

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA NA CALHA DO RIO SOLIMÕES: ESTUDO DE CASO A SECA DE 2010 NA AMAZÔNIA.**

SPATIAL DISTRIBUTION OF RAINFALL INTENSITY IN THE SOLIMÕES RIVER CHANNEL: CASE STUDY THE 2010 DROUGHT IN THE AMAZON.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE INTENSIDAD DA PRECIPITACIONES EL CANAL EN RIO SOLIMÕES: ESTUDIO DE CASO LA SEQUÍA DE 2010 EN LA AMAZONIA.

Edivaldo Afonso de Oliveira Serrão  
Universidade Federal de Campina Grande  
[oliveiraserrao@gmail.com](mailto:oliveiraserrao@gmail.com)

Aline Maria Meiguins de Lima  
Universidade Federal do Pará  
[alinemeiguins@gmail.com](mailto:alinemeiguins@gmail.com)

Francisco Assis Salviano de Sousa  
Universidade Federal de Campina Grande  
[francisco.salviano@ufcg.edu.br](mailto:francisco.salviano@ufcg.edu.br)

Thomas Rocha Ferreira  
Universidade Federal de Campina Grande  
[thomasmcz@gmail.com](mailto:thomasmcz@gmail.com)

Cleber Assis dos Santos  
Universidade Federal de Viçosa  
[cleber\\_ufpa@yahoo.com.br](mailto:cleber_ufpa@yahoo.com.br)

João de Athaydes Silva Junior  
Universidade Federal do Pará  
[jathaydesj@gmail.com](mailto:jathaydesj@gmail.com)

**Resumo:** A bacia Amazônica, com uma área estimada de 6,3 milhões km<sup>2</sup>, sofre influência de diversos sistemas atmosféricos como: convecção diurna resultante do aquecimento da superfície e condições de larga-escala; linhas de instabilidade originadas na costa N-NE do litoral do Atlântico; penetração de sistemas frontais na região Sul da Amazônia e Eventos de ENOS. A consequência direta destes pode ser observada nas variações do nível d'água verificadas nas bacias hidrográficas componentes. Contudo, existem eventos extremos na Amazônia que não estão associados com El Niño ou La Niña, como o aquecimento anômalo do Atlântico tropical Norte. Logo o objetivo deste estudo foi analisar a variabilidade da intensidade pluviométrica na calha do rio Solimões para o ano de 2010 e investigar a severidade da seca marcada na bacia Amazônica, associando aos sistemas atmosféricos atuantes nessa região e causadores desta estiagem severa. Para isto foram utilizados dados de temperatura da superfície do mar - TSM (boias do Niño 3 e 4), e precipitação pluviométrica. Os resultados obtidos mostraram que a intensidade pluviométrica varia ao longo da calha do Rio Solimões, onde o médio e baixo Solimões foram as regiões mais afetadas durante a seca. Este comportamento está vinculado ocorrência dos fenômenos ENOS fase positiva e do dipolo do Atlântico positivo, que são fortes moduladores da precipitação na Amazônia. Logo, observa-se que o Rio Solimões tem sofrido com os fenômenos climáticos que atuam na

Região Amazônica, com consequente repercussão nas cidades que se localizam as suas margens.

**Palavras-chave:** Intensidade Pluviométrica. Rio Solimões. Amazônia.

**Abstract:** The Amazon Basin, with an estimated area of 6.3 million km<sup>2</sup>, is influenced by several weather systems as diurnal convection resulting from surface warming and large-scale conditions; instability lines originating on the coast north-northeast of the Atlantic coast; penetration of frontal systems in the southern region of the Amazon and ENSO events. The direct consequence of these can be seen in Moorhen level variations observed in river basins components. However, there are extreme events in the Amazon that are not associated with El Niño or La Niña, as the anomalous warming of the tropical North Atlantic. Soon the aim of this study was to analyze the variability of rainfall intensity in the Solimões river channel for the year 2010 and investigate the drought severity marked in the Amazon basin, linking the atmospheric systems operating in this region and causing this severe drought. For this we used temperature data from the sea surface - TSM (buoys the Niño 3 and 4), and precipitation. The results showed that the rainfall intensity in the channel of the river solimões is still way but not merged, where the middle and lower solimões were the regions most affected during drought. This behavior is linked occurrence of ENSO phenomena positive phase and the positive dipole Atlantic, which are strong modulators of precipitation in the Amazon. Therefore, it is observed that the Solimões has suffered from the weather phenomena that operate in the Amazon region, with consequent impact on the cities that are located on its banks.

**Keywords:** Intensity rainfall. Solimões River. Amazon

**Resumen:** La cuenca del Amazonas, con una superficie estimada de 6,3 millones km<sup>2</sup>, está influenciada por varios sistemas climáticos: la convección diurna resultante de las condiciones de calentamiento de la superficie de gran escala; líneas de inestabilidad se originó la costa N-NE do atlántico; penetración de sistemas frontales la región meridional de los eventos del Amazonas y del ENSO. La consecuencia directa puede ver las variaciones del nivel del agua observados en los componentes de las cuotas fluviales. Sin embargo, hay eventos extremos la Amazonía que no está asociadas con El Niño o La Niña, ya que el calentamiento anómalo del Atlántico Norte tropical. Pronto, el objetivo de este estudio fue analizar la variabilidad de la intensidad de precipitaciones el cauce del río Solimões para año 2010 e investigar la gravedad de sequía en cuenca del Amazonas, la vinculación de los sistemas atmosféricos activo en está región causando esta severa sequía. Para ello se utilizaron los datos de temperatura de la superficie del mar (boyas del Niño 3 y 4), y la precipitación. Los resultados mostraron que la intensidad de lluvia varía a lo largo de la canal río Solimões, donde los Solimões medio e inferior fueron las regiones más afectadas. Este comportamiento está vinculado ocurrencia de fenómenos ENSO fase positiva y el dipolo positivo del Atlántico, que son fuertes moduladores de precipitación la Amazonia. Así, el río Solimões ha sufrido de los fenómenos meteorológicos que operan la región amazónica, con efecto sobre las ciudades que se encuentran en sus orillas.

**Palabras clave:** Intensidad de la lluvia. Río Solimões. Amazon.

## INTRODUÇÃO

Uma das características mais importantes das regiões tropicais são as variações das precipitações em escalas interanuais e interdecadais (MARENGO et al., 2011). As razões que explicam o regime de chuva na bacia Amazônica são resultantes da combinação da Zona de

Convergência Intertropical (ZCIT); dos processos de convecção organizada associados à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS); e do aquecimento ou resfriamento anômalo da temperatura da superfície do mar no Pacífico tropical, fenômenos conhecidos respectivamente como El Niño e La Niña (MOLION, 1987; FISCH et al., 1996, 1998).

A maior frequência de El Niño e La Niña destacada em alguns trabalhos (ENFIELD; MAYER, 1997; GIANNINI et al., 2001; RONCHAIL et al., 2002; GUIMARÃES; REIS, 2012; ANDREOLI et al., 2012; GONZALEZ et al., 2013) tem produzido um maior efeito sobre a precipitação na Amazônia; além de, consequências mais duradouras e intensas no decorrer dos últimos 20 a 30 anos em comparação com os últimos 100 anos (SENA et al., 2012). A ocorrência de eventos extremos na Amazônia tem sido amplamente discutida (LIEBMANN; MARENGO, 2001; GRIMM, 2004; MARENGO, 2006; GUIMARÃES; MAGRINI, 2008; YOON, 2010; CASALI et al., 2011; SANTOS et al., 2012), principalmente em função dos efeitos destes (secas e cheias) nas áreas urbanas e rurais e sobre a biodiversidade da região.

