

PADRÕES HIDROCLIMATOLÓGICOS ASSOCIADOS À DINÂMICA DO USO DA TERRA, MUNICÍPIO DE RIO BRANCO-AC

Dênis José Cardoso **Gomes**¹, Fabianne Mesquita **Pereira**², Davi Farias da **Silva**³, Gustavo Francesco de Moraes **Dias**⁴

(1 – Universidade do Estado do Pará (UEPA), <https://orcid.org/0000-0001-6441-6783>, deniss.feg@gmail.com, 2 - Universidade do Estado do Pará (UEPA), <https://orcid.org/0000-0002-2411-3996>, fabiannepereira1702@gmail.com, 3 - Universidade do Estado do Pará (UEPA), <https://orcid.org/0000-0002-4746-4123>, davifarias.rug@gmail.com, 4 – Instituto Federal do Pará (IFPA), <https://orcid.org/0000-0002-7681-2318>, gustavo.dias@ifpa.edu.br)

Resumo: O estudo hidrológico na Amazônia é essencial para a melhoria da gestão hídrica, além de prevenir desastres naturais. O objetivo deste trabalho é analisar a variabilidade temporal hidrometeorológica no município de Rio Branco-AC, associado com indicadores climáticos. Utilizou-se os dados de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e precipitação do *Global Precipitation Climatology Centre (National Oceanic and Atmospheric Administration)*; dados hidrometeorológicos (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico); e o uso da terra (Projeto MapBiomass). Organizou-se os dados para gerar os gráficos; calculou-se o Índice de Anomalia de Chuva e a estatística de correlação entre as variáveis hidrometeorológicas. A variabilidade da TSM do Pacífico mostrou que as variações influenciaram na maioria dos anos entre 2000 e 2016, com persistência de aquecimento nas águas nessas últimas duas décadas. O regime pluvial apresentou estações chuvosas (Jan-Fev-Mar) e de Estiagem (Jun-Jul-Ago) bem definidas, ambas classificadas como chuvoso e seco respectivamente, sendo a cota e vazão marcadas por defasagem de 1 mês (cheias) e 2 meses (vazante). As mudanças do uso da terra indicaram o avanço da pastagem (leste) e supressão florestal (oeste). A estatística de regressão linear mostrou que o oceano Atlântico Norte possui cerca de 31% de influência sobre as chuvas na cidade de Rio Branco. A sazonalidade apresentou algumas complementações à estudos passados, expondo o quanto as mudanças climáticas e o uso da terra inadequado podem estar intensificando ao longo do ano, alertando sobre possíveis riscos promovidos por eventos extremos climáticos.

Palavras-chave: Teleconexão; Hidrologia; Meio Ambiente.

Artigo recebido para publicação em 19 de janeiro de 2022

Artigo aprovado para publicação em 08 de agosto de 2022

HYDROCLIMATOLOGICAL PATTERNS ASSOCIATED WITH THE DYNAMIC OF LAND USE, COUNTY RIO BRANCO-AC

Abstract: The hydrological study in the Amazon is essential to improve water management, in addition to preventing natural disasters. The objective of this work is to analyze the hydrometeorological temporal variability in the county of Rio Branco-AC, associated with climatic indicators. Sea Surface Temperature (SST) and precipitation data from the Global Precipitation Climatology Center (National Oceanic and Atmospheric Administration) were used; hydrometeorological data (National Water Agency and Sanitation); and land use (MapBiomas Project). The data was organized to generate the graphs; the Rain Anomaly Index and the correlation statistics between the hydrometeorological variables were calculated. The variability of the Pacific SST showed that variations influenced most years between 2000 and 2016, with persistence of warming in the waters in the last two decades. The rainfall regime presented well-defined rainy seasons (Jan-Feb-Mar) and dry season (Jun-Jul-Aug), both classified as rainy and dry respectively, with the quota and flow marked by a lag of 1 month (full) and 2 months (leaning). Land use changes indicated the advance of pasture (east) and forest clearance (west). The linear regression statistic showed that the North Atlantic Ocean has about 31% of influence on rainfall in the city of Rio Branco. Seasonality presented some complements to past studies, exposing how climate change and inappropriate land use may be intensifying throughout the year, warning about possible risks promoted by extreme climatic events.

