ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

PADRÕES CLIMATOLÓGICOS E TENDÊNCIAS DA PRECIPITAÇÃO NOS REGIMES CHUVOSO E SECO DA AMAZÔNIA ORIENTAL

SOUZA, Everaldo Barreiros de - everaldo.barreiros.souza@itv.org
Instituto Tecnológico Vale / ITV

FERREIRA, Douglas Batista da Silva - douglas.silva.ferreira@itv.org
Instituto Tecnológico Vale / ITV

GUIMARÃES, José Tasso Felix - tasso.guimaraes@itv.org
Instituto Tecnológico Vale / ITV

FRANCO, Vania dos Santos - vania.franco@pq.itv.org
Instituto Tecnológico Vale / ITV

AZEVEDO, Franklin Thiago Mota de - franklin.azevedo@pq.itv.org
Instituto Tecnológico Vale / ITV

SOUZA, Paulo Jorge de Oliveira Ponte de - paulo.jorge@ufra.edu.br
Universidade Federal Rural da Amazônia / UFRA

RESUMO: Este trabalho apresenta uma contribuição aos aspectos da climatologia dinâmica da Amazônia oriental, baseado na análise observacional das séries históricas de 40 anos (1975 a 2014) dos dados de precipitação para 30 estações meteorológicas dos estados do Pará, Maranhão e Tocantins. Os resultados mostraram que os padrões climatológicos de precipitação nos regimes chuvoso (janeiro a maio) e seco (julho a novembro) apresentam variabilidade espacial pronunciada, com características climáticas diferenciadas (intensidade e disposição geográfica dos máximos e mínimos pluviométricos) entre os dois regimes sazonais. Os dados de precipitação do satélite TRMM indicaram que a ZCIT e a ZCAS são os principais sistemas meteorológicos do regime chuvoso, enquanto que os aglomerados convectivos, linhas de instabilidade e influências das bandas frontais posicionadas no nordeste brasileiro são os principais sistemas que explicam a distribuição pluviométrica do regime seco. A análise de tendências usando o teste de Mann-Kendall para o regime chuvoso demonstrou sinais de aumento sistemático de precipitação particularmente no oeste, centro e nordeste do Pará e norte do Tocantins. Para o regime seco, há sinais de tendências positivas significantes no oeste/sudeste do Pará, contudo ressaltam-se os padrões de neutralidade (sem tendências) em grande parte do Maranhão e alguns setores do norte/nordeste do Pará.

Palavras- chaves: Teste de Mann-Kendall, Climatologia da Amazônia, Precipitação regional.

CLIMATOLOGICAL RAINFALL PATTERNS AND TRENDS IN THE RAINY AND DRY REGIMES IN EASTERN AMAZON

ABSTRACT: This paper presents a contribution to the dynamic climatology aspects of the eastern Amazon, based on the observational analysis of the 40-yr historical series (1975 to 2014) of precipitation from 30 meteorological stations in the states of Pará, Maranhão and Tocantins. The results showed that the climatological rainfall patterns in the rainy (January to May) and dry (July to November) regimes presented a pronounced spatial variability with different climatic characteristics (intensity and geographic position of pluviometric maximum and minimum) between the two seasonal regimes. Precipitation data from the TRMM satellite indicated that the ITCZ and SACZ are the main meteorological systems of the rainy regime, while the convective complexes, instability lines and influences of the frontal bands located in the Brazilian northeast are the main

systems that explain the rainfall distribution of the dry regime. Trend analysis using the Mann-Kendall test for the rainy regime showed signs of systematic increase of precipitation particularly in the west, central and northeast of Pará and northern Tocantins. For the dry regime, there are signs of significant positive trends in the west/southeast of Pará, however, the neutrality patterns (without trends) are highlighted in most of Maranhão and some sectors of the north/northeast of Pará.

Keywords: Mann-Kendall test, Amazon climatology, Regional precipitation

1. INTRODUÇÃO

A precipitação pluviométrica é uma das variáveis mais importantes nos estudos do clima da Amazônia (DE SOUZA et al., 2009), devido sua ampla variabilidade nas escalas temporal (diária, mensal, sazonal, anual e decadal) e espacial (local, regional, continental e global). Considerando o ciclo anual (variações ao longo dos doze meses do ano) da precipitação, a Amazônia exibe máximos durante os meses do verão e outono (regime mais chuvoso, tipicamente no primeiro semestre) e mínimos durante os meses de inverno e primavera (regime seco, geralmente no segundo semestre). A maioria dos trabalhos anteriores sobre o clima da Amazônia priorizaram suas análises para o regime chuvoso e reportaram que os sistemas meteorológicos principais que modulam a distribuição pluviométrica regional são a Zona de Convergência Intertropical – ZCIT (DE SOUZA e ROCHA, 2006), a Zona de Convergência do Atlântico Sul - ZCAS (CARVALHO et al., 2004) e as Linhas de Instabilidade – LI (COHEN et al., 1995). Trabalhos científicos com abordagem específica para o regime seco são escassos e se restringem a estudos de casos e de modelagem numérica acerca dos sistemas convectivos que contribuem para a ocorrência de chuva na forma de pancadas localizadas, tais como a manifestação das LI e Aglomerados ou Complexos Convectivos (FISCH et al., 1998; LOPES et al., 2013). Outros trabalhos avaliaram a influência de sistemas extratropicais, ou seja, dos sistemas frontais advindos do sul do Brasil que intensificam a atividade convectiva tropical e provocam precipitação especialmente na porção sul/sudeste da Amazônia (AMORIM NETO et al., 2015).