Marengo et al. (2011a) afirmam que o ano de 2010 contou com um período seco mais generalizado na Floresta Amazônica, do que o observado em 2005; esta teria tido início no verão austral durante o El Niño e, em seguida, foi intensificada como consequência do aquecimento do Atlântico Norte tropical. Lewis et al. (2011) discutem o déficit hídrico climatológico máximo (MCWD) ocorrido durante as secas de 2005 e 2010; e atestam que secas repetidas podem ter impactos importantes de escala decadal sobre o ciclo global do carbono.

Para Xu et al. (2011) secas severas (associadas ao El Niño Oscilação Sul - ENOS) resultam em maiores taxas de mortalidade de árvores e aumento da inflamabilidade da floresta, como observado por Nepstad et al. (2004, 2007). Phillips et al. (2009) e Asner e Alencar (2010) indicam que os efeitos nas parcelas florestais decorrentes da supressão chuvas resultaram em mudanças na taxa de acumulação de biomassa acima do solo e em perdas impulsionadas pelo declínio generalizado do crescimento.

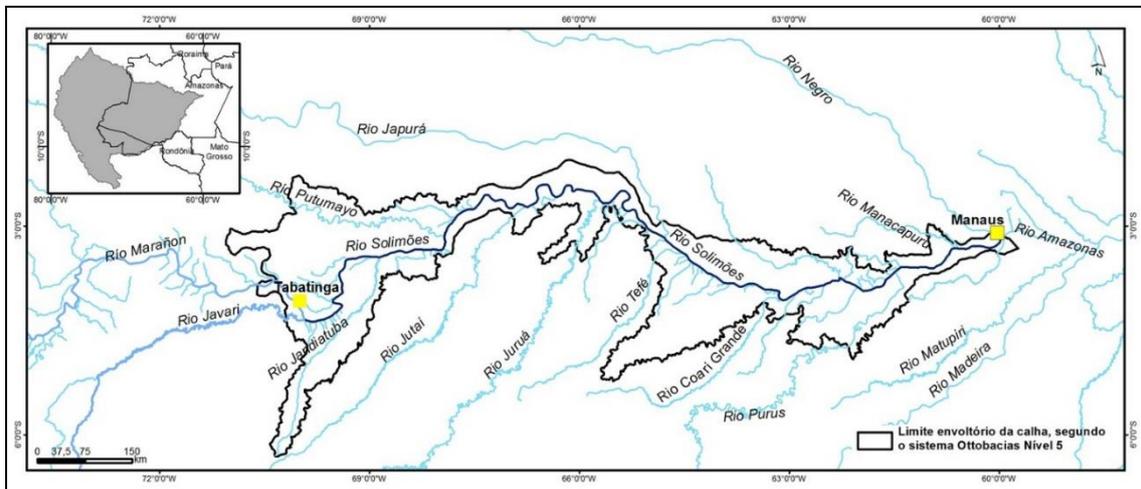
Espinoza et al. (2012) e Gloor et al. (2013) destacam que os mais recentes eventos de seca severa (1995, 1998, 2005, 2010) foram particularmente intensos na Amazônia centro-ocidental, onde as fases do El Niño são associadas as anomalias negativas de precipitação no norte do país, gerando as menores vazões ao longo do rio Amazonas, enquanto que as fases La Niña, anomalias positivas, implicariam em maiores descargas.

Espinoza et al. (2011) discutiram as consequências do evento de 2010 no alto rio Solimões, que registrou durante a primavera austral e inverno, a seca mais grave desde os

anos setenta; sua intensidade e extensão, quando comparados com 2005, foram explicados pela adição de um El Niño durante o verão austral e um episódio mais quente no Atlântico na primavera boreal e no verão. Este trabalho concentra esta análise a partir do comportamento da intensidade pluviométrica nos períodos chuvoso e menos chuvoso, para o ano de 2010, na calha do rio Solimões, avaliando suas consequências.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A sistemática empregada constou da definição da área de abrangência (Figura 1), que derivou das sub-bacias definidas como de “Ordem 5” segundo o Sistema Ottobacias (Resolução CNRH n. 30/2002); geração e processamento da base de informações:



**Figura 1.** Localização da área de estudo, ao longo do rio Solimões, entre as cidades de Tabatinga e Manaus, a partir da definição das sub-bacias drenantes de ordem 5, segundo a classificação de Ottobacias.

- dados temperatura da superfície do mar (TSM - bóias do Niño 3 e 4, respectivamente - 5°N,-5°S/150°W,-90°W e 5°N,-5°S/160°E,-150°W) no período (1982-2013) oriundos do Earth System Research Laboratory / National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA);
- cotas fluviométricas (série de 1995-2012) e precipitação pluviométrica, período de um ano (2010) oriundos do banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA);
- precipitação a partir do produto do sensor 3B43 Versão 7 do Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) disponibilizados pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) através do Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS). O

produto 3B43, ou TRMM and Other Sources Rainfall Product (HUFFMAN et al., 1995, 2007) corresponde a series temporais de dados médios mensais de chuva, em milímetros por hora ( $\text{mm}\cdot\text{hr}^{-1}$ ), calculado a partir dos sensores de Radar de precipitação (Precipitation Radar - PR), Imageador de Micro-Ondas (Microwave Imager- TMI), Escaneador do visível e infravermelho (Visible and Infrared Scanner - VIRS), entre outros sensores a bordo do TRMM, assim como dados de pluviômetros em estações provenientes do Global Precipitation Climatological Center (GPCC). Os dados do produto 3B43 utilizados estão no formato Network Common Data Form (NetCDF) em uma grade de  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$  graus.

No tratamento das informações foram empregados cálculo dos valores médios de precipitação mensal no período chuvoso (Janeiro - Junho) e menos chuvoso (Julho - Dezembro); cota fluvial; e das anomalias de TSM.

$$AP = MD + DP \quad \text{eq 01}$$

$$AN = MD - DP \quad \text{eq 02}$$

Onde, AP -anomalia positiva; AN - anomalia negativa; MD - média; DP - desvio padrão.

No cálculo do valor de intensidade pluviométrica para cada estação, empregou-se:

$$IP = \frac{PRP}{(n/30)} \quad \text{eq 03}$$

Onde, IP - Intensidade Pluviométrica; PRP - precipitação média anual; e n - número de dias com chuva no ano, proposto por (LEITE et al., 2011).