Keywords: Teleconnect; Hidrology; Environmental.

PATRONES HIDROCLIMATOLÓGICOS ASOCIADOS A LA DINAMICA DE USO DE SUELO, MUNICIPIO DE RIO BRANCO-AC

Resumen: El estudio hidrológico en Amazonía es sustancial para optimar la gestión del agua, además de prevenir desastres naturales. En este sentido, el objetivo de este trabajo es analizar la variabilidad temporal hidrometeorológica en el municipio de Rio Branco-AC, incorporada a indicadores climáticos. Para tanto, se utilizaron datos de temperatura de la superficie del mar (TSM) y precipitación del *Global Precipitation Climatology Centre (National Oceanic and Atmospheric Administration)*; datos hidrometeorológicos (*Agencia Nacional de Agua*); y el uso de la tierra (*Projeto MapBiomas*). En conformidad con los datos recogidos, estos fueron organizados para generar los gráficos; se calculó el Índice de Anomalía de la Lluvia y los

estadísticos de correlación entre las variables hidrometeorológicas. Así pues, la variabilidad de la TSM del Pacífico reveló que las variaciones influyeron en la mayoría de los años entre 2000 y 2016, con persistencia del calentamiento de las aguas en las últimas dos décadas. El régimen pluviométrico presentó épocas lluviosas bien definidas (enero-febrero-marzo) y época de estiaje (junio-julio-agosto), ambas clasificadas como lluviosa y sequía respectivamente, siendo la cuota de tasa de flujo marcadas por un desfase de 1 mes (de llenas) y 2 meses (de desembocadura). Los cambios en el uso del suelo indicaron el avance de los pastos (a Este) y la supresión de la floresta (a oeste). La estadística de regresión lineal mostró que el Océano Atlántico Norte posee cerca de un 31% de influencia en las precipitaciones en la ciudad de Rio Branco. La estacionalidad presentó algunos complementos a estudios anteriores, exponiendo cómo el cambio climático y el uso inadecuado del suelo pueden estar intensificándose a lo largo del año, advirtiendo sobre posibles riesgos ocasionados por eventos climáticos extremos.

Palabras clave: Teleconexión; Hidrología; Medio ambiente.

1. Introdução

A crescente demanda por água nos últimos anos, devido o acelerado processo de aumento populacional e ocupação desordenada vem provocando distúrbios na exploração de recursos naturais, principalmente, na água com a poluição de mananciais hídricos, que induziu a criação de programas de racionamento da água (Lima *et al.*, 2011). O Brasil possui cerca de 11,6 % da água doce mundial, sendo a Amazônia detentora de 70,2 % deste total de disponibilidade hídrica brasileira, no qual o clima e tipo de cobertura da terra são essenciais para a manutenção da água, regulando o regime fluvial regional e permitindo um balanço hídrico equilibrado no sistemas solo-planta-atmosfera (Coutinho, 2016).

A região Amazônica é caracterizada por alta disponibilidade hídrica e térmica, densas vegetações, atuação de sistemas atmosféricos indutores de precipitação como massas de ar, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Frentes Frias (FF), Jatos de Baixos Níveis (JBN), Alta da Bolívia (AB), em que esses sistemas sinóticos são modulados por mecanismos climáticos como o ENOS (Pacífico tropical) e Dipolo (Atlântico tropical) que promovem aumento ou diminuição da pluviosidade na região Amazônica (Franca & Mendonça, 2016). Tais fenômenos climáticos quando intensos podem

causar sérios impactos diretos na disponibilidade hídrica (Lewis *et al.*, 2011) e indiretos na saúde vegetal e taxa de carbono (LInnakoski *et al.*, 2019).