Outra temática cientifica relevante para a Amazônia é a detecção e análise de tendências climáticas de longo prazo. Marengo (2009) estabeleceu dois índices de precipitação representativos do setor norte e sul da Amazônia e suas análises observacionais indicaram que, ao invés de tendências lineares, a hidrometeorologia amazônica apresenta ciclos de variabilidade nas escalas de variabilidade interanual a interdecadal no período 1902/2008. Tais resultados são similares aos encontrados por Costa e Foley (1999) que reportaram condições estáveis de precipitação num período de 20 anos (1976-1996), baseado numa abordagem do ciclo hidrológico considerando a bacia amazônica como um todo. Satyamurti et al. (2010), baseado nas séries de precipitação de estações de 1925 a 2007, detectaram sinais de ligeira queda linear da precipitação e sinais mistos de tendência positiva/negativa em pontos individuais sobre a porção central e ocidental da Amazônia, o que torna difícil a interpretação e confirmação da existência de tendências regionais.

O presente trabalho apresenta uma contribuição aos aspectos da climatologia dinâmica da Amazônia oriental, através de uma abordagem observacional que inclui tanto as análises dos padrões climatológicos de precipitação sazonal e dos sistemas associados, como também a verificação das

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

tendências regionais. Tais investigações são conduzidas com base no conjunto dos dados históricos da rede de estações meteorológicas considerando um período de 40 anos (1975 a 2014) e também da precipitação estimada pelo satélite TRMM para um período de 17 anos (1998 a 2014). Portanto, os objetivos primordiais deste trabalho são: 1) investigar a distribuição espacial da precipitação climatológica com enfoque para os regimes chuvoso e seco da Amazônia oriental (notadamente os estados do Pará, Maranhão e Tocantins), avaliando a modulação dos mecanismos ou sistemas que explicam a variabilidade pluviométrica sazonal; 2) verificar a existência das tendências de longo prazo nos dados das estações meteorológicas para os regimes chuvoso e seco da Amazônia oriental.

2. DADOS E METODOLOGIA

Os dados de precipitação foram extraídos do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMET) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Estes dados consistem de médias mensais de janeiro de 1975 a dezembro de 2014 provenientes de 30 estações meteorológicas situadas irregularmente sobre a porção oriental da Amazônia Legal Brasileira, englobando os estados do Pará, Maranhão, centro-norte do Tocantins, norte do Mato Grosso e sul do Amapá, conforme ilustra a Figura 1. A Tabela 1 na seção de resultados mostra a listagem das estações e os detalhes com os nomes e localizações (latitude e longitude).

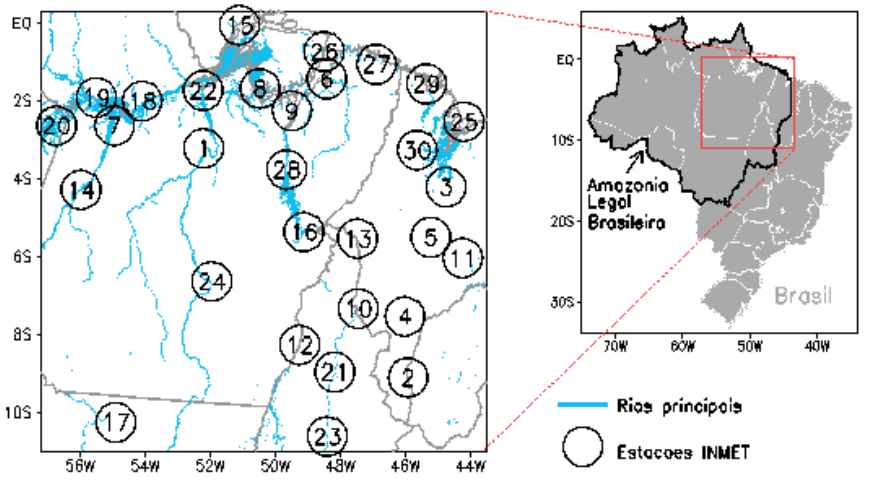

Figura 1 – Área de estudo sobre a Amazônia oriental com a localização geográfica das 30 estações meteorológicas do INMET.

Usam-se também os dados de precipitação do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission – TRMM, através do algoritimo 3B42 V7 que combina os dados de vários sensores e estimativas multi-satélites (HUFFMAN et al., 2007). Os dados do TRMM encontram-se disponíveis para uma grade com resolução horizontal de 0.25° no período de 1998 a 2014.

Para a Amazônia oriental, considera-se como regime chuvoso a média entre os meses consecutivos de janeiro a maio (JFMAM) e o regime seco a média entre os meses sucessivos de julho a novembro (JASON), sendo junho e dezembro os meses de transição. Assim sendo, foram calculadas as médias de

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

JFMAM e de JASON para cada uma das 30 estações do INMET entre os anos de 1975 a 2014. A média climatológica foi obtida para todo o período de dados, ou seja, média de 40 anos, visando a investigação da distribuição espacial do volume de chuva nos dois regimes sazonais sobre a Amazônia oriental. Estes cálculos também foram feitos para a grade do TRMM no domínio entre 60°W/25°W e 2°N/25°S.

Com a finalidade de se identificar os mecanismos ou sistemas meteorológicos atuantes nos regimes chuvoso e seco, foram calculadas as correlações entre as séries temporais de chuva considerando média do grupo de estações selecionadas sobre as porções nordeste e sudeste da Amazônia e a grade de precipitação do TRMM. A configuração espacial da correlação permite distinguir a atuação dos padrões associados aos principais sistemas meteorológicos precipitantes.

Para as análises das tendências da pluviometria nos regimes chuvoso e seco da Amazônia oriental correspondente ao período de 1975 a 2014, emprega-se o teste não paramétrico de Mann-Kendall (HIRSCH et al., 1982) no qual através de funções estatísticas busca-se a hipótese nula Ho da não existência de tendência (ou seja, a série é aleatoriamente ordenada no tempo), contra a hipótese alternativa H1 em que há uma tendência monotônica de aumento ou redução de precipitação. O teste fornece o TAU de Kendall cujo sinal positivo ou negativo indica tendência crescente ou decrescente, sendo que calcula-se o valor-p para aceitar ou rejeitar a hipótese alternativa. No presente trabalho, dar-se-á ênfase para os valores de TAU estatisticamente significantes ao nível de 10% e 5%. A magnitude do TAU indica a intensidade da tendência, tal que valores que ultrapassam ±0.2 são considerados fortes, valores entre ±0.18 e ±0.20 são considerados médios e valores entre ±0.1 e ±0.18 são considerados fracos. O TAU entre □0.1 e +0.1 indica condições de neutralidade (sem tendências).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

CLIMATOLOGIA DA PRECIPITAÇÃO E MECANISMOS ASSOCIADOS

A Figura 2 mostra a precipitação climatológica (média histórica de 40 anos, 1975 a 2014) nos regimes chuvoso e seco da Amazônia oriental.