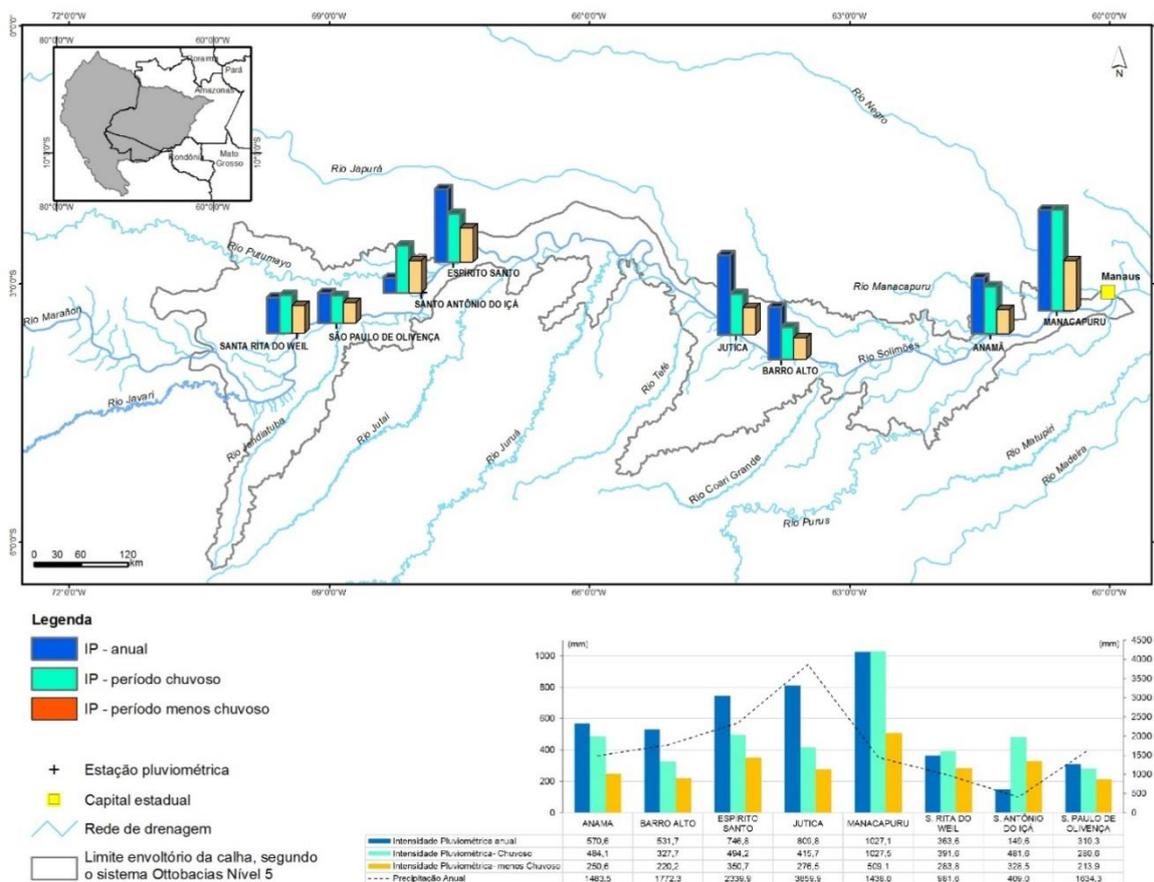
No zoneamento da intensidade pluviométrica, as informações foram processadas empregando um interpolador específico (Inverso do Quadrado da Distância - IQD), onde a influência de cada ponto é inversamente proporcional à distância do nó da malha (ALVES et al., 2012). Trata-se de um modelo determinístico de efeito local onde as resoluções de grades de interpolação devem ter coerência com resoluções de malhas amostrais (MAZZINI; SCHETTINI, 2009). Considerando estes pressupostos o IQD mostrou-se mais eficiente, dada a distribuição das estações ao longo da calha ter configurado certa regularidade, e pelo objetivo de centralizar a análise neste eixo.

Na identificação dos sistemas atmosféricos atuantes na Amazônia, utilizou-se os Boletins Climanálise e imagens de satélite (ambos disponibilizados pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC do INPE). A partir disto pode-se fazer uma avaliação dos sistemas que atuaram e desfavoreceram as chuvas na Amazônia e especificamente na calha do rio Solimões.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Níveis de intensidade pluviométrica

A Figura 2 apresenta os níveis de intensidade pluviométrica no ano de 2010 e sua distribuição nas estações meteorológicas (ANA) ao longo da calha do rio Solimões e como esses níveis se comportam nos períodos chuvoso e menos chuvoso.

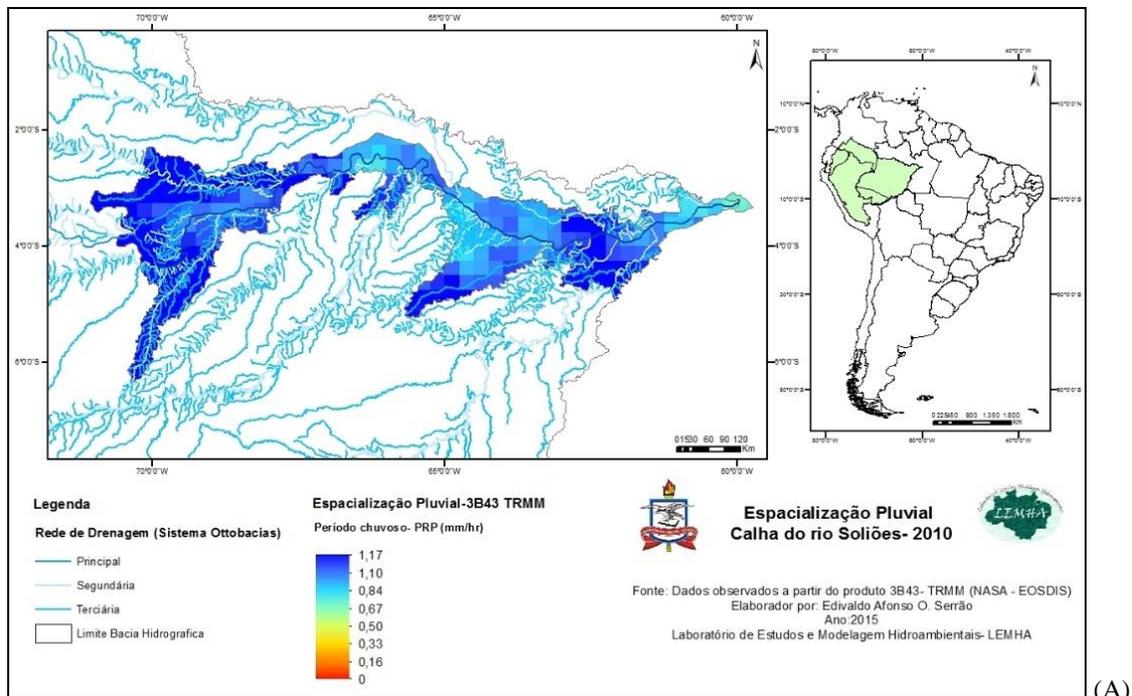


**Figura 2.** Comportamento da Intensidade Pluviométrica (IP) por estação meteorológica (ANA), na calha do rio Solimões - 2010.

