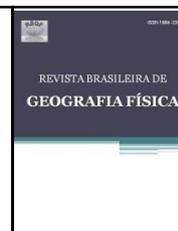




ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Análise do Desempenho da Estimativa de Precipitação do Produto CHIRPS para Sub-Bacia do Rio Apeú, Castanhal-PA

Emerson Renato Maciel da Silva¹; Ivan Carlos da Costa Barbosa²; Helder José Farias da Silva³; Luiz Gonzaga Silva Costa⁴; Edson José Paulino da Rocha⁵

¹Mestrando em Ciências Ambientais do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará, e-mail: emersonrvs255@gmail.com. ²Mestre em Química, Universidade Federal do Pará, e-mail: ivan.barbosa@ufpa.edu.br. ³Doutor em Ciências Climáticas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, e-mail: helderpa@ufrn.edu.br. ⁴Doutor em Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural da Amazônia, e-mail: luizgonzagacosta53@gmail.com. ⁵Doutor em Meteorologia, Universidade Federal do Pará, e-mail: eprocha@ufpa.br.

Artigo recebido em 20/11/2019 e aceito em 09/03/2020.

RESUMO

A precipitação é entendida como toda água oriunda do meio atmosférico que alcança a superfície terrestre e estudos sobre o comportamento e distribuição da precipitação em bacias hidrográficas são fundamentais para o conhecimento dos processos hidrológicos de uma região ou bacia hidrográfica. Assim, o presente estudo, tem como objetivo avaliar o desempenho dos dados de precipitação estimados pelo produto CHIRPS, para sub-bacia do rio Apeú em relação aos dados observacionais das estações meteorológicas do INMET e ANA, localizada no município de Castanhal, estado do Pará, para um período de dezesseis anos. O trabalho foi desenvolvido na sub-bacia hidrográfica do rio Apeú que está localizada na região nordeste do Estado do Pará. Para a validação dos dados estimados pelo CHIRPS, foram calculados o Coeficiente de Correlação (r), Erro Percentual Médio (PBIAS), Erro Quadrático Médio da Raiz (RMSE) e o Índice de Concordância (d). Após a validação foram construídos mapas que mostrassem a espacialização da precipitação estimada pelo CHIRPS mediante a interpolação dos pontos de grades pertencentes a sub-bacia. Em geral, os dados do produto tenderam a superestimar a precipitação pluvial medida na região de interesse, principalmente no período chuvoso, embora haja um ajuste melhor ao observado no período menos chuvoso. Contudo, os resultados mostraram que o CHIRPS conseguiu reproduzir com fidelidade a variabilidade sazonal da precipitação na região de interesse, com correlações significativas. Entretanto, são necessárias mais avaliações utilizando dados de superfície de outras fontes de dados, de forma a compor uma grade mais homogênea e corroborar com a metodologia apresentada.

Palavra-chave: CHIRPS; precipitação; sensoriamento remoto.

Evaluating the Performance of Precipitation Estimate from CHIRPS Product for the Apeú River Basin, Castanhal-PA

ABSTRACT

Precipitation is understood as all water coming from the atmospheric environment that reaches the earth's surface, and studies on the behavior and distribution of precipitation in watersheds are fundamental to the knowledge of the hydrological processes of a region or watershed. Thus, in the present study, the objective is to evaluate the performance of data estimated by the CHIRPS product for the Apeú River sub-basin in relation to the observational data of INMET and ANA meteorological stations, located in the municipality of Castanhal, State of Pará, by a period of sixteen years. The work was carried out in the Apeú River sub-basin, which is located in the Northeast region of Pará State. For validation of data estimated by CHIRPS, it was calculated correlation coefficients (r), Mean Percentage Error (PBIAS), Root Mean Square Error (RMSE) and Concordance Index (d). After validation, maps were constructed showing the spatialization of CHIRPS estimated precipitation through the interpolation of the grid points belonging to the sub-basin. In general, the product data tended to overestimate the rainfall measured in the region of interest, especially in the rainy season, although there is a better fit after the less rainy period. However, the results shown by CHIRPS have faithfully reproduced a seasonal variability of the region of interest with negative correlations. Despite that, it's necessary more evaluations using surface data from other data sources to compose a more homogeneous class and corroborate with the presented methodology.

Keyword: CHIRPS; precipitation; remote sensing.

Introdução

A precipitação é entendida como toda água oriunda do meio atmosférico que alcança a superfície terrestre em diferentes formas, tais como, chuva, neblina, granizo, neve, orvalho e geada. Porém, para os estudos hidrológicos, a chuva é considerada como o principal tipo de precipitação e uma das variáveis climatológicas mais importantes na determinação das condições climáticas locais (Bertoni e Tucci, 2009; Silva et al., 2019). Além disso, por ser uma variável que exerce influência em diversas áreas de atividades humanas, na modulação de estações chuvosas e secas, na conservação dos ecossistemas e no regime de vazão de rios. Assim, essa variável meteorológica é de suma importância para estudos climáticos e hidrológicos (Fisch et al., 1998; Sodré e Rodrigues, 2013; Soares et al., 2016).

Além disso, a hidrologia aplicada abrange diferentes estudos sobre a utilização dos recursos hídricos, preservação do meio ambiente e mudanças no uso e cobertura de bacias hidrográficas. Neste sentido, estudos sobre o comportamento e distribuição da precipitação em bacias hidrográficas são fundamentais para o conhecimento dos processos hidrológicos de uma região (Silva, 2014), uma vez que, as elevadas taxas de precipitação na região Amazônica e volumes intensos de águas dos rios fazem parte do ciclo hidrológico da região (Serrão et al., 2019). Pois a bacia hidrográfica constitui-se a mais eficiente unidade de planejamento quanto à exploração e uso dos recursos naturais, já que seus limites são imutáveis em relação aos planejamentos humanos, facilitando a observação referente as alterações naturais ou antrópicas na área (Nogueira et al., 2015).

De acordo com o estudo de Amanajás e Braga (2012), a região amazônica é caracterizada por três padrões ou estações (chuvosa, de transição e menos chuvosa) que definem o regime de precipitação. A estação chuvosa, se estende de janeiro a abril, e é influenciada diretamente pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A estação de transição, é configurada pelas chuvas de maio a agosto, e apresenta relação com sistemas de grande e mesoescala, tal como a ZCIT e as Linhas de Instabilidade. A estação menos chuvosa, se estende de setembro a dezembro e está associada aos efeitos da Zona de Convergência do Atlântico Sul e aos sistemas frontais decorrentes do Sul e Sudeste do Brasil.

