

PADRÕES ESPAÇO-TEMPORAL PLUVIOMÉTRICOS NA AMAZÔNIA ORIENTAL UTILIZANDO ANÁLISE MULTIVARIADA

JONATHAN CASTRO AMANAJÁS, CÉLIA CAMPOS BRAGA

Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Ciências Atmosféricas, Campina Grande, PB, Brasil

jonathan.amanajas@hotmail.com, celia@dca.ufcg.edu.br

Recebido Maio de 2011 - Aceito Junho de 2012

RESUMO

O presente estudo objetiva determinar e analisar os principais padrões climatológicos da precipitação na Amazônia Oriental, e associá-los aos sistemas meteorológicos que atuam na região, com base na precipitação mensal de 128 postos pluviométricos para o período 1980-2009. Empregou-se o método de Análise Fatorial em Componentes Principais (ACP) e Agrupamento Hierárquico de Ward para determinar os principais padrões de variabilidade espaço-temporal e identificação das regiões homogêneas de precipitação, respectivamente. Os resultados obtidos pela ACP mostraram a existência de três padrões pluviométricos ou estações da precipitação climatológica que explicaram aproximadamente 92% da variância total dos dados. A primeira, estação chuvosa, é influenciada diretamente pela atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), principal mecanismo gerador de chuvas no norte da região. A segunda, estação de transição, está associada a eventos de grande e mesoescala, tal como a ZCIT e as Linhas de Instabilidade. A terceira estação, a menos chuvosa, evidencia a influência da atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul, associada à penetração de sistemas frontais oriundos da região S/SE do Brasil, bem como sistemas de escala local. Sugere-se que as oscilações interanuais da precipitação sazonal são principalmente devidas à variabilidade climática associada aos eventos ENOS e de Dipolo do Atlântico. Identificaram-se e caracterizaram-se quatro regiões homogêneas de acordo com as variabilidades sazonais e interanuais de precipitação na Amazônia Oriental.

Palavras-chave: Precipitação Pluviométrica, Regiões Homogêneas, Componentes Principais.

ABSTRACT: SPATIAL AND TEMPORAL PATTERNS OF RAINFALL IN THE EASTERN AMAZON USING MULTIVARIATE ANALYSIS

This paper aims to determine and analyze the main climatological patterns of the precipitation over the Eastern Amazon, and associate them with the weather systems operating in the region, based on monthly rainfall at 128 meteorological stations for the period 1980-2009. The methods of Principal Components Factor Analysis (PCA) and Ward Hierarchical Grouping were used to determine the main patterns of space-time variability and to identify homogeneous regions of precipitation, respectively. The results obtained by PCA showed the existence of three rainfall patterns or seasons of the climatological rainfall, which explained approximately 92% of the total data variance. The first one, the rainy season, is directly influenced by the Intertropical Convergence Zone (ITCZ), the main mechanism generating rainfall in the northern region. The second one, the transition season, is associated with large and mesoscale events, such as ITCZ and Instability Lines. The third and drier season, shows the influence of the South Atlantic Convergence Zone, associated with the frontal system penetration coming from the S/SE of Brazil, as well as systems of local scale. It is suggested that the interannual variations of seasonal rainfall is mainly due to climate variability associated with events of ENSO and the Atlantic Dipole. Four homogeneous regions were identified and characterized according to the seasonal and interannual variability of precipitation over the Eastern Amazon.

Keywords: Rainfall, Homogeneous Regions, Principal Components.

1. INTRODUÇÃO

A precipitação é amplamente reconhecida como a variável climatológica mais importante na região tropical, sendo essencial para o planejamento das atividades humanas e desenvolvimento local. Sua irregularidade na quantidade e distribuição espacial tem sido um dos fatores limitantes ao maior desenvolvimento da produção agrícola na Amazônia. A prática da agricultura familiar, muito comum nessa região, depende basicamente do regime de precipitação, sendo de suma importância não apenas o conhecimento de sua quantidade, mas também de sua variabilidade para fins de planejamento e manejo dos recursos naturais.

Estudos relacionados às precipitações anuais na Amazônia Oriental evidenciaram que estas tendem a decrescer do setor costeiro para o interior, decorrente da maneira como se originam os sistemas de circulação ao penetrarem a região (Nimer, 1989; Figueroa e Nobre, 1990; Fisch et al., 1998; Grimm, 2011). Assim, fenômenos de escala planetária como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), e fenômenos de mesoescala como as Linhas de Instabilidade (LIs), têm grande influência na climatologia da precipitação desta região.

O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo megatérmico Af, caracterizando-a como clima quente tropical úmido, com chuvas em todas as estações e temperatura média anual entre 24 e 26°C (Nimer, 1989; Fisch et al., 1998). A precipitação possui grande variabilidade espaço-temporal ao longo do ano e a região tem elevada taxa de evapotranspiração, identificando a existência de basicamente dois regimes pluviométricos distintos, um chuvoso, com elevada precipitação e diretamente influenciado pela migração sazonal da ZCIT na direção meridional, e outro menos chuvoso, sem período de seca definido (Fisch et al., 1998; Souza e Ambrizzi, 2003).

Molion (1993) estudou as circulações de grande e mesoescala que atuam na Amazônia e os processos dinâmicos que organizam e promovem sua precipitação, e sugeriu que os principais mecanismos que contribuem para o elevado regime pluviométrico na região resultam da combinação ou atuação da ZCIT, das LIs originadas na costa N/NE do litoral do Atlântico, brisas marítimas e aglomerados convectivos de meso e grande escala, associados com a penetração de sistemas frontais na região S/SE do Brasil, que são alimentados pelas fontes de vapor d'água constituídas pelo Oceano Atlântico e Floresta Amazônica. Além dos sistemas de grande e mesoescala, sistemas de escala local, tais como, as brisas fluviais e a influência da topografia, são importantes mecanismos geradores de chuva na Amazônia.

A variabilidade interanual do regime chuvoso na Amazônia Oriental é sensivelmente influenciada pelos modos climáticos de grande escala dominantes sobre os dois oceanos

tropicais adjacentes, a saber, o ciclo do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) sobre o Pacífico e as fases do gradiente meridional e inter-hemisférico das anomalias de TSM na bacia intertropical do Atlântico (Nobre e Shukla, 1996; Souza et al., 2000; Liebmann e Marengo, 2001; Pezzi e Cavalcanti, 2001).

Assim, o estudo da variabilidade espaço-temporal da precipitação em uma região é fundamental para o planejamento de suas atividades. A identificação de padrões pluviométricos e regiões homogêneas de chuva tem sido uma prática habitual e desenvolvida por diferentes metodologias. A técnica de análise multivariada tem apresentado resultados promissores quanto a regionalizações mais consistentes das características climáticas locais da precipitação (Green et al., 1993; Gong e Richman, 1995; Muñoz-Díaz e Rodrigo, 2004; Frago e Gomes, 2008; Stathis e Myronidis, 2009; Grimm, 2011), fornecendo um melhor entendimento dos padrões de variabilidade espaço-temporal dos dados, que muitas vezes não ficam evidentes quando se trabalha apenas com seus valores médios ou sazonais.

