



# AVALIAÇÃO DE SECAS METEOROLÓGICAS POR DETECÇÃO REMOTA NO ARQUIPÉLAGO DO MARAJÓ: UMA INTERPRETAÇÃO ESPACIAL DOS DADOS DA CPC MORPHING TECHNIQUE

DROUGHT ASSESSMENTS THROUGH REMOTE SENSING  
IN THE MARAJÓ ARCHIPELAGO: A SPATIAL DATA  
INTERPRETATION OF CPC MORPHING TECHNIQUE

ÉVALUATION DE LA SÉCHERESSE PISTE À DISTANCE DANS  
L'ARCHIPEL DE MARAJÓ: INTERPRÉTATION DE DONNÉES  
SPATIALES DE LA TECHNIQUE CPC MORPHING

Jefferson Inayan de Oliveira Souto – Universidade do Estado do Pará – Belém – Pará – Brasil  
[inayansouto@gmail.com](mailto:inayansouto@gmail.com)

Norma Ely Santos Beltrão – Universidade do Estado do Pará – Belém – Pará – Brasil  
[normaely@uepa.br](mailto:normaely@uepa.br)

Renata Melo e Silva de Oliveira – Universidade do Estado do Pará – Belém – Pará – Brasil  
[renata.oliveira@uepa.br](mailto:renata.oliveira@uepa.br)

## Resumo

A região Amazônica é altamente suscetível a secas severas que ocasionam profundos impactos na dinâmica do regime hidrológico, biodiversidade e socioeconômica. Neste artigo, analisamos a capacidade do CPC MORPHing technique em diagnosticar eventos de seca no Arquipélago do Marajó, com base em indicadores de extremos climáticos e no índice Standardized Precipitation Index. Dados do Reanálise foram utilizados para identificar os padrões atmosféricos entre os anos de 2004 a 2016. A análise das séries espaciais calculadas sugere que os eventos de seca são fortemente influenciados pelas anomalias positivas do Oceano Pacífico e Atlântico Tropical Norte, causando um déficit pluviométrico. Os índices de precipitação mostram uma redução no acumulado anual úmido, com menores e maiores valores no CWD e CDD, respectivamente. Frequências de SPI com categorias de seca moderada (-1.0 a -1.49) e severa (-1.49 a -1.99) são observadas, causando um atraso no fluxo hidrológico. Em resumo, os dados do CPC MORPHing podem ser usados para o monitoramento confiável de secas meteorológicas de curto prazo, já que existem limitações temporais para escalas de tempos maiores.

Palavras-chave: Precipitação. CPC MORPHing. SPI. Amazônia.

## Abstract

The Amazon region is highly susceptible to severe droughts that cause profound impacts on the dynamics of the hydrological, biodiversity and socioeconomic regimes. In this study, we analyze CPC MORPHing technique was utilized to diagnose drought events in the Marajó Archipelago, based on indicators of climatic extremes and the Standardized Precipitation Index. Data from the Reanalysis was used to identify the atmospheric patterns between the years 2004 to 2016. The analysis of the calculated spatial series suggests that drought events are

strongly influenced by the positive anomalies of the Pacific Ocean and North Tropical Atlantic, leading a deficit rainfall. Indices related to precipitation show a decrease in the annual rainfall accumulations, being possible to observe smaller and higher values in the CWD and CDD, respectively. SPI frequencies were observed with moderate (-1.0 to -1.49) and severe (-1.49 to -1.99) drought categories, causing a delay in hydrological flow. In summary, CPC MORPHing data can be used for reliable monitoring of short-term meteorological droughts, as there are temporal limitations for longer time scales.

Keywords: Rainfall. CPC MORPHing. SPI. Amazon.

## Résumé

La région amazonienne est très exposée aux sécheresses graves qui cause profondes répercussions sur la dynamique du régime hydrologique, de la biodiversité et socio-économique. L'étude analyse la capacité de la technique CPC MORPHing pour diagnostiquer les épisodes de sécheresse dans l'archipel de Marajó, sur la base d'indicateurs d'extrémités climatiques et de l'indice Standardized Precipitation Index. Les données de la réanalyse ont été utilisées pour identifier le modèles atmosphériques entre 2004 et 2016. L'analyse de la série spatiale calculée suggère que les épisodes de sécheresse sont fortement influencés par les anomalies positives de l'océan Pacifique et de l'Atlantique Nord tropical, causant un déficit pluviométrique. Indices de précipitation montrent une réduction de l'accumulation humide annuelle, avec des valeurs inférieures et supérieures dans CWD et CDD, respectivement. Fréquences SPI avec des catégories de sécheresse modérée (-1,0 à -1,49) et sévères (-1,49 à -1,99) sont observés, provoquant un retard du flux hydrologique. En résumé, les données CPC MORPHing peuvent être utilisées pour une surveillance fiable sécheresses météorologiques à court terme, car il y a des limites temporelles pour des échelles de temps plus longues.

Mots-clés: Les précipitation. CMORPH. SPI. Amazon.

## Introdução

A seca é um evento natural caracterizado pela precipitação abaixo do normal durante um longo período do tempo, variando de meses a anos (Maeda *et al.*, 2015; Staal *et al.*, 2018). Esse fenômeno ocorre como resultado de inúmeras variáveis que agem em diferentes escalas temporais que, dependendo da localização geográfica e estação do ano, pode causar impactos em diversos setores, especialmente nos ecossistemas e na agricultura (Hao; Singh, 2015; Erfanian *et al.*, 2017). Devido à natureza complexa e ampla ocorrência, torna-se difícil definir a seca e identificar suas características, sendo que inicialmente há um déficit pluviométrico por um período prolongado e em certas ocasiões, até interferência na função de outros parâmetros bióticos e abióticos (IPCC, 2012; Du *et al.*, 2018; Claar *et al.*, 2018).

Na bacia Amazônica, mecanismos responsáveis pela variabilidade interanual da precipitação (Duffy *et al.*, 2015), como as anomalias de El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e Modo Meridional do Atlântico (MMA), têm sido os agentes modificadores no regime hidrológico (Fernandes *et al.*, 2015), determinando uma série de fatores negativos (positivos). As fases quentes de ENOS (El Niño) tendem a serem associadas aos anos

com menor acúmulo pluviométrico, aumento da temperatura, redução na vazão dos rios e mortandade e queima vegetal (Aragão *et al.*, 2018), enquanto acúmulos maiores de chuvas estão associados as fases frias de ENOS (La Niña). Anomalias da superfície do mar no Atlântico tropical também determinam mudanças na precipitação, intensa propagação de sistemas convectivos e diferentes interações entre os eventos de secas e enchentes (Lima; AghaKouchak, 2017).

No período de 1980 a 2015, as ocorrências de secas na Amazônia (Marengo *et al.*, 2016) causaram distúrbios na floresta, rios, agricultura, pesca artesanal e transporte, interrompendo uma série de recursos básicos para as populações mais vulneráveis, na fragilidade da saúde humana e segurança alimentar (Panisset *et al.*, 2017). Apesar da população estar bem adaptada à variabilidade da precipitação, eventos extremos recentes e persistentes perturbam a resiliência socioeconômica, aumentando o nível de vulnerabilidade (Pinho *et al.*, 2015).

Nesse contexto, fontes de dados que incluem observações *in-situ*, simulações de modelos de superfícies terrestres e, principalmente, de sensoriamento remoto, podem ser usadas para caracterizar as condições de tempo vigente (Awange *et al.*, 2016). Geralmente, os índices de secas são desenvolvidos e usados para capturar suas características físicas, como a frequência, duração, severidade e extensão espacial (Otto *et al.*, 2015). Além disso, a seleção de indicadores ou até mesmo um amplo termo de parâmetros hidrológicos (precipitação, temperatura, vazão), vem se tornando outro fator importante para classificar a magnitude de secas (Hu *et al.*, 2017).