Dessa forma, informações e conhecimentos dos dados de precipitação, favorecem a avaliação dos seus impactos sobre o

meio ambiente (Wanderley et al., 2013). Necessitando assim, de uma confiabilidade dos dados, que proporcionem resultados significativos nas análises temporais e espaciais da precipitação (Costa et al., 2012). O que, para Amazônia, diante da baixa resolução espacial climatológica e pouca disponibilidade de estações meteorológicas, com nem uma ou pouca representatividade, acaba comprometendo a confiabilidade dos resultados (Lopes et al., 2013).

Neste contexto, uma alternativa para contornar essa situação, é a utilização de metodologias que utilizam o sensoriamento remoto para estimar valores de precipitação por meio de sensores orbitais e modelos atmosféricos (Santos, 2017; Costa et al., 2019). Assim, a utilização desses conjuntos de dados de precipitação, de fontes como, CPC Merged Analysis of Precipitation (CMAP), Climate Research Unit (CRU), Climate Prediction Center Morphing Method (CMORPH), Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) e o Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS), tem permitido a obtenção de dados para quase todo o globo, com resoluções espaciais de aproximadamente 0,05° (Joyce et al., 2004; Funk et al., 2015; Costa et al., 2019).

Diante disso, o presente estudo, tem como objetivo avaliar o desempenho dos dados de precipitação estimados pelo produto CHIRPS, para sub-bacia do rio Apeú em relação aos dados observacionais das estações meteorológicas do INMET e ANA, localizada no município de Castanhal, estado do Pará, para um período de dezesseis anos.

Material e Métodos

Caracterização da área de estudo

A sub-bacia hidrográfica do rio Apeú está localizada na região nordeste do Estado do Pará (Figura 1), situada entre as coordenadas 1°13'10" e 1°29'37" de latitude Sul e 48°04'42" e 47°53'30" de longitude Oeste, ocupa uma área de aproximadamente 320 km² (Jesus, 2009; Souza, 2011; Vale, 2017). Segundo Souza (2011) e Vale (2017), 77% da área da bacia encontra-se no município de Castanhal, 16% em Santa Izabel do Pará e 7% em Inhangapí. Formada pelo igarapé Apeú, caracterizado como um curso de águas claras, tem sua nascente situada na fazenda Buriti (1°13'3,8" S e 47°58'46,5" W), no município de Castanhal, e sua foz no rio Inhangapí, município de Inhangapí.

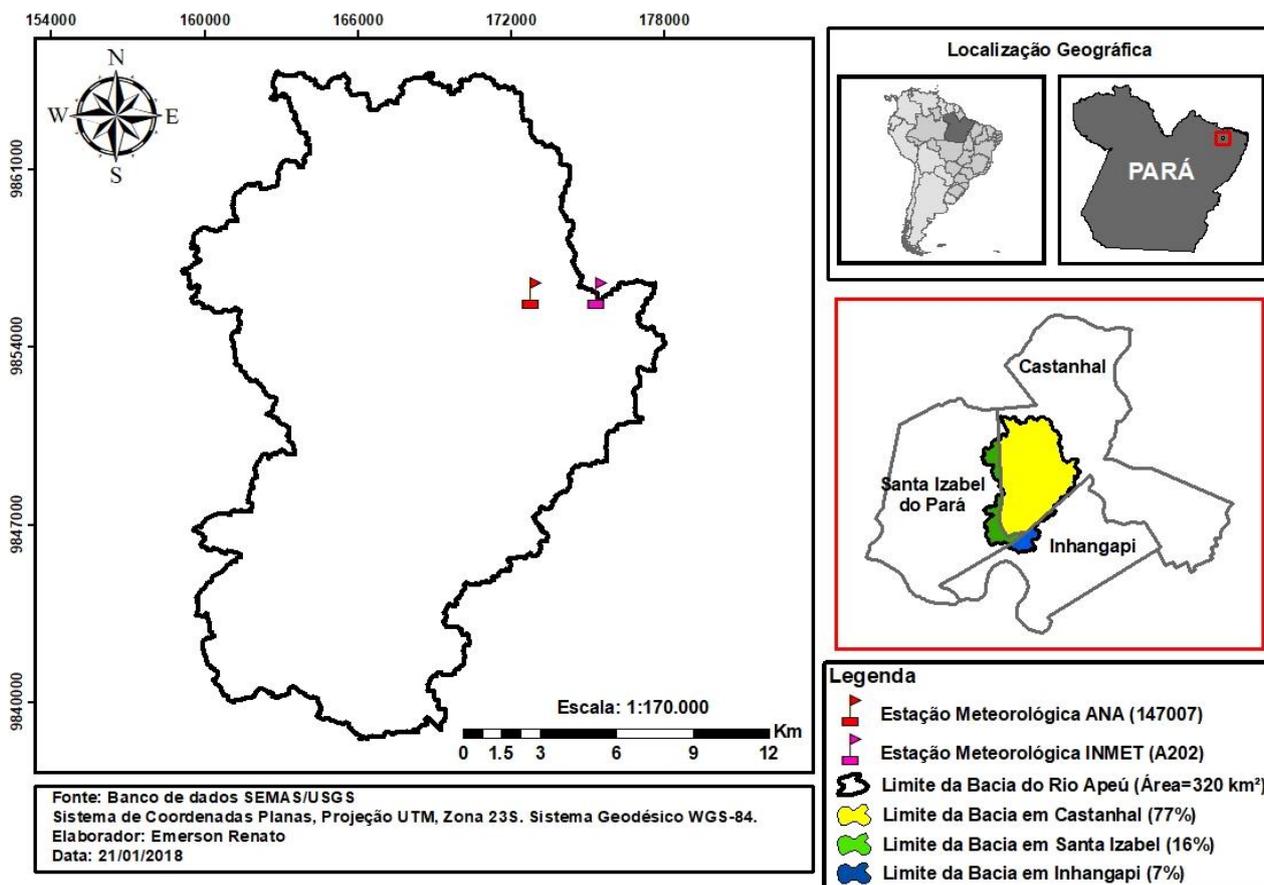


Figura 1. Mapa de localização da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú e das estações meteorológicas da ANA e INMET.

De acordo com a classificação de Köppen, a região possui um clima do tipo Af – Clima Tropical Úmido, com média climatológica da temperatura do ar, durante o mês mais frio, superior a 18°C, com ocorrência de precipitação todos os meses do ano e sem estação seca definida (Alvares et al., 2013).

Produto CHIRPS

Desenvolvido pelo United States Geological Survey (USGS) e pelo Climate Hazards Group at the University of California, Santa Barbara (UCSB), o Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) é uma base de dados de precipitação, composta por diferentes fontes de informação, tais como, The Climate Hazards Group's Precipitation Climatology (CHPClim); Observações de satélites com espectroscopia de infravermelho termal (Thermal Infrared, TIR), geoestacionárias quase globais da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA); Centro de Previsão Climática (CPC); National Climatic Data Center Climáticos (NCDC); Coupled Forecast System da

NOAA, versão 2 (CFSv2) e dados observacionais de estações meteorológicas (Funk et al., 2015).