Diante do exposto, tendo em vista o potencial das técnicas multivariadas no tratamento de dados, estas foram utilizadas com a finalidade de regionalizar os padrões de precipitação sazonais e interanuais, bem como, seus sistemas atmosféricos relacionados, que atuam em regiões específicas da Amazônia Oriental, tornando as informações geradas neste estudo úteis para o planejamento das atividades humanas, a exemplo do zoneamento de práticas agrícolas, gerenciamento dos recursos hídricos e transmissão e distribuição de energia elétrica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização da Amazônia Oriental e base de dados

A Figura 1 mostra em destaque a área de estudo, que compreende os estados do Amapá e Pará, na Amazônia Oriental, e suas 27 microrregiões geográficas. A Amazônia Oriental apresenta significativa topografia, composta por três grandes unidades. À noroeste encontra-se o Planalto das Guianas, bastante extenso, abrangendo toda a Serra do Tumucumaque. Ao sul, no Planalto Central, estão as Serras do Cachimbo, Carajás e Pelada. Entre estas duas regiões encontra-se a Planície Amazônica, banhada pelo Baixo Amazonas e seus principais afluentes, onde se destaca a Ilha de Marajó, maior ilha de água fluviomarina do mundo.

Foram analisados dados mensais de precipitação (mm), no período 1980-2009, de 128 postos pluviométricos distribuídos na Amazônia Oriental, da Agência Nacional de Águas (ANA), submetidos a um longo e sistemático processo para a eliminação de dados espúrios, admitindo-se apenas postos sem falhas nas séries de dados. A distribuição dos postos pluviométricos é indicada na Figura 1. A escassez de postos na

Denominaremos os resultados da ACP em Modo-T de fatores temporais e os da ACP em Modo-S de fatores espaciais. A ACP em Modo-T produz componentes principais que são mapas de padrões espaciais (escores fatoriais em Modo-T). A ACP em Modo-S produz componentes principais que são séries temporais (escores fatoriais em Modo-S). A carga fatorial para cada modo é obtida das correlações entre cada variável original e cada componente principal (Richman, 1986), constituindo-se numa série temporal de coeficientes de correlação espacial para o Modo-T e em mapas de coeficientes de correlação temporal para o Modo-S. Valores de carga fatorial próximos a 1 representam padrões espaciais e temporais de precipitação similares aos fatores obtidos. Foram elaboradas figuras dos padrões espaciais e séries temporais associados aos principais fatores, tanto temporais como espaciais, que tem maior contribuição à variância total do conjunto de dados pluviométricos na região.

Para a determinação das situações meteorológicas correlacionadas com os componentes principais em Modo-T foram utilizadas as séries temporais das cargas fatoriais. Para determinar anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) associadas com a variabilidade interanual de precipitação determinada pela ACP em Modo-S foram usados os componentes principais (séries de escores fatoriais) desta análise.

2.3 Determinação das regiões homogêneas de precipitação

Embora fosse possível efetuar o estudo das regiões homogêneas de forma relativamente simples e rápida, tomando por base os componentes principais, optou-se realizá-lo utilizando o método de classificação hierárquica de Ward, cuja

medida de similaridade usada foi a distância euclidiana quadrada (Everitt, 1993; Wilks, 2006).

Como *input* foram usados os escores dos fatores temporais e as cargas dos fatores espaciais mais significativos, obtidos através da ACP nos Modos *T* e *S*, respectivamente. Estes foram dispostos conjuntamente sob a forma de matriz, onde cada *n* linha corresponde às estações, e as *p* colunas aos escores dos fatores temporais e as cargas dos fatores espaciais mais significativos. Esse procedimento justifica-se pelo simples fato de que o pré-processamento dos dados, através da ACP, elimina as informações redundantes e separa o sinal de grande escala (variância comum, Modo-S) do ruído (variância específica, Modo-T) associado a cada estação. Além do mais, fornece uma síntese do conjunto de dados, isenta de subjetividade e justificada em um critério estatístico.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Padrões de variabilidade sazonal da precipitação na Amazônia Oriental

Os três primeiros fatores temporais (Modo-T), que explicam 91,6% da variância total dos dados mensais da precipitação, foram retidos (Figura 2). O primeiro fator temporal explica 32,1% da variância total dos dados, com maiores correlações positivas ($> 0,7$) nos meses de janeiro a abril, definida como estação chuvosa. O segundo fator temporal, que explica 31,4% da variância total dos dados, tem maiores correlações positivas ($> 0,7$) nos meses de maio a agosto, definida como estação de transição. Finalmente, o terceiro fator temporal, que explica 28,1% da variância total dos dados, apresenta as maiores correlações positivas ($> 0,8$) nos meses de

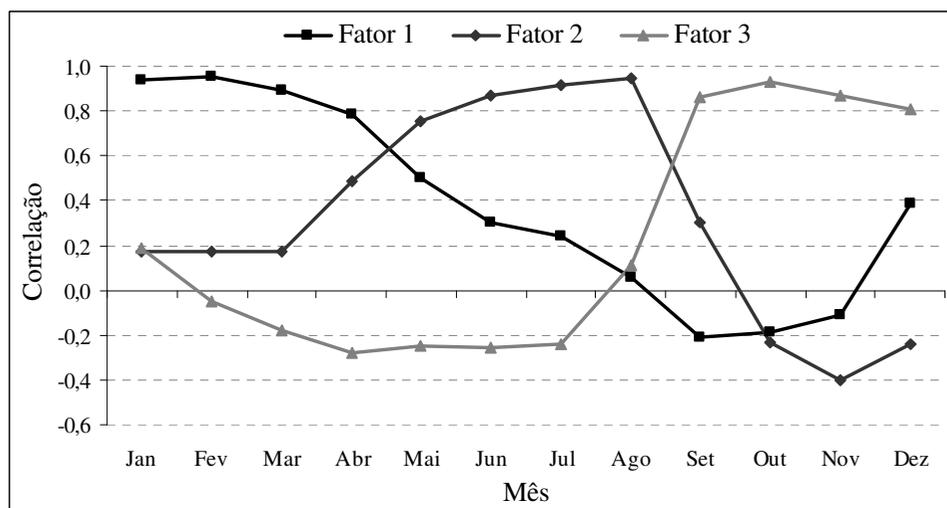


Figura 2 - Séries temporais das cargas fatoriais da ACP no Modo-T, para os três primeiros fatores temporais.

setembro a dezembro, definida como estação menos chuvosa.