O regime chuvoso de JFMAM (Fig. 2a) apresenta precipitação variando de 125 a 400 mm, sendo que destaca-se no setor nordeste da região a presença de uma grande área contendo máximos de precipitação (valores entre 300 e 400 mm). Essa região de máximo pluviométrico ocorre notadamente no sul do Amapá, nordeste do Pará, ilha de Marajó e norte do Maranhão, incluindo toda a faixa litorânea destes estados. No oeste/sudoeste do Pará notam-se valores entre 250 e 300 mm, enquanto que na região que envolve o sul/sudeste do Pará, norte do Mato Grosso e grande parte do Tocantins verificam-se valores oscilando entre 200 e 250 mm. Os mínimos pluviométricos do regime chuvoso se restringem-se ao sul do Maranhão com valores entre 125 e 200 mm.

Por outro lado, o regime seco de JASON (Fig. 2b) apresenta precipitação entre 50 e 150 mm/mês, com a presença de duas regiões, ao norte e ao sul, exibindo valores mais intensos. Na área ao sul, abrangendo o sul/sudeste do Pará, norte do Mato Grosso e centro/sul do Tocantins, notam-se precipitação

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

entre 100 e 150 mm/mês. Na área ao norte, a precipitação entre 75 e 125 mm/mês engloba o sul do Amapá e norte/nordeste do Pará, com um centro pronunciado de chuva atingindo 150 mm sobre a região metropolitana de Belém. Nas demais áreas da região, oeste/centro/leste e litoral do Pará, sul do Maranhão e norte do Tocantins, verificam-se volumes pluviométricos entre 50 e 75 mm. Destaca-se uma grande área no centro-norte do Maranhão em que observa-se precipitação abaixo de 50 mm, caracterizando a região mais seca deste período.

Concernente aos mecanismos que explicam a distribuição da precipitação climatológica nos regimes chuvoso e seco, analisam-se as Figuras 3 e 4 com os respectivos mapas espaciais de correlação entre as séries temporais dos grupos de estações selecionadas (números dispostos na Figura 2.) e a grade de precipitação do satélite TRMM referente ao período de 1998 a 2014. A configuração espacial das correlações permite identificar o sistema meteorológico principal atuante na região.

Para o regime chuvoso, as correlações obtidas para a série temporal de precipitação média do grupo de estações localizadas ao nordeste da Amazônia oriental (oito estações: 6-Belém, 8-Breves, 15-Macapá, 25-SãoLuis, 26-Soure, 27-Tracuateua, 28-Tucurui e 29-Turiaçu) revelam um padrão espacial de correlação positiva abrangendo áreas sobre a Amazônia oriental, norte do nordeste brasileiro e áreas oceânicas adjacentes. A presença de uma grande faixa contendo correlações significantes (acima de 0.7), estendendo-se zonalmente desde os estados do Pará, Maranhão e Piaui até o Oceano Atlântico equatorial sul, evidencia claramente o posicionamento da banda de nebulosidade convectiva da ZCIT atuando sobre esta região (Fig. 3a). Por outro lado, as correlações para a série temporal do grupo de estações situadas ao sul/sudeste da Amazônia oriental (seis estações: 10-Carolina, 12-Conceição do Araguaia, 14-Itaituba, 17-Matupá, 21-Pedro Afonso e 24-São Felix do Xingu) demonstram um padrão espacial contendo correlações positivas compreendendo uma grande área com orientação meridional que se alonga desde o sudeste amazônico, passando pelas regiões centro-oeste e sudeste do Brasil até o Oceano Atlântico subtropical (Fig. 3b). Essa configuração espacial de correlações com orientação NW/SE se assemelha diretamente com a manifestação da ZCAS induzindo a ocorrência de precipitação especialmente no sudeste do Pará e grande parte dos estados do Mato Grosso, Tocantins, Goiás, Minas Gerais e Espírito Santo.

Para o regime seco, nota-se no mapa de correlações positivas para o grupo de estações do nordeste da Amazônia oriental (cinco estações: 6-Belém, 8-Breves, 9-Cametá, 15-Macapá e 22-Porto de Moz) um área pequena sobre o nordeste do Pará e ilha de Marajó. Esta configuração relaciona-se com a atuação de aglomerados convectivos ou linhas de instabilidade que se constituem nos sistemas meteorológicos de meso escala que provocam precipitação em áreas isoladas da região (Fig. 4a). De outro modo, o padrão de correlações positivas para o grupo de estações ao sul/sudeste da Amazônia oriental (cinco estações: 12-Conceição do Araguaia, 17-Matupá, 21-Pedro Afonso, 23-Porto Nacional e 24-São Felix do Xingu) indica o aparecimento de uma grande faixa inclinada meridionalmente sobre a porção sudeste amazônica e a região nordeste do Brasil (Fig. 4b). Esta conformação espacial neste período associa-se a influência de sistemas frontais que adentram o Brasil, de forma que a banda frontal deslocando-se sobre a Bahia e Oceano Atlântico subtropical também promove

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

interações dinâmicas e organizam a atividade convectiva sobre a Amazônia, com ocorrência de precipitação especialmente no sudeste do Pará, centro-sul do Maranhão e grande parte do Tocantins.