O produto CHIRPS apresenta como características resolução espacial de 0,05°, o que corresponde a aproximadamente 5 km, com uma cobertura geográfica de 50° S a 50° N e conta com uma base de dados de 1981 até os dias atuais (com dados diários, pentadados e mensais). Os dados do CHIRPS são disponibilizados de forma gratuita no site <ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/>, nos formatos NetCDF, GeoTiff e Esri BIL. Neste trabalho seus dados foram utilizados com intuito de analisar a distribuição espacial da precipitação sobre a sub-bacia do rio Apeú e sua validação foi feita com base na Estação Meteorológica Automática (PA_A202) do município de Castanhal-PA do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e a Estação Meteorológica da Agência Nacional de Águas – ANA (147007) (Figura 1).

Para a validação dos dados estimados pelo CHIRPS, foi utilizado uma série temporal de dezesseis anos (2003 a 2018), que corresponde ao período comum para as fontes de dados INMET,

ANA e CHIRPS. Embora, para análise individual do produto CHIRPS tenha sido utilizado um período de 1988 a 2018, devido a disponibilidades de seus dados até os dias atuais.

Análises estatísticas de validação

Uma vez obtidos os dados, os mesmos foram submetidos a procedimentos de organização, tabulações, verificações de dados discrepantes e faltantes, a fim de serem analisados utilizando o software livre R (R Core Team, 2019).

Os dados de chuva do CHIRPS foram extraídos do ponto de grade mais próximo à posição das estações meteorológica automática de Castanhal-PA. Enquanto que a análise do desempenho do produto CHIRPS frente aos dados observados em superfície foram avaliados de acordo com os parâmetros estatísticos: Coeficiente de Correlação, Erro Percentual Médio, Erro Quadrático Médio e o Índice de Concordância de Wilmott (Tabela 1).

A determinação do Coeficiente de Correlação (r) tem por finalidade medir quão bem o produto de precipitação por satélite corresponde ao observado. O mesmo varia de -1 a +1, de tal maneira que o maior grau de correlação entre as variáveis é quando r for mais próximo de ± 1 e, quando as variáveis não apresentam nenhuma

correlação o r é igual a zero. O Erro Percentual Médio, do inglês, *Percent Bias – PBIAS*, reflete quão bem a média da precipitação estimada por satélite corresponde à média do observado. Em outras palavras, está associado à precisão do modelo, onde o melhor valor de PBIAS é zero. Os valores positivos indicam viés de superestimação, enquanto valores negativos indicam viés de subestimação do modelo em termos percentuais.

Para verificar a acurácia das estimativas por satélite em relação aos dados observados, determina-se o Erro Quadrático Médio da Raiz ou *Root Mean Square Error (RMSE)*, os valores de RMSE menores indicam melhores ajustes. Com relação ao Índice de Concordância (d) desenvolvido por Willmott (1981, 2012) que consiste de uma medida padronizada do grau de erro de precisão do modelo e varia entre 0 e 1. Um valor de 1, indica uma combinação perfeita e 0, indica nenhum acordo. Além disso, aplicou-se o teste t de *Student* para testar a hipótese de que as médias entre os dados estimados e observados não apresentam diferença entre si. As equações dos referidos parâmetros podem ser verificados na Tabela 1, enquanto que os detalhes podem ser encontrados em Willmott et al. (1985), da Silva et al. (2016), Santos et al. (2017), Bayissa et al. (2017).

Tabela 1. Equações referentes aos parâmetros estatísticos de validação dos dados de precipitação utilizados neste estudo.

Parâmetros Estatísticos	Equações
Coeficiente de Correlação (r)	$r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2][\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2]}}$
Erro Percentual Médio (PBIAS)	$PBIAS = 100 \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)}{\sum_{i=1}^n (O_i)}$
Erro Quadrático Médio da Raiz (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}$
Índice de Concordância (d)	$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{O} + O_i - \bar{O})^2}$

Nota: O: dados observados pelas estações do INMET ou ANA; S: dados estimados pelo produto CHIRPS. \bar{O} e \bar{S} : médias dos referidos dados observados e estimados.

Após a validação foram construídos mapas que mostrassem a espacialização da precipitação estimada pelo CHIRPS mediante a interpolação dos pontos de grades pertencentes a sub-bacia do

rio Apeú (Figura 2). Para isso, foi utilizado como método de interpolação a krigagem universal e o semivariograma *Linear with Linear drift* (linear

com desvio linear), com auxílio do software livre QGIS - versão 2.18.