A Figura 3a corresponde ao padrão espacial do primeiro fator temporal (estação chuvosa) e apresenta contribuições positivas ($> 1,0$) na região costeira da Amazônia Oriental. Sugere-se que as chuvas associadas a este padrão estão relacionadas com a atuação e deslocamento norte-sul da ZCIT, sistema de escala planetária e um dos principais sistemas que atua nos trópicos, responsável pelas chuvas que ocorrem no norte/nordeste do Brasil durante sua estação chuvosa. Sobre o Atlântico, a ZCIT migra de sua posição mais ao norte, cerca de 14°N em agosto-setembro, para a posição mais ao sul, cerca de 4°S , durante março-abril, sendo este período chuvoso devido ao transporte de umidade trazida pelos ventos alísios de nordeste para a região, aliado a aspectos de relevo (Hastenrath e Heller, 1977; Fisch et al., 1998; Molion e Bernardo, 2002). Na Figura 3b identifica-se uma faixa zonal em torno de 5°N sobre o Atlântico e o continente adjacente, em que o limiar de ROL $\leq 240 \text{ Wm}^{-2}$, capaz de separar as áreas convectivas das áreas não convectivas (Okoola, 1998), indica a posição da banda de nebulosidade profunda associada à ZCIT e a um padrão de vento divergente em altos níveis. Em mesoescala, as LIs costeiras, associadas à circulação de brisa, com deslocamento abaixo de 170 km para dentro do continente e maior ocorrência em abril, são o principal sistema gerador de chuvas, respondendo por 45% da precipitação no leste paraense (Cohen et al., 1989). Em escala local, valores de precipitação elevada próximo ao Planalto das Guianas devem-se à ascensão orográfica da umidade transportada pelos ventos alísios da ZCIT, bem como, a influência das brisas fluviais (Molion, 1993), que explicam

o núcleo de precipitação positiva sobre o nordeste do Pará (Figura 3a).

O padrão espacial associado ao segundo fator temporal (estação de transição) evidencia um importante contraste entre regiões. Na metade norte da Amazônia Oriental verificam-se contribuições maiores que 1, enquanto que na metade sul essas contribuições são inferiores a -1 (Figura 4a). Este padrão de precipitação indica que as chuvas observadas são decorrentes de diferentes sistemas atmosféricos atuantes na região, como a ZCIT, e as LIs que se propagam continente adentro, com máximas atuações em julho (Cohen et al., 1989). Tal propagação, continente adentro, ocorre devido a fatores sinóticos, tais como, a ação de Distúrbios Ondulatórios de Leste e/ou a presença de convecção (Figura 4b), associada a um forte cisalhamento do vento em baixos níveis (Garstang et al., 1994; Cohen et al., 1995). Molion e Bernardo (2002) sugerem que o posicionamento da ZCIT mais ao norte de sua climatologia (Figura 4b), combinada com a região de movimentos ascendentes localizada mais ao norte do equador geográfico, contribui para intensificar a subsidência sobre o sul da Amazônia, Centro Oeste e Nordeste do Brasil, o que explica as contribuições negativas da chuva na metade sul da região de estudo (Figura 4a).

A configuração espacial do terceiro fator temporal (estação menos chuvosa) apresenta contribuições inversas ao segundo fator, ou seja, as maiores contribuições à precipitação estão localizadas no sul da região (Figura 5a). Segundo Fisch et al. (1998) estas precipitações são influenciadas por sistemas frontais que se deslocam da região sul do Brasil e chegam ao

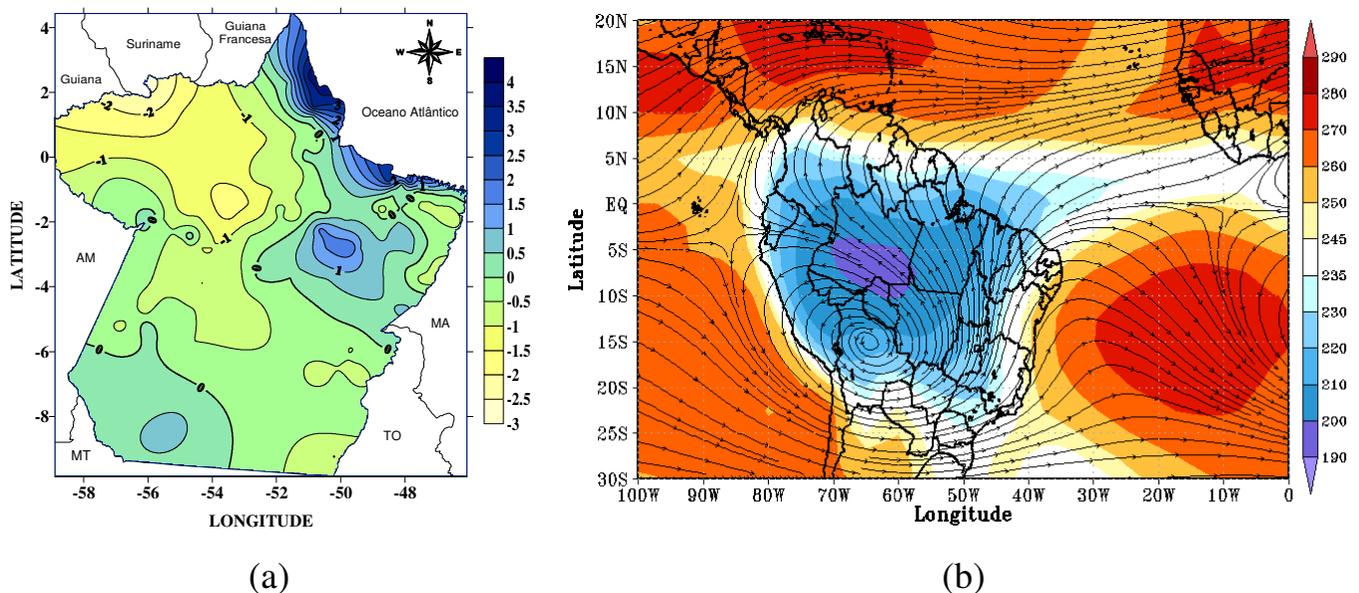


Figura 3 - (a) Padrão espacial do primeiro fator temporal da precipitação e (b) climatologia quadrimestral (janeiro a abril) de ROL (Wm^{-2}) e vento em 200 hPa (linhas de corrente, ms^{-1}).

sul da Amazônia, interagindo e organizando a convecção local. Sugere-se, também, que estas contribuições estejam associadas ao início da ocorrência de sistemas sinóticos atuantes no final da primavera e no verão, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), sistema meteorológico caracterizado por uma persistente faixa de nebulosidade, orientada no sentido noroeste-sudeste (NW-SE), associada a uma zona de convergência na baixa troposfera que se estende desde o centro sul da Amazônia até o Atlântico sudoeste, observada a partir do mês de novembro

(Kodama, 1992; Carvalho et al., 2004; Ferreira et al., 2004). Na Figura 5b, tem-se o indicativo da atividade convectiva associada à ZCAS estabelecido por meio da análise de ROL. Para limiares de $ROL \leq 200 \text{ Wm}^{-2}$, a ZCAS apresenta uma maior relação com o padrão espacial de chuvas e conseqüentemente com o padrão de nebulosidade convectiva (Carvalho et al., 2004). Em escala local, as brisas fluviais são os principais sistemas causadores de chuva na região, o que explica os núcleos de precipitações positivas a noroeste e nordeste do Pará.