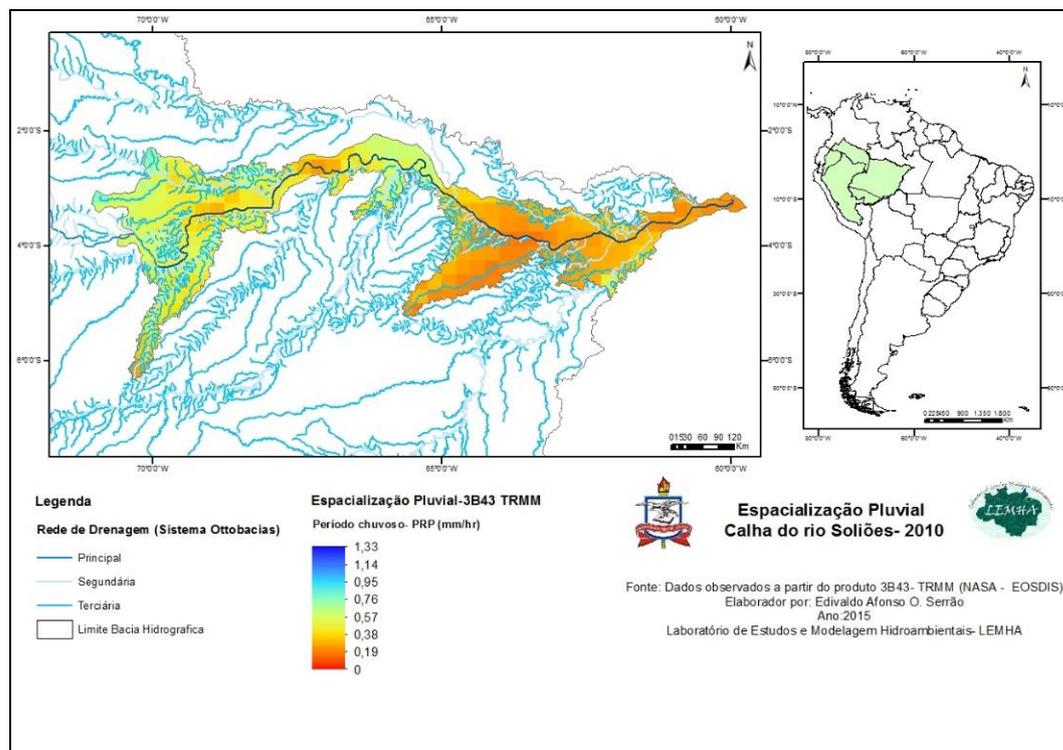
A IP no período chuvoso é alta na estação de Manacapuru (próxima a confluência com o rio Negro) com máximos na faixa de 1.000 mm; e mínima nas estações de São Paulo de Olivença e Barro Alto, com índices até 300 mm. No período menos chuvoso, nota-se que Manacapuru é a única estação que atinge índice de intensidade pluvial acima de 500 mm e as estações de São Paulo de Olivença e Barro Alto continuam com a configuração de menor índice.

Empregando os dados da precipitação via TRMM para o ano de 2010, observa-se comportamento similar com máximos pluviométrico de  $1,17 \text{ mm.hr}^{-1}$ ; e mínimos no médio

Solimões, bem como nas proximidades de Manaus, com índices de 0,67 a 0,84 mm.hr<sup>-1</sup> (Figura 3A).



(A)



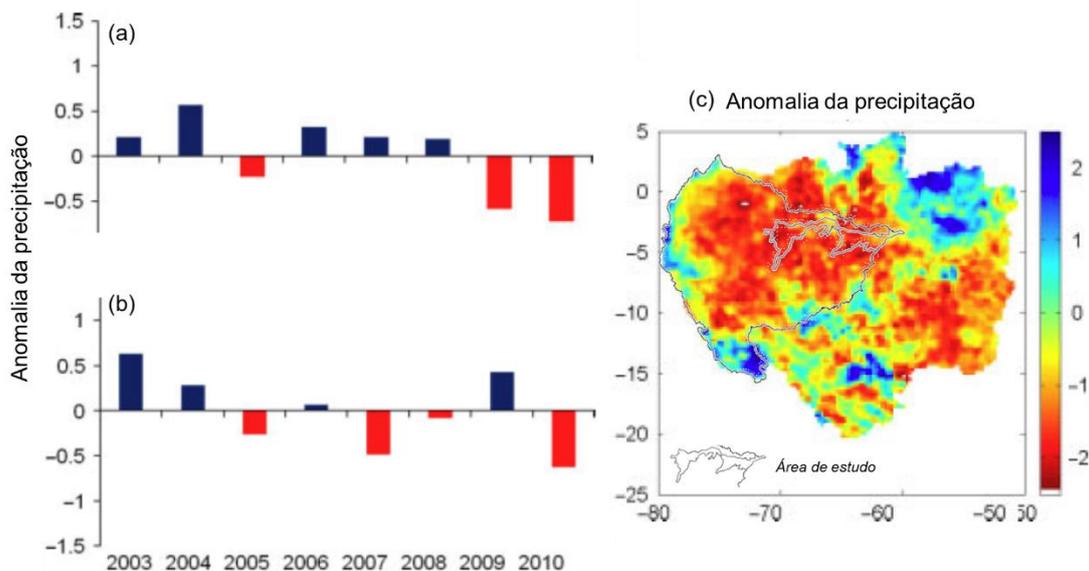
(B)

**Figura 3.** Espacialização da pluviometria na calha do rio Solimões para o ano de 2010:(A) período chuvoso. (TRMM); (B) período menos chuvoso (TRMM).

Observando a pluviosidade na Figura 3B, destaca-se a severidade da estiagem que atingiu a calha do rio Solimões em 2010, concentrando valores baixíssimos de precipitação

(0,19 a 0,38 mm.hr<sup>-1</sup>) de 60° a 65° Oeste ou seja, da porção central até a foz do Rio Solimões. Durante o outono do hemisfério Sul, os oceanos Atlântico e Pacífico tropical continuaram aquecendo tanto que o fenômeno El Niño foi substituído pela fase fria, o fenômeno La Niña. Esta situação climática durante o verão e outono favoreceu a ocorrência de estiagens severas nos tributários da calha sul do rio até outubro 2010 (TOMASELLA et al., 2011). Esse déficit na recarga hídrica afetou os níveis de cota e vazão fluviais dos rios ao sul na Amazônia, afetando diretamente o nível do rio Solimões.

Frappart et al. (2013) observaram, empregando a precipitação de TRMM 3B43, o maior déficit na bacia no ano de 2010 durante a estação menos chuvosa (julho a outubro), sendo este observado tanto a norte quanto a sul da bacia, sendo mais intenso em 2010 que em 2005 quando a resposta foi similar (Figura 4).



