algoritmo 3B42_v6 para o Nordeste Brasileiro em (a) março/2007 e (b) março/2008

Estudo de caso 3: Biênio 2007-2008

A distribuição espacial do índice RAI, calculado através do algoritmo 3B42_V6, durante o mês de abril de 2011 (Figura 8a) apresentou valores aproximados a zero no NEB, indicando que a precipitação mensal foi próxima a média climatológica neste período. Em algumas áreas foram verificadas valores positivos do índice, como em pequenas áreas sobre o norte do Estado do Piauí, leste de Alagoas e Sergipe; e sul da Bahia, assim

como alguns pontos com o índice RAI negativos no sul do NEB.

A Figura 8b mostra a distribuição espacial do índice RAI, calculado através do algoritmo 3B42_V6, durante o mês de maio de 2011. Os resultados da aplicação do índice RAI para este mês apresentam altos valores positivos (próximo a 11) na faixa leste do NEB, indicando que o total de precipitação neste mês de 2011 esteve bem acima da normal climatológica.

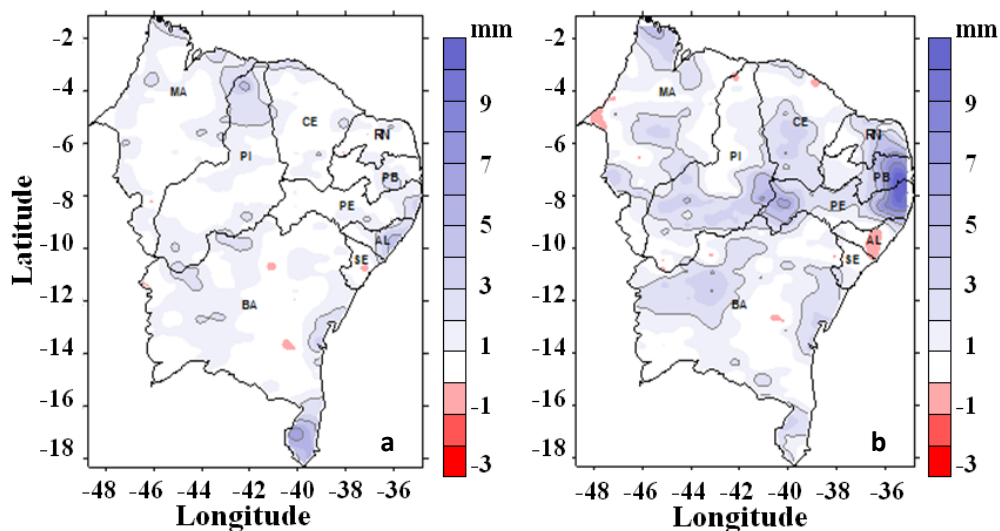


Figura 8. Valores do Índice RAI, baseado em estimativas de precipitação por satélites do 3B42_V6 para o Nordeste Brasileiro em 2011, nos meses de (a) abril e (b) maio.

Estes resultados corroboram com os mapas de anomalias de precipitação do boletim do Climanálise para os meses de abril e maio de 2011. Sobretudo nas áreas que indicam excesso de precipitação no leste do NEB em maio de 2011. Estas anomalias positivas estão associadas à atuação conjunta da ZCIT, que se posicionou ao sul de sua climatologia, e à propagação de distúrbios no escoamento de leste, que contribuíram para a formação de áreas de baixa pressão adjacente à costa leste do Nordeste, no mês de maio (Climanálise, 2011).

Em maio de 2011 foram encontrados valores próximos a zero e negativos de índice RAI (entre 2 e -1) na faixa litorânea dos Estados do Ceará, Sergipe e Bahia 11 (Figura 8b), indicando que o total mensal da precipitação apresentou valores aproximados e abaixo da normal climatológica. Os boletins do Climanálise do mês em destaque confirmam estes resultados, apontando anomalias negativas de precipitação nesta área (Climanálise, 2011), no entanto estas possuem uma área maior que as analisadas através dos dados estimados pelo 3B42_V6.

Sugere-se, novamente que estas diferenças estejam relacionadas com a resolução espacial utilizada, pois o número que pluviômetros disponíveis são reduzidos, o que pode ter maximizado, na interpolação dos dados, as áreas de anomalias negativas de precipitação, aumentando a área real de ocorrência de secas neste período.

Conclusões

Os resultados obtidos permitem concluir que:

- A distribuição espaço-temporal média (1998-2011) da precipitação estimada por satélites através do algoritmo 3B42_V6, possui limitações, porém se mostra eficiente em suas estimativas, além de que sua resolução espacial faz com que esta mostre um detalhamento nas áreas de precipitação, suprimindo a falta de instrumentos convencionais, que é uma informação de extrema importância para as atividades agrícolas e hidrológicas desenvolvidas no NEB.

- Aplicação do índice RAI nos dados mensais de precipitação estimada por satélites (Algoritmo 3B42_V6) para detecção de eventos extremos no NEB foi eficiente. Sua maior resolução espacial permitiu mostrar com um maior detalhamento as áreas afetadas por estes eventos, especialmente nos casos de eventos de cheias severas que provocam efeitos danosos para a economia das regiões afetadas, principalmente em áreas do NEB com fortes atividades antropogênicas. Ou seja, a aplicação do índice RAI no conjunto de dados do 3B42_V6 constitui uma ferramenta de grande utilidade no auxílio do monitoramento e gerenciamento dos eventos extremos de cheias para o NEB.