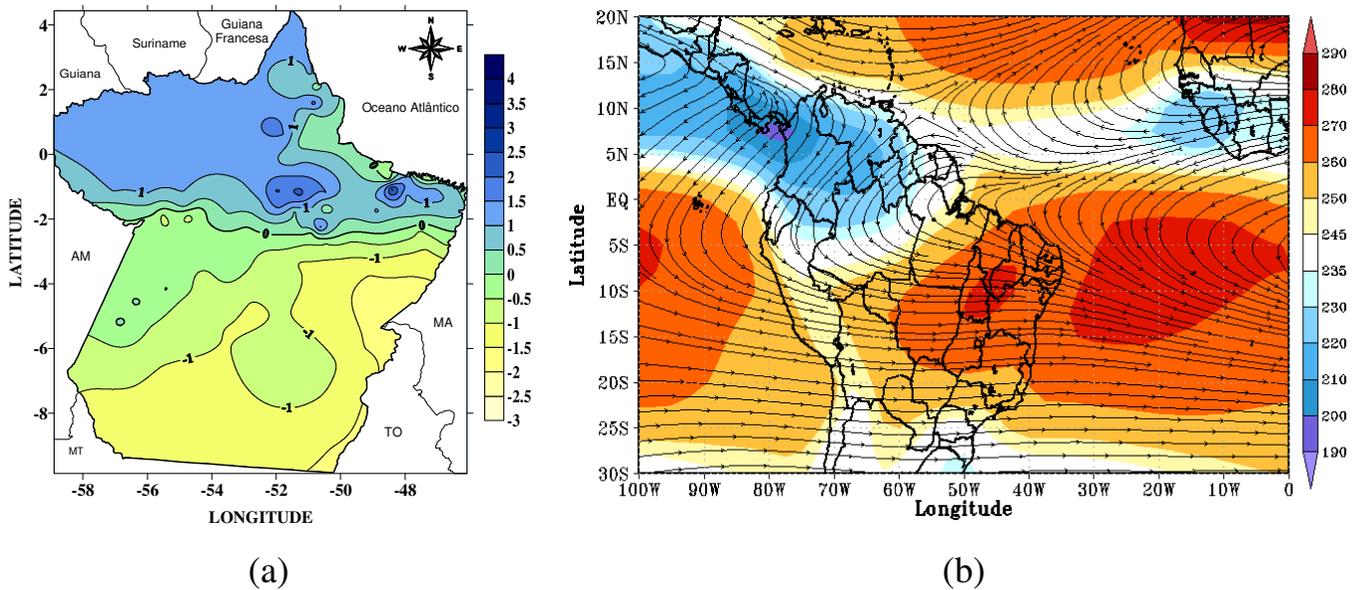


Figura 4 - (a) Padrão espacial do segundo fator temporal da precipitação e (b) climatologia quadrimestral (maio a agosto) de ROL (Wm^{-2}) e vento em 200 hPa (linhas de corrente, ms^{-1}).

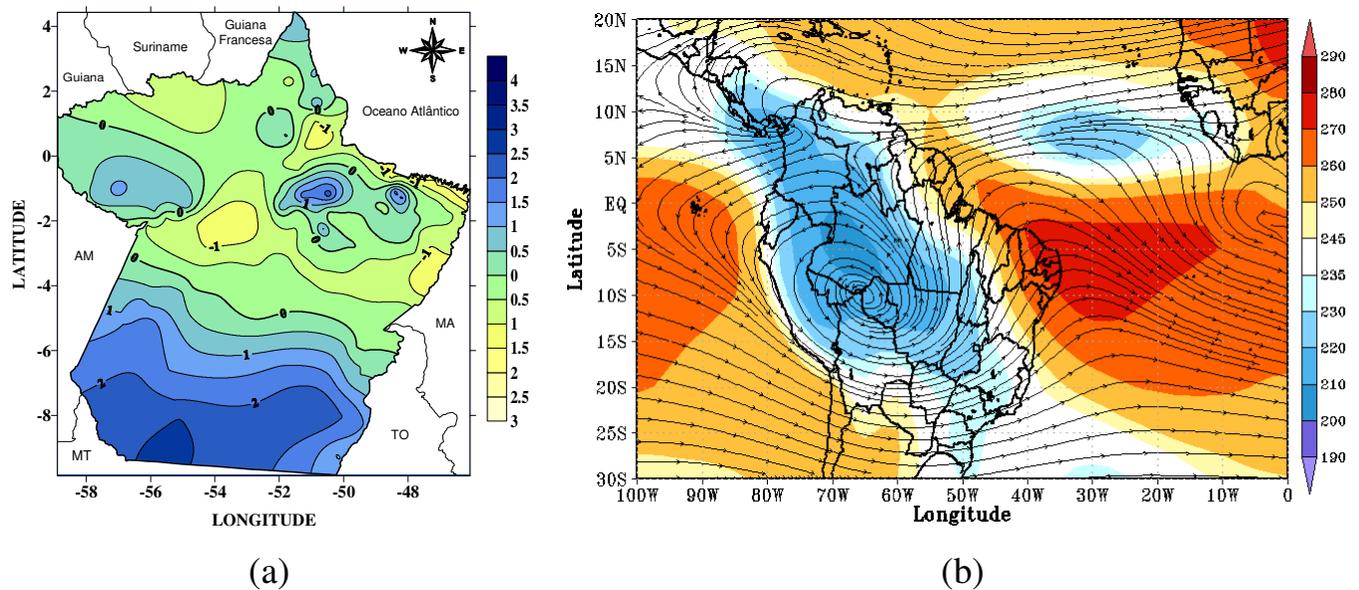


Figura 5 - (a) Padrão espacial do terceiro fator temporal da precipitação e (b) climatologia quadrimestral (setembro a dezembro) de ROL (Wm^{-2}) e vento em 200 hPa (linhas de corrente, ms^{-1}).

3.2 Padrões de variabilidade interanual da precipitação na Amazônia Oriental

A aplicação da ACP aos totais mensais do semestre mais chuvoso resultou na obtenção dos fatores espaciais (Modo-S), dos quais os 20 primeiros explicam aproximadamente 75% da variância dos dados de precipitação. Contudo, apenas os três primeiros fatores espaciais foram analisados, dado que seus autovalores encontram-se significativamente distantes dos modos subsequentes, representando um padrão fisicamente consistente (North et al., 1982). A possível influência das anomalias de TSM, em cada um dos três fatores espaciais, foi buscada através da correlação de seus escores fatoriais com a série temporal de TSM em pontos de grade de 1° sobre os oceanos, com nível de significância estatística 0,05. Os anos de máximos e mínimos escores para cada fator espacial, mencionados na análise a seguir, foram escolhidos a partir da média dos escores de janeiro a maio, calculados ano a ano, escolhendo-se apenas os três anos com valores extremos destas médias.