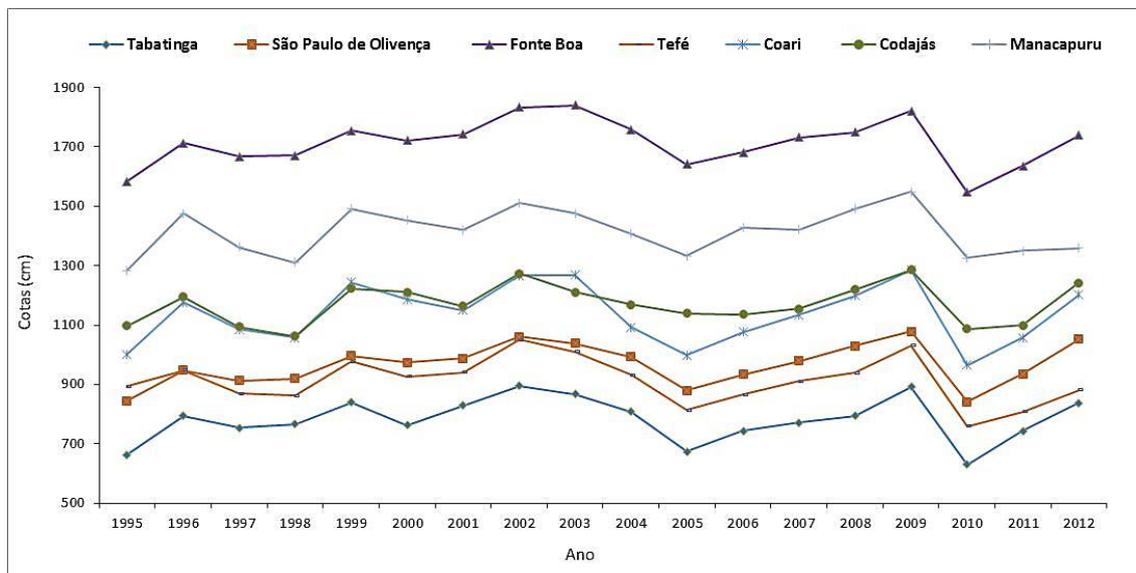
**Figura 4.** Índice de anomalia da precipitação de TRMM 3B43, entre 2003 e 2010: Porção (a) norte e (b) sul da Amazônia, (c) distribuição da anomalia na bacia no ano de 2010; durante a estação menos chuvosa (julho a outubro). Fonte: Adaptado de Frappart et al. (2013).

#### Analise dos níveis de cota fluviométricas

Uma análise aos níveis fluviométricos ao longo do rio Solimões, demonstra que este tem sofrido com os eventos extremos nos últimos 20 anos. Os eventos de cheias que se mostraram mais marcantes foram os de 1999, 2002 e 2009. Nascimento et al. (2010) consideram que o máximo da chuva na região central da Amazônia pode estar associada com a penetração de sistemas frontais da região sul, interagindo e organizando a convecção local.

Os períodos considerados de seca foram melhores definidos nos anos de 1997/1998, 2005 e 2010. Na Figura 5 é possível identificar claramente os anos desses eventos extremos.

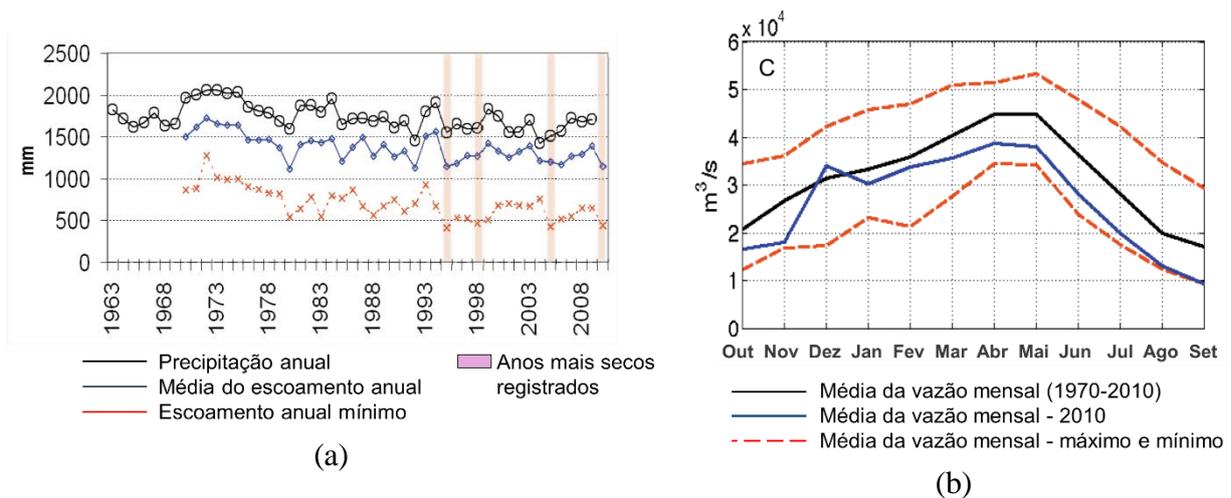
No ano de 2010 todas as estações fluviométricas ao longo da calha demonstram uma queda abrupta em seus níveis fluviais.



**Figura 5.** Comportamento da cota fluviométrica ao longo da calha do rio Solimões.

Para Marengo et al. (2008) e Lewis et al. (2010) os sistemas acoplados oceano-atmosfera de grande escala (El Niño e Dipolo do Atlântico) influenciaram os níveis pluviométricos da Amazônia em 2010, desintensificando as chuvas, especialmente na porção sul; diminuindo a recarga hídrica dos tributários sul, afetando diretamente o nível fluvial do rio Solimões.

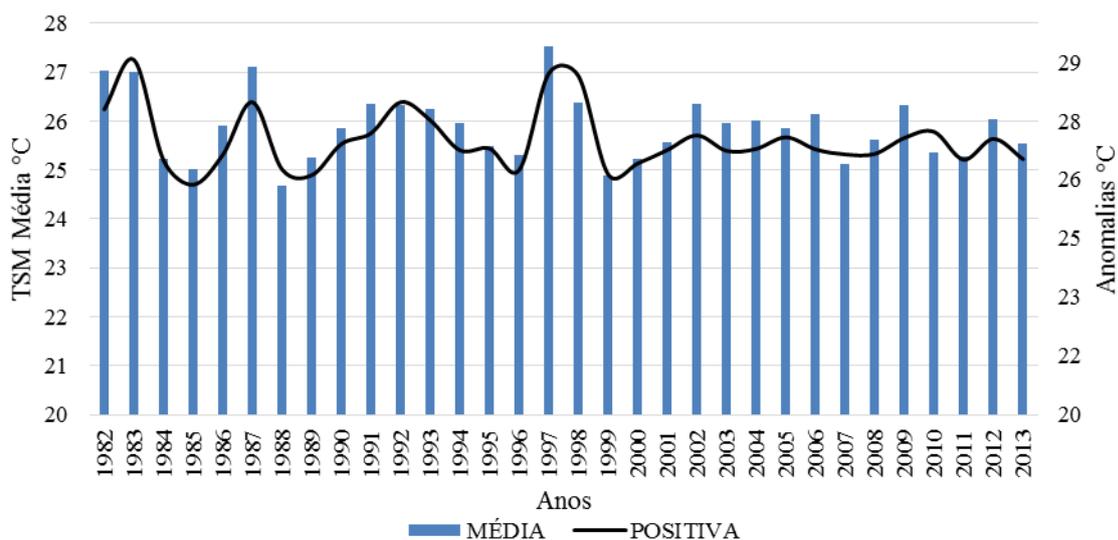
Espinoza et al. (2011) observaram que no alto Solimões (bacias dos rios Marañón e Ucayali) a precipitação na região para o ano de 2010, não alcançou os menores índices, quando comparada a série de 1963-2010 (Figura 6a), porém para a bacia representou os menores valores de vazão, igualando ao comportamento registrado nos anos de 1995, 1998 e 2005, com o trimestre de agosto-setembro-outubro registrando os níveis mais baixos (Figura 6b).