A oportunidade de integrar informações atualizadas de alta resolução no monitoramento e alertas para áreas extensas e remotas na Amazônia (Fonseca *et al.*, 2018), onde se destacam fatores limitantes da deficiência da distribuição de redes observacionais, falta de observações meteorológicas de longo prazo e até eventuais falhas nas medições observadas (Penereiro *et al.*, 2018), possibilita a aplicação de novas análises com o intuito de compreender melhor o comportamento de eventos extremos e seus impactos em diferentes aspectos socioeconômicos (Marengo *et al.*, 2017)

Nessa perspectiva, o objetivo desta pesquisa foi analisar o comportamento das estimativas de precipitação de alta resolução no Arquipélago do Marajó, relacionando com as secas meteorológicas em

ocorrência de mecanismos de precipitação climáticos de El Niño para os anos entre 2004 e 2005, 2009 e 2010, 2015 e 2016.

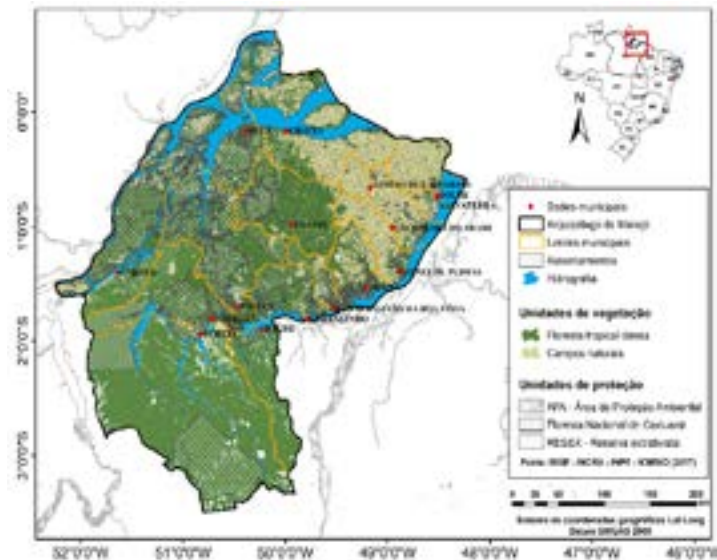
Em adição, o artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta a metodologia aplicada, com uma breve descrição da área de estudo, os métodos estatísticos mais relevantes e os dados implementados; a seção 3 compreende uma discussão dos resultados mais notáveis. Finalmente, as conclusões estão resumidas na seção 4.

## Materiais e Método

### *Localização e características da área de estudo*

O estudo foi realizado no Arquipélago do Marajó, localizado no Estado do Pará, norte do Brasil (Figura 1), conhecido pela falta de infraestrutura e instalações públicas ou serviços sociais destinados a promover o desenvolvimento local (Mansur *et al.*, 2016), caracterizando uma alta vulnerabilidade social encontrada em áreas rurais e urbanas, devido ao baixo índice de desenvolvimento humano (Pinho *et al.*, 2014; Andrade *et al.*, 2017).

**Figura 1** - Localização geográfica do Arquipélago do Marajó, Estado do Pará.



Fonte: Elaborado pelos autores, (2018).

Vogt *et al.* (2016) destacam que as características físicas e morfodinâmicas da região são influenciadas pelas ocorrências das marés cheias e enchentes da foz dos rios Amazonas e Tocantins, respectivamente. Possui um elevado grau de exposição dos impactos relacionados a eventos extremos, como secas e inundações prolongadas (Tessler *et al.*, 2015). Inclui florestas de terra firme e uma das maiores planícies aluviais conhecidas como várzea, composta por extensas matas ciliares, manguezais, savanas do pântano, campos naturais e pradarias inundadas (INPE, 2018).

### Índices de precipitação

A variabilidade, magnitude e distribuição da precipitação foram analisadas considerando o *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* – ETCCDI (Panda *et al.*, 2016) e o *Standardized Precipitation Index* – SPI (Touma *et al.*, 2015), com o auxílio do software *NCAR Command Language*.

#### *Expert Team on Climate Change Detection and Indices*

A formulação do índice de alterações climáticas foi promovida pelo ETCCDI para monitorar e analisar registros climáticos diários, identificando tendências em eventos climáticos extremos ao longo das décadas e amplamente utilizados em estudos de variabilidade climática na escala global ou regional (Panda *et al.*, 2016). No estudo foram considerados três índices de precipitação (Tabela 1): a precipitação total (PRCPTOT), o número de dias úmidos consecutivos (CWD) e o número de dias secos consecutivos (CDD), que pode ser interpretado como um indicador de seca (Cattani *et al.*, 2018). Esses índices são usualmente empregados para analisar séries temporais de precipitação de estações pluviométricas, porém foram calculados a partir da série temporal de precipitação diária contínua do produto CMORPH, com uma resolução de 0,08, sendo descrito posteriormente.

**Tabela 1** - Índices anuais utilizados e suas respectivas descrições.

Índice (unidade)	Definição
PRCPTOT (mm) chuva total anual	Precipitação total anual com chuvas $\geq 1$ mm
CWD (dias) dias úmidos consecutivos	Número máximo de dias com chuvas $\geq 1$ mm
CDD (dias) dias secos consecutivos	Número máximo de dias sem chuvas $< 1$ mm

Fonte: Adaptado de Panda *et al.* (2016).

## Standardized Precipitation Index

O SPI é um índice meteorológico para medir a seca em diferentes regiões. Baseia-se em séries de precipitação mensais durante um determinado período, sendo simplesmente a variável reduzida da distribuição normal da precipitação (Meschiatti *et al.*, 2016). Depois que uma densidade de probabilidade é escolhida (Equação 1), a probabilidade cumulativa de determinada quantidade de chuva é obtida das Equações 2 e 3. A etapa final do algoritmo SPI é baseada nas Equações 4, 5 e 6.

$$gam(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \quad x, \alpha, \beta > 0 \quad (\text{Equação 1})$$

em que  $\Gamma(\alpha)$  é a função gama,  $\alpha$  e  $\beta$  são os parâmetros de distribuição;  $x$  é a quantidade de chuva.

$$Gam(x) = \int_0^x gam(x) d(x) \quad (\text{Equação 2})$$

$$H(x) = q + (1 - q)Gam(x) \quad (\text{Equação 3})$$

$$Z = SPI = - \left( t - \frac{c_0 + c_1 + c_2 t^2}{1 + d_1 + d_2 + t^2 + d_2 t^2} \right) \text{ para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (\text{Equação 4})$$

em que  $c_0 = 2,515$ ;  $c_1 = 0,803$ ;  $c_2 = 0,010$ ;  $d_1 = 1,433$ ;  $d_2 = 0,189$ ;  $d_3 = 0,001$ .

$$t = \sqrt{\ln \left( \frac{1}{(H(x))^2} \right)} \text{ para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (\text{Equação 5})$$

$$t = \sqrt{\ln \left( \frac{1}{(1-H(x))^2} \right)} \text{ para } 0,5 < H(x) \leq 1,0 \quad (\text{Equação 6})$$

Para eventos de seca, o SPI se torna negativo e atinge o valor -1 e termina quando volta a apresentar valores positivos. Dentro dessa escala, os valores de SPI menores ou iguais a -2 indicam secas extremas e os maiores ou iguais a +2 indicam chuvas extremas (Tabela 1).

**Tabela 2 - Valores de SPI para os períodos secos e chuvosos.**

Classificação do SPI	
2.0 ou mais	Chuva extrema
1.5 a 1.99	Chuva severa
1.0 a 1.49	Chuva moderada
-1.0 a -1.49	Seca moderada
-1.50 a -1.99	Seca severa
-2.0 ou menos	Seca extrema

Fonte: Adaptado de Meschiatti et al. (2016).

O SPI de modo a ser um indicador de seca que valoriza a importância da escala de tempo que afeta a magnitude das chuvas, compara a precipitação do SPI-3 ao longo do período de três meses, com os totais precipitados nesse mesmo período, refletindo as condições de umidade do solo em curto e médio prazo, além de estimar a precipitação sazonal. O SPI-6 compara a precipitação desse período com o mesmo período dos anos da série estabelecida, sendo associado com as anomalias de reserva de água e vazão dos rios. O SPI-12 reflete os padrões de precipitação de longo prazo e estão diretamente associados com a falta de água, com as vazões e os níveis de água nos lençóis freáticos.

