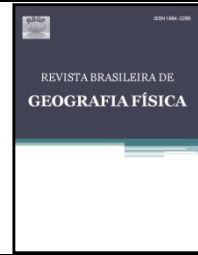




Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Identificação e caracterização de secas recentes na região Amazônica: Avaliação no contexto climático atual

Sérgio Rodrigo Quadros dos Santos¹, Clovis Angeli Sansigolo², Célia Campos Braga³ Theomar Trindade de Araujo Tiburtino Neves³ e Ana Paula Paes dos Santos⁵

^{1,2,5}Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – São José dos Campos-SP.

¹E-mail: sergiosantost@yahoo.com.br (autor correspondente).

²Professor associado da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) – Campina Grande-PB.

³Pesquisador DCTA-A no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) – Manaus- AM.

Artigo recebido em 10/07/2017 e aceito em 09/11/2017

RESUMO

No presente estudo foi utilizado o índice de precipitação normalizada (SPI) para identificar e caracterizar os eventos extremos secos na Amazônia, que ocorreram entre os anos de 1979 a 2014. Além disso, foi avaliada a evolução temporal destes eventos e quantificada a dimensão das áreas afetadas pelos mesmos. Os resultados mostraram que a seca de 1998 foi uma das mais intensas (SPI médio igual a -1,69) no período estudado. Contudo, pesquisas caracterizaram os anos de 2005 e 2010 como as duas secas mais intensas do século. Desta forma, também foi realizado um estudo comparativo entre essas secas. Sugere-se que o impacto das secas de 2005 e 2010 seja uma resposta as secas ocorridas em 1993-1994 e 1997-1998, uma vez que, apesar dos anos seguintes apresentarem eventos de chuvas as condições das secas ocorridas na década de 90 foram tão graves que a floresta não foi capaz de se recuperar totalmente.

Palavras-chave: Amazônia, Precipitação, Extremo, Seco, SPI.

Identification and characterization of the droughts in the Amazon region: Assessment on Current Climate Context

ABSTRACT

In the present study the Standardised Precipitation Index (SPI) was used to identify and characterize extreme dry events in Amazonia, which occurred in the period 1979 to 2014. In addition, it evaluated the temporal evolution of these events and quantified the dimension of the affected areas. The results showed that the 1998 drought was one of the most intense (SPI < -1.69) in the studied period. However, research characterized 2005 and 2010 as the two major droughts of the century. Thus, it was also carried out a comparative study of these droughts. It is suggested that the impact of the droughts 2005 and 2010 be a response to the droughts that occurred in 1993-1994 and 1997-1998. Since, Despite the following years presenting rainy events the conditions of the droughts occurred in the 90's were so severe that the forest was not able to fully recover.

Keywords: Amazon, Precipitation, Extreme, Dry, SPI.

Introdução

Estudos mostram que o Brasil é vulnerável às mudanças climáticas, especialmente quanto aos extremos climáticos. As áreas mais vulneráveis compreendem as Regiões Amazônica e o Nordeste do Brasil. Nas últimas décadas, a Amazônia passou por alguns eventos de secas extrema, o que chamou a atenção dos cientistas, não somente pelos impactos à população local, mas também porque as secas na Amazônia podem ter impactos

importantes sobre o clima global (Marengo et al., 2008; Marengo et al., 2011; Coelho et al., 2012).

A seca, quando comparada com outros eventos extremos mais recorrentes, e.g., as cheias, é reconhecida como um fenômeno que possui impactos igualmente adversos, mas que podem ser mitigados de modo efetivo. A ocorrência de uma seca e as suas consequências podem requerer bastante tempo até serem percebidas pelos sistemas socioeconômicos, pois tendem a evoluir

temporalmente de forma lenta. Em adição, os eventos extremos de seca na Amazônia podem estar associados com os seguintes fatores: (1) a ocorrência de eventos intensos de El Niño, (2) o aquecimento anômalo das temperaturas da superfície do mar no tropical Atlântico Tropical Norte durante o inverno-primavera austral, ou (3) ambos (Di Mauro et al., 2008; Santos, et al., 2011; Coelho et al., 2012; Cavalcanti, 2012; Marengo e Espinoza, 2015; Campos et al., 2015).

Uma maneira de aprimorar os estudos sobre eventos extremos de seca desenvolvidos nessas Regiões seria através da aplicação de técnicas que fossem capazes de caracterizar e definir padrões espaciais e temporais da potencialidade destes eventos McKee et al. (1993) propuseram o Índice de Precipitação Normalizada (SPI), para quantificar o déficit de precipitação nas diversas escalas de tempo. A versatilidade do SPI está na simplicidade do seu cálculo, além disso, ele identifica os eventos secos em diferentes escalas de tempo (3, 6, 12 meses, etc.), isto ajuda a monitorar a dinâmica temporal desses eventos, isto é, o desenvolvimento e declínio. Como é um índice padronizado a classificação das categorias de seca/chuva pode ser utilizada em qualquer região do globo (Hayes, 2000). Além disso, O SPI apresenta uma vantagem em relação aos demais índices, por exemplo, Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI), pois utiliza apenas dados mensais de precipitação, ou seja, não se faz necessário a utilização de outras variáveis meteorológicas na detecção dos eventos secos e chuvosos (Guttam, 1998). Criado nos Estados Unidos da América (EUA), o SPI tem sido empregado com frequência por pesquisadores em todo o mundo.

Neste contexto o presente estudo tem os seguintes objetivos 1) identificação e categorização os eventos de secas mais intensos no período de 1979 a 2014 utilizando o SPI; 2) Analisar a Evolução temporais destes eventos de secas; 3) quantificar a dimensão das áreas afetadas por estes eventos

Material e Métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado para a Amazônia Brasileira, compreendendo a área entre 5°N a 15°S e 74°W a 44°W. A região Amazônica é rica em biodiversidade e água doce, sendo importante para o mundo inteiro pois captura e armazena o carbono da atmosfera. Além disso, a Amazônia exerce um papel fundamental no clima da América do Sul por seu efeito sobre o ciclo hidrológico (Marengo et al., 2014).

Nesse estudo serão utilizados dados de precipitação mensal do Global *Precipitation Climatology Center* (GPCC) para o cálculo do SPI. A precipitação do GPCC é resultado de um esforço internacional para criar uma análise global de precipitação com frequência mensal sobre o globo terrestre (Adler et al., 2003), para isso utilizaram-se 9.343 estações distribuídas pelos continentes. A vantagem do GPCC é que se trata de medidas de precipitação *in situ*, que a princípio não deve estar sujeita aos erros de estimativas dos satélites. Adicionalmente, é importante destacar que o espaçamento horizontal utilizado foi de 2.5° latitude x 2.5° longitude, e o período considerado foi de 1979 a 2014.

Índice de Precipitação Normalizada (SPI)

Estudos realizados para diagnosticar a ocorrência das secas e chuvas severas em uma região podem evitar consequências graves à população, tanto em escala local como regional. Dessa forma, surge a necessidade de estudá-las por meio de índices quantificadores de secas e análises estatísticas, que determinam a intensidade, a duração e a frequência em que essas anomalias ocorrem. Um dos índices utilizado é o Índice de Precipitação Normalizada (SPI) proposto por McKee et al. (1993).

O índice de precipitação padronizada (SPI) foi usado para quantificar o déficit de precipitação em múltiplas escalas de tempo. Conceitualmente, o SPI é simplesmente a variável reduzida Z_i da distribuição normal da precipitação:

$$SPI = Z_i = \frac{(P_i - \bar{P}_i)}{\sigma_i} \quad (1)$$

onde i é a escala de tempo (1, 3, 6, 12 meses); P_i a precipitação observada; σ_i , respectivamente, a média e o desvio padrão da série ajustada.

Como a precipitação tem uma distribuição assimétrica, os dados são primeiro transformados para uma distribuição normal e em seguida são calculados como demonstrado na Equação (1). Mais detalhes e/ou considerações sobre esse cálculo podem ser encontradas em McKee et al. (1993 e 1995), Hayes et al. (2000), Sansigolo (2004) e Dos Santos et al. (2014), entre outros. Na Tabela 1 são ilustradas as classes do SPI, no entanto, para simplificar a interpretação dos resultados houve uma adaptação das classes sugeridos por McKee et al. (1993).