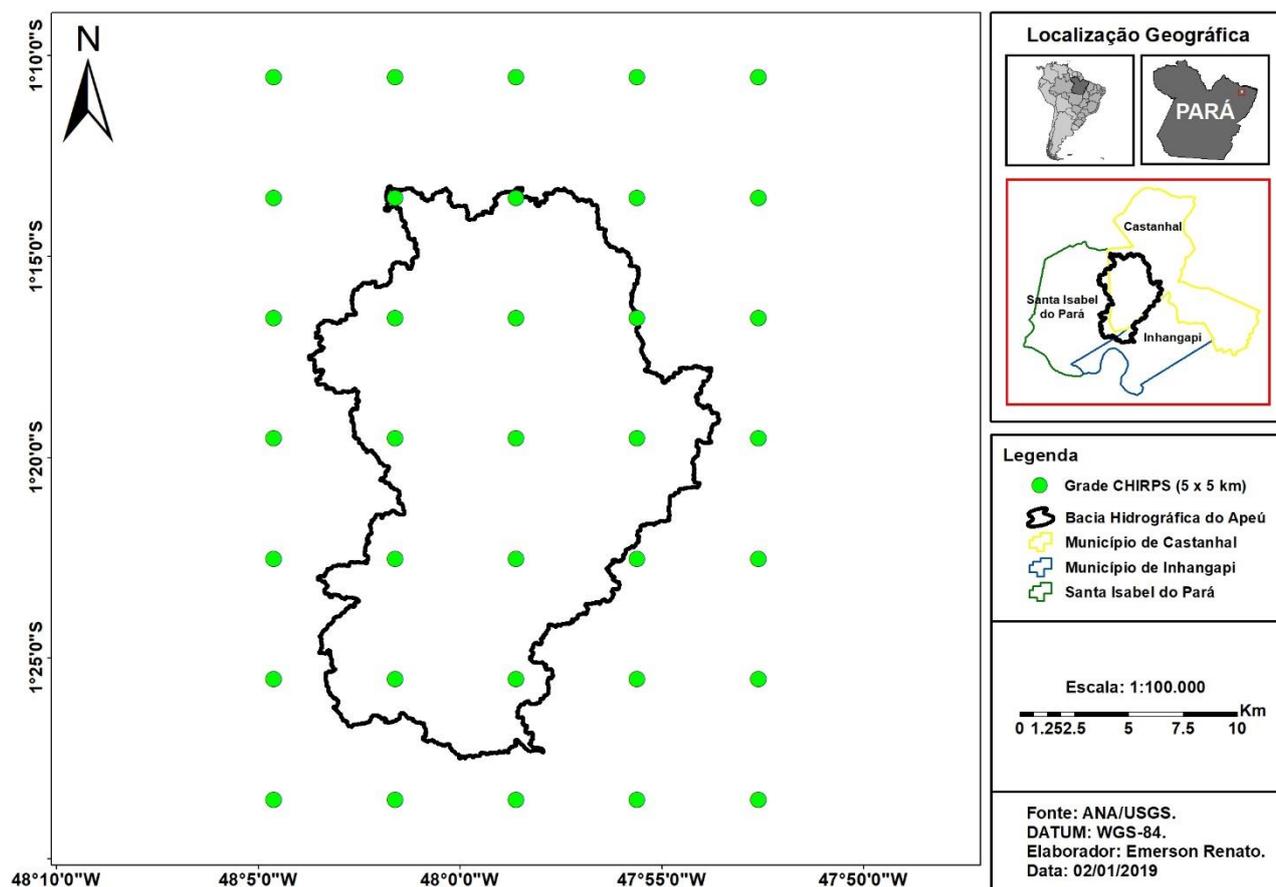


Figura 2. Mapa de localização dos pontos de grade do CHIRPS na sub-bacia do rio Apeú.

Resultados e Discussão

Nas Figuras 3 e 4, são apresentadas as médias mensais das estações meteorológicas automáticas de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Agência Nacional de Águas (ANA) e dos dados do produto CHIRPS extraídos do pixel mais próximo à localização das estações meteorológica de Castanhal-PA. Nas referidas figuras é possível observar que, a

precipitação média acumulada mensal estimada pelo produto orbital apresentou um comportamento sazonal similar aos dados observados em superfície, onde os meses de dezembro a maio representam o período chuvoso e de junho a novembro o período menos chuvoso, concordando com a variabilidade observada para a região em estudos anteriores (Moraes et al., 2005; Amanajas e Braga, 2012).

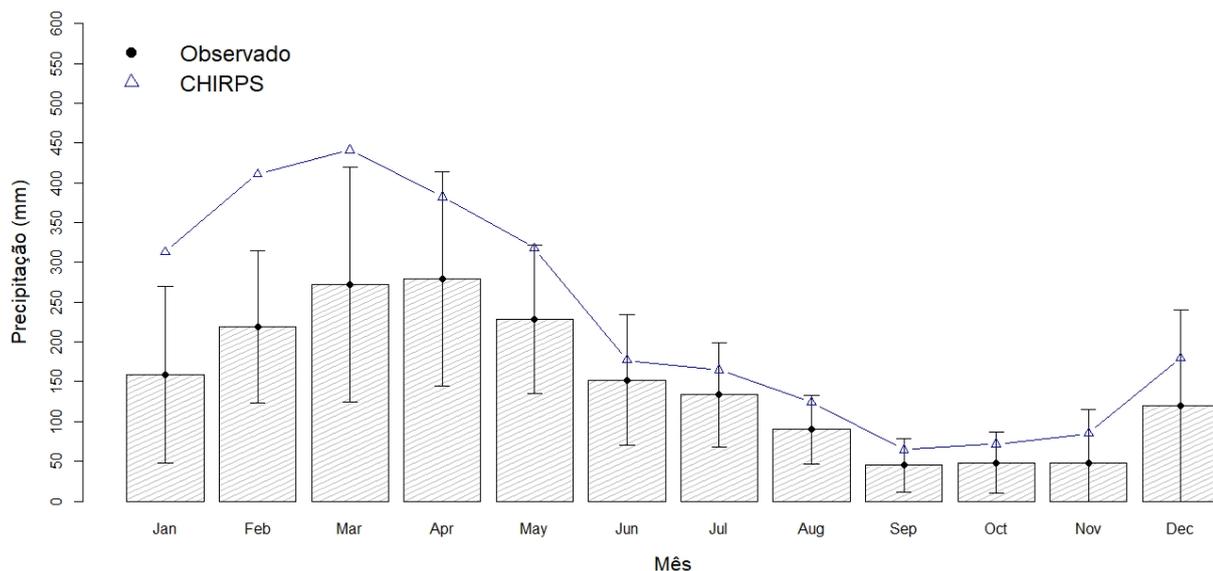


Figura 3. Ciclo anual de precipitação média acumulada observada (INMET*) e estimada pelo produto CHIRPS, para o período de 2003 a 2018. *Estação meteorológica automática de Castanhal-PA (lat: 1°18'S; long: 47°55'W; alt: 65m) da rede de monitoramento do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

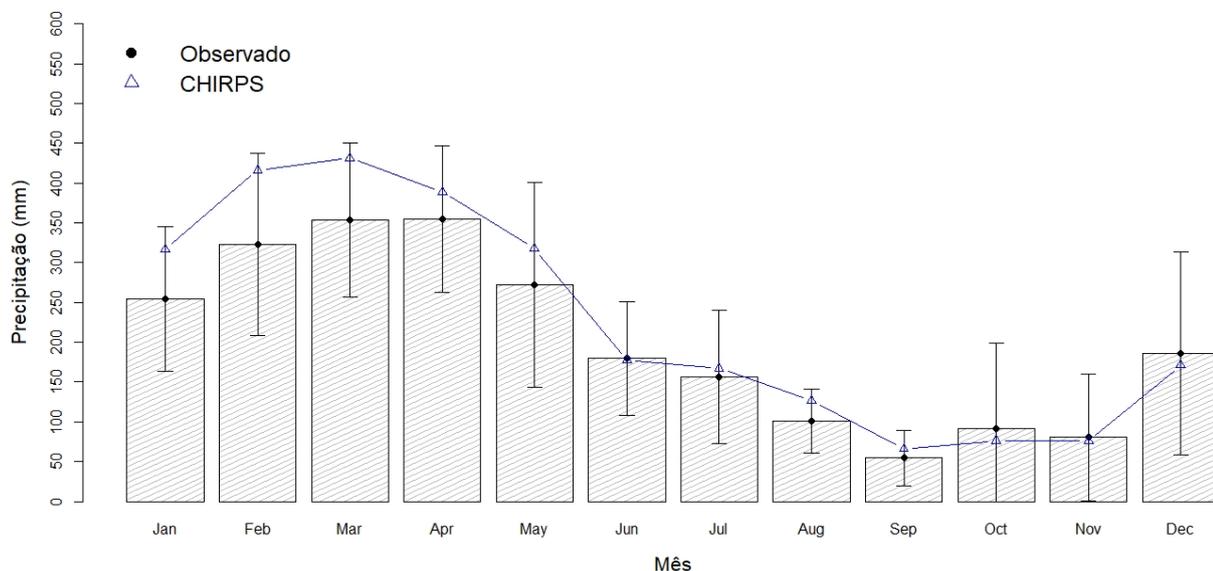


Figura 4. Ciclo anual de precipitação média acumulada observada (ANA*) e estimada pelo produto CHIRPS, para o período de 2003 a 2018. *Estação meteorológica automática de Castanhal-PA (lat: -1,30 S; long: -47,94 W) da rede de monitoramento da Agência Nacional de Águas (ANA).