## CPC MORPHing

Neste trabalho, optamos por utilizar as estimativas de precipitação do CPC CMORPHing (CMORPH) *technique* (Joyce *et al.*, 2004) do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), em função da carência de estações meteorológicas na área de estudo.

O CMORPH é um conjunto de dados baseado em diversos algoritmos de estimativas que produzem análises globais de alta resolução espacial-temporal através de imagens de sensores de infravermelho e de microondas passiva, usando a interpolação de Lagrange (Guo *et al.*, 2015). Das três versões do produto, o CMORPH V1.0 destaca-se pela grade de  $0,0727 \times 0,0727^\circ$  (aproximadamente 8 km) e escala horária de 30 minutos. Apresenta alta acurácia quantitativa, comprovado em diversos estudos para a Amazônia (Rosa *et al.*, 2016; Santos *et al.*, 2017).

A agregação dos dados ocorreu para uma escala diária e mensal com o auxílio do *software* NCAR *Command Language*, com uma série de dados entre os anos de 1998 a 2017, entre os anos de 2004 e 2005, 2009 e 2010 e 2015 e 2016. Apesar de autores destacarem o uso de dados com período de 30 anos ou superior (Silveira *et al.*, 2016, Silva *et al.*, 2017), utilizou-se o coeficiente de correlação (CC) (equação 12) para avaliar a concordância entre a precipitação por satélite e a precipitação medida das estações meteorológicas.

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^N (P_e - \bar{P}_e)(P_o - \bar{P}_o)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (P_e - \bar{P}_e)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (P_o - \bar{P}_o)^2}} \quad (11)$$

em que  $\hat{P}_e$  é a precipitação estimada,  $\hat{P}_o$  é a precipitação observada, e  $\sum$  é a soma total dos pontos considerado para o período de análise.

## NCEP/NCAR

Para os dados observacionais mensais dos campos atmosféricos e oceânicos, utilizamos o NCEP/NCAR Reanálise 1 (Saurral *et al.*, 2016) e o *Extended Reconstructed Sea Surface Temperature V.4* (Huang *et al.*, 2015) para os períodos de ocorrências de ENOS com eventos de El Niño fraco (2004-2005), moderado (2009-2010) e muito forte (2015-2016), como consta na Tabela 3.

**Tabela 3** - Anos de ocorrência de eventos El Niño Oscilação Sul nos últimos 30 anos.

EL Niño				La Niña		
Fraco	Moderado	Forte	Muito Forte	Fraco	Moderado	Forte
2004-2005	1986-1987	1987-1988	1982-1983	2000-2001	1995-996	1988-1989
2006-2007	1994-1995	1991-1992	1997-1998	2005-2006	2011-2012	1998-1999
2014-2015	2002-2003		2015-2016	2008-2009		1999-2000
	2009-2010			2016-2017		2007-2008
				2017-2018		2010-2011

Fonte: Elaborado pelos autores (NOAA, 2018).



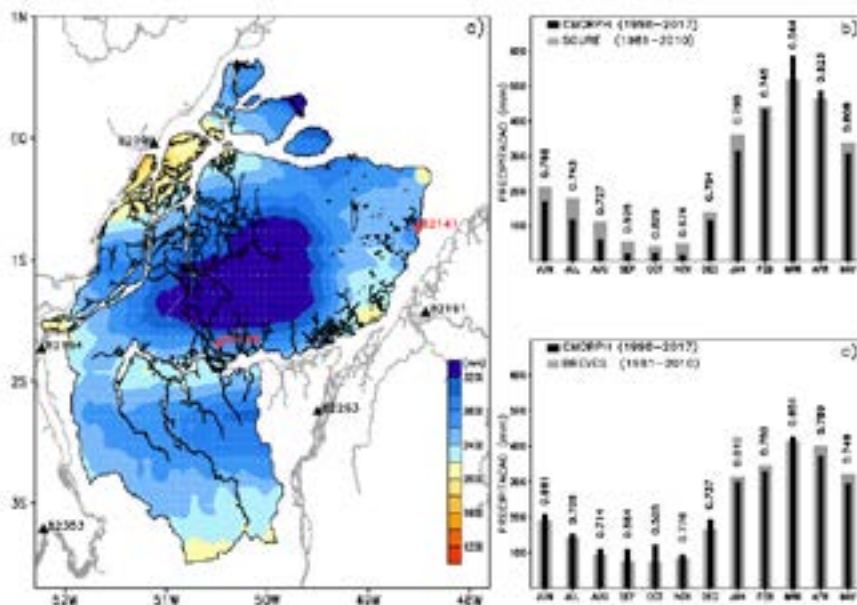
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *Padrões espaciais e temporais da precipitação*

Como pode ser observado na Figura 1c, o CMORPH apresenta uma leve tendência a superestimar a precipitação mais continental, especialmente nos meses menos chuvosos, entre junho e novembro. Este comportamento também é observado no coeficiente de correlação de Pearson, cujos valores comparativos entre a precipitação observada e estimada varia entre 0.528 e 0.861. Contudo, o comportamento da precipitação pelo produto CMORPH apresenta uma tendência significativa, caracterizando o período de maior e menor atuação de fenômenos atmosféricos (Falck *et al.*, 2015) para ambas as estações meteorológicas (Figura 1bc), sugerindo que é possível avaliar as diferentes escalas dos sistemas convectivos em regiões litorâneas dada sua resolução temporal de 30 minutos (Germano *et al.*, 2017).

Percebemos também que a precisão do CMORPH diminuiu para chuvas mais fortes, consequentemente, superestimando as chuvas nos meses de março (0.544) e abril (0.823). Ocorreu também uma subestimação das chuvas mais litorâneas no período menos chuvoso (Figura 1b). Isso ocorre, pois a natureza convectiva da precipitação torna difícil para os algoritmos quantificar precisamente a chuva. Em contraste, como observado na Figura 1, esses mesmos algoritmos de satélites baseados em estimativas por sensores são capazes de detectar intensidades e padrões sazonais de chuvas, sendo consistentes com estudos recentes abordados em outras regiões (Satgé *et al.*, 2016; Wu *et al.*, 2018).

**Figura 2** - (a) Precipitação média total anual (1998-2017) com a localização das estações pluviométricas históricas (1981-2010) no Arquipélago do Marajó (em vermelho) e pontos em grade de resolução de 8km (em branco), precipitação média mensal para (b) Soure e (c) Breves com os CC



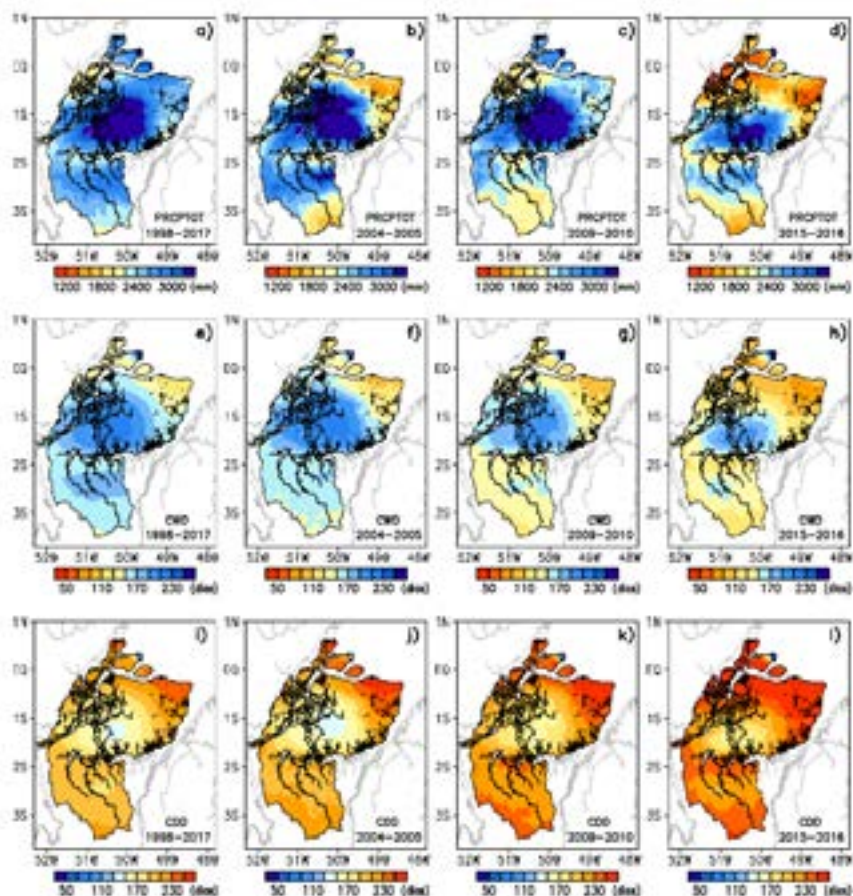
Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Analisando inicialmente os campos médios dos indicadores (Figura 3aei), observa-se que a região central do Arquipélago do Marajó, além de ser a mais chuvosa, exibindo os maiores totais pluviométricos anuais (PRCTOT), apresenta também os maiores valores de números de dias com chuva (CWD) e menores números de dias sem chuva (CDD). Por outro lado, o extremo noroeste e sul são as regiões menos chuvosas, exibindo menores taxas e valores de PRCTOT, CWD e CDD. O padrão climatológico estimado para os indicadores de extremos de precipitação reflete principalmente a interação entre a posição geográfica, a atuação de sistemas transientes convectivos e a influência do Oceano Atlântico (Ferreira *et al.*, 2015).