Índice de Precipitação Normalizada (SPI)

Com a identificação dos eventos extremos de chuva e seca, obtidos por meio do SPI, foram construídas séries temporais com informações

referentes as áreas atingidas por esses eventos. Para obter este objetivo as seguintes informações foram consideradas:

Uma vez que, 1° é aproximadamente 111 km e os dados de precipitação encontram-se na resolução de 2,5°x2,5°, tem-se que a área equivalente em cada ponto de grade dentro desta resolução é de aproximadamente 77.000 km². A partir destas informações, verificou-se quantos pontos de grade, dentro da Amazônia,

apresentaram valores de SPI superiores/inferiores a 1.5/-1.5.

É importante destacar que 5.020.000 km² é a área total da Amazônia, correspondente à área dos Estados da Região Norte (Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins), acrescidos da totalidade do Estado de Mato Grosso e dos municípios do Estado do Maranhão, situados à oeste do meridiano 44° (IBGE, 2016).

Tabela 1 - Classificação dos períodos secos e chuvosos do SPI, segundo McKee et al. (1993).

Valores de SPI	Classes	Probabilidade (%)
SPI < -1.50	Extremamente Seco	6,7
-1.49 a -0,5	Moderadamente Seco	14,9
-0.49 a 0.49	Quase Normal	28,4
0.5 a 1.49	Moderadamente Chuvoso	14,9
SPI > 1.50	Extremamente Chuvoso	6,7

Resultados e Discussão

Análise temporal dos SPI's sobre a Amazônia

Avaliando as séries temporais médias dos SPI's sobre a Região Amazônica, observa-se uma boa concordância temporal entre as séries dos SPI's. Nota-se ainda, de maneira geral, nas três escalas do SPI os anos de 1983, 1984, 1991, 1992,

1993, 1997, 1998 e 2005 apresentaram mínimos valores dos SPI's. Por outro lado, os anos de 1986, 1994, 2000, 2007 e 2009 apresentaram os máximos valores dos SPI's. Em adição, constata-se que no período estudado, os eventos secos foram mais intensos que os chuvosos (Figura 1).

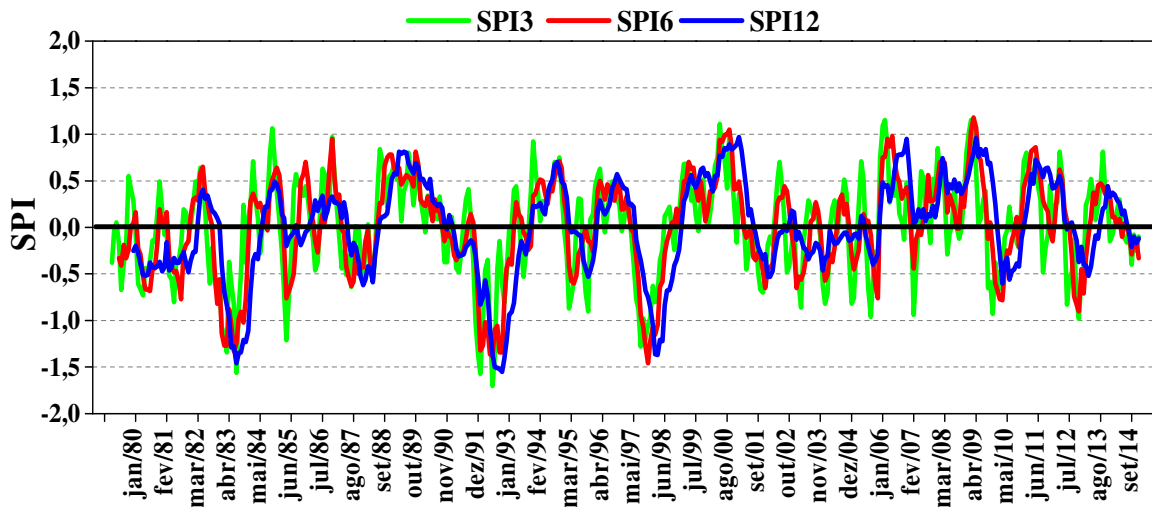


Figura 1 - Série temporal média do SPI-3, SPI-6 e SPI-12 na Região da Amazônia (5° N – 15°S; 75°W – 45°W). Séries calculada a partir dos bancos de dados do GPCC no período de 1979-2014.

De acordo com dados observados nas Tabelas 2 e 3, estes máximos e mínimos observados nos valores de SPI estão associados aos eventos ENOS e/ou Gradiente do Atlântico.

Considerando o contexto da dinâmica climática tropical, sabe-se que a variabilidade pluviométrica da Amazônia é modulada diretamente pelos padrões oceano-atmosfera de grande escala, associados ao ciclo do ENOS sobre

o Oceano Pacífico e as fases do gradiente meridional inter-hemisférico de anomalias de temperatura da superfície do mar (aTSM) sobre o Oceano Atlântico intertropical. Através de mudanças significativas nos padrões da circulação atmosférica associados às células de Walker e de Hadley. Interferindo na posição e intensidade das bandas de nebulosidade convectiva da ZCAS e ZCIT (Nobre e Shukla, 1996; Souza et al., 2000;

Molion e Bernardo, 2002; Souza et al., 2005; Souza et al., 2009; Lopes et al., 2013; Kayano, et al., 2013), modulando, portanto, a distribuição regional

da chuva na Amazônia e, conseqüentemente, os eventos secos e chuvoso.

Tabela 2 - Ocorrência de eventos de El Niño e La Niña durante o período de 1979 a 2014, e suas respectivas intensidades: evento fraco (*), evento moderado (**) e evento forte (***). Fonte: Adaptado de Dos Santos (2013).

Ocorrências de El Niño	Ocorrências de La Niña
1979-1980 *	1983-1984 *
1982-1983 ***	1984-1985 *
1986-1988 **	1988-1989 ***
1990-1993 ***	1995-1996 *
1994-1995 **	1998-2001 **
1997-1998 ***	2007-2008 ***
2002-2003 **	
2004-2005 *	
2006-2007 *	
2009-2010 *	

Tabela 3 - Ocorrência de eventos de eventos do Padrão de Dipolo no Atlântico Tropical. Fonte: Adaptado de Dos Santos (2013).

Dipolo Positivo	Dipolo Negativo
1966, 1970, 1978, 1979, 1980, 1981, 1992, 1997	1964, 1965, 1971, 1972, 1973, 1974, 1977, 1985, 1986, 1989

Visando compreender detalhadamente as grandes secas recentes na Amazônia, será realizada uma análise espacial dos SPI's obtidos através do GPCC para os anos de 1998, 2005 e 2010. Em 1998 foi observado um dos mínimos valores de SPI e os anos de 2005 e 2010 foram caracterizados como as duas maiores secas do século (Marengo et al., 2008; Marengo et al., 2011; Marengo e Espinoza, 2015).

Aspectos gerais da seca de 1998, 2005 e 2010.

Na análise espaço-temporal dos SPI's no ano de 1998 nota-se no mês de janeiro que grande parte da Amazônia apresenta regiões com eventos de extremos ($SPI < -1.5$) e moderados ($-0.5 > SPI > -$

1.49) de seca. Em abril de 1998, os valores e as áreas com eventos de secas (SPI's negativos) diminuem consideravelmente e uma pequena porção na parte central da Região passa a ter eventos moderados de chuva ($1.49 > SPI > 0.5$).

Um padrão contrastante entre a parte norte e sul da Região é observado em julho de 1998, onde na parte norte há predominância de eventos moderados e extremos de seca e na parte sul há eventos de moderados de chuva. Em outubro, também é constatado um contraste entre norte (eventos moderados e extremos de seca) e sul (eventos moderados de chuva) dos SPI's. Todavia, os SPI-3 e SPI-6 evidenciam maiores intensidades de seca na parte norte da Região (Figura 2).