Porém, nas figuras é possível verificar que no período chuvoso o produto CHIRPS tem um comportamento que superestima a precipitação, enquanto que, no período menos chuvoso o mesmo apresenta um melhor ajuste ao observado. Em termos de validação, na Tabela 2, temos os resultados das estatísticas avaliativas. Nota-se que, os dados do CHIRPS tendem a superestimar cerca de 52% a precipitação média acumulada observada do INMET e cerca de 13,4% da precipitação

observada da ANA. Enquanto que, analisando os erros relativos (*PBIAS*) nos períodos sazonais, temos que o produto superestima cerca de 60% da precipitação no período chuvoso e aproximadamente 33% no período menos chuvoso (INMET) e para os dados da ANA o produto superestima 17,1% no período chuvoso e 3,7% no menos chuvoso. Outros estudos sobre validação dos dados do CHIRPS para o Brasil e Nordeste brasileiro também obtiveram superestimação e

subestimação em seus resultados (Paredes-Trejo et al., 2017; Costa et al., 2019). Santos et al. (2019), também descrevem que nos resultados encontrados para região nordeste brasileira, o produto CHIRPS tende a superestimar e subestimar a precipitação, por outro lado, não ultrapassando os 5 mm (de acordo com o RMSE).

Partindo do pressuposto de que a radiação infravermelha é convertida em temperatura de alvos (conhecida como temperatura de brilho) e que, na região Amazônica no período chuvoso

temos a formação de muitas nuvens, essa conversão representa a temperatura do topo das nuvens, e com baixas temperaturas nos topos das nuvens é caracterizado como condições de precipitação. Assim, o grande número de nuvens formadas no período chuvoso influencia a estimação por sensoriamento remoto, uma vez que, o produto CHIRPS utiliza da determinação por infravermelho, resultando na superestimação encontrada no período chuvoso (Bernardi, 2016).

Tabela 2. Resumo de métricas estatísticas para avaliação de produtos de precipitação (CHIRPS) na escala temporal mensal (2003 a 2018) para as estações meteorológicas automática do INMET e da ANA em Castanhal-PA (sub-bacia do rio Apeú).

Base de dados	PBIAS (%)	r	RMSE (mm)	d	MAE	R ²
Anual						
CHIRPS/INMET	52.2	0.95	98.45	0.81	78.1	0.91
CHIRPS/ANA	13.4	0.99	43.98	0.97	33.15	0.97
Período chuvoso (dezembro a maio)						
CHIRPS/INMET	60	0.86	136.19	0.52	127.89	0.73
CHIRPS/ANA	17.1	0.96	60.61	0.85	54.55	0.91
Período menos chuvoso (junho a novembro)						
CHIRPS/INMET	32.8	0.99	28.96	0.9	28.31	0.98
CHIRPS/ANA	3.7	0.96	13.94	0.98	11.74	0.91

Em termos de correlação, a precipitação média acumulada anual apresentou maior coeficiente de correlação ($r=0,99$) entre o produto CHIRPS e os dados da ANA, sendo o maior valor encontrado para o período menos chuvoso ($r=0,99$) entre o observado (INMET) e CHIRPS, e o menor para o período chuvoso ($r=0,86$) também em relação aos dados observados pelo INMET. Mas, em geral as correlações entre o produto estimador e o observado foram aceitáveis e com grau de precisão do modelo mais próximo ao ideal, entre o produto CHIRPS e os dados da ANA, no período menos chuvoso ($d=0,98$), seguido pela média acumulada anual ($d=0,97$) e o menor valor para o período chuvoso ($d=0,85$). Outras pesquisas mostraram boas correlações para o CHIRPS, tais como, de Paredes-Trejo et al. (2016), que realizaram a validação do produto CHIRPS para o Nordeste brasileiro, e encontraram correlações do mesmo com os dados observados de 0,94, assim como, Costa et al. (2019) que, realizaram a validação dos dados de precipitação estimados pelo

CHIRPS para o Brasil, obtendo uma associação de aproximadamente 95,4 % com o observado.

Além disso, de acordo com o teste t de Student (Tabela 3), as diferenças, associadas ao período menos chuvoso, não foram significativas ao nível de 5% de significância ($p\text{-valor} > 0,05$), em ambas as relações observado e estimado, ou seja, há evidências de que os valores de precipitação entre o produto e as estações não diferem (médias iguais). Porém, é notória a diferença significativa entre os meses da estação chuvosa, para os dados do INMET e CHIRPS, estando associado ao resultado de superestimação para esse período e, em apenas dois meses do período chuvoso (fevereiro e março) dos dados da ANA e CHIRPS, demonstrando assim um melhor ajuste do produto CHIRPS ao observado com os dados da Agência Nacional de Águas. Da mesma maneira Cavalcante et al. (2020) e Rivera et al. (2018), descrevem uma correlação significativa entre os resultados do produto CHIRPS e os dados observados.

Tabela 3. Teste t de *Student* (com nível de confiança de 95%) dos valores observados (INMET/ANA) e estimado pela base de dados CHIRPS (para o período de 2003 a 2018).

Período	<i>p</i> -valor CHIRPS/INMET	<i>p</i> -valor CHIRPS/ANA
Janeiro	0,0007*	0,0804
Fevereiro	0,0001*	0,0451*
Março	0,0012*	0,0246*
Abril	0,0141*	0,2561
Mai	0,0094*	0,2476
Junho	0,3388	0,9150
Julho	0,1592	0,6966
Agosto	0,0314*	0,0881
Setembro	0,0709	0,3095
Outubro	0,0812	0,6012
Novembro	0,1327	0,8485
Dezembro	0,1378	0,7157

*valores de $p < 0,05$ indicam que existem diferenças significativas entre as médias dos valores observados (INMET/ANA) e o estimado (CHIRPS).