Portanto, os resultados supracitados da climatologia de precipitação indicam claramente a existência de alta variabilidade espacial ao longo da Amazônia oriental, com características climáticas distintas (disposição geográfica dos máximos e mínimos e principalmente da intensidade da chuva, ver Figura 2) entre os dois regimes chuvoso e seco. A modulação dos mecanismos dinâmicos explica grande parte desta variabilidade pluviométrica, com a preponderância da ZCIT e da ZCAS sendo os principais sistemas do regime chuvoso, enquanto que os aglomerados convectivos e linhas de instabilidade, assim como a incursão sinótica das frentes frias propagando-se pela Bahia e organizando a convecção amazônica, são os principais sistemas do regime seco, conforme indicam os padrões espaciais das correlações entre as séries de grupo de estações e a grade do TRMM (ver respectivas Figuras 3 e 4).

Pesquisas anteriores que abordaram a estação chuvosa na Amazônia reportaram máximos de chuva climatológica nos estados do Amazonas e Pará (FIGUEROA e NOBRE, 1990; DE SOUZA et al., 2000; LOPES et al., 2013), cuja variabilidade pluviométrica associa-se com a ZCIT sobre o Atlântico equatorial sul (DE SOUZA et al., 2004; AMANAJÁS e BRAGA, 2012) principalmente nos meses de março e abril, e também com a ZCAS formando bandas de convecção na porção centro-sul da Amazônia, primordialmente nos meses de dezembro a fevereiro (CARVALHO et al., 2004). De Souza e Rocha (2006) mostraram que os eventos extremos de chuva no litoral do Pará (Bragança) se associam diretamente ao posicionamento da ZCIT no Atlântico sul. Ferreira et al. (2015), analisando os padrões de chuva durante o pico da estação chuvosa da Amazônia (fevereiro a abril) no período de 1983 a 2012, demonstraram que a ZCIT é o principal mecanismo indutor de precipitação em grande parte do Maranhão e Pará. Vieira et al. (2013) propuseram um índice de chuva da ZCAS continental afetando o sul da Amazônia, tal que a composição de 28 episódios mostraram a ocorrência de chuva mais intensa na área tropical entre o Mato Grosso, Tocantins e sul/sudeste do Pará, onde a convergência de umidade em superfície possui papel importante no padrão dinâmico atmosférico deste sistema. Não obstante, há carência de estudos sobre a climatologia de precipitação enfocando particularmente o regime seco da Amazônia oriental. Lopes et al. (2013) calcularam uma climatologia (1978/2007) e mostraram que os índices pluviométricos abaixo de 100 mm é a característica principal das estações de inverno e primavera austral no estado do Pará, devido a manifestação de sistemas locais e de meso escala. Cohen et al. (1989) e (1995) comprovaram que a circulação de brisa dispara a formação de Linhas de Instabilidade costeiras e que se propagam continente adentro, tal que este sistema corresponde a cerca de 45% da precipitação no leste paraense. Amorim Neto et al. (2015) estudaram algumas características observadas de 16 eventos de frentes frias afetando as condições meteorológicas sobre a Amazônia, sendo que os padrões de precipitação acima da média foram verificados nos estados do Amazonas e sudoeste/sudeste do Pará, durante os meses de inverno. No presente estudo, os resultados da climatologia de precipitação dos regimes chuvoso e seco da Amazônia oriental (Figura 2), bem como os padrões de correlações entre os grupos de estações selecionadas na Amazônia oriental e a grade de precipitação

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

do TRMM (Figuras 3 e 4) corroboram com os achados dos artigos anteriores acima assinalados.

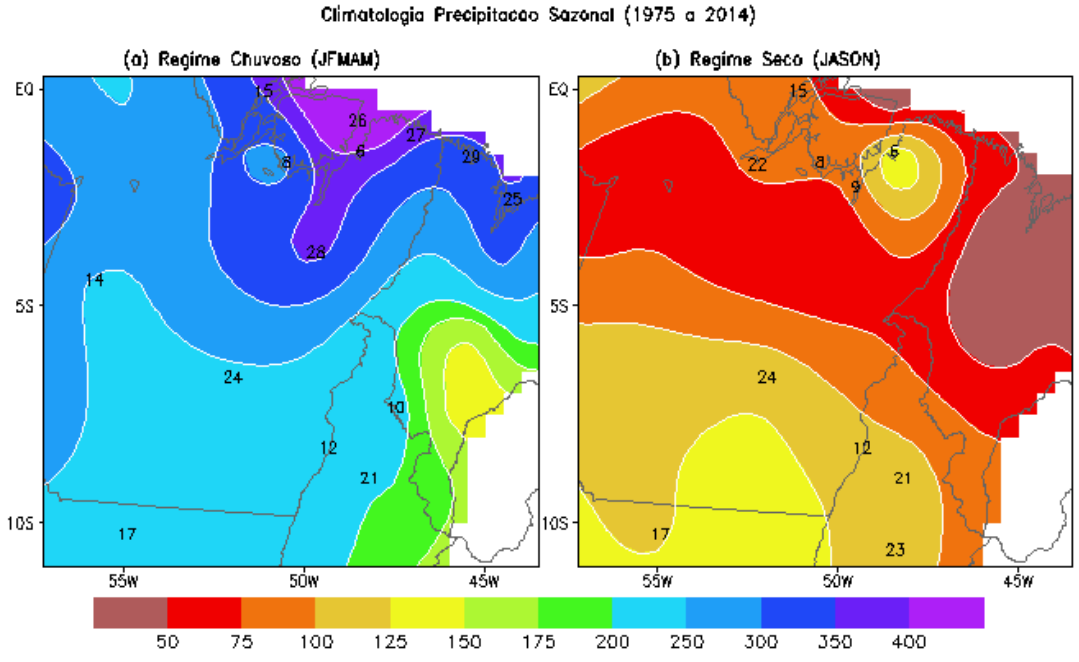

Figura 2 - Precipitação (mm/mês) climatológica (média 1975 a 2014) da Amazônia oriental para os regimes (a) chuvoso (JFMAM) e (b) seco (JASON). Os números indicam as posições das estações meteorológicas (lista na Tabela 1) que são usadas para extrair séries temporais de grupos de estações selecionadas.