O padrão do primeiro fator espacial representa a situação média da precipitação. Observam-se correlações (cargas) positivas superiores a 0,4 no nordeste da região estudada (Figura 6a). Estas correlações sugerem que os sistemas atmosféricos, que geram o padrão de precipitação nesta região, têm um caráter mais local, ou seja, são geradas pelos mesmos sistemas precipitantes. A série temporal associada ao primeiro fator espacial (Figura 6c) indica como este evolui no tempo durante os meses da estação chuvosa. Os valores positivos e negativos dos escores fatoriais, alternando-se durante os anos estudados, evidenciam a existência de alta variabilidade da precipitação na escala sazonal, ou seja, dentro dos meses de cada período chuvoso, assim como na escala interanual, isto é, entre uma estação chuvosa de um ano para o outro. Este padrão indica que anomalias positivas (negativas) de precipitação sobre o sudeste amapaense e nordeste paraense, e negativas (positivas) ao sul do Pará, ocorrem durante episódios de Dipolo Negativo (Positivo) do Atlântico (Figura 6b). Portanto, é o gradiente anômalo de TSM entre o Atlântico tropical Norte e Sul que é

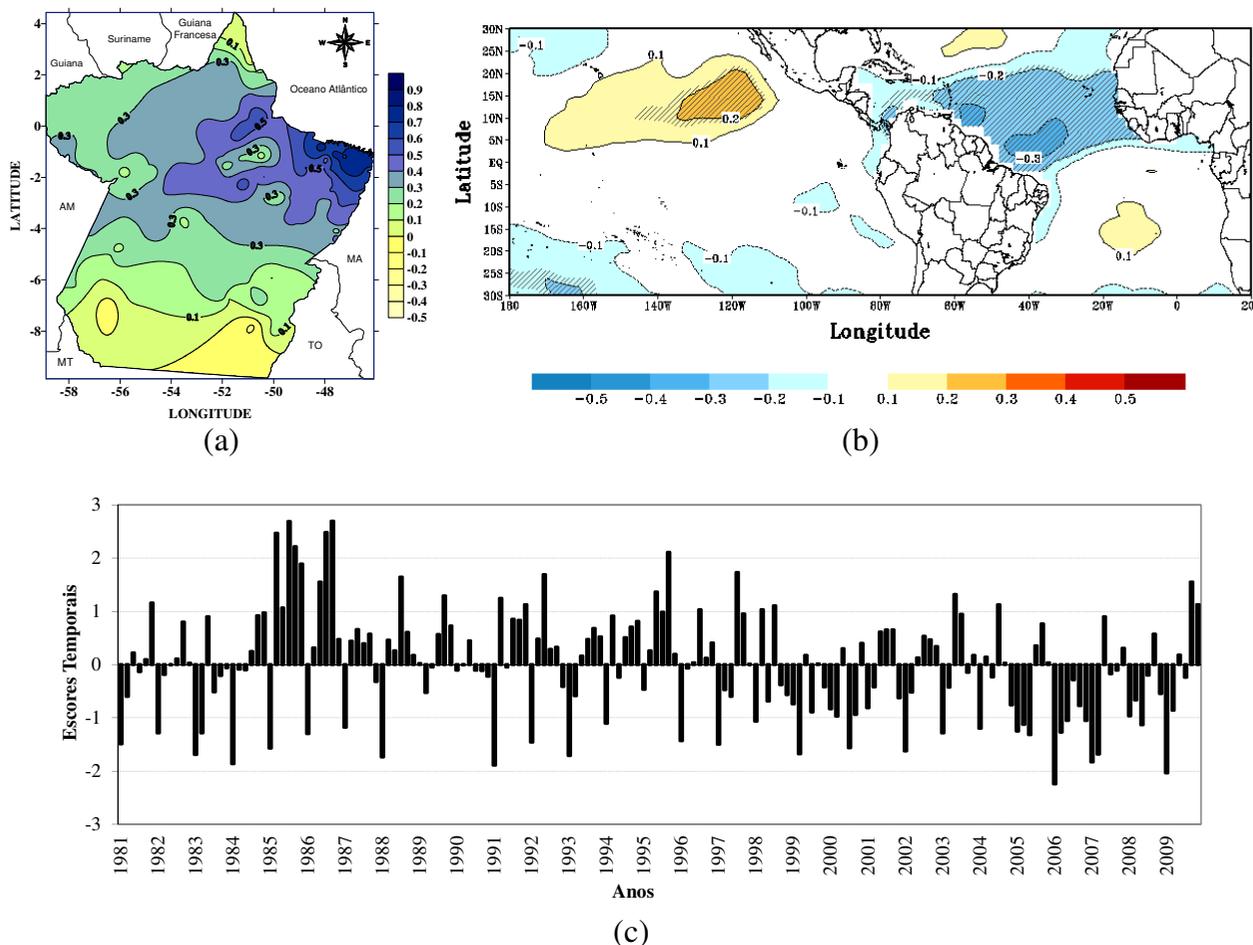


Figura 6 - (a) Padrão espacial e (c) série temporal do primeiro fator espacial da precipitação; e (b) correlações entre o primeiro fator espacial da precipitação e TSM.

importante na modulação de chuvas no nordeste da Amazônia Oriental, através de sua influência sobre a posição da ZCIT.

Souza e Cunha (2010) investigaram a variabilidade interanual da precipitação no Estado de Amapá durante seu semestre mais chuvoso, e retendo apenas o primeiro fator chegaram a resultados semelhantes. Grimm (2011) estudando a variabilidade climática interanual sazonal sobre a América do Sul, também retendo apenas o primeiro fator, obteve resultados semelhantes para a região amazônica durante o outono austral.

O segundo fator espacial apresenta correlações positivas (> 0,4) na maior parte do noroeste paraense e sudoeste amapaense, como pode ser visto na Figura 7a. A série temporal correspondente a esse fator (Figura 7c) apresenta máximos em 1996, 2000 e 2006, indicando que nesses anos choveu consideravelmente no noroeste da Amazônia Oriental, e ocorreram secas no sul do Pará, conforme se observa na distribuição espacial deste padrão. Os mínimos são observados nos anos de 1983, 1992 e 1998, indicando que houve uma redução considerável da precipitação no

semestre mais chuvoso no noroeste da Amazônia Oriental e um aumento de precipitação na região sul do Pará. De acordo com o apresentado na Figura 7b, sugere-se que esses máximos e mínimos observados estejam associados aos eventos ENOS e, em menor proporção, aos episódios de Dipolo do Atlântico, quando comparados àqueles que ocasionam maiores variações no leste da região.

O padrão do terceiro fator espacial apresenta correlações positivas na porção sul da região, com valores superiores a 0,5, como pode ser visto na Figura 8a. Para os anos com escores positivos (negativos), a porção sul apresenta-se mais chuvosa (mais seca) e a porção norte, mais seca (mais chuvosa). A série temporal correspondente a esse fator (Figura 8b) apresenta máximos em 1991, 1995 e 2006, indicando que nesses anos choveu consideravelmente no sul da Amazônia Oriental, conforme se observa na distribuição espacial deste padrão. Os mínimos são observados nos anos de 1987, 1998 e 2007, indicando que houve aumento da precipitação no semestre mais chuvoso na região noroeste do Pará. Esses máximos e mínimos