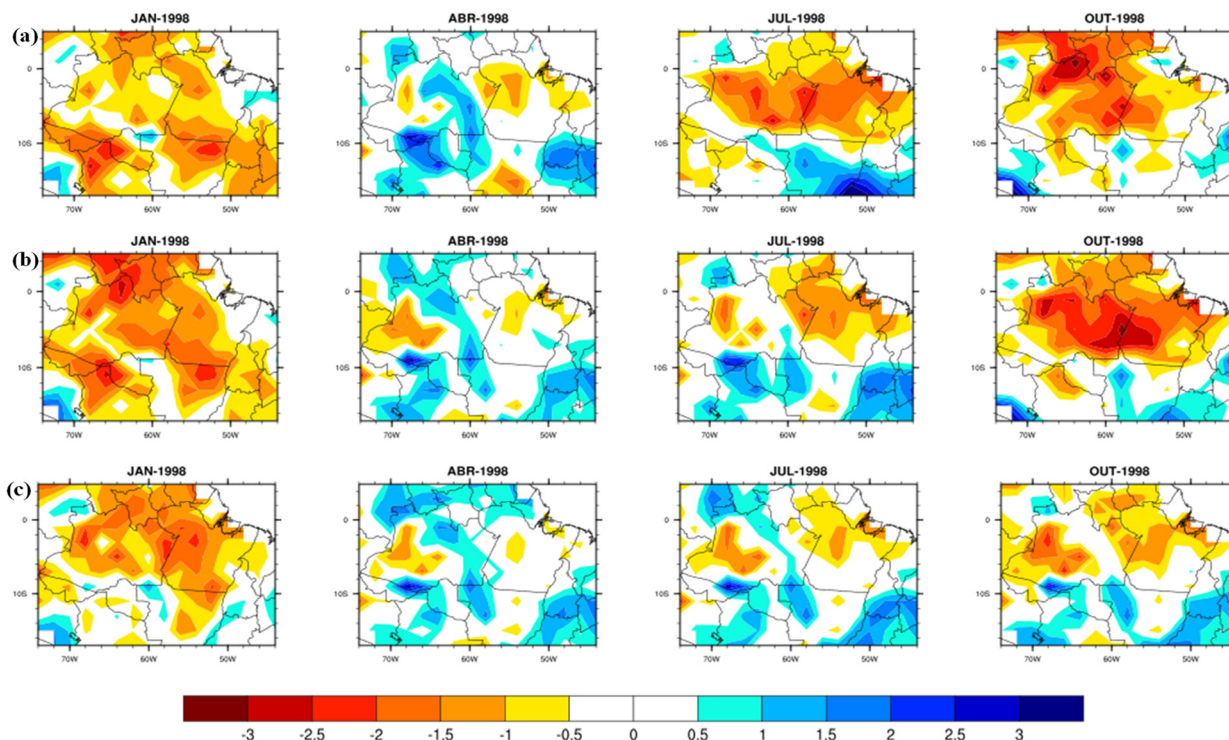


Figura 2 - Distribuição espaço-temporal do SPI-3 (a), SPI-6 (b) e SPI-12 (c) nos meses de janeiro, abril, julho e outubro de 1998. Os valores de SPI foram extraídos a partir dos dados de precipitação mensal do GPCC, no período de 1979-2014.

Avaliando a dimensão das áreas afetadas pelo extremo de seca de 1998 (Figura 2.1), observa-se, em termos médios, que área afetada por eventos extremos secos de curta (SPI-3), média (SPI-6) e longa (SPI-12) duração foram 509.000,00

km² (~10,14% da área total da Amazônia), 981.000,00 km² (~19,55% da área total da Amazônia) e 1.429.000,000 km² (28,47% da área total da Amazônia), respectivamente.

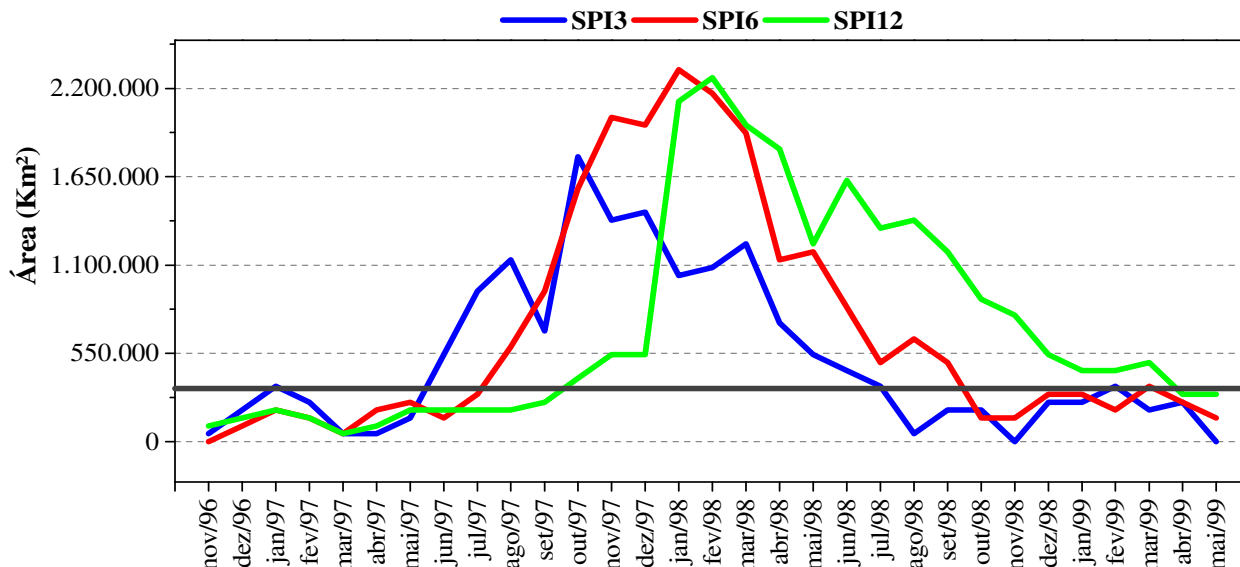


Figura 2.1 - Dimensão das áreas afetadas pelos eventos extremos de seca (SPI<-1.5) na Região da Amazônia (5° N – 15°S; 74°W – 44°W) nos SPI-3, SPI-6 e SPI-12 entre novembro de 1996 a maio de 1999. O cálculo do SPI foi realizado a partir dos de chuva mensal do GPCC. A linha preta assinala a probabilidade de ocorrência (6,7%) dos eventos extremos.

Os meses que apresentaram as maiores áreas com eventos extremos de seca (SPI<-1.5)

foram outubro de 1997 (SPI-3), janeiro (SPI-6) e fevereiro (SPI-12) de 1998, sendo que, os menores

valores do SPI foram observados na porção norte da Amazônia (Figura 2.2).

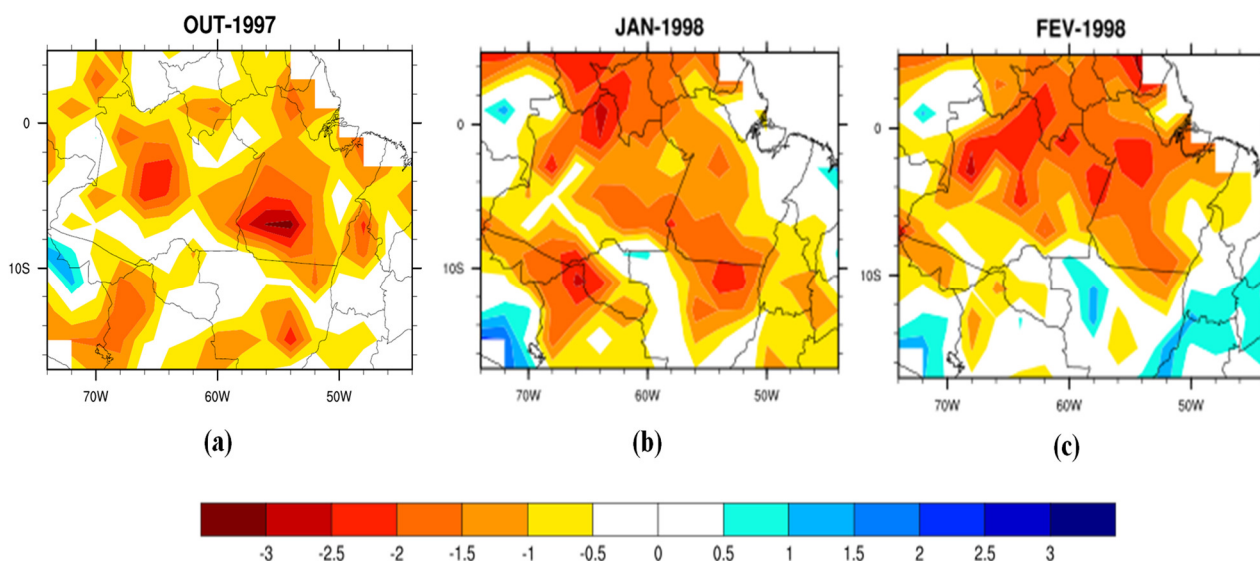


Figura 2.2 - Distribuição espacial do SPI-3 em outubro de 1997 (a), SPI-6 em janeiro de 1998 (b) e SPI-12 em fevereiro de 1998 (c) na Região da Amazônia (5° N – 15°S; 75°W – 45°W). Os valores de SPI foram extraídos a partir dos dados de chuva mensal do GPCC, considerando o período de 1979-2014.