Com relação aos dias de ocorrência de El Niño, a diminuição dos dias com chuva, em especial aqueles com chuvas mais intensas refletem diretamente no acréscimo dos totais de chuvas anuais, como mostra o índice de PRCTOT (Figura 3bcd), pois grande parte região do Arquipélago do Marajó apresentou uma diminuição no total pluviométrico anual em

anos de ocorrências de El Niño. Em alguns casos, inclusive, a redução no índice PRCPTOT foi muito mais impactante (Figura 3d) nos municípios situados na porção norte, a saber: Soure, Santa Cruz do Arari, Afuá. Apesar de serem valores extremamente baixos de CDD e CWD, os dados do CMORPH foram considerados confiáveis, pois apresentaram mais de 95% de significância.

**Figura 3** - Campos médios para o período 1998-2017 (a, e, i) e ocorrências dos eventos de El Niño 2004-2005 (b, f, j), 2009-2010 (c, g, k) e 2015-2016 (d, h, l) dos indicadores de extremos de precipitação: PRCPTOT (mm), CWD (dias) e CDD (dias)



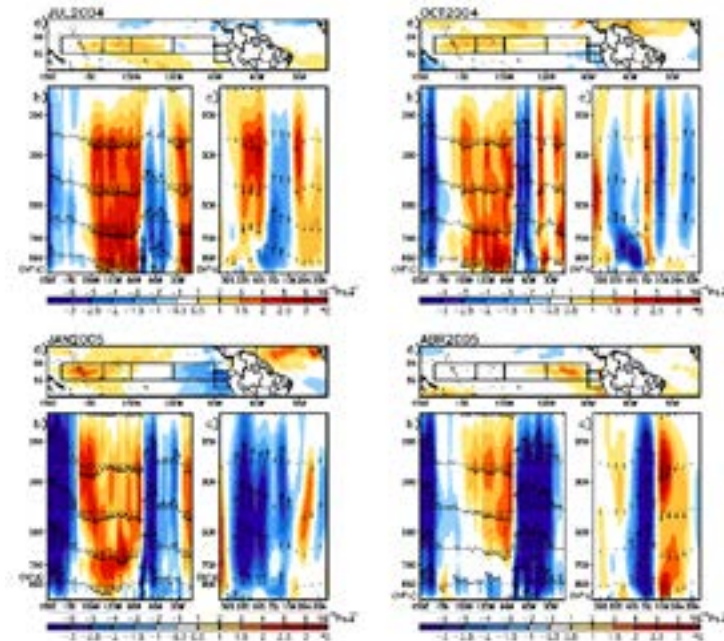
Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

## Ocorrência dos eventos de secas

Nos meses entre 2004 e 2005 na Figura 4, ocorreram anomalias de TSM positivas em grande parte do Oceano Pacífico tropical, com valores entre 0,8 e 1,5 °C., porém, as áreas com anomalia de TSM positiva diminuem com o tempo. No Tropical Norte do Oceano Atlântico, houve predomínio de anomalias positivas de TSM, durante o período de transição do menos chuvoso para chuvoso, entre outubro (2004) e janeiro (2005). Na Figura 4, as células de Walker (b) e Hadley (c) apresentam movimentos anômalo moderados sobre o Arquipélago do Marajó ao longo dos meses.

Segundo Marengo et al. (2013), a permanência dessas condições oceânicas altera o padrão de circulação atmosférica meridional da atmosfera, resultando em um movimento de massas de ar descendente sobre o Norte e Nordeste do Brasil, gerando uma região de subsidência, causando redução nas atividades convectivas.

**Figura 4 -** Anomalias mensais entre os meses de julho e outubro de 2004 e janeiro e abril de 2005, descritas por: (a) distribuição espacial da temperatura da superfície do mar (°C); (b) seção vertical do vento zonal ( $m.s^{-1}$ ) e velocidade vertical ( $Pa/s$ ); (c) seção vertical do vento meridional ( $m.s^{-1}$ )



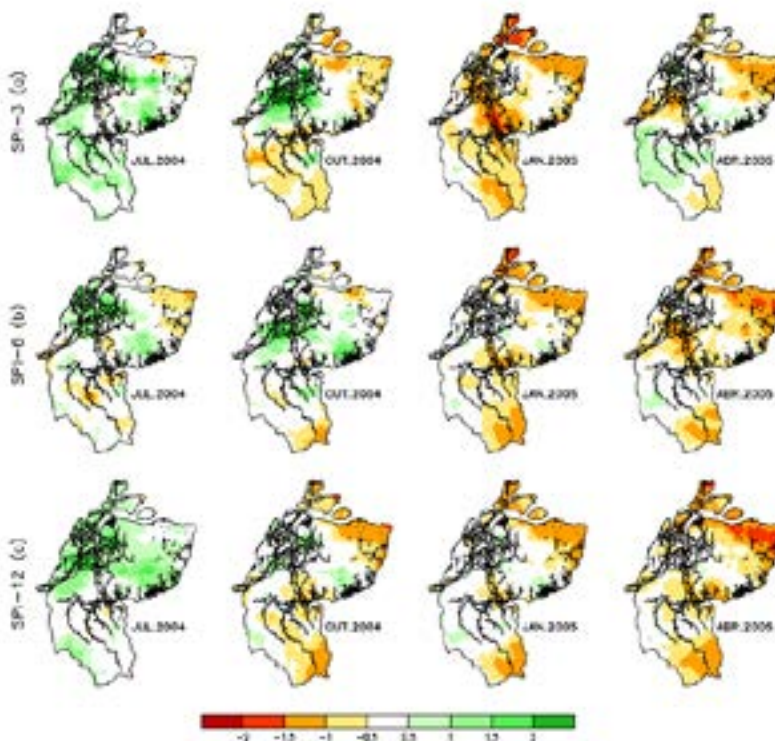
Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

O SPI resultante das condições oceânicas e atmosféricas é apresentado na Figura 5. Pode-se notar um contraste entre os valores negativos e positivos do SPI no Arquipélago do Marajó entre julho (2004) a abril (2005), ou seja, há regiões com ambos eventos secos moderados ( $-0.5 > \text{SPI} > -1.49$ ) e com eventos úmidos moderados ( $1.49 > \text{SPI} > 0.5$ ).

A porção norte da região apresentou maiores áreas de eventos de seca moderada, sendo mais expressivas no SPI-6 (Figura 5b) e no SPI-12 (Figura 5c), no período de transição para os meses mais chuvosos. Essas áreas começam modular em julho no SPI, onde é possível observar eventos secos moderados ( $\text{SPI} > -1.5$ ). Áreas moderadas intensificam-se com o decorrer do tempo. Ressalta-se que o SPI-3 indica a evolução de eventos de seca e chuvas de curto prazo, permitindo observar se houve redução ou agravamento de secas ou condições chuvosas. Os meses do SPI-6 e SPI-12, por outro lado, permitem tanto no início, meio e no fim dos eventos de seca e chuvas, determinar os impactos a médio e longo prazo.