A precipitação pluviométrica é a componente hidrológica que mais impacta o cotidiano da população, pois eventos extremos desta variável atmosférica acarretam respostas fluviais, infiltrações, escoamentos superficiais, sendo estas precursoras de desastres naturais como inundações, enchentes, enxurradas, estiagens, erosões, deslizamento de terras, etc. (Licco *et al.*, 2011; Souza *et al.*, 2014). Complementando, Souza *et al.* (2014) ainda destaca que o entendimento da dinâmica hidrológica é uma valiosa informação para obras de drenagem, impermeabilização, entre outras, pois auxilia na tomada de decisões levando em consideração os riscos ambientais, prevenindo gastos desnecessários e aumento a segurança do trabalho.

De acordo com Araújo *et al.* (2019) é o rio Acre que se situa às margens da cidade de Rio Branco é fundamental para a região o abastecimento hídrico, além de outras atividades como obtenção de alimentos para autossustentância dos ribeirinhos, via de transporte comercial, irrigação de agricultura, pastagem de animais. Os autores reforçam que a ocupação desordenada nas proximidades do rio (área de várzea) acarreta vários impactos ambientais como a poluição da água, por possíveis despejos de esgoto não tratado nos rios, partículas de sedimentos carregados e também aumento o risco dos ribeirinhos sofrerem com as inundações.

Alves *et al.* (2018) sugerem que a ocorrência de desastres naturais está relacionada ao uso e ocupação da terra de forma desordenada e inadequada em ambiente naturalmente vulneráveis, e a intensificação do processo de apropriação de terras e supressão da vegetação está potencializando ainda mais áreas a eventos decorrentes de instabilidade atmosférica. Entre os anos de 2006 até 2021 houve diversas ocorrências de desastres naturais no município de Rio Branco como 3 eventos de estiagens, 4 casos de enchentes e 8 inundações (S₂iD, 2021). O objetivo deste trabalho é analisar as variabilidades hidrometeorológica no município de Rio Branco-AC associado com indicadores climáticos e as mudanças do uso e ocupação da terra.