Verificando os SPI-3, 6 e 12 meses médios sobre a porção norte da Amazônia onde constata-se os menores valores de SPI, observa-se que os valores são de fato negativos o ano todo,

excetuando os meses de outubro a dezembro onde os valores do índice são levemente positivos (Figura 2.3).

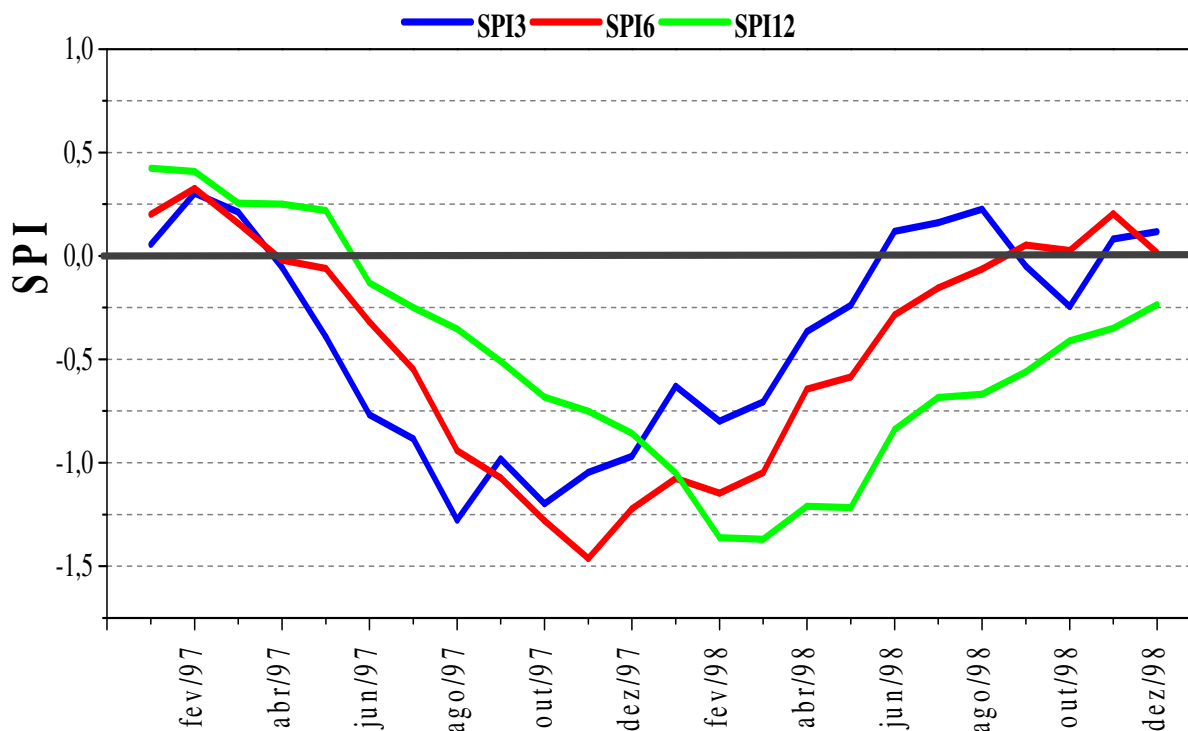


Figura 2.3 - Série temporal média do SPI-3, SPI-6 e SPI-12 entre janeiro de 1997 a dezembro de 1998 sobre a porção norte da Região Amazônica (5° N – 15°S; 75°W – 45°W). Os valores de SPI foram extraídos a partir dos dados de chuva do GPCC, considerando o período de 1979-2014.

Além disso, este evento extremo teve início em abril de 1997, sendo que os menores valores dos SPI's nesta Região foram observados entre outubro de 1997 a março de 1998, esta análise corrobora os resultados supracitados na **Error! Reference source not found.2**.

A **Error! Reference source not found.3** ilustra a distribuição espaço-temporal dos SPI's no

ano de 2005. Nota-se no mês de janeiro que há um grande contraste entre os valores negativos e positivos dos SPI's na Amazônia, isto é, existem tanto regiões com eventos moderados de seca ($-0.5 > \text{SPI} > -1.49$) como com eventos moderados de chuva ($1.49 > \text{SPI} > 0.5$).

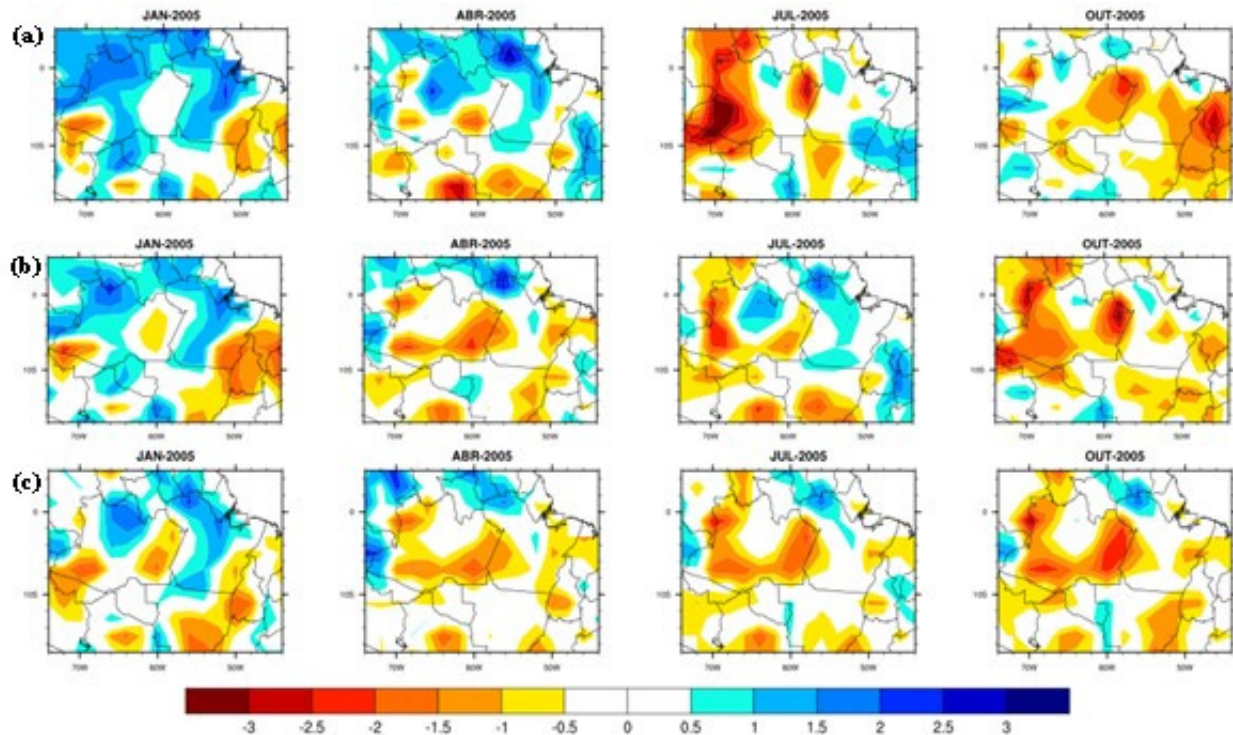


Figura 3 - Distribuição espaço-temporal do SPI-3 (a), SPI-6 (b) e SPI-12 (c) nos meses de janeiro, abril, julho e outubro de 2005. Os valores de SPI foram extraídos a partir dos dados de precipitação mensal do GPCC.

Este padrão se propaga até abril, no entanto, verifica-se na parte ocidental/central da Região áreas maiores de eventos moderados de seca, sendo mais expressivos no SPI-6 e SPI-12 (**Error! Reference source not found.3b** e **3c**). Estas áreas aumentam em julho, sendo mais expressiva no SPI-3 onde é possível notar eventos extremos de seca ($\text{SPI} < -1.5$) (**Error! Reference source not found.3a**). Em outubro, as áreas com eventos moderados de seca aumentam ainda mais, contudo no SPI-3 a um deslocamento dos valores negativo dos SPI's para a parte oriental da Região.

Ressalta-se, que o SPI-3 indica a evolução dos eventos de secas e chuvas a curto prazo, permitindo observar se houve atenuações ou agravamentos das situações secas e/ou chuvosas. Os SPI-6 e SPI-12 meses. Por outro lado,

permitem, tanto no início, como durante e no final dos eventos de secas e chuvas determinar, a médio e longo prazos, os impactos e as regiões atingidas pelas secas ou chuvas.