A maioria dos índices de seca registrados ( $\text{SPI} < -1.0$ ) no Arquipélago do Marajó, guardam uma boa concordância com as taxas do regime pluviométrico. Isso reforça a hipótese da atuação circulações de grande escala em regiões litorâneas (Nascimento et al., 2017). Destaca-se que o SPI (Figura 5) coincide com os períodos de El Niño, reforçando, em parte, a variabilidade intrasazonal da chuva, sendo que o evento de seca foi impulsionado, principalmente, pelas elevadas TSM tropicais do Atlântico Norte (Figura 4).

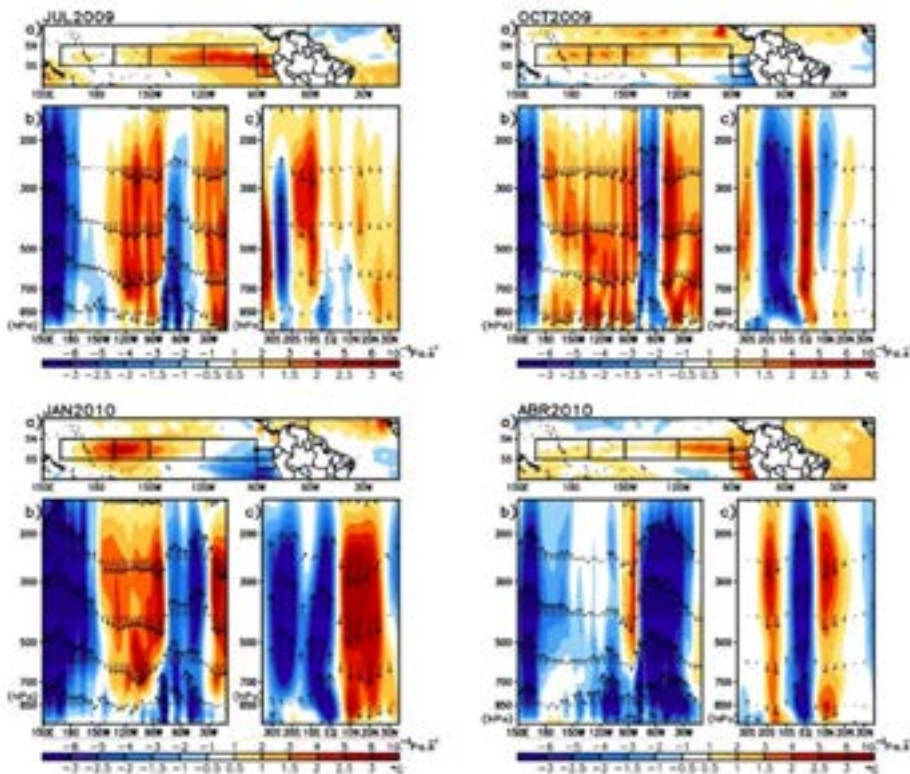
**Figura 5** - Distribuição do SPI-3 (a), SPI-6 (b) e SPI-12 (c) dos dados do CMORPH (1998-2017) entre os meses de julho e outubro de 2004 e janeiro e abril de 2005



Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Nos meses entre 2009 e 2010 (Figura 6), o padrão de anomalias de TSM e o movimento zonal e meridional não diferiram muito de 2005. Ressaltando que este ano foi o aquecimento anômalo do Atlântico Norte tropical, com anomalias de TSM maiores que  $1,0^{\circ}\text{C}$ . Há predominância de movimentos convergentes anômalos moderados em queda no decorrer dos meses (Figura 6) sobre a porção sul entre  $60^{\circ}\text{W}$  e  $40^{\circ}\text{W}$  (Estado do Pará), cujo os eventos anômalos do Oceano Pacífico Tropical em 2005 e 2010 apresentam características semelhantes, com anomalias de TSM mais positivas para a ocorrência de El Niño.

**Figura 6** - Anomalias mensais entre os meses de julho e outubro de 2009 e janeiro e abril de 2010, descritas por: (a) distribuição espacial da temperatura da superfície do mar ( $^{\circ}\text{C}$ ); (b) seção vertical do vento zonal ( $\text{m.s}^{-1}$ ) e velocidade vertical ( $\text{Pa/s}$ ); (c) seção vertical do vento meridional ( $\text{m.s}^{-1}$ )



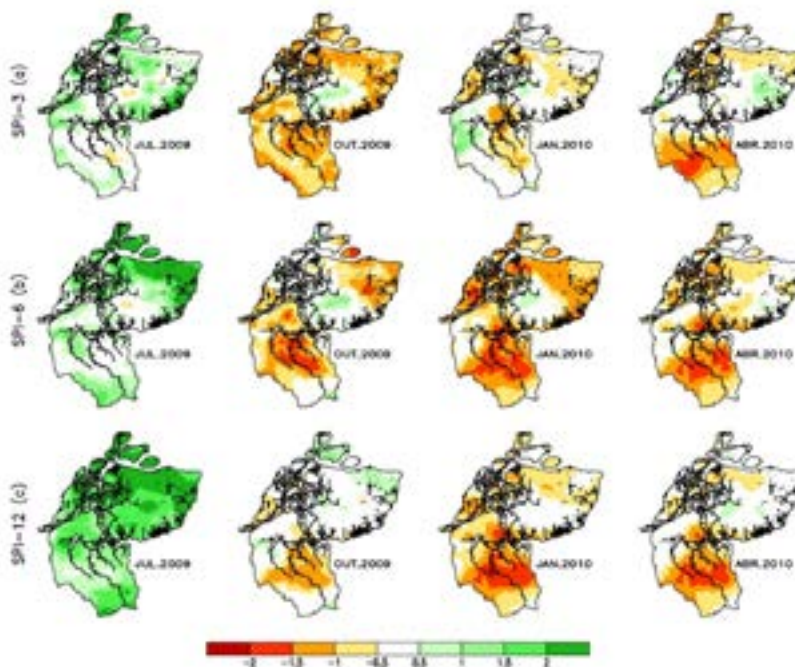
Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Para estas condições oceânicas e atmosféricas, a Figura 7 apresenta o SPI que, em geral, apresentou eventos de chuvas moderadas ( $1.49 > \text{SPI} > 0.5$ ) pelo SPI-3 a SPI-12 para o Arquipélago do Marajó. Os eventos moderados de seca ( $-0.5 > \text{SPI} < -1.49$ ) foram constatados no decorrer de todos os meses até período final de ocorrência do fenômeno El Niño, destacando também o aquecimento anômalo no Atlântico. O Arquipélago do Marajó, apresentou eventos secos extremos e moderados ( $\text{SPI} \leq 1.5$ ),

sendo observado no SPI-6 e SPI-12 um padrão de déficit pluviométrico bem semelhante ao sul.

A extensão da condição de seca, inicia em agosto de 2009, atingindo um padrão muito mais moderado e extremo (SPI < -1.5), com um semestre com mais de 160 dias sem chuvas. Em consequência, toda a bacia Amazônica é afetada, levando a uma cobertura espacial e temporal muito maior de escassez de chuvas do ocorrido em 2005 (Lewis et al., 2011; dos Santos et al., 2017).