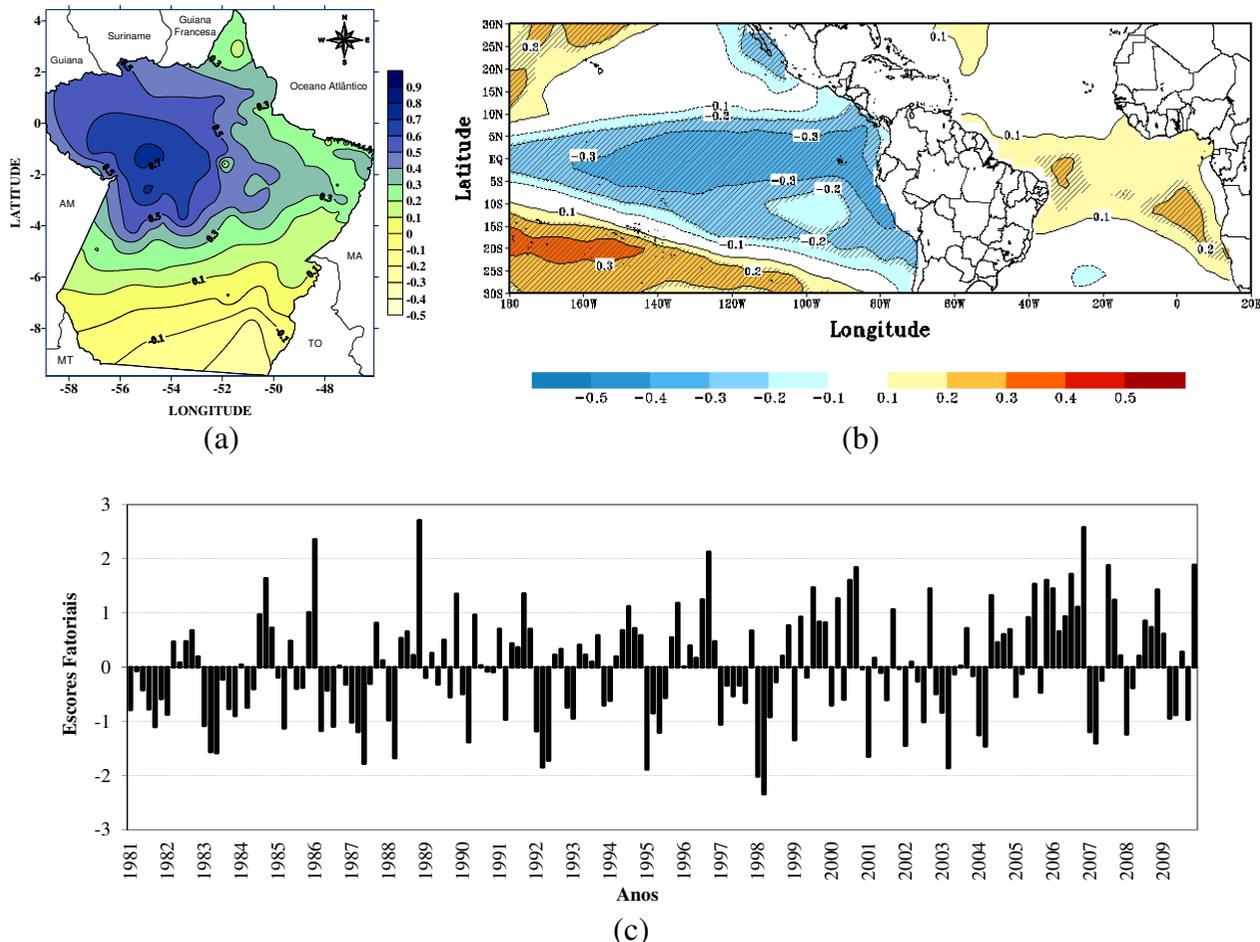


Figura 7 - (a) Padrão espacial e (c) série temporal do segundo fator espacial da precipitação; e (b) correlações entre o segundo fator espacial da precipitação e TSM.

observados também podem estar associados aos eventos ENOS, embora outros fatores possam influir.

3.3 Regiões homogêneas de precipitação para a Amazônia Oriental

Utilizando o Método Hierárquico de Ward, verificou-se que a solução com quatro regiões homogêneas de precipitação, em relação à variabilidade sazonal e interanual, mostrou melhor coerência espacial (Figura 9).

A região RH1 compreende o setor costeiro da Amazônia Oriental. Seu total médio anual de precipitação varia em torno de 3400 mm, sendo o mês de março o mais chuvoso e outubro o mais seco, com totais de 606 e 22 mm, respectivamente. Esta região apresenta a maior amplitude pluviométrica entre o trimestre mais chuvoso (fevereiro a abril) e o menos chuvoso (setembro a novembro), aproximadamente 560 mm. A região RH2 com postos entre as Microrregiões do Sul do Amapá e as Microrregiões de Almeirim, Santarém

e Óbidos no Baixo Amazonas, tem total anual médio de precipitação de 2376 mm. Seu mês mais chuvoso é março e o mais seco é outubro, com totais mensais pluviométricos de 361 e 56 mm, respectivamente. A região RH3 compreende as Microrregiões de Tomé-Açu, Cametá, Guamá, Braganantina e Salgado no Nordeste Paraense. É a terceira porção mais chuvosa da região, com total anual em torno de 2100 mm, tendo o trimestre Fev/Mar/Abr, como o mais chuvoso (1052,7 mm). Finalmente, a região RH4 compreende quase que integralmente as Microrregiões do Sudoeste e Sudeste Paraense. É a região com o menor volume pluviométrico, inferior a 2000 mm/ano. Este grupo possui marcha sazonal de precipitação diferente dos demais, com aumento da precipitação a partir de novembro e fim da estação chuvosa em maio, sendo o mês de março o mais chuvoso e julho o mais seco, com 321,8 e 32 mm de chuva, respectivamente.

Marengo et al. (2001) e Moraes et al. (2005), ao estudarem as datas de início e fim da estação chuvosa da bacia amazônica e Estado do Pará, respectivamente, chegaram a