Analisando a dimensão das áreas afetadas pelo extremo de seca de 2005 (

Figura 3.1), constata-se em termos médios que área afetada por eventos extremos secos de curta duração (SPI-3) foi entorno de 611.944,00 km² (~12,19% da área total da Amazônia), para a média duração (SPI-6) foi de, aproximadamente, 611.943,00 km² (~12,19% da área total da Amazônia) e longa duração (SPI-12) foi próximo de 521.500,000 km² (~10,39% da área total da Amazônia).

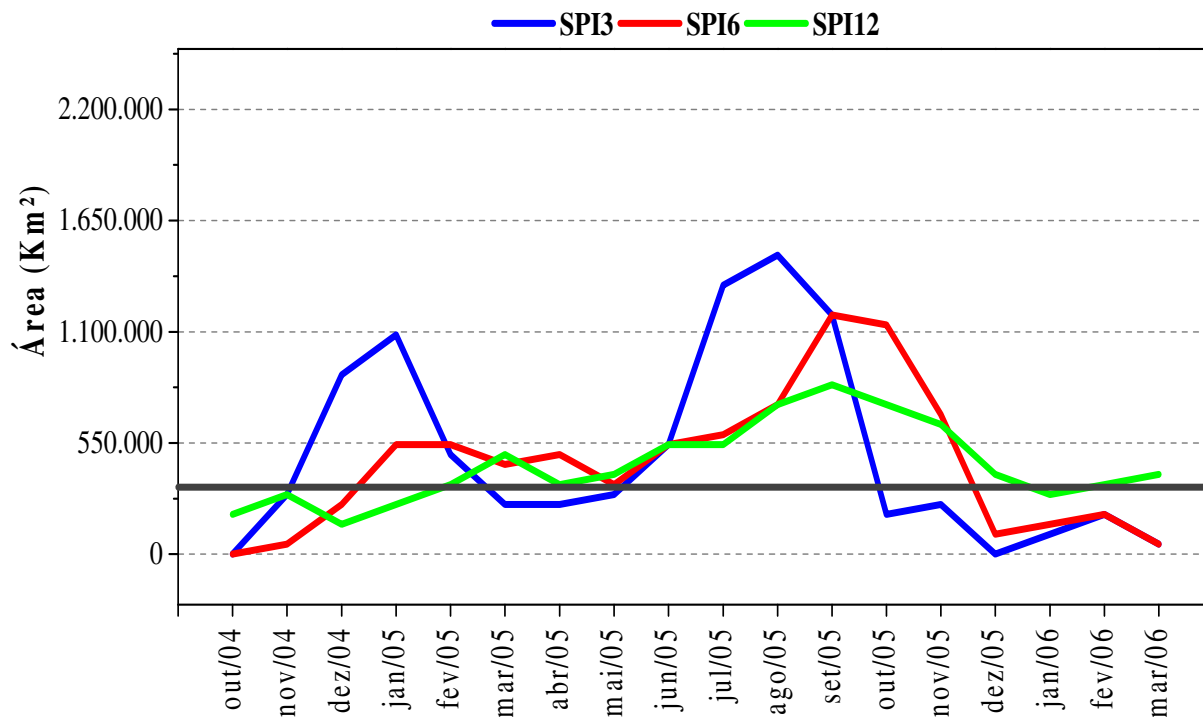


Figura 3.1 - Dimensão das áreas afetadas pelos eventos extremos de seca (SPI<-1.5) na Região da Amazônia (5° N – 15°S; 74°W – 44°W) nos SPI-3, SPI-6 e SPI-12 entre outubro de 2004 a março de 2006. O cálculo do SPI foi realizado a partir dos de chuva mensal do GPCC. A linha preta assinala a probabilidade de ocorrência (6,7%) dos eventos extremos.

Além disso, os meses que apresentaram as maiores áreas com eventos extremos de seca (SPI<-1.5) foram agosto (SPI-3) e setembro (para os SPI-6 e SPI-12) de 2005, e os menores valores de SPI se localizaram no leste da Amazônia (Figura 3.2).

No intuito de analisarmos mais detalhadamente as intensidades e duração do SPI-3, SPI-6 e SPI-12 sobre o leste da Amazônia, a Figura 3.3 apresenta a série temporal média dos

SPI's nesta Região. Nota-se que os menores valores do índice são observados entre julho a novembro de 2005.

Destaca-se que somente o SPI-12 apresentou valores negativos o ano inteiro de 2005, precisamente, os valores de SPI-12 eram negativos desde fevereiro de 2004. Por outro lado, as escalas 3 e 6 meses do SPI mostraram maior fluabilidade nos valores, evidenciando que estas escalas caracterizam os eventos de curto prazo.

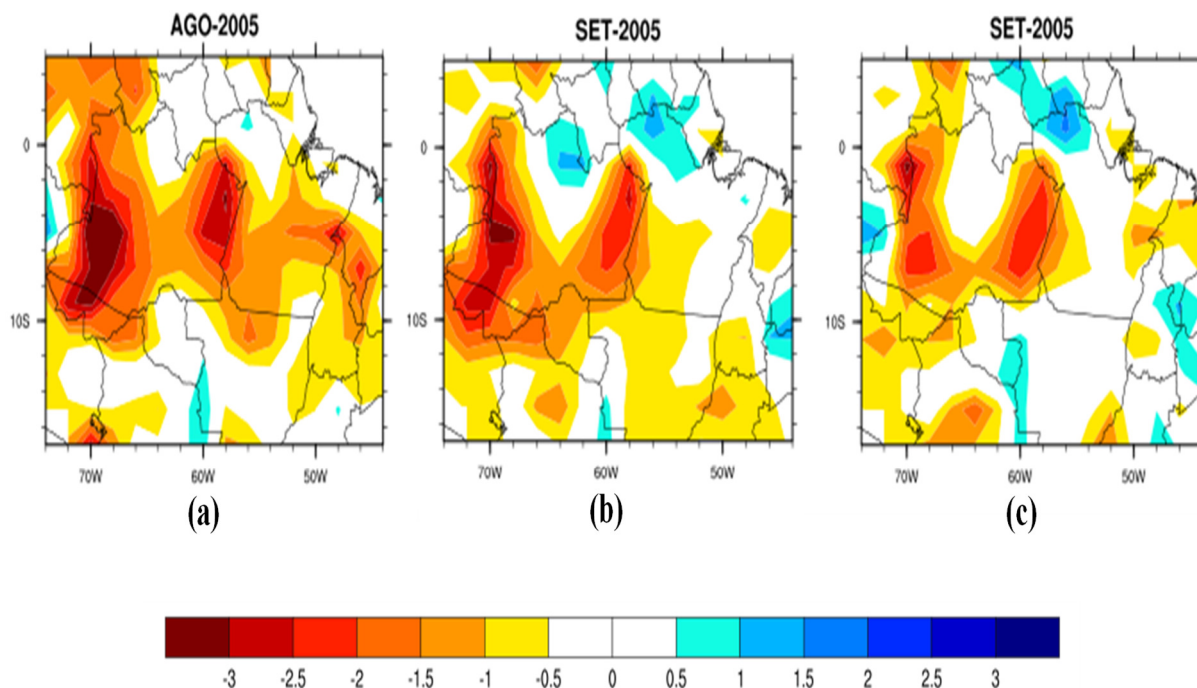


Figura 3.2 - Distribuição espacial do SPI-3 em agosto de 2005 (a), SPI-6 em setembro de 2005 (b) e SPI-12 em setembro de 2005 (c) na Região da Amazônia (5° N – 15°S; 75°W – 45°W). Os valores de SPI foram extraídos a partir dos dados de chuva mensal do GPCC, considerando o período de 1979-2014.