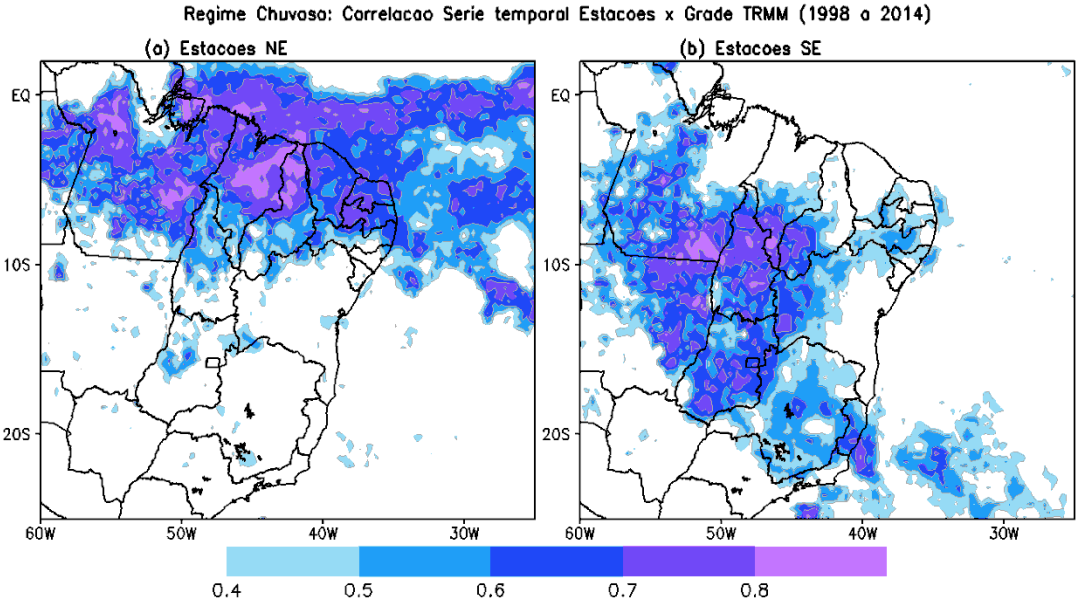

Figura 3 - Correlações da precipitação do regime chuvoso entre as séries temporais dos grupos de estações selecionadas na porção (a) nordeste e (b) sul/sudeste da Amazônia oriental e a grade do TRMM no período de 1998 a 2014. Somente correlações positivas acima de 0.4% foram plotadas, conforme escala de cores abaixo da figura.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

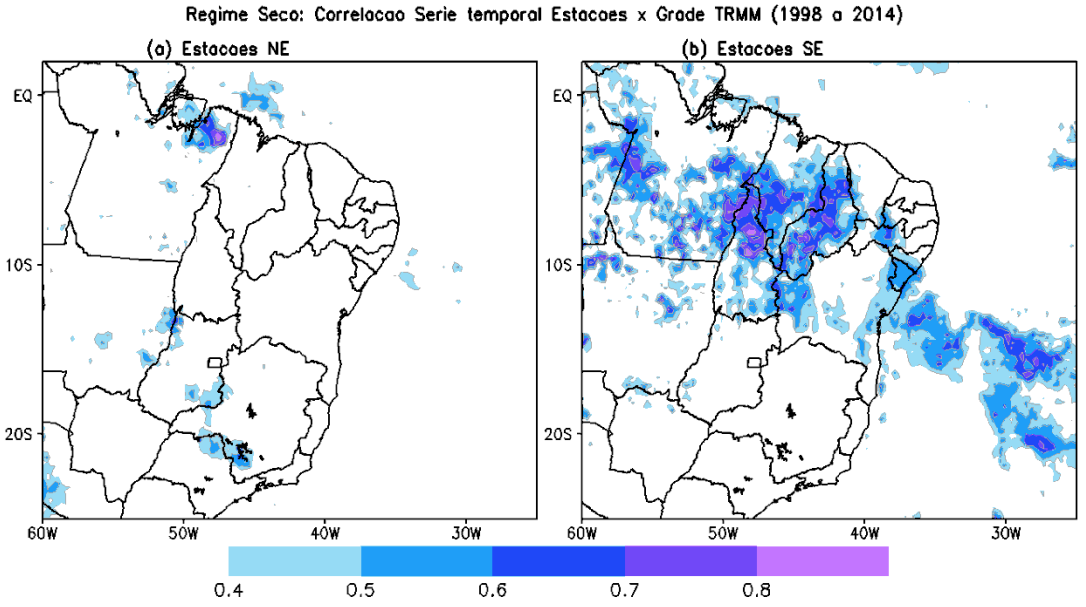

Figura 4 - Correlações da precipitação do regime seco entre as séries temporais dos grupos de estações selecionadas na porção (a) nordeste e (b) sul/sudeste da Amazônia oriental e a grade do TRMM no período de 1998 a 2014. Somente correlações positivas acima de 0.4% foram plotadas, conforme escala de cores abaixo da figura.

TENDÊNCIAS DA PRECIPITAÇÃO

A Tabela 1 mostra os valores do TAU e valor-p obtidos no teste de Mann-Kendall aplicado às séries temporais (1975 a 2014) da precipitação observada nos regimes chuvoso e seco nas 30 estações da Amazônia oriental. O sinal e a magnitude do TAU indicam o sentido e grau ou intensidade da tendência, sendo que o valor-p com os símbolos * e ** indica que a tendência é estatisticamente significante ao nível de 10% e 5%, respectivamente. Para uma melhor discussão e visualização desses resultados, a Figura 5 mostra o mapa com a distribuição espacial das tendências, cuja análise a seguir destaca os pontos mais importantes desta análise observacional.