**Figura 7** - Distribuição do SPI-3 (a), SPI-6 (b) e SPI-12 (c) dos dados do CMORPH (1998-2017) entre os meses de julho e outubro de 2009 e janeiro e abril de 2010



Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

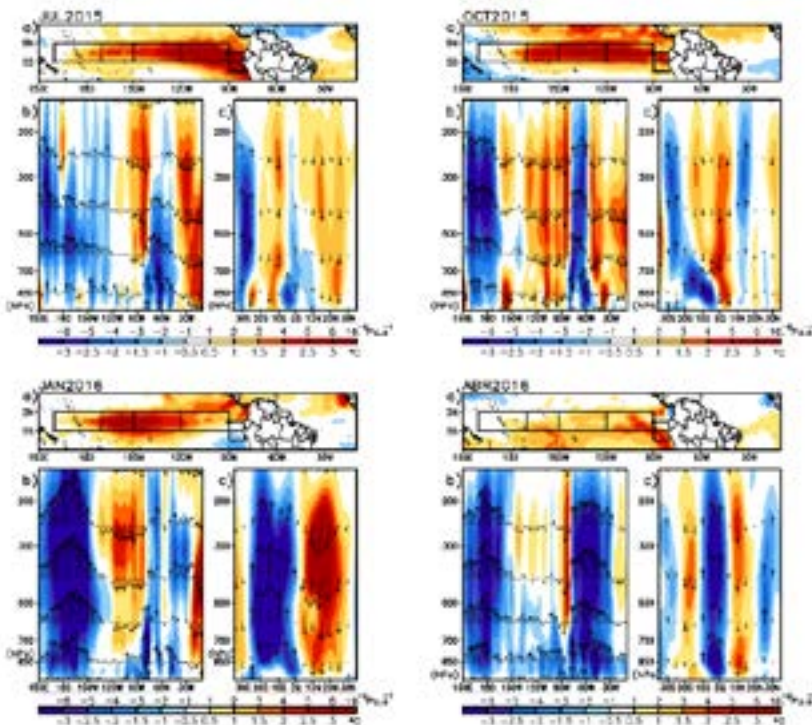
O ano de 2015 (Figura 8) superou qualquer anomalia positiva observada na última década quando comparado às figuras anteriores. A análise das anomalias de temperatura da superfície do oceano entre os



meses de 2015 a 2016 sugere XXX como o ano mais quente na Amazônia no último século, devido aos efeitos combinados das condições de El Niño e da tendência de aquecimento regional.

Consequentemente, Smith e Ubilava (2017) afirmam que os efeitos de El Niño são mais impactantes nos trópicos quando comparados com outras regiões, já que a agricultura e as exportações de matéria-prima afetadas pelas secas provocadas pelo fenômeno representam uma importante fonte de economia para os países em desenvolvimento, em sua maioria, localizados nas regiões tropicais (Iizumi et al., 2014; Cashin *et al.*, 2017).

**Figura 8** - Anomalias mensais entre os meses de julho e outubro de 2015 e janeiro e abril de 2016, descritas por: (a) distribuição espacial da temperatura da superfície do mar (°C); (b) seção vertical do vento zonal ( $m.s^{-1}$ ) e velocidade vertical (Pa/s); (c) seção vertical do vento meridional ( $m.s^{-1}$ )

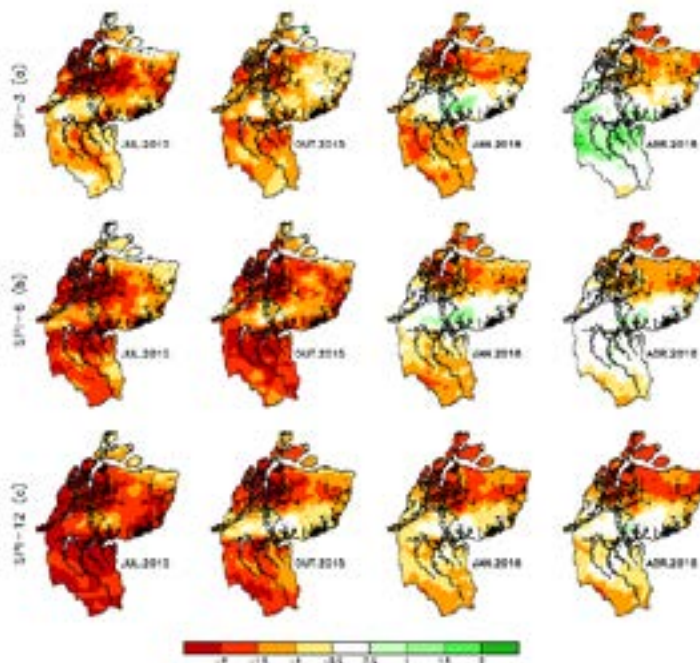


Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

As elevadas anomalias positivas coincidiram com um aumento na intensidade de seca extrema e severa ( $SPI \leq -2$ ), como observado na Figura 9. Jiménez-Muñoz *et al.* (2016) notaram que a dinâmica do oceano aumenta ainda mais a severidade da seca devido ao déficit de precipitação através do aumento da evapotranspiração potencial, sugerindo que o aquecimento anômalo dos oceanos são os responsáveis, em parte, por danos ocasionados na dinâmica socioeconômica da população local.

Adicionalmente, percebe-se que as diferentes escalas de tempo de SPI convergiram para períodos de seca em comum nos meses de maior intensidade do ENOS, localizados principalmente na porção oeste e sul da região (Figura 9), podendo ter gerado prejuízos significativos em contextos social e econômico maior, como observado em estudos desenvolvidos por Barnard *et al.* (2015), nos quais se considera um déficit de precipitação mensal pelo ETCCDI (Figura 3).

**Figura 9** - Distribuição do SPI-3 (a), SPI-6 (b) e SPI-12 (c) dos dados do CMORPH (1998-2017) entre os meses de julho e outubro de 2015 e janeiro e abril de 2016



Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Ressalta-se que países como os Estados Unidos, Europa, África do Sul e Brasil têm enfrentado um aumento na incidência dos eventos de secas (Van Huijgevoort *et al.*, 2013), gerando uma crescente demanda de medidas e políticas que mitiguem os impactos ocasionados por este fenômeno, já que a predominância e frequência de El Niño mais intenso e temperaturas crescentes já são uma realidade para o bioma da Amazônia (Davidson *et al.*, 2012).

Destaca-se que as ocorrências excepcionais de anos severamente secos estão possivelmente relacionadas às características orográficas como o clima e a contribuição de fenômenos meteorológicos (Lopez *et al.*, 2017), onde os eventos de seca foram restritos à ocorrência de alguns eventos de El Niño no Arquipélago do Marajó.

## Conclusão

Neste artigo, investigamos as condições observadas durante as ocorrências de ENOS (El Niño) e os recentes períodos de seca (2004-2005, 2009-2010 e 2015-2016) no Arquipélago do Marajó.

As análises destacaram que os efeitos oriundos da seca de 2004-2005 apresentaram uma forte associação com as intensas anomalias positivas de TSM do Atlântico Norte tropical, afetando o regime de precipitação, enquanto os eventos de seca de 2009-2010 e 2015-2016 apresentaram características semelhantes, com intensas anomalias positivas para o Oceano Pacífico, em condições de El Niño.

Na seca de 2015-2016, a temperatura da superfície do mar atingiu um dos valores mais altos da história sobre o Oceano Pacífico, interferindo na circulação zonal de Walker, em movimentos anômalos de subsidência sobre a Amazônia, apresentando uma maior área espacial de seca, com um extenso déficit pluviométrico e hídrico ( $SPI < -2.0$ ), em comparação com os eventos de 2004-2005 e 2009-2010.

Por fim, a capacidade dos dados da técnica CMORPH em diagnosticar a detecção de secas no Arquipélago do Marajó e avaliar as características nos padrões pluviométricos do Arquipélago do Marajó apresentam grande relevância em termos de monitoramento de eventos extremos, já que seus dados estão disponíveis em tempo real.

Esta pesquisa, portanto, sugere a oportunidade de novos avanços em aplicações práticas desses dados na região Amazônica para os serviços

de alertas, ajudando o governo e a população local na tomada de decisões para reduzir os possíveis impactos ocasionados pela severidade de eventos extremos.

### Agradecimentos

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela bolsa de mestrado do primeiro autor e ao Núcleo de Pesquisa Aplicada ao Desenvolvimento Regional (NUPAD) pela elaboração dos produtos.