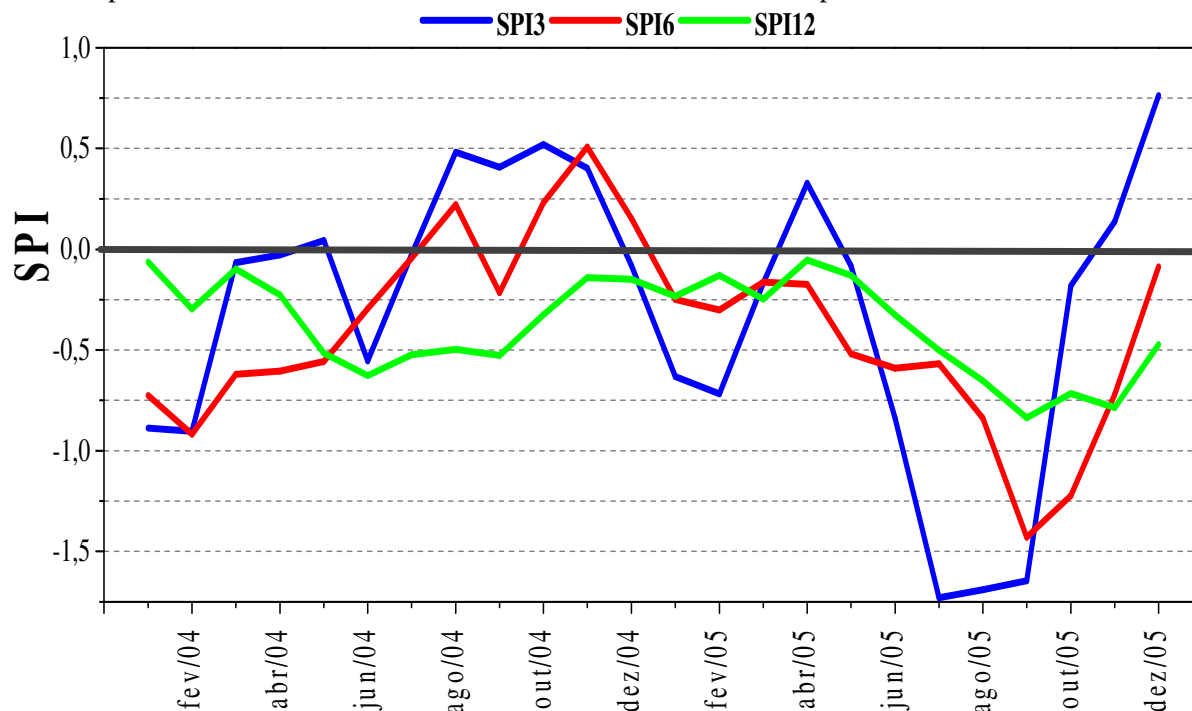


Figura 3.3 - Série temporal média do SPI-3, SPI-6 e SPI-12 entre janeiro de 2004 a dezembro de 2005 sobre a porção leste da Região Amazônica (5° N – 15°S; 75°W – 45°W). Os valores de SPI foram extraídos a partir dos dados de precipitação mensal do GPCC, no período de 1979-2014.

Avaliando o ano de 2010, observa-se, de modo geral, em janeiro eventos moderados de chuvas ($1,49 > \text{SPI} > 0,5$) pelo SPI-3 e SPI-6 no Estado do Pará (Amazônia oriental) e na porção nordeste do Mato Grosso. No Sudoeste da Amazônia, nota-se eventos moderados de seca ($-0,5 > \text{SPI} > -1,49$), sendo mais intensos no SPI-12.

Em abril, a Amazônia (excetuando a porção Noroeste) apresenta eventos extremos ($\text{SPI} < -1,5$) e moderados de seca, todavia nos SPI-6 e SPI-12 são notadas pequenas regiões na Amazônia com eventos moderados de chuva. As áreas observadas no sul da Região com secas aumentam em julho. Em outubro, a Amazônia apresenta pelos SPI's

eventos moderados e extremos de secas (SPI-3 e SPI-6). Como destacado anteriormente, o SPI-3 apresenta uma maior fluvariabilidade em seus valores, pois esta escala representa os eventos secos e chuvosos a curto prazo. Por sua vez, o SPI-

6 e SPI-12 apresentam uma menor fluvariabilidade em seus valores, uma vez que representam eventos secos e chuvoso a médio e longo prazo, respectivamente (Figura 4).

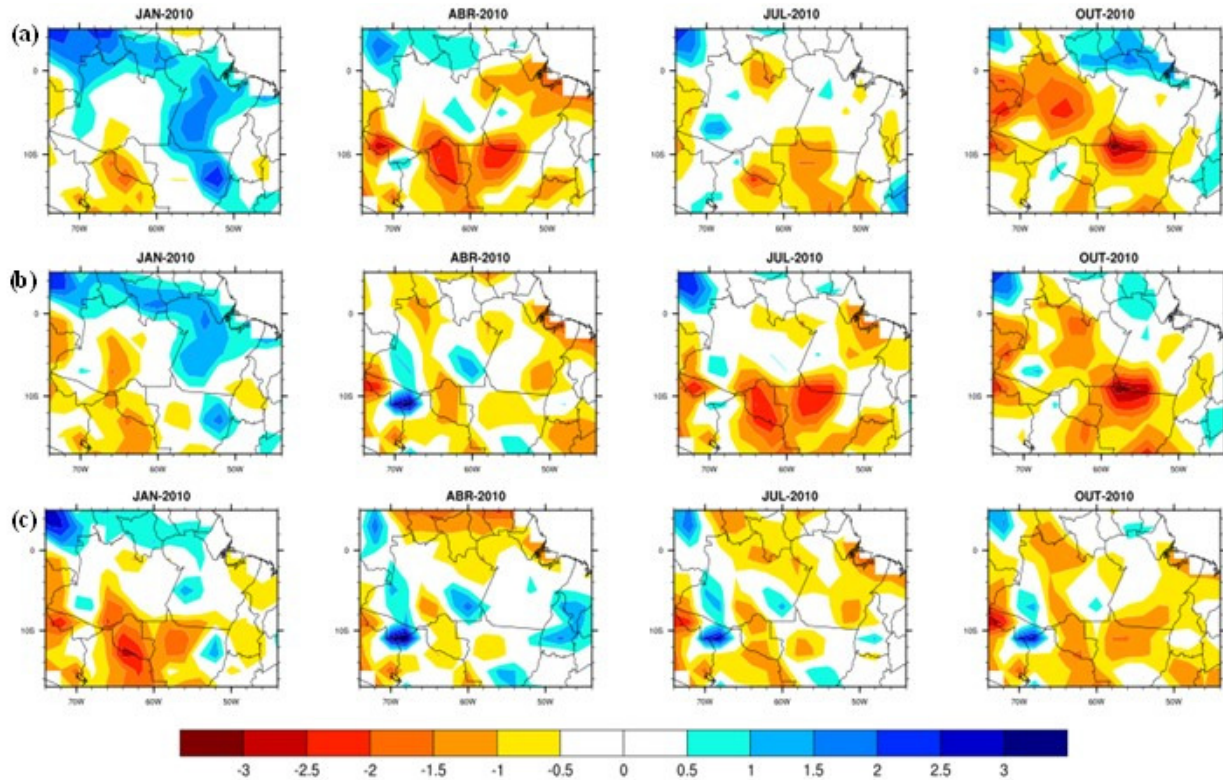


Figura 4 - Distribuição espaço-temporal do SPI-3 (a), SPI-6 (b) e SPI-12 (c) nos meses de janeiro, abril, julho e outubro de 2010. Os valores de SPI foram extraídos a partir dos dados de precipitação mensal do GPCC, no período de 1979-2014.

A Figura 4.1 mostra a dimensão das áreas afetadas pelo extremo de seca do de 2010. Nota-se, em termos médios, que área afetada por eventos extremos secos de curta (SPI-3), média (SPI-6) e longa (SPI-12) duração foram 722.000,00 km² (~14,39% da área total da Amazônia), 644.000 km² (~12,80% da área total da Amazônia) e 423.000,000 km² (~8,40% da área total da Amazônia), respectivamente.

A Figura 4.1 também evidencia que os meses de setembro (SPI-3 e SPI-6) e março (SPI-

12) de 2010 apresentaram as maiores áreas com eventos extremos de seca (SPI<-1.5), sendo que os menores valores do SPI foram observados na porção sul da Amazônia (Figura 4.2).

Em adição, a avaliação das séries temporais médias dos SPI's sobre o sul da Amazônia (Figura 4.3), mostram que os menores valores do índice são observados entre agosto e outubro de 2010, concordando com as análises da Figura 4.