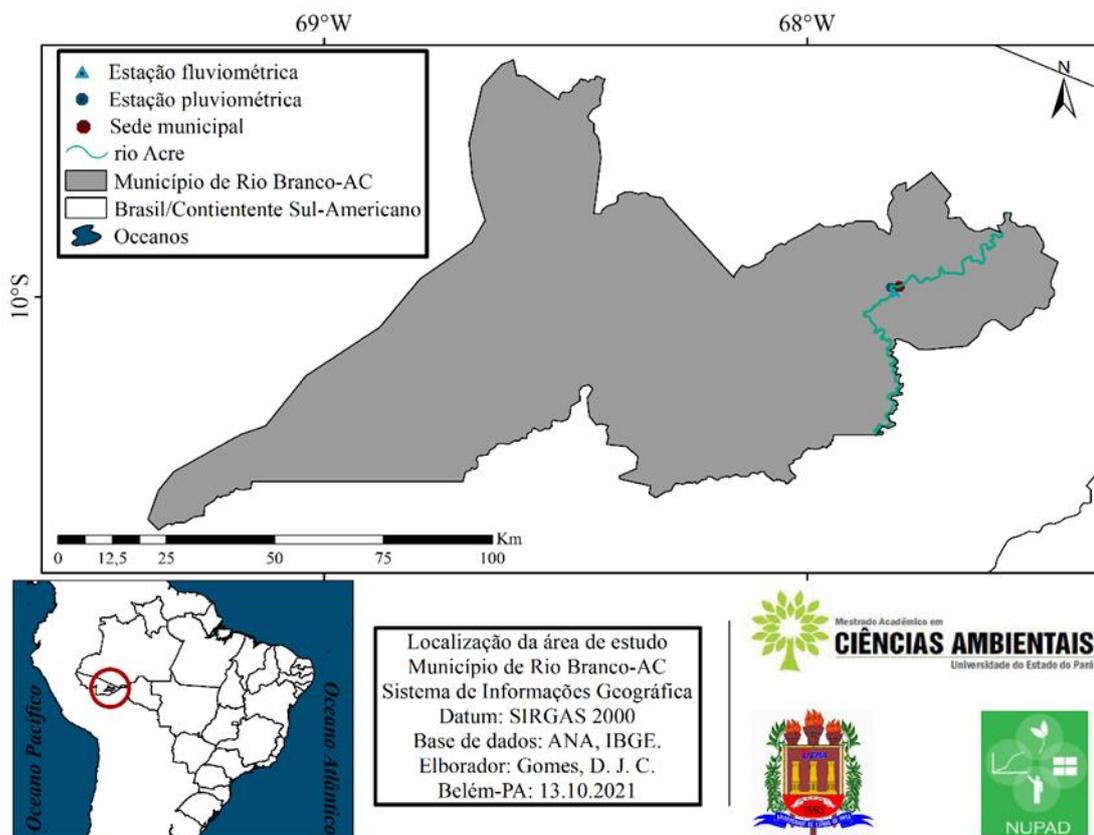
2. Materiais e métodos

O município de Rio Branco (Figura 1), localiza-se no estado do Acre, na Amazônia ocidental com aproximadamente 8.835,0 km² e cerca de 407.319 hab. (IBGE, 2020). O clima local é caracterizado por de monção, úmido e quente, com precipitações anuais de 2.050 mm, temperaturas mínimas e máximas de 18,0 °C e 31,0 °C e estações chuvosas e secas bem

definidas, sendo sua hidrografia marcada pelo rio Acre e seus afluentes, topografia constituída por relevos, planícies (várzea), solos férteis (gleissolos e neossolos) e florestas densas com áreas de campo aberto (Macêdo *et al.*, 2013; Costa *et al.*, 2017; Araújo *et al.*, 2019).

Os dados dos índices climáticos foram adquiridos na plataforma da *National Oceanic and Administration Atmospheric* (NOAA, 2021). Os dados pluviométricos e fluviométricos foram obtidos pelo pluviômetro da Agência Nacional das Águas (ANA, 2020). O produto CHIRPS (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations*) com resolução espacial de 0,05° (~ 5 km), usado por Funk *et al.* (2015) e Costa *et al.* (2019), foi utilizado para estimar a distribuição espacial da precipitação devido a demanda de áreas com baixa densidade de estações pluviométricas. Tais dados estão disponíveis em: <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>. O uso e cobertura do solo foi obtido através da plataforma *Google Engine Earth* do Projeto MapBiomias (2021) assim como Cassol *et al.* (2020) e confeccionado por meio de geoprocessamento no Sistema de Informações Geográfica.

Figura 1 – Área de estudo: município de Rio Branco-AC.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Os dados hidrológicos (ANA, 2020) foram transferidos para o *software* Hidro 1.3 e tratados no *software* Excel 2016 para a produção das figuras que mostram a variabilidade temporal. Foi calculado o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) apresentado primeiramente por Rooy (1965), sendo posteriormente adaptado por Freitas (2005) e aplicado por diversos autores (Silva *et al.*, 2011; Hänsel *et al.*, 2015; Lins *et al.*, 2017; Nunes *et al.*, 2019) representado pelas Equações 2 e 3.

$$IAC = 3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(M - \bar{N})} \right] \quad (\text{Eq. 1})$$

$$IAC = -3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(X - \bar{N})} \right] \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde: N = Precipitação atual (mm.mês⁻¹); \bar{N} = Média da precipitação mensal da série histórica (mm); M = Média das dez maiores precipitações mensais da série histórica; X = Média das dez menores precipitações mensais da série histórica.