Para o período chuvoso (Fig. 5a), evidenciam-se tendências positivas significantes (aumento sistemático da precipitação) concentradas principalmente no oeste do Pará (seis estações: Itaituba, Parintins, Monte Alegre, Belterra e Porto de Moz), bem como em pontos individuais no centro (Altamira) e nordeste (Belém) do Pará, no sudoeste do Maranhão (Carolina) e no norte do Mato Grosso (Matupá). Notam-se tendências positivas sem significância estatística no centro do Tocantins e sul do Maranhão. Inversamente, verificam-se tendências negativas (diminuição sistemática da precipitação) apenas nas localidades de Macapá e Soure que ficam próximo à faixa litorânea do Amapá e Pará e também no extremo sul do Maranhão (Alto Parnaíba). Por outro lado, condições de neutralidade são notadas nas estações do leste do Pará e centro-norte do Maranhão. Para o período seco (Fig. 5b), ressalta-se a predominância de neutralidade (sem tendências) nas séries de precipitação de sete estações localizadas nas porções oeste, leste e nordeste do Pará e também em sete estações do Maranhão. No tocante as tendências positivas, observam-se sinais significantes nas estações de Itaituba, São Felix do Xingu e Conceição do

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Araguaia (situadas nas porções sudoeste e sudeste do Pará) e uma no norte do Mato Grosso. Pontos individuais de tendência negativa significante são evidenciados no oeste do Maranhão (Zé Doca) e no sul do Tocantins (Porto Nacional). Um trabalho similar a abordagem do presente estudo foi conduzido por Satyamurti et al. (2010) usando maior densidade de estações sobre a porção ocidental da Amazônia e somente cinco estações sobre a Amazônia oriental. Em geral, os resultados reportados por Satyamurti são concordantes com as tendências mostradas na Figura 5 para as localidades de Parintins, Santarém, Itaituba e Belém.

Tabela 1 - Valores do TAU e valor-p obtidos no teste de Mann-Kendall para a precipitação dos regimes chuvoso e seco das 30 estações sobre a Amazônia oriental. Simbolos * e ** indicam significância ao nível de 10% e 5%.

No.	Nome da estação – sigla do estado	Lon	Lat	Regime Chuvoso		Regime Seco	
				TAU	valor-p	TAU	valor-p
1	ALTAMIRA - PA	-52,21	-3,21	0,190*	0,085	0,136	0,217
2	ALTO PARNAIBA - MA	-45,93	-9,10	-0,127	0,263	-0,078	0,489
3	BACABAL – MA	-44,76	-4,21	0,041	0,715	-0,098	0,386
4	BALSAS – MA	-46,03	-7,53	0,158	0,163	0,073	0,514
5	BARRA DO CORDA – MA	-45,23	-5,50	0,130	0,239	0,064	0,560
6	BELEM – PA	-48,43	-1,43	0,241**	0,028	0,118	0,284
7	BELTERRA – PA	-54,95	-2,63	0,185*	0,093	0,105	0,300
8	BREVES – PA	-50,48	-1,68	0,156	0,187	-0,123	0,291
9	CAMETA – PA	-49,00	-2,65	0,009	0,933	-0,021	0,852
10	CAROLINA – MA	-47,46	-7,33	0,313**	0,004	-0,044	0,692
11	COLINAS – MA	-44,25	-6,33	0,132	0,242	0,123	0,271
12	CONCEICAO DO ARAGUAIA - PA	-49,26	-8,26	0,177	0,108	0,199*	0,066
13	IMPERATRIZ – MA	-47,48	-5,53	0,126	0,272	-0,084	0,458
14	ITAITUBA – PA	-55,98	-4,28	0,354**	0,001	0,346**	0,002
15	MACAPA – AP	-51,51	-0,05	-0,180*	0,099	-0,044	0,692
16	MARABA – PA	-49,13	-5,36	0,005	0,963	-0,128	0,244
17	MATUPA – TO	-54,91	-10,25	0,307**	0,050	0,490**	0,004
18	MONTE ALEGRE – PA	-53,80	-2,00	0,192*	0,081	0,079	0,470
19	OBIDOS – PA	-55,51	-1,61	0,136	0,217	0,087	0,428
20	PARINTINS – AM	-56,73	-2,63	0,251**	0,031	0,102	0,300
21	PEDRO AFONSO – TO	-48,18	-8,96	0,118	0,297	0,039	0,734
22	PORTO DE MOZ – PA	-52,23	-1,73	0,242**	0,030	-0,092	0,402
23	PORTO NACIONAL – TO	-48,41	-10,71	-0,028	0,799	-0,199*	0,060
24	SAO FELIX DO XINGU – PA	-51,96	-6,63	-0,060	0,627	0,199*	0,092
25	SAO LUIS – MA	-44,21	-2,53	0,018	0,870	-0,108	0,299
26	SOURE – PA	-48,71	-0,33	-0,159	0,149	-0,069	0,529
27	TRACUATEUA – PA	-46,90	-1,06	-0,018	0,875	-0,028	0,799
28	TUCURUI – PA	-49,66	-3,76	0,078	0,489	0,179	0,117
29	TURIACU – MA	-45,36	-1,56	0,004	0,970	-0,053	0,642
30	ZE DOCA - MA	-46,15	-3,26	0,099	0,377	-0,187*	0,089