Para analisar a variabilidade espaço-temporal da precipitação do CHIRPS, determinaram-se os valores mensais acumulados médios (Figura 5) e mapas de espacialização (Figura 6) para sub-bacia do rio Apeú, para o período de 1988 a 2018 (período disponível para esta fonte de dados). Pela Figura 5, observou-se que a precipitação mensal apresentou forte sazonalidade, durante os meses de dezembro a maio (período chuvoso), a precipitação mensal foi acima de 180 mm mês^{-1} com o máximo em março da ordem de $419 \pm 70 \text{ mm mês}^{-1}$. Enquanto os meses de junho a novembro são menos chuvosos com precipitações menores que 200 mm mês^{-1} , com mínimo de $76 \pm 35 \text{ mm mês}^{-1}$ em setembro.

Esta variação é coerente com a distribuição regional da precipitação para o setor costeiro da Amazônia Oriental (Manajas e Braga, 2012; Menezes et al., 2015). O trimestre de fevereiro, março e abril (FMA) se constitui no mais chuvoso, com média de $400 \pm 16 \text{ mm mês}^{-1}$. Esse padrão de precipitação está relacionado com a atuação e deslocamento norte-sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), um dos principais sistemas

que atua nos trópicos durante a estação chuvosa. Sobre o Atlântico, a ZCIT desloca-se ao sul, cerca de 4° , nos meses de março-abril, caracterizando assim o período chuvoso devido ao transporte de umidade trazida pelos ventos alísios de nordeste para a região, aliado as características de relevo e a presença dos Vórtices Ciclones em Altos Níveis (VCAN) (Fisch et al., 1998; Molion e Bernardo, 2002; Marengo et al., 2004; Manajas e Braga, 2012).

Enquanto o trimestre de setembro, outubro e novembro (SON) foi o menos chuvoso (Menezes et al., 2015), com média de $85 \pm 9 \text{ mm mês}^{-1}$. Esse comportamento é ocasionado pela ausência de sistemas precipitantes de grande escala, resultando em uma atmosfera local livre para a entrada dos ventos alísios, inibindo a formação de nuvens para o interior do continente, resultando em poucas chuvas, sendo essas chuvas formadas principalmente por sistemas locais e pelas diferenças de temperatura da superfície associadas a grande porção de água que cerca a região (Santos et al., 2017).

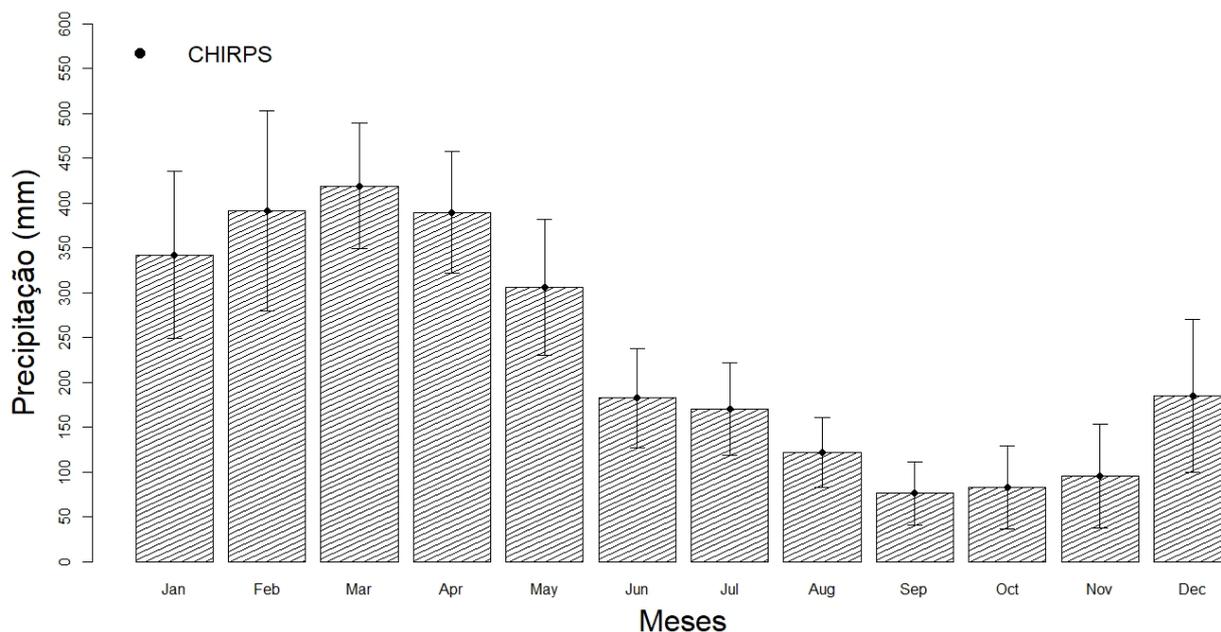


Figura 5. Valores mensais médios da precipitação para a sub-bacia do rio Apeú estimada pelo CHIRPS, para o período de 1988 a 2018. As barbelas representam o \pm desvio padrão.

Para compreender a variabilidade espacial do processo de precipitação na região de interesse, os dados mensais foram reagrupados em intervalos de tempo anuais e sazonais, trimestre chuvoso (FMA)

e trimestre menos chuvoso (SON), conforme Figura 6 (Ferreira et al., 2015; Menezes et al., 2015).