Adotou-se a relação entre os índices climáticos e a precipitação anual destacando os maiores (menores) valores observados acima (abaixo) do desvio padrão da média da série histórica para identificação dos extremos climáticos e classificação do IAC (Jorge & Lucena, 2018). A Tabela 1 descreve a classificação quanto a magnitude da precipitação com base no IAC (Jorge & Lucena, 2018).

Tabela 1 – Classificação do Índice de Anomalia de Chuva.

Índice de Anomalia de Chuva (IAC)	Classe Pluviométrica
≥ 4	Extremamente Chuvoso
$2 > 4$	Muito Chuvoso
$0 > 2$	Chuvoso
$0 < -2$	Seco
$-2 < -4$	Muito Seco
≤ -4	Extremamente Seco

Fonte: Elaborado pelos autores (2022). Adaptado de Jorge e Lucena (2018).

A correlação estatística foi aplicada (Salvador, 2017; Terassi *et al.*, 2017) com o coeficiente de correlação de Pearson (r) mostrado pela Equação 3 e coeficiente de determinação (r²) pela Equação 4 para analisar relação dos índices climáticos, do regime pluviométrico e fluviométrico do município de Rio Branco segundo a metodologia de Franca e Mendonça (2016), assim como feito por Gomes *et al.* (2019a).

$$r = \frac{\Sigma(X - \bar{X}) \cdot (Y - \bar{Y})}{\sqrt{\Sigma(X - \bar{X})^2 \cdot \Sigma(Y - \bar{Y})^2}} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde: N = número de dados (pares);

$\sum xy$ = soma do produto das variáveis (x e y); $\sum x$ = soma da variável (x); $\sum y$ = soma da variável (y).

A correlação de Pearson é determinada entre um limite de valores (-1 e 1), os valores positivos (negativos) significam que as correlações entre as variáveis são diretamente (inversamente) proporcional e o número é a intensidade correlacional (Leite filho, 2019).

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_I - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_I - \bar{Y})^2} \quad (\text{Eq. 4})$$

4)

O coeficiente de determinação é o coeficiente de correlação de Pearson elevado ao quadrado, com o objetivo de estabelecer a qualidade de aferição de um modelo de regressão linear em forma da porcentagem, mostrando o quanto uma variável dependente pode ser explicada pela variável independente (Cheng et al., 2014; Kasuya, 2018).