### Referências

- ANDRADE, A. P.; PACHECO, S. D. B.; SILVA, F. Q.; OLIVEIRA-FILHO, A. B. Characterization of hepatitis B virus infection in illicit drug users in the Marajó Archipelago, northern Brazil. *Archives of Virology*, v. 161, n. 1, p. 227-233, 2017.
- ARAGÃO, L. E. O. C.; ANDERSON, L. O.; FONSECA, M. G.; ROSAN, T. M.; VEVDATO, L. B.; SAATCHI, S. 21st century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nature Communications*, v. 9, p. 1-12, 2018.
- AWANGE, J. L.; MPELASOKA, F.; GONÇALVES, R. M. When every drop count: ability equal or over analysis of droughts in Brazil for the 1901-2013 period. *Science Total Environmental*, v. 1472, n. 88, p. 1472-1488, 2016.
- BARNARD, P. L.; SHORT, A. D.; HARLEY, M. D.; SPLINTER, K. D.; VITOUSEK, S.; TURNER, I. L.; HEATHFIELD, D. Coastal vulnerability across the Pacific dominated by El Niño-Southern Oscillation. *Nature Geoscience*, v. 8, n. 1, p. 801-807, 2015.
- CASHIN, P.; MOHADDES, K.; RAISSI, M. Fair weather or foul? The macroeconomic effects of El Niño. *Journal of International Economics*, v. 106, n. 1, p. 37-54, 2017.
- CLAAR, D. C.; SZOSTEK, L.; MCDEVITT-IRWIN, J. M.; SCHANZE, J. J.; BAUM, J. K. Global patterns and impacts of El Niño events on coral reefs: a meta-analysis. *PLOS ONE*, v. 13, n. 2, p. 1-22, 2018.
- CATTANI, E.; MERINO, A.; GUIJARRO, J. A.; LEVIZZANI, V. East Africa rainfall trends and variability 1983-2015 using three long-term satellite products. *Remote Sensing*, v. 10, n. 1, p. 1-26, 2018.
- DAVIDSON, E. A.; ARAÚJO, A. C. de; ARTAXO, P.; BALCH, J. K.; BROWN, I. F.; C. BUSTAMANTE, M. M.; WOFSY, S. C. The Amazon basin in transition. *Nature*, v. 481, n. 7381, p. 321-328, 2012.

DU, L.; MIKLE, N.; ZOU, Z.; HUANG, Y.; SHI, Z.; JIANG, L.; MCCARTHY, H. R.; LIANG, J.; LUO, Y. Global patterns of extreme drought-induced loss in land primary production: identifying ecological extremes from rain-use efficiency. *Science of the Total Environment*, v. 628-629, p. 611-620, 2018.

DOS SANTOS, S. R. Q.; BRAGA, C. C.; SANSIGOLO, C. A.; NEVES, T. T. A. T.; SANTOS, A. P. P. dos. Droughts in the Amazon: identification, characterization and dynamical mechanisms associated. *American Journal of Climate Change*, v. 6, n. 1, p. 425-442, 2017.

DUFFY, P. B.; BRANDO, P.; ASNER, G. P.; FIELD, C. B. Projections of future meteorological drought and wet periods in the Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 112, n. 43, p. 13172-13177, 2015.

ERFANIAN, A.; WANG, G.; FORMENKO, L. Unprecedented drought over tropical South America in 2016: significantly under-predicted by tropical SST. *Scientific Reports*, v. 7, p. 1-11, 2017.

FALCK, A. S.; MAGGIONI, V.; TOMASELLA, J.; VILA, D. A.; DINIZ, F. L. R. Propagation of satellite precipitation uncertainties through a distributed hydrologic model: A case study in the Tocantins–Araguaia basin in Brazil. *Journal of Hydrology*, v. 527, n. 1, p. 943-957, 2015.

FERNANDES, K.; GIANNINI, A.; VERCHOT, L.; BAETHGEN, W.; PINEDO-VASQUEZ, M. Decadal covariability of Atlantic SSTs and western Amazon dry–season hydroclimate in observations and CMIP5 simulations. *Geophysical Research Letters*, v. 42, p. 6793-6801, 2015.

FERREIRA, D. B. da S.; DE SOUZA, E. B.; DE 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, n. 1, p. 1-9, 2015.

FONSECA, M. G.; ANDERSON, L. O.; ARAI, E.; SHIMABUKURO, Y. E.; ARAGÃO, L. E. O. C. Climatic and anthropogenic drivers of northern Amazon fires during the 2015/2016 El Niño event. *Ecological Applications*, v. 27, n. 8, p. 2514-2527, 2018.

GERMANO, M. F.; VITORINO, M. I.; COHEN, J. C. P.; COSTA, G. B.; SOUTO, J. I. O.; REBELO, M. T. C.; SOUSA, A. M. L. Analysis of the breeze circulations in Eastern Amazon: an observational study. *Atmosphere Science Letters*, n. 18, p. 67-75, 2017.

GUO, H.; CHEN, S.; BAO, A.; HU, J.; GEBREGIORGIS, A. S.; XUE, X.; ZHANG, X. Inter-comparison of high-resolution satellite precipitation products over Central Asia. *Remote Sensing*, v. 7, n. 6, p. 7181-7211, 2015.

HAO, Z., SINGH, V. P. Drought characterization from a multivariate perspective: a review. *Journal of Hydrology*, v. 527, 668-678, 2015.

HU, K.; AWANGE, J. L.; FOROOTAN, E.; GONÇALVES, R. M.; FLEMING, K. Hydrogeological characterisation of groundwater over Brazil using remotely sensed and model products. *Science of the Total Environment*, v. 599-600, p. 372-386, 2017.

- HUANG, B; BANZON, V. F.; FREEMAN, E.; LAWRYMORE, J.; ZHANG, H-M. Extended reconstructed sea surface temperature version 4 (ERSST.v4), Part I: upgrade and intercomparisons. *Journal of Climate*, v. 28, n. 3, p. 911-930, 2015.
- IZUMI, T.; LUO, J. J.; CHALLINOR, A. J.; SAKURAI, G.; YOKOZAWA, M.; SAKUMA, H.; BROWN, M. E.; YAMAGATA, T. Impacts of El Niño Southern Oscillation on the global yields of major crop. *Nature Communications*, v. 5, n. 1, p. 1-7, 2014.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *TerraClass*. Disponível em: [http://www.inpe.br/cra/projetos\\_pesquisas/dados\\_terraclass.php](http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/dados_terraclass.php). Acesso em: 15 jun. 2018.
- IPCC. Climate change, 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to advance climate change adaptation. *A special report of Working groups I and II of the intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge, UK and New York, NY, USA*, 2012.
- JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C.; MATTAR, C.; BARICHIVICH, J.; VAN DER SCHRIER, G. Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015-2016. *Science Reports*, v. 6, n. 1, p. 1-7, 2016.
- JOYCE, R. J.; JANOWIAK, J. E.; ARKIN, P. A.; XI, P. CMORPH: a method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *Journal of Hydrometeorology*, v. 5, n. 1, p. 487-503, 2004.
- LEWIS, S. L.; BRANDO, P. M.; PHILLIPS, O. L.; VAN DER HEIJDEN, G. M. F.; NEPSTAD, D. The 2010 Amazon Drought. *Science*, v. 331, n. 6017, p. 554-554, 2011.
- LIMA, C. H. R.; AGHAKOUCHAK, A. Droughts in Amazonia: spatiotemporal variability, teleconnections and seasonal predictions. *Water Resources Research*, v. 53, n. 12, p. 10824-10840, 2017.
- LOPEZ, L.; STAHL, D.; VILLALBA, R.; TORBENSON, M.; FENG, S.; COOK, E. Tree ring reconstructed rainfall over the southern Amazon basin. *Geophysical Research Letters*, v. 44, n. 14, p. 7410-7418, 2017.
- MAEDA, E. E.; KIM, H.; ARAGÃO, L. E. O. C.; FAMIGLIETTI, J. S.; OKI, T. Disruption of hydroecological equilibrium in southwest Amazon mediated by drought. *Geophysical Research Letters*, v. 42, p. 7546-7553, 2015.
- MARENGO, J. A.; BORMA, L. S.; RODRIGUEZ, D. A.; PINHO, P.; SOARES, W. R.; ALVES, L. M. Recent extremes of drought and flooding in Amazonia: vulnerabilities and human adaptation. *American Journal of Climate Change*, v. 2, p. 87-89, 2013.
- MARENGO, J. A.; WILLIAMS, E. R.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A. *Extreme seasonal climate variations in the Amazon basin: droughts and floods*. Interactions Between Biosphere, Atmosphere and Human Land Use in the Amazon basin. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer, 2016. p. 55-76.
- MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; NOBRE, C. A. Climate change and water resources. *Water of Brazil*, p. 171-186, 2017.