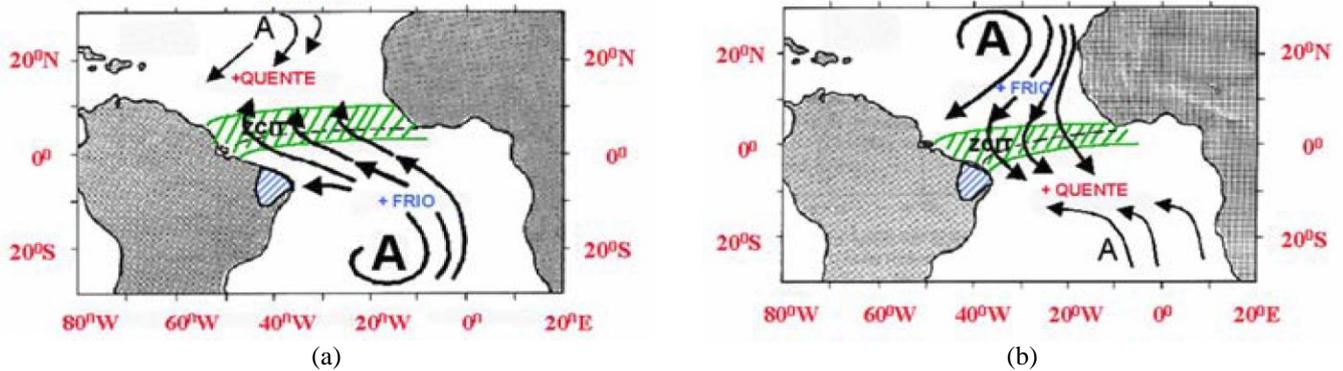
**Figura 6.** (a) Variabilidade interanual (1963-2010) da precipitação, escoamento médio e mínimo no alto Solimões; (b) comportamento da vazão do alto rio Solimões, média mensal do período de 1970 a 2010, média/máximo/mínimo para o ano de 2010. Fonte: Adaptado de Espinoza et al. (2011).

### Análise sinótica e hidrometeorológica para a seca de 2010

Avaliando as condições da evolução da temperatura da superfície do mar (1982-2013) de Niño 3 (TRENBERTH, 1997), observa-se as anomalias positivas de TSM em 1983, 1992, 1998, 2005 e 2010 todas entre 27°C a 29°C, sendo estas configurações de El Niño (Figura 7). Onde 1998 foi classificado como El Niño forte, 2005 fraco e 2010 moderado; contudo em 2005 outro fenômeno acoplado oceano-atmosfera interferiu no regime de precipitação na Amazônia, o Dipolo do Atlântico (MARENGO, 2004), caracterizado na Figura 8.

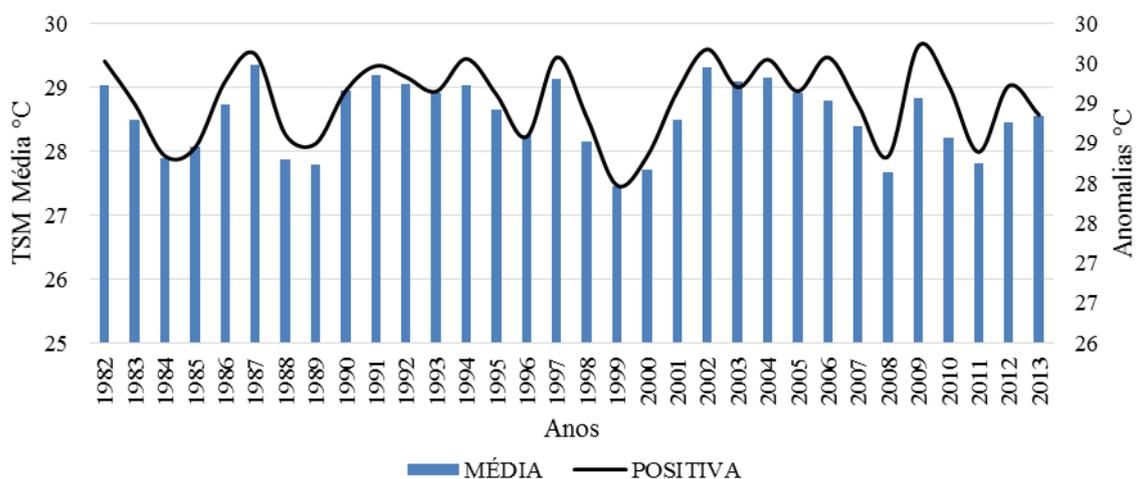


**Figura 7.** Evolução da temperatura da superfície do mar de Niño 3 (1982-2013).



**Figura 8.** Padrões de circulação atmosférica e de anomalias de TSM no Atlântico Tropical Norte e Sul, durante anos (a)secos e (b)chuvosos no Norte e Nordeste. A área em verde representa a posição da ZCIT. A - representa a circulação das Altas subtropicais (Fonte: Nobre e Molion, 1988).

A Figura 9 apresenta as anomalias positivas (El Niño) no setor do Niño 4, acompanhando a Figura 7 nos anos de máximos destacados, observa-se ainda que em 2005 o Niño 4 apresenta valores superiores de anomalias em relação ao Niño 3. Geograficamente a região do Niño 4 está mais a oeste da América do Sul, logo pode-se associá-lo ao ramo ascendente da célula de Walker, concomitantemente seu ramo descendente estará sobre a Amazônia e nordeste brasileiro desfavorecendo a convecção local com isso diminuindo as chuvas nestes setores brasileiros, configuração clássica de El Niño (ARAÚJO et al., 2013).



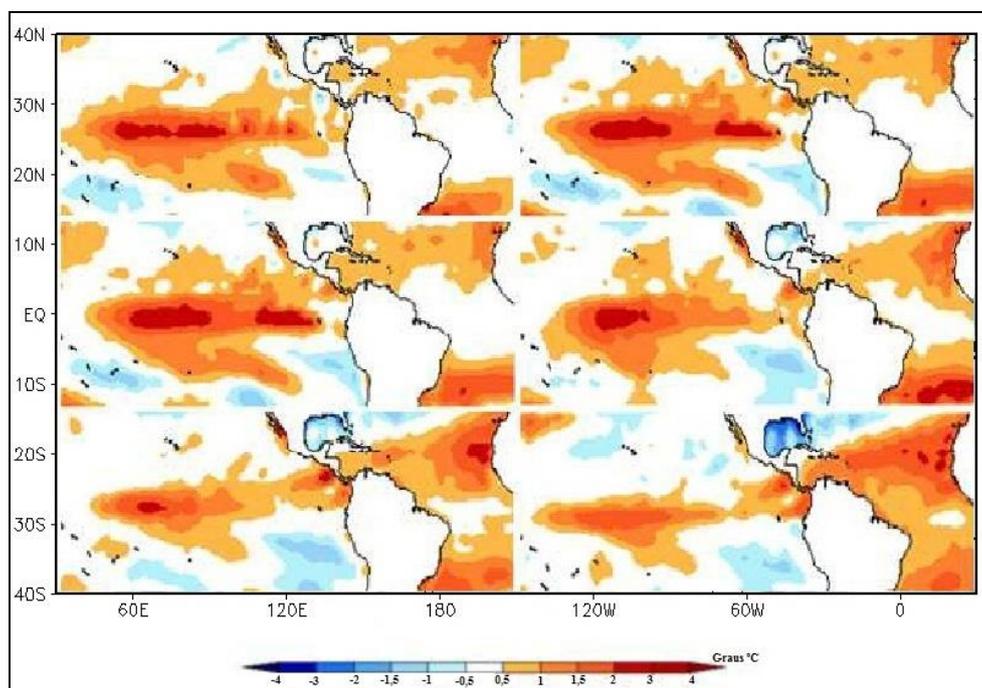
**Figura 9.** Evolução da temperatura da superfície do mar de (1982-2013) Niño 4.