3. Resultados e discussão

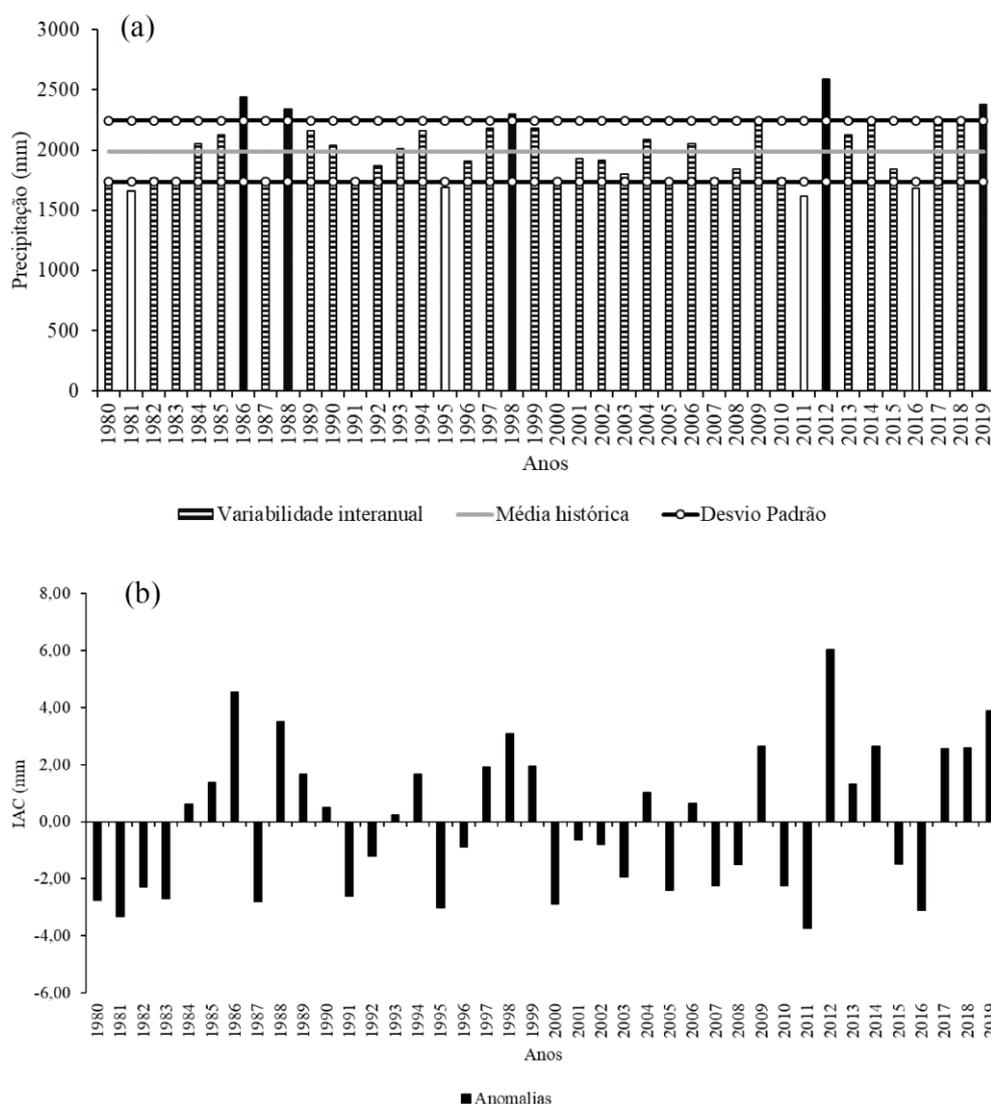
A NOAA (2021), disponibiliza alguns índices climáticos baseados na Temperatura de Superfície do Mar (TSM) dos oceanos Atlântico e Pacífico, em que tais indicadores auxiliam na identificação de fenômenos climáticos. Segundos os registros da NOAA (2021), em 1981 (Jan-Jul), houve a configuração do DA⁺ que inibe a precipitação na região centro-ocidental amazônica (Serrão *et al.*, 2017b). Nos anos de 1986 (Jan-Dez) e 2019 (Jan-Jun) ocorreu a fase negativa do fenômeno climático do Atlântico, o DA⁻, este cenário favorece o aumento do volume pluviométrico na região amazônica.

O período de 2015/16 aconteceu um dos eventos de El Niño mais forte registrado, em que o aquecimento anômalo do Pacífico tropical provoca movimentos de subsidência dos ventos na região da Amazônia, fator que dificulta a ascendência do ar e umidade para os níveis mais altos da atmosfera, consequentemente diminuindo a formação de nuvens e a precipitação. Nos períodos de 1988/89, 1998/99 e 2011/2012 ocorreu a outra fase do fenômeno, o La Niña, onde a formação deste evento é o processo oposto ao El Niño.