MESCHIATTI, M. C.; BLAIN, G. C. Increasing the regional availability of the Standardized Precipitation Index: an operational approach. *Bragantia*, v. 75, p. 507-521, 2016.

NASCIMENTO, F. C. A.; BRAGA, C. C.; ARAÚJO, F. R. C. D. Análise estatística dos eventos secos e chuvosos de precipitação do Estado do Maranhão. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 3, p. 375-386, 2017.

NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. *Cold and a warm episodes by season*. Adaptado de Oceanic Niño Index (ONI). 2018. Disponível em: [www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.html](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.html). Acesso em: 09 jul. 2018.

OTTO, F. E. L.; COELHO, C. A. S.; KING, A.; CULLEN, H. Factors other than climate changes, main drivers of 2014/2015 water shortages in southeast Brazil. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 96, n. 12, p. 35-40, 2015.

PANDA, D. K.; PANIGRAHI, P.; MOHANTY, S.; MOHANTY, R. K.; SETHI, R. R. The 20th century transitions in basic and extreme monsoon rainfall indices in India: comparison of the ETCCDI indices. *Atmospheric Research*, v. 181, n. 1, p. 220-235, 2016.

PANISSET, J. S.; LIBONATI, R.; GOUVEIA, C. M.; MACHADO-SILVA, F.; FRANÇA, D. A.; FRANÇA, J. R. A.; PERES, L. F. Constrasting patterns of the extreme drought episodes of 2005, 2010 and 2015 in the Amazon basin. *International Journal of Climatology*, v. 38, n. 2, p. 1096-1104, 2017.

PENEREIRO, J. C.; BADINGER, A.; MACCHERI, N. A.; MESCHIATTI, M. C. Distribuições de tendências sazonais de temperatura média e precipitação nos biomas brasileiros. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 33, n. 1, p. 97-113, 2018.

PINHO, P. F.; PATENAUDE, G.; OMETTO, J. P.; MEIR, P.; TRIVEDI, M.; YOUNG, C. E. F. Ecosystem protection and poverty alleviation in the tropics: perspective from a historical evolution of policy making in the Brazilian Amazon. *Ecosystem Services*, v. 8, n. 1, p. 97-109, 2014.

PINHO, P. F.; MARENGO, J. A.; SMITH, M. S. Complex socio-ecological dynamics driven by extreme events in the Amazon. *Regional Environmental Change*, v. 15, n. 4, p. 643-655, 2015.

ROSA, A. G.; SOUZA, A. M. L.; COSTA, J. A.; SOUZA, E. B. Erosividade da chuva em Rondon do Pará, PA, Brasil de 1999 a 2015 e projetada para 2035. *Revista Ambiente & Água*, v. 11, n. 4, p. 1006-2021, 2016.

SANTOS, M. R. S.; VITORINO, M. I.; PIMENTEL, M. A. S. Vulnerabilidade e mudanças climáticas: análise socioambiental em uma mesorregião da Amazônia. *Revista Ambiente & Água*, v. 12, n. 5, p. 842-854, 2017.

SATGÉ, F.; BONNET, M-P.; GOSSET, M.; MOLINA, J.; LIMA, W. H. Y.; ZOLÁ, R. P. Assessment of satellite rainfall products over the Andean plateau. *Atmospheric Research*, v. 167, n. 1, p. 1-14, 2016.

SAURRAL, R. I.; CAMILONI, I. A.; BARROS, V. R. Low-frequency variability and trends in centennial precipitation stations in southern South America. *International Journal of Climatology*, v. 37, n. 4, p. 1774-1793, 2016.

SILVA, R. O. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SOUZA, W. M. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 22, n. 3, p. 579-589, 2017.

SILVEIRA, C. S.; SOUZA-FILHO, F. A. S.; MARTINS, E. S. P. R.; SILVA, R. F. V. Mudanças climáticas na bacia do rio São Francisco: uma análise para precipitação e temperatura. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, n. 2, p. 416-428, 2016.

SMITH, S. C.; UBILAVA, D. The El Niño Southern Oscillation and economic growth in the developing world. *Global Environmental Change*, v. 45, n. 1, p. 151-164, 2017.

STAAL, A.; TUINENBURG, O. A.; BOSMANS, J. H. C.; DEKKER, S. C. Forest-rainfall cascades buffer against drought across the Amazon. *Nature Climate Change*, v. 8, n. 6, p. 539-543, 2018.

TOUMA, D.; ASHFAQ, M.; NAYAK, M. A.; KAO, S.-C.; DIFFENBAUGH, N. S. A multi-model and multi-index evaluation of drought characteristics in the 21st century. *Journal of Hydrology*, v. 526, n. 1, p. 196-207, 2015.

WU, Z.; XU, Z.; WANG, F.; HE, H.; ZHOU, J.; WU, X.; LIU, Z. Hydrologic Evaluation of Multi-Source Satellite Precipitation Products for the Upper Huaihe River Basin, China. *Remote Sensing*, v. 10, n. 6, p. 1-21, 2018.

VANHUIJGEVOORT, M. H. J.; HAZENBERG, P.; VABLANEN, H. A. J.; TEULING, A. J.; UIJLENHOET, R. Global multimodel analysis of drought in runoff from the second half of the twentieth century. *Journal of Hydrometeorology*, v. 14, p. 1535-1552, 2013.

VOGT, N. D.; PINEDO-VASQUEZ, M.; BRONDÍZIO, E. S.; DOU, Y. Local ecological knowledge and incremental adaptation to changing flood patterns in the Amazon delta. *Sustainability Science*, v. 11, n. 4, p. 611-623, 2016.

### Contribuição individual

Todos os autores ofereceram substanciais contribuições científicas e intelectuais ao estudo. As tarefas de concepção e design do estudo, preparação e redação do manuscrito, bem como, revisão crítica foram desenvolvidas em grupo. O autor Jefferson Inayan de Oliveira Souto ficou especialmente responsável pela aquisição, aplicabilidade, tratamento e interpretação dos dados utilizados, além do desenvolvimento da redação em conjunto. Os demais autores Norma Ely Santos Beltrão e Renata Melo e Silva de Oliveira, participaram na definição da metodologia, tradução dos resumos, correção ortográfica e na construção da redação final do artigo.



---

**Jefferson Inayan de Oliveira Souto** – Bacharel em Meteorologia pela Universidade Federal do Pará. Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais pela Universidade do Estado do Pará. Especialista em Comunicação Científica na Amazônia pelo Programa Internacional de Formação de Especialistas em Desenvolvimento de Áreas Amazônicas - XXVIII FIPAM vinculado ao Programa de Pós-Graduação Lato Sensu do Núcleo de Altos Estudos Amazônicos. Atualmente é membro do Núcleo de Pesquisa Aplicada ao Desenvolvimento Regional.

---

---

**Norma Ely Santos Beltrão** – Pós-doutorado em Sensoriamento Remoto na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, doutorado em Economia Agrícola na Justus-Liebig-Universität Giessen na Alemanha, reconhecido pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul como Doutorado em Desenvolvimento Rural, mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina, e graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará. É professora efetiva da Universidade do Estado do Pará

---

---

**Renata Melo e Silva de Oliveira** – Possui graduação em Engenharia de Produção pela Universidade do Estado do Pará, mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina e doutorado em Programa Doutoral em Engenharia e Gestão Industrial pela Universidade do Porto. Atualmente é partner - Advances in Cleaner Production Network, assistente de pesquisa do Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência, professor assistente iv da Universidade do Estado do Pará e professor do Centro Universitário do Estado do Pará.

---

Recebido para publicação em 1 de outubro de 2019  
Aceito para a publicação em 17 de novembro de 2019  
Publicado em 06 de dezembro de 2019