A ocorrência do fenômeno El Niño, somado ao aquecimento do Atlântico tropical Norte no início de 2010, trouxe como consequência a diminuição das precipitações na parte norte da bacia Amazônica (MARENGO et al., 2011a). Tomasella e Marengo (2011)

concluíram que o fenômeno El Niño, somado ao Dipolo do Atlântico positivo influenciaram desfavoravelmente as cheias e recargas dos rios da região norte durante o período chuvoso de dezembro 2009 até março 2010.

O oceano Atlântico Tropical tem um papel fundamental na variabilidade do tempo e do clima em regiões ao leste dos Andes. Particularmente sobre o Brasil, as regiões mais significativamente influenciadas pelas circulações atmosféricas e oceânicas do Atlântico Tropical são: o centro e o leste da Amazônia e nordeste brasileiro (MOLION, 1987; GIANNINI et al., 2001).

A Figura 10 apresenta a evolução das anomalias da TSM, no Pacífico e Atlântico tropical desde novembro de 2009 até abril de 2010. Os níveis em vermelho indicam a ocorrência de temperaturas acima da média; em azul, resfriamento abaixo da média. Observa-se que durante o período chuvoso da parte norte da bacia amazônica, a condição que prevalece no Oceano Pacífico tropical correspondia à fase quente especificamente, um evento El Niño. Como agravante o Atlântico tropical norte esteve mais quente que o normal (TOMASELLA;MARENGO, 2011).



**Figura 10.** Evolução da Temperatura da Superfície do Mar nos Oceanos Atlântico e Pacífico tropical entre Novembro de 2009 e Abril de 2010. (Fonte: INPE).

O padrão dipolo no Atlântico Tropical acarreta em gradientes norte-sul de anomalias de TSM, estes afetam intensamente na posição latitudinal da ZCIT, modulando a distribuição

sazonal de precipitação pluviométrica sobre o Atlântico Equatorial, na parte norte do nordeste do Brasil, até a parte central da Amazônia (MARENGO et al., 2008).

O aumento da TSM no Atlântico Tropical Norte (entre 12°N e 20°N) tende a ocasionar maior evaporação e conseqüente redução da pressão no nível do mar (PNM); nas proximidades da região dominada pela alta pressão semipermanente subtropical ocorre concomitantemente o enfraquecimento dos ventos alísios de nordeste, estes são provenientes do escoamento gerado pela circulação da alta subtropical norte (MOLION, 1987; RONCHAIL et al., 2002; MARENGO, 2004).

No Atlântico Tropical Sul (entre a linha do Equador e 15°S) ocorrem anomalias negativas de TSM (a baixo da média), intensificando a alta subtropical do Atlântico Sul; e fortalecendo os ventos alísios de sudeste, ocasionados pela circulação da alta subtropical sul (ENFIELD; MAYER, 1997; ANDREOLI et al., 2012). Essa configuração do acoplamento oceano-atmosfera, gera a formação de um gradiente meridional de anomalias de TSM no sentido de sul para norte; e com isso a faixa de baixa pressão equatorial a superfície, confluência dos ventos alísios (deslocado mais para norte, relativamente ao seu posicionamento médio) e totais pluviométricos abaixo da média sobre o norte-Nordeste Brasileiro e Leste dos Andes (BARROS; DOYLE, 1996). O processo inverso, com a mudança na configuração desses sistemas atmosféricos, favorece as chuvas na Amazônia e nordeste brasileiro.

## **CONCLUSÃO**

A análise da variabilidade espacial da intensidade pluviométrica possibilitou a percepção de como a esta respondeu aos eventos que marcaram o ano de 2010 na bacia amazônica, ao longo do rio Solimões. Para a estação chuvosa os valores de intensidade pluviométrica são da ordem de 218,0 mm a 1040,0 mm, já no período menos chuvoso estes valores estão entre 144,0 mm a 668,0 mm no ano de 2010.

Identificou-se zonas críticas de intensidade pluviométricas, tanto pelos dados das estações meteorológicas, quanto pelos obtidos a partir do produto 3B43 do TRMM; que permitiram avaliar a severidade da estiagem de 2010, especialmente no médio e baixo Solimões; onde o aquecimento anômalo da TSM acarretou à ocorrência do fenômeno El Niño, este somado ao aquecimento do Atlântico tropical norte no início de 2010, trouxe como consequência a diminuição das precipitações na bacia amazônica.

O déficit de chuva tem consequências diretas sobre o regime hidrológico, não apenas no que tange à magnitude das cheias do período chuvoso, mas também sobre as vazões no período seco. A Amazônia sofreu uma de suas maiores estiagens no ano de 2010, levantando grandes questionamentos no âmbito ambiental e social, já que “*os rios da Amazônia também são suas estradas*”. Verifica-se que a Amazônia e seus sistemas hidrológicos necessitam de monitoramento contínuo, e assim auxiliando na prevenção e mitigação de eventos extremos.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, E. D. L.; BIUDES, M. S.; VECCHIA, F. Interpolação espacial climatologia: análise dos critérios que precedem sua aplicação. **Revista Geonorte**, v. 1, n. 5, p. 606-618, 2012.
- ANDREOLI, R. V.; SOUZA, R. A. F.; KAYANO, M. T.; CANDIDO, L. A. Seasonal anomalous rainfall in the central and eastern Amazon and associated anomalous oceanic and atmospheric patterns. **International Journal of Climatology**, v. 32, p. 1193-1205, 2012.
- ARAÚJO, R. G.; ANDREOLI, R. V.; CANDIDO, L. A.; KAYANO, M. T.; SOUZA, R. A. F. A influência do evento El Niño - Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. **Acta Amazônica**, v. 43, n. 4, p. 469-480, 2013.
- ASNER, G. P.; ALENCAR, A. Drought impacts on the Amazon forest: the remote sensing perspective. **New Phytologist**, v. 187, n. 3, p. 569-578, 2010.
- BARROS, V., DOYLE, M. Precipitation trends in Southern South America to the east of the Andes. **Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies**. Report nº 26, p. 76-80, 1996.
- CASALI, S.; CALIJURI, M. C.; BARBARISI, B.; RENÓ, V. F.; AFFONSO, A. G.; BARBOSA, C.; SILVA, T. S. F.; NOVO, E. M. L. M. Impact of the 2009 extreme water level variation on phytoplankton community structure in Lower Amazon floodplain lakes. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 23, n. 3, p. 260-270, 2011.
- ENFIELD, D. B.; MAYER, D. A. Tropical Atlantic sea surface temperature variability and its relation to El Niño-Southern Oscillation. **Journal of Geophysical Research**, v. 102, p. 929-945, 1997.
- ESPINOZA, J. C.; RONCHAIL, J.; GUYOT, J. L.; JUNQUAS, C.; DRAPEAU, G.; MARTINEZ, J. M. From drought to flooding: understanding the abrupt 2010–11 hydrological annual cycle in the Amazonas River and tributaries. **Environmental Research Letters**, v. 7, n. 2, p. 1-7, 2012.
- ESPINOZA, J. C.; RONCHAIL, J.; GUYOT, J. L.; JUNQUAS, C.; VAUCHEL, P.; LAVADO, W.; DRAPEAU, G.; POMBOSA, R. Climate variability and extreme drought in the upper Solimões River (western Amazon Basin): Understanding the exceptional 2010 drought. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. L13406, p. 1-13, 2011.
- FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 22, n. 2, p. 101-126, 1998.
- FRAPPART, F.; RAMILLIEN, G.; RONCHAIL, J. Changes in terrestrial water storage versus rainfall and discharges in the Amazon basin. **International Journal of Climatology**, v. 33, n. 14, p. 3029-3046, 2013.
- GIANNINI, A.; CHIANG, J. C. H.; CANE, M. A.; KUSHNIR, Y.; SEAGER, R. The ENSO teleconnection to the tropical Atlantic Ocean: contributions of the remote and local SSTs to rainfall variability in the tropical Americas. **Journal of Climate**, v. 14, p. 4530-4544, 2001.
- GLOOR, M.; BRIENEN, R. J. W.; GALBRAITH, D.; FELDPAUSCH, T. R.; SCHÖNGART, J.; GUYOT, J.-L.; ESPINOZA, J. C.; LLOYD, J.; PHILLIPS, O. L.