A variabilidade anual pluviométrica de Rio Branco-AC (Figura 2a), na qual os anos com os menores valores de precipitação foram 1981 (1.660,1 mm), 1995 (1.687,8 mm), 2011 (1.619,4 mm) e 2016 (1.681,7 mm), além do valor estar abaixo do desvio padrão negativo, sendo possivelmente a diminuição das chuvas nos anos de 1981 e 2016 estar associada a

fenômenos climáticos como o DA⁺ e El Niño. Os maiores regimes pluviais são observados nos anos de 1986 (2.442,5 mm), 1988 (2.340,1 mm), 1998 (2.296,1 mm), 2012 (2.589,8 mm) e 2019 (2.379,0 mm), onde atingiram extremos acima do desvio padrão positivo e provavelmente são resultado dos efeitos do DA⁻ La Niña que ocorreram nesses anos.

Figura 2 – (a) Variabilidade anual pluviométrica e o (b) Índice de Anomalia de Chuva (IAC) no período de 1980 a 2019: município de Rio Branco-AC.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

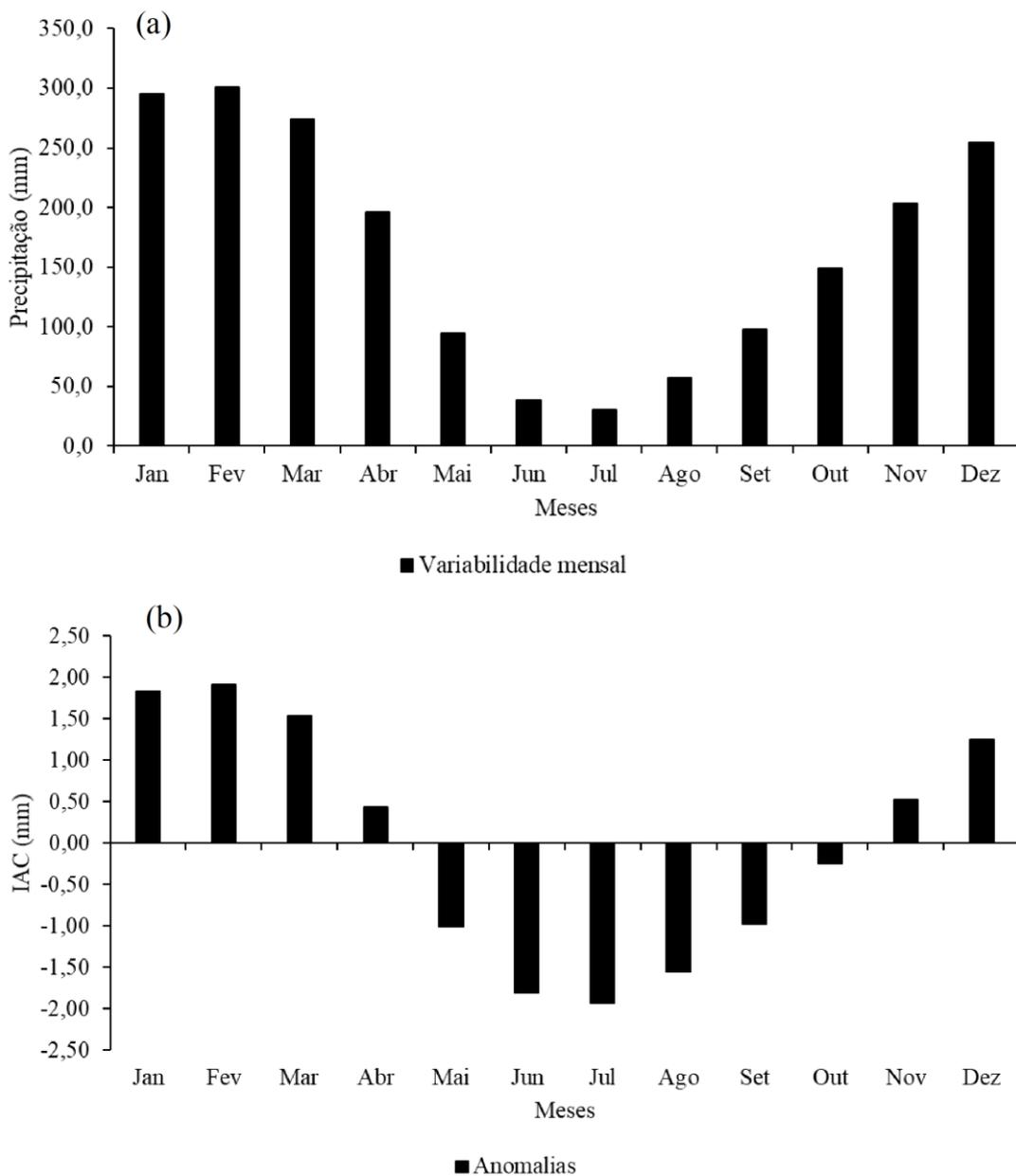
Na Figura 2b, observa-se o IAC do município de Rio Branco. O destaque são os anos extremos marcados por déficit hídrico nos anos de 1981 (-3,3 mm), 1995 (-3,0 mm), 2011 (-3,7 mm) e 2016 (-3,0 mm), classificados como anos muito seco. Contudo, o El Niño forte e a anomalia negativa observada no ano de 2016 podem estar relacionados ao evento de estiagem