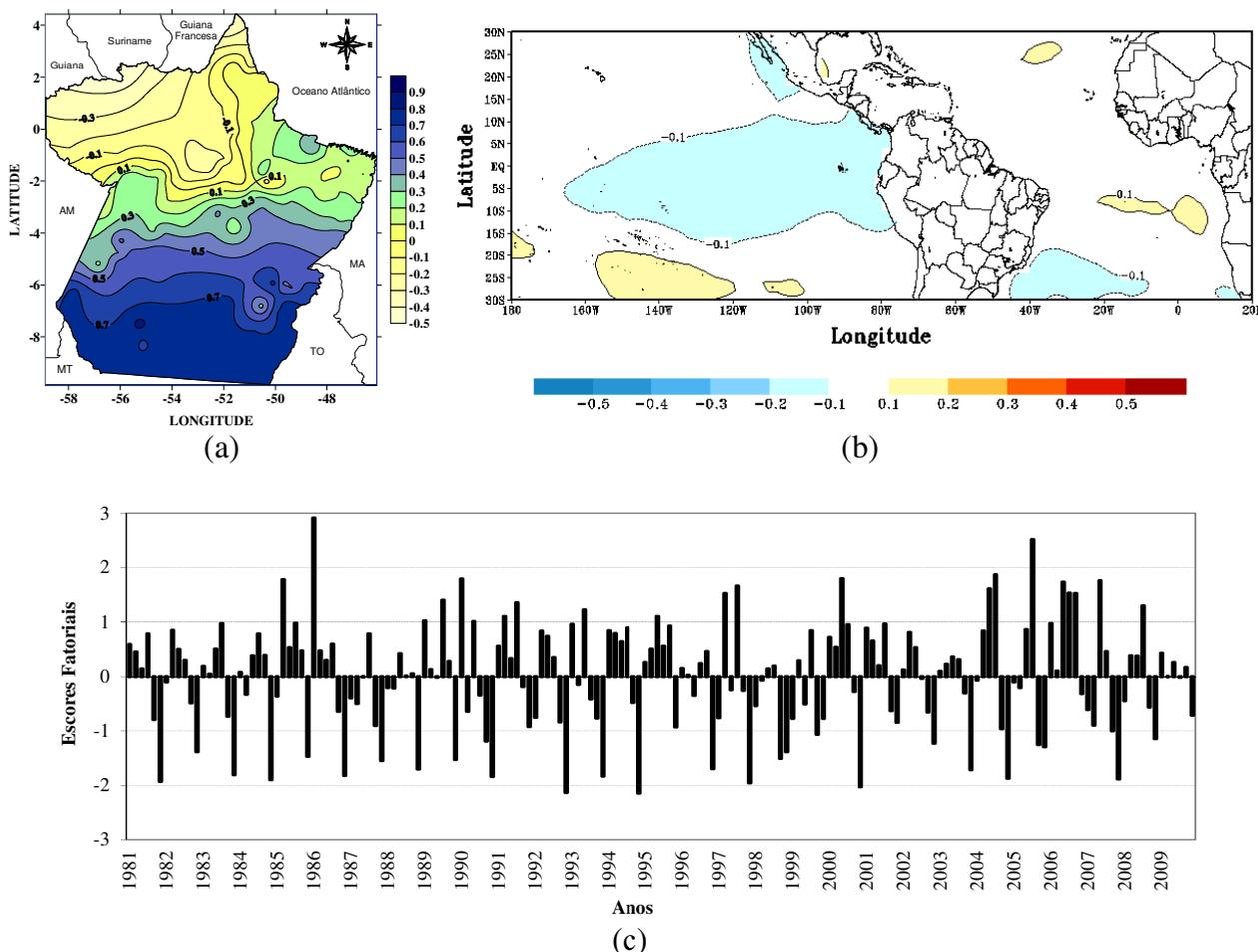


Figura 8 - (a) Padrão espacial e (c) série temporal do terceiro fator espacial da precipitação; e (b) correlações entre o terceiro fator espacial da precipitação e TSM.

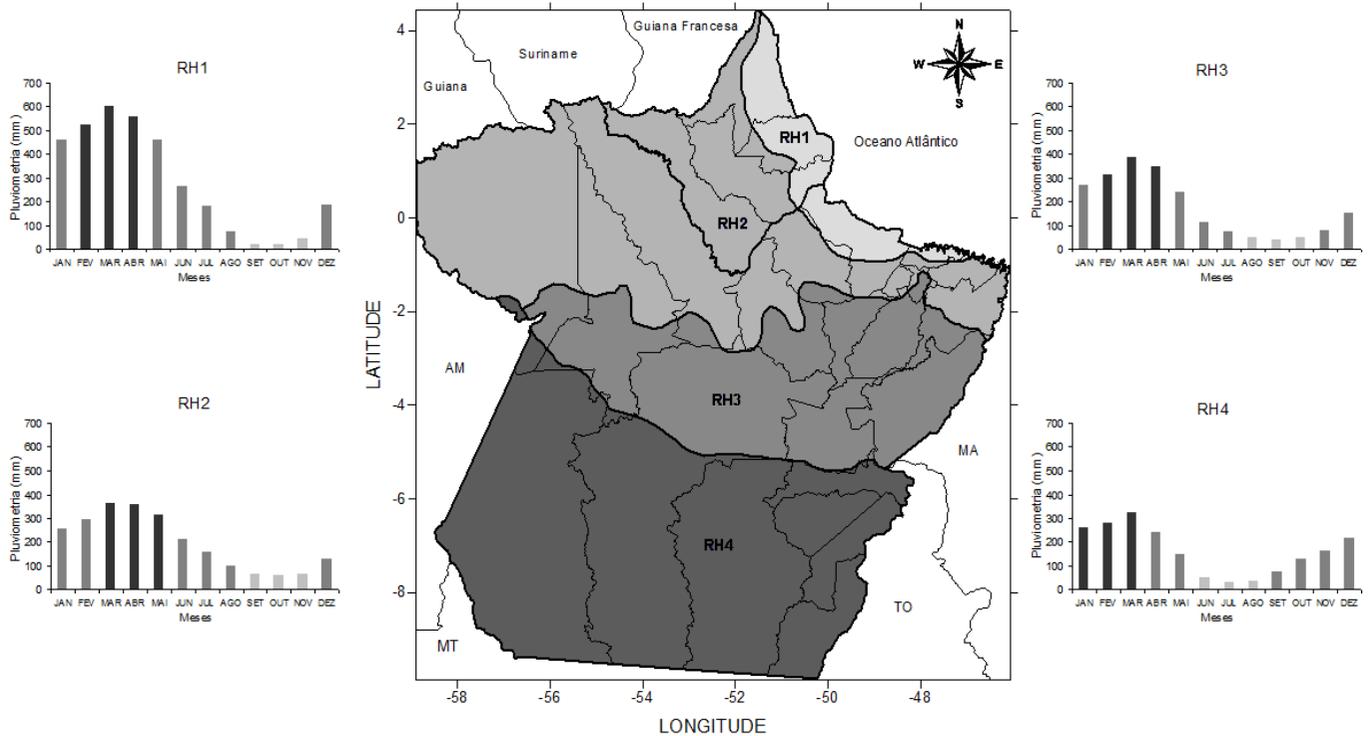


Figura 9 - Espacialização das regiões homogêneas (RH) de chuva e histogramas da distribuição temporal da chuva por regiões homogêneas na Amazônia Oriental.

resultados semelhantes, definindo a data de início da estação chuvosa como sendo mais precoce no sul/sudeste da região e mais tardia próxima à foz do Rio Amazonas. Grimm (2011), ao estudar os ciclos anuais de precipitação na América do Sul e a variabilidade climática interanual e seus impactos na precipitação sazonal, também mostra que a precipitação tende a aumentar sobre o sul da Amazônia no final da primavera austral e o aumento avança para norte, próximo ao equador, em meados de março, corroborando com os resultados encontrados neste estudo.

4. CONCLUSÃO

A análise fatorial em componentes principais (ACP) aplicada aos dados de chuva na Amazônia Oriental foi capaz de indicar as regiões e períodos com maiores e menores índices de chuva. Foram identificados sistemas atmosféricos que influenciam a variabilidade espaço-temporal pluviométrica da região, possibilitando compreender melhor os mecanismos físicos geradores das chuvas na mesma.

De acordo com os resultados, três padrões ou estações definem o regime de chuvas na região. A primeira, estação chuvosa, se estende de janeiro a abril, e é influenciada diretamente pela atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A segunda, estação de transição, apresentou correlações

bastante expressivas com as chuvas de maio a agosto, e está possivelmente relacionado a sistemas de grande e mesoescala, tal como a ZCIT e as Linhas de Instabilidade, respectivamente. A terceira estação, a menos chuvosa, se estende de setembro a dezembro e está associada à atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul e a sistemas frontais oriundos do S/SE do Brasil.