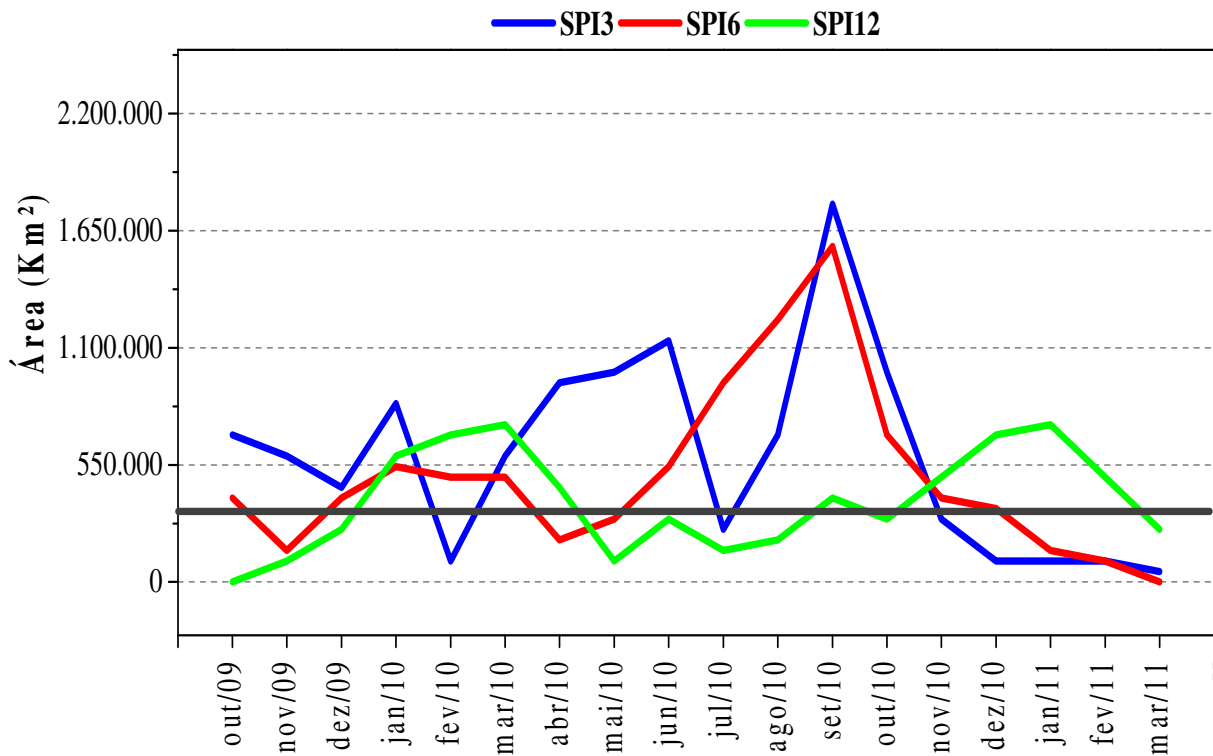


Figura 4.1 - Dimensão das áreas afetadas pelos eventos extremos de seca ($SPI < -1.5$) na Região da Amazônia ($5^{\circ} N - 15^{\circ} S$; $75^{\circ} W - 45^{\circ} W$) nos SPI-3, SPI-6 e SPI-12 entre outubro de 2009 a março de 2011. O cálculo do SPI foi realizado a partir dos de chuva mensal do GPCC. A linha preta assinala a probabilidade de ocorrência (6,7%) dos eventos extremos.

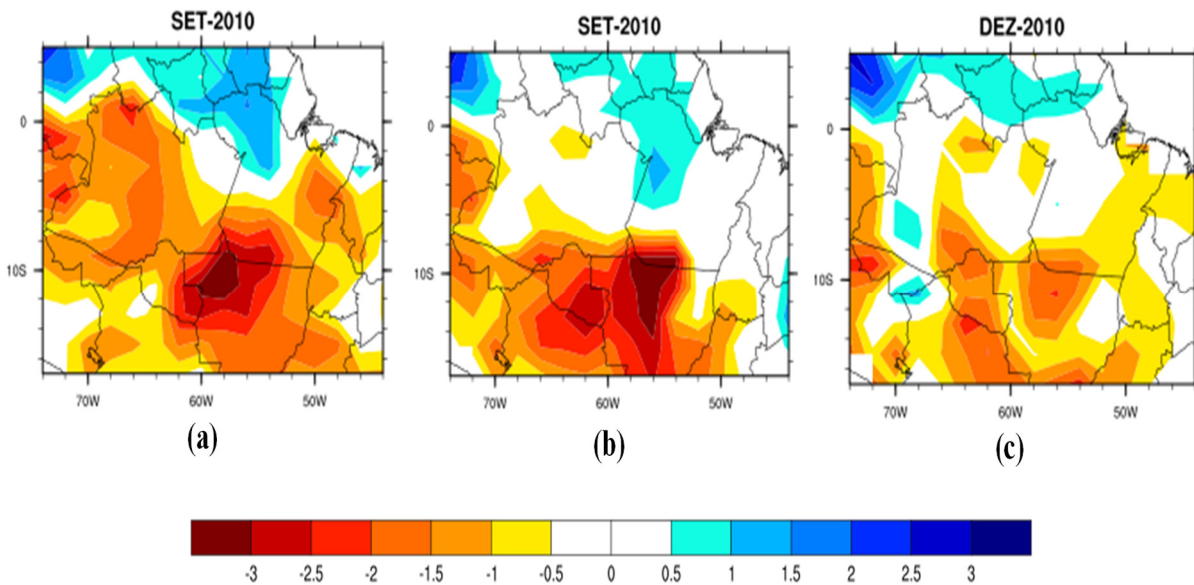


Figura 4.2 - Distribuição espacial do SPI-3 em setembro de 2010 (a), SPI-6 em setembro de 2010 (b) e SPI-12 em dezembro de 2010 (c) na Região da Amazônia ($5^{\circ} N - 15^{\circ} S$; $75^{\circ} W - 45^{\circ} W$). Os valores de SPI foram extraídos a partir dos dados de chuva mensal do GPCC, considerando o período de 1979-2014.

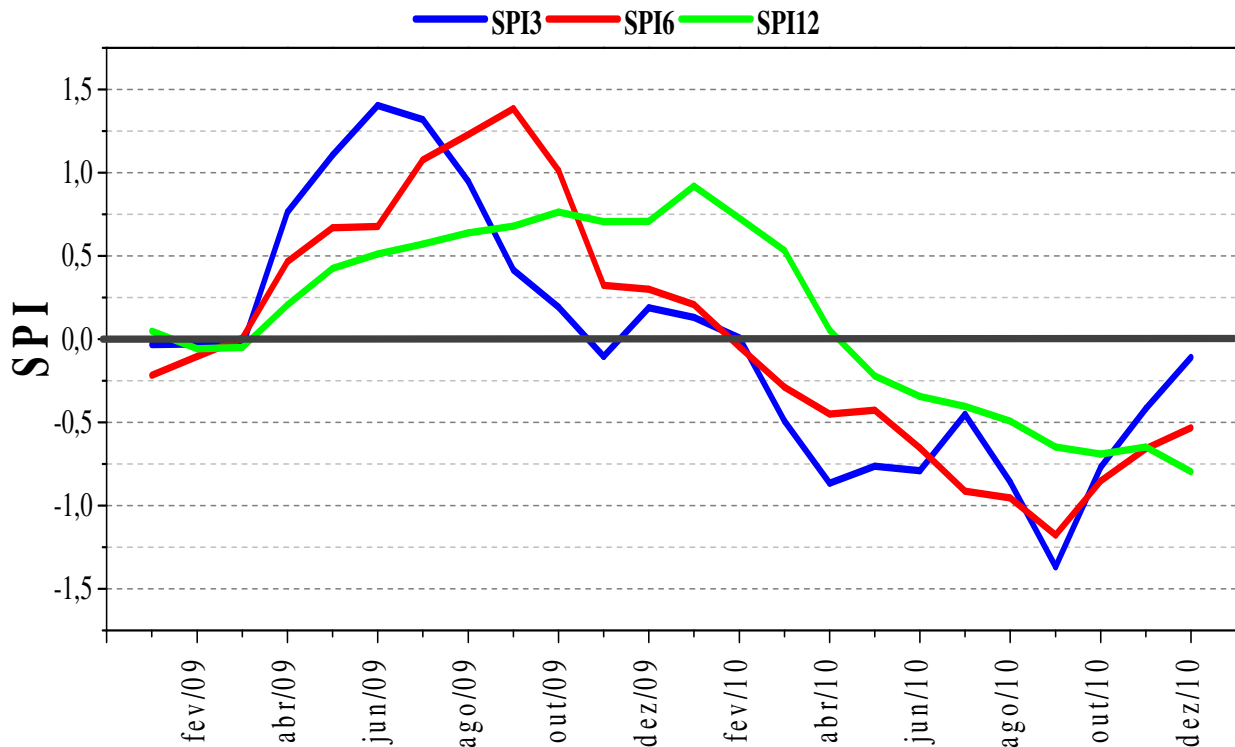


Figura 4.3 - Série temporal média do SPI-3, SPI-6 e SPI-12 entre janeiro de 2009 a dezembro de 2010 sobre a porção sul da Região Amazônica (5° N – 15°S; 75°W – 45°W). Os valores de SPI foram extraídos a partir dos dados de precipitação mensal do GPCC, no período de 1979-2014.