Intensification of the Amazon hydrological cycle over the last two decades. **Geophysical Research Letters**, v. 40, n. 9, p. 1729–1733, 2013.

GRIMM, A. M. How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil? **Climate Dynamics**, v. 22, p. 123-138, 2004.

GUIMARÃES, D. P.; REIS, R. Impactos do Fenômeno ENOS sobre a temperatura no Brasil. **Revista Espinhaço**, v. 1, n. 1, p. 34-40, 2012.

GUIMARÃES, L. T.; MAGRINI, A. proposal of indicators for sustainable development in the management of River Basins. **Water Resources Management**, v. 22, p. 1191-1202, 2008.

HUFFMAN, G.; ADLER, R.; BOLVIN, D.; GU, G.; NELKIN, E.; BOWMAN, K.; HONG, Y.; STOCKER, E.; WOLFF, D. The TRMM Multi satellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. **Journal of Hydrometeorology**, v. 8, n. 1, p. 38-55, 2007

HUFFMAN, G.; ADLER, R.; RUDOLF, B.; SCHNEIDER, U.; KEEHN, P. Global precipitation estimates based on a technique for combining satellite based estimates, rain gauge analysis, and NWP model precipitation information. **Journal of Climate**, v. 8, n. 5, p. 1284-1295, 1995.

LEITE, M. L.; ADACHESKI, P. A.; VIRGENS FILHO, J. S. Análise da frequência e da intensidade das chuvas em Ponta Grossa, Estado do Paraná, no período entre 1954 e 2001. **Acta Scientiarum Technology**, v. 33, n. 1, p. 57-64, 2011.

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, 2011.

LIEBMANN, B.; MARENGO, J. A. Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 14, p. 4308-4318, 2001.

MARENGO, J. A. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 78, p. 79-96, 2004.

MARENGO, J. A. On the hydrological cycle of the Amazon basin: a historical review and current state-of-the-art. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3a, p. 1-19, 2006.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; CHOU, S. C.; TOMASELLA, J.; SAMPAIO, G.; ALVES, L. M.; OBREGÓN, G. O.; SOARES, W. R.; BETTS, R.; KAY, G. **Riscos das Mudanças Climáticas no Brasil: Análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das Mudanças Climáticas e do Desmatamento na Amazônia**. São Jose dos Campos, SP: INPE, 2011, 55 p.

MARENGO J. A.; NOBRE. C.; TOMASELLA, J.; OYAMA, M.; OLIVEIRA, G. S.; OLIVEIRA, R.; CAMARGO, H.; ALVES, L. M.; BROWN, I. F. The drought of Amazônia in 2005. **Journal of Climate**, n. 21, p. 495-516, 2008.

MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; SOARES. W. R.; RODRIGUEZ, D. A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, v. 38, p. 1-5, 2011a.

MAZZINI, P. L. F.; SCHETTINI, C. A. F. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase-sinóticos. Braz. **Journal of Aquatique Science Technology**, v. 13, n. 1, p. 53-64, 2009.

MOLION, L. C. B. Climatologia dinâmica da região Amazônica: mecanismos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, p. 107-117, 1987.

NASCIMENTO, T. S.; SARAIVA, J. M. B.; SENNA, R.; AGUIAR, F. E. O. Preenchimento de falhas em banco de dados pluviométricos com base em dados do CPC (Climate Prediction Center): estudo de caso do Rio Solimões-Amazonas. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 7, p. 143-158, 2010.

NEPSTAD, D.; LEFEBVRE, P.; SILVA, U. L.; TOMASELLA, J.; SCHLESINGER, P.; SOLORZANO, L.; MOUTINHO, P.; RAY, D.; BENITO, J. G. Amazon drought and its

implications for forest flammability and tree growth: A basin-wide analysis. **Global Change Biology**, v. 10, n. 5, p. 704-717, 2004.

NEPSTAD, D.; TOHVER, I.; RAY, D.; MOUTINHO, P.; CARDINOT, G. Mortality of large trees and lianas following experimental drought in an Amazon forest. **Ecology**, v. 88, p. 2259-2269, 2007.

NOBRE, C. A.; MOLION, L. C. B. The climatology of droughts and drought prediction. In: PARRY, M. P.; CARTER, T. R.; KONIJN, N. T. (eds.) **Impacts of climatic variations on agriculture**: Assesments in semi-arid regions. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic, v. 2, 1988, 764p.

PHILLIPS, O. L.; ARAGÃO, L. E. O. C.; LEWIS, S. L.; FISHER, J. B. et al. Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest. **Science**, v. 323, p. 1344- 1347, 2009.

RONCHAIL, J.; COCHONNEAU, G.; MOLINIER, M.; GUYOT, J. L.; CHAVES, A. G. M.; GUIMARÃES, V.; OLIVEIRA, E. Interannual rainfall variability in the Amazon Basin and SSTs in the equatorial Pacific and the tropical Atlantic oceans. **International Journal of Climatology**, v. 22, p. 1663-1686, 2002.

SANTOS, C. A. C.; SATYAMURTY, P.; SANTOS, E. M. Tendências de índices de extremos climáticos para a região de Manaus-AM. **Acta Amazônica**, v. 42, n. 3, p. 329-336, 2012.

SENA, J. A.; DEUS, L. A. B.; FREITAS, M. A. V.; COSTA, L. Extreme Events of Droughts and Floods in Amazônia: 2005 and 2009. **Water Resources Management**, v. 26, p. 1665-1676, 2012.

TOMASELLA, J.; MARENGO, J. A. A seca de 2010 na Amazônia. **Science**, v. 331, n. 6017, p. 532, 2011.

TRENBERTH, K. E. The Definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 12, p. 2771-2777, 1997.

XU, L.; SAMANTA, A.; COSTA, M. H.; GANGULY, S.; NEMANI, R. R.;MYNENI, R. B. Widespread decline in greenness of Amazonian vegetation due to the 2010 drought. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 7, p. 1-4, 2011.

YOON, J. H.; ZENG, N. An Atlantic influence on Amazon rainfall. **Climate Dynamics**, v. 34, p. 249-264, 2010.