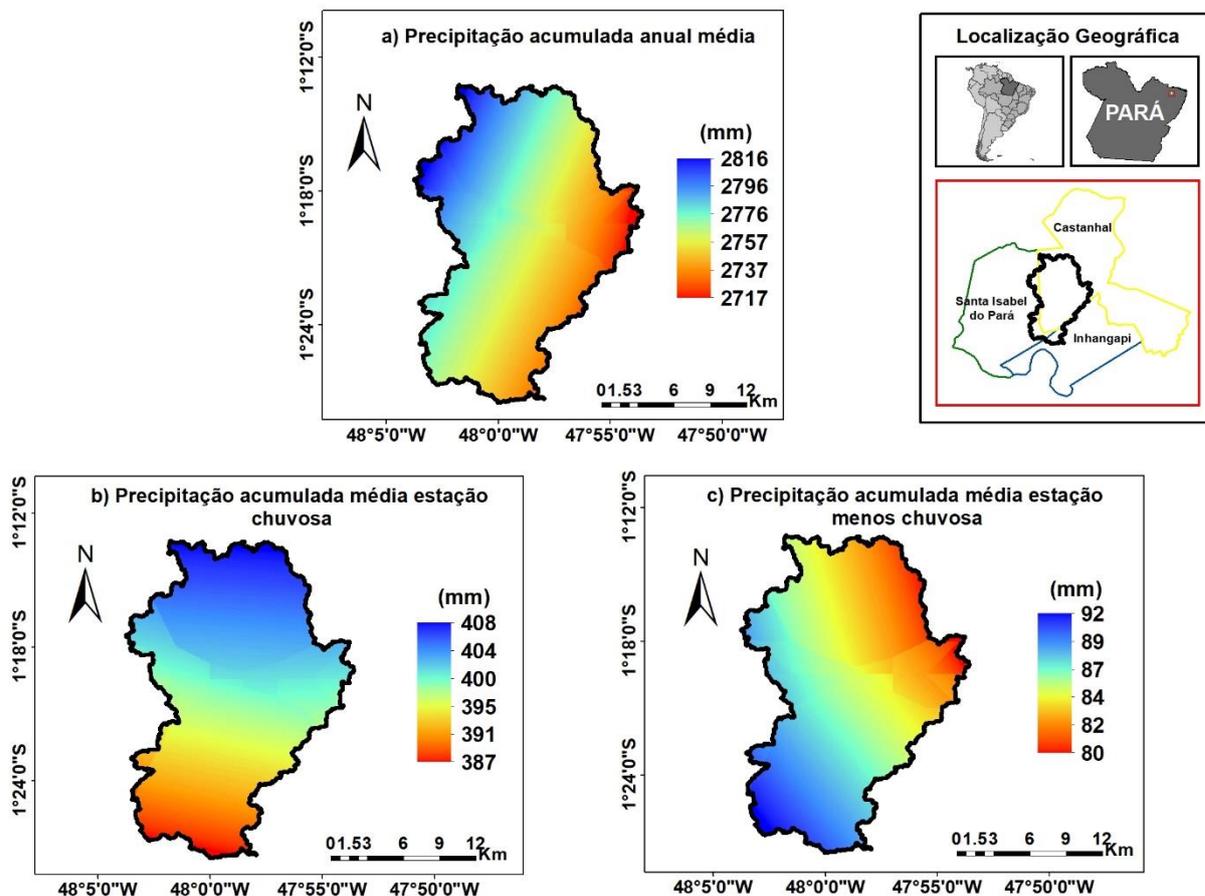


Figura 6. Espacialização da precipitação (período de 1988 a 2018), estimada pelo produto CHIRPS, usando a interpolação por krigagem universal. Precipitação acumulada média anual (a); precipitação acumulada média para o trimestre mais

chuvoso (b)*; precipitação acumulada média para o trimestre menos chuvoso (c)**. **Nota:** *janeiro, fevereiro e março; **setembro, outubro e novembro.

Observa-se que os maiores acumulados médios anuais de precipitação, superiores a 2800 mm ano⁻¹, encontram-se na região noroeste da sub-bacia do rio Apeú, e os menores estendem-se ao nordeste e sudeste <2776 mm ano⁻¹ (Figura 6a). Entre o período de fevereiro a abril temos uma variação do mínimo de 387 mm mês⁻¹ (ao Sul da sub-bacia) em direção ao máximo valor de 408 mm mês⁻¹, ao Norte da sub-bacia (Figura 6b). Enquanto o período compreendido entre setembro e novembro, caracteriza-se como trimestre menos chuvoso, observa-se que nesse período os maiores valores de chuva (superiores a 90 mm mês⁻¹) apresentam-se no sudoeste da sub-bacia, conforme observado pela Figura 6c, e os menores valores (menores que 87 mm mês⁻¹) encontram-se a nordeste da Sub-Bacia.

Em termos médios, o produto CHIRPS, capturou com boa precisão a variação sazonal da sub-bacia do rio Apeú, isto é, a alternância entre estações chuvosa e menos chuvosa foi bem representada e estimou de forma bastante razoável a precipitação sobre a sub-bacia. Em alguns períodos, observou-se superestimativa enquanto em outras subestimativas da precipitação.

Uma possível explicação, de acordo com Paredes-Trejo, Barbosa e Kumar (2016), é que o desempenho do produto depende em grande parte das características do terreno, biomas, e sistemas de precipitação convectivos dominantes na região. Além disso, nos estudos de Pereira et al. (2013) e Costa et al. (2019), descrevem que isso ocorre por dois motivos, o primeiro está associado ao fato da região norte brasileira apresentar ocorrências de grandes atividades convectivas, e o segundo refere-se a distribuição de estações meteorológicas na região norte, que possui apenas 8 estações para a geração dos dados do INMET/CPTEC, onde apenas uma está localizada no município de Castanhal-PA e uma da ANA, enquanto os dados do CHIRPS se referem às médias dos pixels de sua resolução espacial.

Conclusão

Neste estudo avaliou-se o processo de precipitação com foco na avaliação das estimativas do produto CHIRPS em comparação com dados observados de estações meteorológica de superfície, respectivamente, situadas no município de Castanhal-PA, Brasil, compreendendo o período de janeiro de 2003 a dezembro de 2018 a partir de estatísticas de desempenho.

Em geral, os dados do produto tenderam a superestimar a precipitação pluvial medida na região de interesse, principalmente no período chuvoso, embora haja um ajuste melhor ao observado no período menos chuvoso. Contudo, os resultados mostraram que o CHIRPS conseguiu reproduzir com boa precisão a variabilidade sazonal da precipitação na região de interesse, com correlações significativas. Entretanto, são necessárias mais avaliações utilizando dados de superfície de outras fontes de dados, de forma a compor uma grade mais homogênea e corroborar com a metodologia aqui apresentada.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal do Pará, em parceria com a EMBRAPA e MPEG pela oportunidade de integrar o corpo discente do Mestrado em Ciências Ambientais, assim como, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da bolsa de mestrado.

Referências

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., Sparovek, G., 2013. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* [online] 22. Disponível: <https://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso: 19 jul. 2019.
- Amanajás, J. C., Braga, C. C., 2012. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. *Revista Brasileira de Meteorologia* [online] 27. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-77862012000400006>. Acesso: 23 ago. 2019.
- Bayissa, Y., Tadesse, T., Demisse, G., Shiferaw, A., 2017. Evaluation of Satellite-Based Rainfall Estimates and Application to Monitor Meteorological Drought for the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Remote Sensing* 9, 669.
- Bernardi, E. C. S., 2009. Qualidade das estimativas de precipitação do satélite TRMM no Estado do Rio Grande do Sul. Dissertação (Mestrado). Santa Maria – RS, Universidade Federal de Santa Maria.
- Cavalcante, R. B. L., Ferreira, D. B. S., Pontes, P. R. M., Tedeschi, R. G., Costa, C. P. W., Souza, E. B.,