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

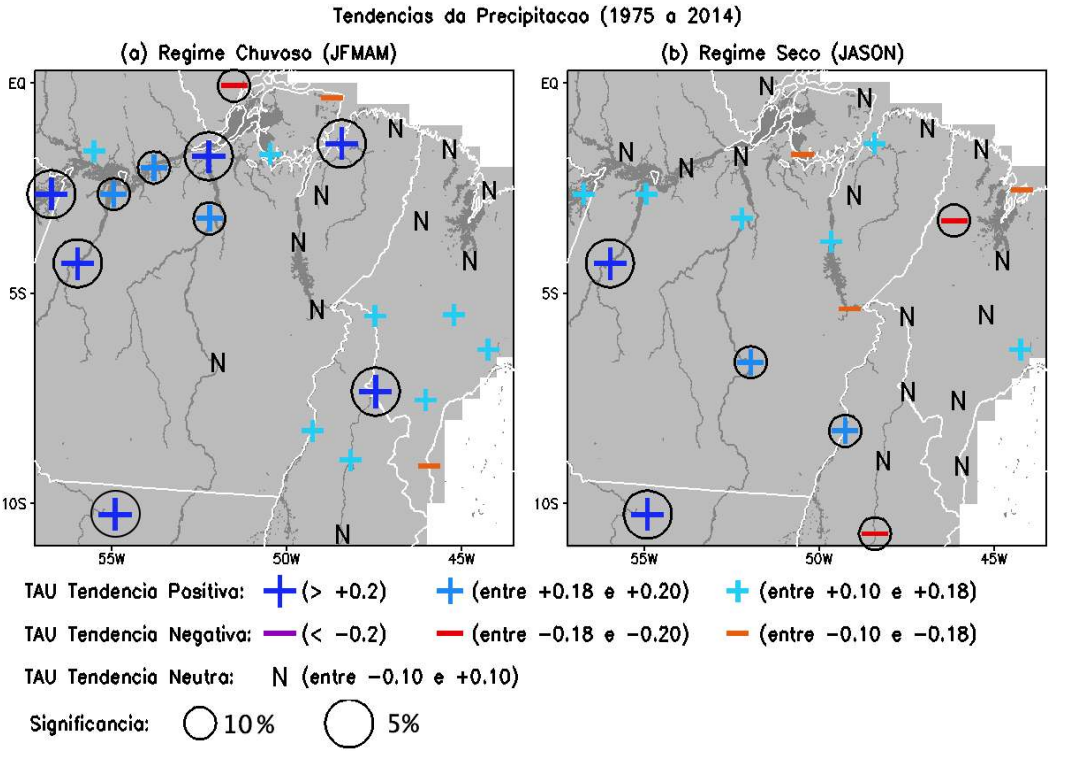

Figura 5 - Distribuição espacial das tendências de precipitação nas 30 estações sobre a Amazônia oriental para os regimes (a) chuvoso e (b) seco. Os símbolos +, □ e N indicam tendências positivas, negativas e neutras baseadas no valor do TAU de Mann-Kendall, sendo que os círculos destacam as tendências com significância estatística, conforme legenda na base da figura.

Com a finalidade de demonstrar a evolução temporal das tendências acima reportadas, foram calculadas e plotadas na Figura 6, as médias do conjunto de estações que apresentaram tendências de precipitação (somente aquelas com significância estatística obtidas no teste de Mann-Kendall) para cada regime sazonal. Embora com uma variabilidade interanual pronunciada, percebe-se na Figura 5 que as séries temporais de precipitação e respectivas linhas de tendência linear ilustram claramente a evolução temporal das tendências positivas e negativas nos últimos 40 anos. Baseado no valor médio extraído da linha de tendência linear, é possível estimar a magnitude da mudança da precipitação do início (1975 a 1980) ao final (2010 a 2014) considerando a série temporal dos anos estudados. Assim sendo, para o conjunto das oito estações com tendência positiva significante do regime chuvoso (Estações_TAU+, indicado na linha contínua azul claro), a precipitação evolui de cerca de 260 para 315 mm, ou seja, aumento de 55 mm ou cerca de +21%. Similarmente, para o conjunto das quatro estações com tendência positiva para o regime seco (Estações_TAU-, representado pela linha contínua vermelha), verifica-se a variação de 80 para 120 mm, representando um aumento de 40 mm ou aproximadamente -33%. A estação única que apresentou tendência negativa no regime chuvoso (Estação_TAU+, mostrado na linha tracejada azul escura) mudou de 370 para 330 mm, ou seja, diminuição de 40 mm ou cerca de -11%. O conjunto das duas estações com tendência

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

negativa no período seco (Estações_TAU-, indicado na linha tracejada laranja) evoluiu de 80 para 60 mm, ou seja, diminuição de 20 mm ou em torno de -25%.

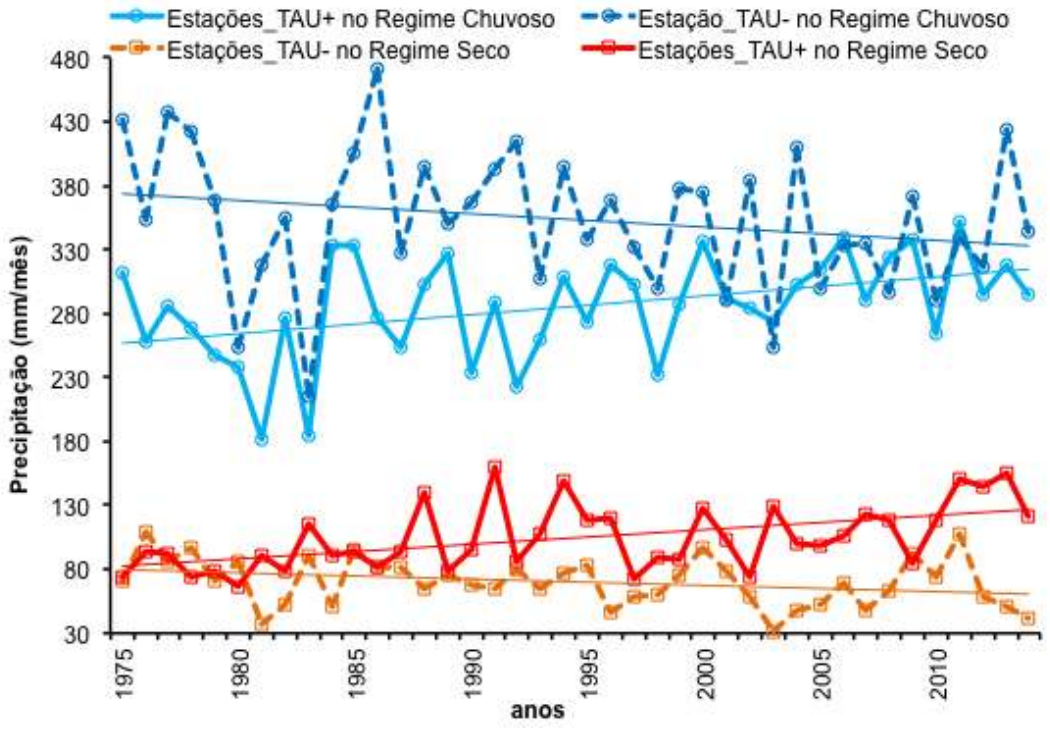

Figura 6 - Séries temporais de 1975 a 2014 da precipitação (mm/mês) obtida pela média do conjunto de estações que apresentaram tendências estatisticamente significantes no teste de Mann-Kendall. Estações_TAU+ e Estações_TAU- referem-se as médias de precipitação do grupo de estações com tendência positiva e negativa, respectivamente, para os correspondentes regimes chuvoso e seco. As linhas de tendência linear são mostradas nas linhas contínuas mais finas.