Conclusões

Nas últimas décadas, ocorreram eventos extremos de chuva e seca na Região Amazônica e estes eventos têm sido cada vez mais estudados devido aos impactos que causam nas atividades socioeconômicas e ambientais. Nesse sentido, inúmeros estudos têm sido produzidos para quantificar e caracterizar tais eventos, bem como propor estratégias de mitigação e adaptação. Assim, neste estudo foram identificados e categorizados os eventos de secas mais intensos no período de 1979 a 2014 utilizando o SPI.

No contexto histórico de secas na Amazônia algumas pesquisas evidenciam que as secas de 2005 e 2010 foram as duas maiores secas do século, apresentando semelhanças em termos de impactos, porém, as distribuições dos défices de precipitação foram diferentes na Amazônia. Entretanto, ao avaliar os eventos extremos secos e chuvosos utilizando o SPI, evidenciou-se que os menores valores de SPI foram observados em 1998, caracterizando-o como o evento mais extremo de seca. A intensidade deste evento extremo de seca diminuiu junto com a sua área de abrangência no decorrer dos meses.

Em contrapartida, as regiões leste e sul da Amazônia, que foram as mais atingidas pelas secas de 2005 e 2010, permaneceram com valores negativos dos SPI's por um longo tempo,

evidenciando que os impactos das secas de 2005 e 2010 foram maiores devido a sua persistência, quando comparado com a seca de 1998.

Além disso, a análise das áreas afetadas pelos eventos extremos de seca ($SPI < -1.5$) nos anos de 1998, 2005 e 2010, evidenciou-se que a seca de 1998 apresentou as maiores áreas com valores de SPI-3, SPI-6 e SPI-12 menores que -1.5. Ainda falando das dimensões de áreas afetadas pelos extremos de seca, destaca-se que a porção norte da Amazônia foi a mais afetada na seca de 1998 enquanto que as porções leste e sul foram as mais atingidas nas secas de 2005 e 2010, respectivamente.

Adicionalmente, apesar desses anos serem caracterizados como secos na Amazônia, notou-se que algumas regiões apresentaram eventos moderados chuva ($1,49 > SPI > 0,5$). Ressalta-se a versatilidade do SPI em identificar temporalmente/espacialmente eventos secos ou chuvosos nas diversas escalas de tempo.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela concessão de bolsa de doutorado do CNPq e juntamente com os demais autores, agradecemos ao GPCC pelos dados cedidos.

Referências

- Adler, R. F., Huffman, G. J., Chang, A., Ferraro, R., Xie, P. P., Janowiak, J., Gruber, A., 2003. The version-2 global precipitation climatology project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979–present). *Journal of hydrometeorology* 6, 1147-1167.
- Brown, I. F., Schroeder, W., Setzer, A., Maldonado, M., Pantoja, N., Duarte, A., & Marengo, J., 2006. Fires in rain forests of southwestern Amazonia: multi-national satellite imagery for monitoring and for informing the public. *EOS Trans* 87, 253-264
- Campos, T. L. O. B., Da Mota, M. A. S., Dos Santos, S. R. Q., 2015. Eventos extremos de precipitação em Belém-PA: uma revisão de notícias históricas de jornais. *Revista Ambiente & Água* 10, 182.
- Cavalcanti, I. F. A. 2012. Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: A review and case studies for the first decade of the 21st century. *Atmospheric Research* 118, 27-40.
- Coelho, C. A. S. Cavalcanti, I. A., Costa, S., Freitas, S. R., Ito, E. R., Luz, G., Pezza, A. B., 2012. Climate diagnostics of three major drought events in the Amazon and illustrations of their seasonal precipitation predictions. *Meteorological Applications* 19, 237-255.
- Dos Santos, S. R. Q., Braga, C. C., dos Santos, A. P. P., Campos, T. L. D. O. B., de Brito, J. I. B., 2014. Classificação de Eventos Extremos de Precipitação em Múltiplas Escalas de Tempo em Belém-PA: Utilizando o Índice de Precipitação Normalizada. *Revista Brasileira de Geografia Física* 7, 628-635.
- Dos Santos, S.R.Q. 2013. Determinação de regiões homogêneas do Índice de precipitação normalizada (SPI) no estado do Pará por meio da análise multivariada. *Dissertação-Universidade Federal de Campina Grande*.
- Di Mauro, G., Bonaccorso, G. B., Cancelliere, A., Rossi, G, 2008. Use of NAO index to improve drought forecasting in the Mediterranean area: Application to Sicily region. *Options Méditerranéennes. Série A: Séminaires Méditerranéens*, 80.
- Guttman, N. B. 1998. Comparing the Palmer drought index and the standardized precipitation index. *Journal of American Water Resource Association* 34, 113-121.
- Hayes, M. 2000. Revisiting the SPI: clarifying the process. *Drought Network News* 12, 13–14
- Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística (IBGE). 2016. *Informações dos estados brasileiros*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 dez.
- Lopes, M. N. G., Souza, E.B., Ferreira, D. B. S. *Climatologia regional da precipitação no estado do Pará*. *Revista Brasileira de Climatologia* 12, 84-102.
- Kayano, M. T.; Andreoli, R. V.; Ferreira de Souza, R. A. 2013. Relations between ENSO and the South Atlantic SST modes and their effects on the South American rainfall. *International Journal of Climatology* 33, 2008-2023.
- Marengo, J. A., Nobre, C. A., Tomasella, J., Oyama, M. D., Sampaio de Oliveira, G., De Oliveira, R., Brown, I. F., 2008. The drought of Amazonia in 2005. *Journal of Climate* 21, 495-516.
- Marengo, J. A., Tomasella, J., Alves, L. M., Soares, W. R., Rodriguez, D. A., 2011. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters* 38.
- Marengo, J. A., Espinoza, J. C. 2015. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology* 36, 1033-1050.
- Mckee, T.B, Doesken, N.J, Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. 179-184.
- Mckee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. 1995. Drought monitoring with multiple time scales. *9th Conference on Applied Climatology, Preprints, American Meteorological*, 233-236.
- Marengo, J. A., Chou, S. C., Torres, R. R.; Giarolla, A., Alves, L. M., Lyra, A. 2014. Climate change in Central and South America: Recent trends, future projections, and impacts on regional agriculture. *Relatório*.
- Marengo, J. A., Nobre, C. A., Tomasella, J., Cardoso, M. F., Oyama, M. D. 2008. Hydroclimatic and ecological behaviour of the drought of Amazonia in 2005. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 363, 1773-1778.
- Molion, L. C. B., Bernardo, S. O. 2002. Uma Revisão da Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia* 17, 1-10.
- Nobre, P., Shukla, J. 1996. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South American. *Journal of Climate* 9, 2464-2479.
- Santos, S. R. Q., Silva, R. B. C. D., Barreto, P. N., Nunes, H. G. G., Rodrigues, R. D. S., Campos, T. L. D. O. B., 2011. Thermal and hydrologic regime to soil at tropical forest area in year of El

- Niño and La Niña, Caxiuanã-PA: a case study. *Revista Brasileira de Meteorologia* 26, 367-374.
- Sansigolo, C. A. 2004. Análise comparativa do desempenho dos índices de seca de Palmer (PDSI) e da precipitação normalizada (SPI) em Piracicaba, SP (1917-2001). *Revista Brasileira de Meteorologia* 19, 237-242.
- Souza, E. B., Kayano, M. T., Ambrizzi, T. 2005. Intraseasonal and submonthly variability over the eastern Amazon and Northeast Brazil during the autumn rainy season. *Theoretical and Applied Climatology* 81, 177-191.
- Souza, E. B., Lopes, M. N.G., Rocha, E. J.P., Souza, J. R. S., Cunha, Alan. C., Silva, R. R., Ferreira, D. B.S., Santos, D. M., Carmo, A. M. C., Sousa, J. R. A., Guimarães, P. L., Mota, M. A. S., Makino, M., Senna, R. C., Sousa, A. M.L., Mota, G. V., Kuhn, P. A.F., Souza, P. F. S., Vitorino, M. I., 2009. Seasonal precipitation in eastern Amazon during rainy season: regional observations and RegCM3 simulations. *Revista Brasileira de Meteorologia* 24, 111-124.
- Souza, E. B., Kayano, M. T., Tota, J., Pezzi, L., Fisch, G., Nobre, C., 2000. On the influences of the El Niño, La Niña and atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. *Acta Amazônica* 30, 305-318.
- Saatchi, S., Asefi-Najafabady, S., Malhi, Y., Aragão, L. E., Anderson, L. O., Myneni, R. B., Nemani, R., 2013. Persistent effects of a severe drought on Amazonian forest canopy. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110, 565-570.