2020. Evaluation of extreme rainfall indices from CHIRPS precipitation estimates over the Brazilian Amazonia. *Atmospheric Research* 238, 1-12.
- Costa, H. C., Marcuzzo, F. F. N., Ferreira, O. M., Andrade, L. R., 2012. Espacialização e Sazonalidade da Precipitação Pluviométrica do Estado de Goiás e Distrito Federal. *Revista Brasileira de Geografia Física* 5, 87-10.
- Costa, J., Pereira, G., Siqueira, M. E., Cardozo, F.; da Silva, V. V., 2019. Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia* 24, 228-243.
- da Silva, H. J. F., Santos, M. S., Cabral Junior, J. B., Spyrides, M. H. C., 2016. Modeling of reference evapotranspiration by multiple linear regression. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* [online] 6. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5935/2237-2202.20160005>. Acesso: 22 jul. 2019.
- Ferreira, D. B. S., de Souza, E. B., de Moraes, B. C., Filho, L. G. M., 2015. Spatial and Temporal Variability of Rainfall in Eastern Amazon during the Rainy Season. *The Scientific World Journal* [online] 2015. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/209783>.
- Fisch, G., Marengo, J. A., Nobre, C. A., 1998. Uma revisão geral do clima da Amazônia. *Acta amazônica* [online] 28. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-43921998282126>. Acesso: 21 mai. 2019.
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., Michaelsen, J., 2015. The climate hazards infrared precipitation with Stations a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific data* 2, 1-21.
- Jesus, A. A. S., 2009. Geoprocessamento Aplicado ao Mapeamento da Estimativa de Perda de Solos por Erosão Laminar na Bacia Hidrográfica do Rio Apeú (Nordeste Paraense) - Amazônia Oriental. Dissertação (Mestrado). Belém-PA, Universidade Federal Rural da Amazônia.
- Joyce, R. J., J.E. Janowiak; P. A., Arkin; P. X., 2004. CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *Journal of Hydrometeorology* 5, 487-503.
- Lopes, M. N. G., Souza, E. B., Ferreira, D. B. S., 2013. Climatologia regional da precipitação no estado do Pará. *Revista Brasileira de Climatologia* 12, 84-102.
- Marengo, J. A., Fisch, G., Morales, C., Vendrame, I., Dias, P. C. 2004. Diurnal variability of rainfall in southwest Amazonia during the LBA-TRMM field campaign of the austral summer of 1999. *Acta amazônica* 34, 593-603.
- Menezes, F. P., Fernandes, L. L., Rocha, E. J. P., 2015. O uso da estatística para regionalização da precipitação no Estado do Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia* 16, 64-71.
- Molion, L. C. B., Bernardo, S. O., 2002. Uma Revisão da Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia* 17, 1-10.
- Moraes, B. C., Costa, J. M. N., Costa, A. C. L., Costa, M. H. 2005. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta amazônica* 35, 207-214.
- Nogueira, F. F., Costa, I. A., Pereira, U. A., 2015. Análise de parâmetros físico-químicos da água e do uso e ocupação do solo na sub-bacia do Córrego da Água Branca no município de Nerópolis – Goiás. Monografia (TCC). Goiânia – GO, Universidade Federal de Goiás.
- Paredes-Trejo, F. J., Barbosa, H. A., Kumar, T. V. L., 2017. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. *Journal of Arid Environments* 139, 26-40.
- Pereira, G., Silva, M. E. S., Moraes, E. C., Cardozo, F. S., 2013. Avaliação dos dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM para o Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 18, 139-148.
- R Core Team., 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível: <https://www.R-project.org/>.
- Rivera, J.A., Marianetti, G., Hinrichs, S., 2018. Validation of CHIRPS precipitation dataset along the Central Andes of Argentina. *Atmospheric Research* [online] 213. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.06.023>. Acesso: 11 mar. 2020.
- Santos, M. R. S., Vitorino, M. I., Pimentel, M. A. S., Souto, J. I. O., 2017. Análise da distribuição

- espaço-temporal da chuva, na mesorregião metropolitana de Belém-Pará: contribuições da técnica de sensoriamento remoto. *Caminhos de Geografia* 18, 49-58.
- Santos, S. R. Q., Sansigolo, C. A., Neves, T. T. A. T., Santos, A. P. P., 2017. Variabilidade sazonal da precipitação na Amazônia: Validação da série de precipitação mensal do GPCC. *Revista Brasileira de Geografia Física* 10, 1721-1729.
- Santos, S. R. Q., Cunha, A. P. M. A., Ribeiro-Neto, G. G., 2019. Avaliação de dados de precipitação para o monitoramento do padrão espaço-temporal da seca no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia* 25, 80-100.
- Serrão, E. A. O., Silva, M. T., Sousa, F. A. S., Ataíde, L. C. P., Santos, C. A., Silva, V. P. R., Silva, B. K. N., 2019. Influência do uso e cobertura da terra na variabilidade espacial e temporal da evapotranspiração no sudeste da Amazônia, utilizando o modelo SWAT. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais [online]* 10, 134-148. Disponível: DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.004.0011>. Acesso: 11 mar. 2020.
- Silva, M. K. A., 2014. Modelagem hidrológica aplicada ao estudo da vazão da bacia hidrográfica do rio Araguari - MG, a partir das mudanças do uso da terra e cobertura vegetal nativa. Tese (Doutorado). Uberlândia – MG, Universidade Federal de Uberlândia.
- Silva, C. B., Silva, M. E. S., Ambrizzi, T., Tommaselli, J. T. G., Patucci, N. N., Mataveli, G. A. V., Lima, B. S., Correa, W. C., 2019. Precipitação na América do Sul – dados obtidos em estações meteorológicas automáticas e sistemas orbitais. *Revista Brasileira de Climatologia* 25, 54-79.
- Souza, S. R., Maciel, M. N. M., Oliveira, F. A., Jesuíno, S. A., 2011. Dinâmica da paisagem na bacia hidrográfica do Rio Apeú, nordeste do Pará, Brasil. *Rev. Acad. Ciênc. Agrár. Ambient.* 9, 141-150.
- Vale, J. R. B., 2017. Análise geoambiental da bacia hidrográfica do rio Apeú, Nordeste Paraense: subsídios ao planejamento ambiental. Dissertação (Mestrado). Belém-PA, Universidade Federal do Pará.
- Wanderley, H. S., Sediya, G. C., Justino, F. B., Alencar, L. P. D., Delgado, R. C., 2013. Precipitation variability in the 'Sertão' of San Francisco in the State of Alagoas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17, 790-795.
- Willmott, C. J., 1981. On the validation of models. *Physical Geography [online]* 2. Disponível: <https://doi.org/10.1080/02723646.1981.10642213>. Acesso: 15 mai. 2019.
- Willmott, C. J. et al., 1985. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research [online]* 90. Disponível: <https://doi.org/10.1029/JC090iC05p08995>. Acesso: 13 ago. 2019.
- Willmott, C. J.; Robeson, S. M.; Matsuura, K., 2012. A refined index of model performance. *Int. Journal of Climatology [online]* 32. Disponível: <https://doi.org/10.1002/joc.2419>. Acesso: 14 ago. 2019.