Embora as conclusões sejam satisfatórias, sugere-se que sejam realizados estudos aplicando métodos comparação e índices de eventos extremos nos dados de

precipitação provenientes de estimativas de precipitação por satélites, utilizando séries temporais maiores (quando estas estiverem disponíveis) permitindo assim um maior aprofundamento sobre este assunto.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande e a CAPES pelo apoio e concessão de bolsa.

Referencias

Alves, J. M. B.; Ferreira, F. F.; Campos, J. N. B.; Filho F. A. S.; Souza, E. B.; Duran, B. J.; Servain, J.; Studart, T. M. C. (2006). Mecanismos atmosféricos associados à ocorrência de precipitação intensa sobre o nordeste do Brasil durante janeiro/2004. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21, n.1, p. 56-76.

Barbosa, T. F.; Correia, M. F. (2005). Sistemas convectivos intensos no semiárido brasileiro: o controle da grande escala. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.20, n.3, p.395-410, dez..

Brito, J. I. B.; Braga, C. C. Chuvas no Estado da Paraíba em 2004. (2005). *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia*, v.29, n.1, p. 27-32.

Climanálise (2011). *Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, v. 26, n. 04, p. 1-46.

Climanálise (2011). *Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, v. 26, n. 05, p. 1-43.

Cohen, J. C. P.; Silva Dias, M. A. F; Nobre, C. A. (1995). Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: A case study. *Monthly Weather Review*, v. 123, n.11, p. 3163-3174.

Collischonn, B. (2006). Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Da Silva, D. F., Brito, I. J. B. (2008). Variabilidade do vento na bacia hidrográfica do rio São Francisco durante a ocorrência da ZCAS. *Ambiência*, v.4, n.2, p. 221-235.

Gan, M. A. (1982). Um estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera nas latitudes subtropicais da América do Sul e leste do Brasil. 1982. 65 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE – 2685-TDL/126, São José dos Campos.

Gurjão, C. D. S; Correia, M. F.; Chaves Filho, J. B.; Aragão, M. R. S. (2012). Influência do

ENOS (El Niño - Oscilação Sul) no Regime Hidrológico do Rio São Francisco: uma Análise em Regiões com Fortes Pressões Antrópicas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 4, p. 774-790, v. 5, n.4.

Hastenrath, S.; Heller, L. (1977). Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. *Quarterly Journal Royal Meteorology Society*, v. 102, n. 435, p. 77-92.

Huffman G. J.; Adler R. F.; Rudolf, B.; Schneider, U.; Keehn, P. R. (1995). Global precipitation estimates based on a technique for combining satellite-based estimates, rain gauge analysis, and NWP model precipitation information. *Journal of Climate*, v. 8, n. 5, p. 1284- 1295.

Huffman G.; Adler R.; Arkin P.; Chang A.; Ferraro R.; Gruber A.; Janowiak J.; McNab A.; Rudolf B.; Schneider U. (1997). The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) combined precipitation dataset. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 78, n. 1, p. 5–20.

Huffman, G.; Adler, R.; Bolvin, D.; Nelkin, E. (2004). Uncertainty in fine scale MPA precipitation estimates and implications for hydrometeorological analysis and forecasting *Conference on Hydrology*, v. 18.

Kodama, Y. M. (1992). Large-Scale Common Features of Subtropical Precipitation Zones

(the Baiu Frontal, the SPCZ, and the SACZ) Part I: Characteristics of Subtropical Frontal Zones. *Journal Meteorological Society of Japan*, v.70, n.4, p.813-836.

Kousky, V. E; Kagano, M. T. (1981). A Climatological study of the tropospheric circulation over the Amazon Region. *Acta Amazônia*, v. 11, n. 4, p. 743-758.

Marengo, J. A. (2008). Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. *Revista Parcerias Estratégicas*, n. 27, p. 149-176.

Mota, G. V. (1997). Estudo observacional de distúrbios ondulatórios de leste no nordeste Brasileiro. 93f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Mota, G. V. (2003). Characteristics of rainfall and precipitation features defined by the tropical rainfall measuring mission over South America. Utah: University of Utah, 2003. 201f. Tese (Doutorado em Meteorologia), University of Utah, Utah.

Negri, A. J.; Adler, R. F. A. (2002). TRMM-calibrated infrared rainfall algorithm applied over Brazil. *Journal of Geophysical Research*, Washington, v. 107, n. D20, p 8048 – 8058.

Nimer, E. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro, Brasil (1979). Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente SUPREN/IBGE, 421 p.

Nóbrega, R. S.; Souza, E. P.; Galvêncio, J. D. (2008). Análise da Estimativa de Precipitação do TRMM em uma Sub-bacia da Amazônia Ocidental. Revista de Geografia, Recife, v. 25, n. 1.

Rao, V. B.; Hada, K. (1990). Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with Southern oscillations. Theoretical and Applied Climatology, New York, v. 42, p.81-91.

Rudolf, B. (1991). Management and analysis of precipitation data on a routine basis. In: International Symposium on Precipitation and Evaporation, 1., WMO/IAHS/ET. Slovak Hydrometeorology Institution, 1993. p. 69-76.

Santana, J. L. S., Netto, A. D. O. A., Junior, A. V. M. (2007). Impacto da Precipitação e de Vazão Máximas em Obras de Infraestrutura em uma Sub-bacia do Semiárido de Sergipe In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

Tenorio, R. S.; L.C.B. Molion; B. H. Kown; Calheiros, Alan James Peixoto. (2006). Severe Weather Events Over Northeastern Brazil: The January 2004 Event. Korean Institute of Maritime and Communication Sciences, Coréia do Sul, v. 10, n.5, p. 897-904.

Van Rooy, M. P. (1965). A rainfall anomaly index independent of time and space. Notos, v. 14, p.43-48.