A análise das correlações espaciais e das séries temporais obtidas da aplicação da ACP em Modo-S ao semestre mais chuvoso da Amazônia Oriental, identificou três padrões espaciais pluviométricos, associados à variabilidade mensal na estação chuvosa e interanual de chuva. Sugere-se que estas oscilações interanuais da precipitação sazonal são principalmente devidas à variabilidade climática associada aos eventos ENOS e de Dipolo do Atlântico.

O método aglomerativo de Ward dividiu a região em quatro grupos homogêneos em relação à variabilidade sazonal e interanual pluviométrica, apresentando boa coerência espacial com as áreas de atuação dos principais sistemas geradores de chuva na região, sendo útil para o zoneamento agrícola da região, pois evita, por exemplo, a colheita em períodos com forte risco de ocorrência de chuvas e a consequente redução da qualidade da produção, auxiliando na escolha das culturas de menor risco, bem como o estabelecimento das datas de plantio mais favoráveis.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo suporte à realização deste estudo. Os autores também agradecem aos revisores anônimos e à editora Prof^ª. Dr^ª. Alice Grimm, que contribuíram com suas valiosas sugestões.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BORGES, S. H. et al. Uma análise geopolítica do atual sistema de unidades de conservação na Amazônia Brasileira. **Revista Política Ambiental**, 4:3-42, 2007.
- CARVALHO, L. M. V.; CHARLES, J.; LIEBMAN, B. The South Atlantic Convergence Zone: persistence, intensity, form, extreme precipitation and relationships with intraseasonal activity. **Journal of Climate**, 17:88-108, 2004.
- COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A. Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: A case study. **Monthly Weather Review**, Boston, 123:3163-3174, 1995.
- COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidades da Amazônia. **Climanálise**, 4(11):34-39, 1989.
- ESCOBAR, G. C. J. Padrões sinóticos associados a ondas de frio na cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 22(2):241-254, 2007.
- EVERITT, B. **Cluster Analysis**. Heinemann Educational Books, 3. ed. London, 1993. 170p.
- FERREIRA, N. J.; SANCHES, M.; SILVA DIAS, M. A. F. Composição da Zona de Convergência do Atlântico Sul em períodos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 19(1):89-98, 2004.
- FIGUEROA, S. N.; NOBRE, C. A. Precipitation distribution over Central and Western tropical South America. **Climanálise**, São José dos Campos, 5:36-44, 1990.
- FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma Revisão Geral Sobre O Clima da Amazônia. **Acta Amazonica**, 28(2):101-126, 1998.
- FRAGOSO, M.; GOMES, P. T. Classification of daily abundant rainfall patterns and associated large-scale atmospheric circulation types in Southern Portugal. **International Journal of Climatology**, 28:537-544, 2008.
- GARSTANG, M. et al. Amazon Coastal Squall Lines. Part 1: Structure and Kinematics. **Monthly Weather Review**, 122(4):608-622, 1994.
- GONG, X.; RICHMAN, M. R. On the application of cluster analysis to growing season precipitation data in North American East of the Rockies. **Journal of Climate**, 8:897-924, 1995.
- GREEN, M. C.; FLOCCHINI, R. G.; MYRUP, L. O. Use of temporal principal component analysis to determine seasonal periods. **Journal of Applied Meteorology**, 32:986-995, 1993.
- GRIMM, A. M. Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, 25(4):537-554, 2011.
- HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in North-East Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, 110:411-425, 1977.
- KALNAY, E. et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 77: 437-471, 1996.
- KODAMA, Y. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ). Part I: characteristic of subtropical frontal zones. **Journal of the Meteorological Society of Japan**. 70:813- 835, 1992.
- LIEBMANN, B.; MARENGO, J. A. Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, 14: 4308-4318. 2001.
- LIEBMANN, B.; SMITH, C.A. Description of a complete (interpolated) outgoing longwave radiation dataset. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 77:1275-1277, 1996.
- MARENGO, J. A. et al. Onset and End of the Rainy Season in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, 14(5): 833-852, 2001.
- MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma Revisão da Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 17(1):1-10, 2002.
- MOLION, L. C. B. Amazonia rainfall and its variability. In: **Hydrology and water management in the humid tropics**. BONELL, M.; HUFSCHEMIDT, M. M.; GLADWELL, J. S. (eds.). International Hydrology Series, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 99-111, 1993.
- MUÑOZ-DÍAZ, D., RODRIGO, F. S. Spatio-temporal patterns of seasonal rainfall in Spain (1912–2000) using cluster and principal component analysis: comparison. **Annales Geophysicae**, 22:1435-1448, 2004.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro, IBGE, 1989. 422p.
- NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South American. **Journal of Climate**, 9:2464-2479, 1996.
- NORTH, G. R.; BELL, T. L.; CAHALAN, R. F. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions. **Monthly Weather Review**, 110:699-706, 1982.

- OKOOLA, R. E. Spatial evolutions of the active convective patterns across the Equatorial Eastern Africa region during northern hemisphere spring season using Outgoing Longwave Radiation records. **Meteorology and Atmospheric Physics**, 66(1):51-63, 1998.
- PEZZI, L. P.; CAVALCANTI, I. F. A. The relative importance of ENSO and tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: a numerical study. **Climate Dynamics**, 17:205-212, 2001.
- PSCHEIDT, I; GRIMM, A. M. Frequency of extreme rainfall events in Southern Brazil modulated by interannual and interdecadal variability. **International Journal of Climatology**, 29(13):1988-2011. DOI: 10.1002/joc.1799, 2009.
- RICHMAN, M. B. Rotation of principal components. **Journal of Climate**, 6:293-335, 1986.
- RICHMAN, M. Specification of complex modes of circulation with T-mode factor analysis. In: II INTERNATIONAL CONFERENCE ON STATISTICS AND CLIMATE, 1983, Lisbon. **Anais**, National Institute of Meteorology and Geophysics, 1983. p. 511-518.
- SIMIELLI, M. E. **Geoatlas**. São Paulo: Editora Ática, 1991.
- SOUZA, E. B. E.; CUNHA, A. C. **Climatologia de Precipitação no Amapá e Mecanismos Climáticos de Grande Escala**. In: CUNHA, A. C.; SOUZA, E. B. E.; CUNHA, H. F. A (Org.). Tempo, Clima e Recursos Hídricos: Resultados do Projeto REMETAP no Estado do Amapá. Macapá, IEPA, 2010, 216p.
- SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T. Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms. **Climanálise**, São José dos Campos, 5(6):36-44, 2003.
- SOUZA, E. B. et al. On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. **Acta Amazonica**, 30:305-318, 2000.
- STATHIS, D.; MYRONIDIS, D. Principal component analysis of precipitation in Thessaly Region (Central Greece). **Global NEST Journal**, 11(4):467-476, 2009.
- WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. 2. ed. London, Academic Press, 2006. 649p.