4. CONCLUSÃO

A análise observacional das séries históricas de 40 anos (1975 a 2014) dos dados de precipitação para 30 estações meteorológicas da Amazônia oriental (estados do Pará, Maranhão e Tocantins) permitiu se chegar nas seguintes conclusões fundamentais:

- Os padrões climatológicos de precipitação nos regimes chuvoso (janeiro a maio) e seco (julho a novembro) apresentam variabilidade espacial pronunciada, com características climáticas diferenciadas (intensidade e disposição geográfica dos máximos e mínimos pluviométricos) entre os dois regimes sazonais. A ZCIT e ZCAS são os principais sistemas meteorológicos do regime chuvoso, enquanto que os aglomerados convectivos, linhas de instabilidade e influências das bandas frontais posicionadas no nordeste brasileiro são os principais sistemas atuantes no regime seco;

- A análise de tendências para o regime chuvoso evidenciou sinais de aumento sistemático de precipitação no norte do Tocantins e grande parte do Pará nas áreas que incluem a região hidrográfica do rio Amazonas (de Santarém até Porto de Moz) e rio Tapajós (Itaituba), bem como também na região

metropolitana de Belém. Além disso, para o regime seco, ressaltam-se os padrões de neutralidade (sem tendências) em grande parte do Maranhão e alguns setores do norte/nordeste do Pará, contudo há também sinais de tendências positivas significantes no oeste/sudeste do Pará e norte do Mato Grosso.

5.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia oriental utilizando análise multivariada. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 27, n. 4, p. 423-434, 2012.

AMORIM NETO, A.; SATYAMURTY, P.; CORREIA, F. W. Some observed characteristics of frontal systems in the Amazon Basin. Meteorological Applications, v. 22, p. 617–635, 2015.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. Journal of Climate, v. 17, p. 88–108, 2004.

COHEN, J. C. P.; DIAS, M. A. F. S.; NOBRE, C. A. Environmental Conditions Associated with Amazonian Squall Lines: a case study. Monthly Weather Review, v. 123, p. 3163-3174, 1995.

COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidades da Amazônia. Climanálise, v. 4, n. 11, p. 34-39, 1989.

COSTA, M. H.; FOLEY, J. A. Trends in the hydrologic cycle of the Amazon Basin. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 104, n. D12, p. 14189–14198, 1999.

DE SOUZA, E. B.; KAYANO, M. T.; AMBRIZZI, T. The regional precipitation over the eastern Amazon/northeast Brazil modulated by tropical Pacific and Atlantic SST anomalies on weekly timescale. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 19, n. 2, p. 113–122, 2004.

DE SOUZA, E. B.; KAYANO, M. T.; TOTA, J.; PEZZI, L.; FISCH, G.; NOBRE, C. A. On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. Acta Amazonica, v. 30, n. 2, p. 305-318, 2000.

DE SOUZA, E. B.; LOPES, M. N. G.; ROCHA, E. J .P.; et al. Precipitação climatológica sobre a Amazônia oriental durante o período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 24, n. 2, p. 111-124, 2009.

DE SOUZA, E. B.; ROCHA, E. J. P. Diurnal variation of rainfall in eastern Amazonia during rainy season: mean characteristics and extreme events. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 21, p. 142-152, 2006.

DE SOUZA, E. B.; ROCHA, E. J. P. Diurnal variations of rainfall in Bragança-PA (eastern Amazon) during rainy season: mean characteristics and extreme events. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 21(3A), p. 142-152, 2006.

FERREIRA, D. B. S.; DE SOUZA, E. B.; MORAES, B. C.; MEIRA FILHO, L. G. Spatial and temporal variability of rainfall in eastern Amazon during the rainy season. The Scientific World Journal, v. 2015, Article ID 209783, p. 1-9, 2015.

FIGUEROA, S. N.; NOBRE, C. A. Precipitation distribution over central and western tropical South America. CLIMANÁLISE, v. 5, n. 6, p. 36-45, 1990.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. Acta Amazonica, v. 28, n. 2, p. 101-126, 1998.

HIRSCH, R. M.; SLACK, J. R.; SMITH, R.A. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. Water Resources Research, v. 18, p. 107-121, 1982.

HUFFMAN, G. J.; ADLER, R. F.; BOLVIN, D.T.; GU, G.; NELKIN, E. J.; BOWMAN, K.P.; STOCKER, E. F.; WOLFF, D.B. The TRMM multi satellite precipitation analysis (TMPA): quasi-global, multi-year, combined-sensor precipitation estimates at fine scales Journal of Hydrometeorology, v. 8, p. 38–55, 2007.

LOPES, M. N. G.; DE SOUZA, E. B.; FERREIRA, D. B. S. Climatologia regional da precipitação no estado do Pará. Revista Brasileira de Climatologia, v. 12, p. 84-102, 2013.

MARENGO, J. A. Long-term trends and cycles in the hydrometeorology of the Amazon basin since the late 1920s. Hydrological Processes, v. 23, p. 3236-3244, 2009.

SATYAMURTY, P; CASTRO, A. A.; TOTA, J.; GULARTE, L. E. S.; MANZI, A. O. Rainfall trends in the Brazilian Amazon Basin in the past eight decades. Theoretical and Applied Climatology, v. 99, n. 1-2, p. 139-148, 2010.

VIEIRA, S. O.; SATYAMURTY, P.; ANDREOLI, R. V. On the South Atlantic Convergence Zone affecting southern Amazonia in austral summer. Atmospheric Science Letters, v. 14, p. 1–6, 2013.