ocorrido neste período de acordo com os registros do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S₂iD, 2021). Entretanto, nos anos de 1986 (4,5 mm), 1988 (3,5 mm), 1998 (3,0 mm), 2012 (6,0 mm) e 2019 (3,9 mm) houve excedentes hídrico classificados como muito chuvosos (1988, 1998 e 2012) e extremamente chuvosos (1986 e 2019). Vale destacar o ano extremo de 2012, em que o La Niña e a anomalia positiva possivelmente são as causas das enchentes que ocorreram neste período, levando ao município de Rio Branco a decretar o 2º estágio de situação de emergência, o Estado de Calamidade Pública (ECP) segundo o S₂iD (2021).

Na Figura 3a é observado a variabilidade mensal pluviométrica de Rio Branco. O trimestre mais chuvoso foi em Janeiro (294,9 mm), Fevereiro (301,1 mm) e Março (274,0 mm). O trimestre menos chuvoso foi nos meses de Junho (38,6 mm), Julho (29,9 mm) e Agosto (56,7 mm). Este mesmo comportamento mensal pluvial foi encontrado por Duarte (2006) e Ferreira Filho (2019) para o estado do Acre, com exceção do mês menos chuvoso, onde o primeiro autor citado aponta Junho com aproximadamente 40,0 mm, sendo registrado em seu trabalho que Julho atingiu uma média com cerca de 50,0 mm em uma série histórica de 1970 a 2000. Entretanto, o segundo autor mencionado com um conjunto de dados atualizados mostra que Janeiro é o mês com maior volume pluvial.

A Figura 3b apresenta a variabilidade mensal do Índice de Anomalia de Chuva (IAC). A estação chuvosa é observada de Novembro – Abril (0,53 mm – 0,43 mm) apresentando excedente hídrico em todo este período, com destaque para Fevereiro (1,92 mm) sendo o mês com maior abastecimento pluvial e o período classificado como chuvoso. Estes altos valores são devido a influência do principal sistema sinótico indutor de precipitação, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que está posicionada nas proximidades desta latitude nesses meses (Shneider *et al.*, 2014; Jacobel *et al.*, 2016; Bakker & prange, 2018). Na estação da estiagem é caracterizada de Maio – Outubro (-1,01 mm – -0,97 mm) por déficit pluviométrico e o mês com maior estresse hídrico é Julho (-1,93 mm), além da época ser classificada como seca. O deslocamento meridional da ZCIT para o hemisfério norte contribui significativamente para essa diminuição das chuvas e eventuais secas extremas (Ferreira & Mello, 2005; Carvalho & Oyama, 2013).

Figura 3 – Variabilidade mensal pluviométrica (a) (1980-2019) e Índice de Anomalia de Chuva (b) (IAC): município de Rio Branco-AC.

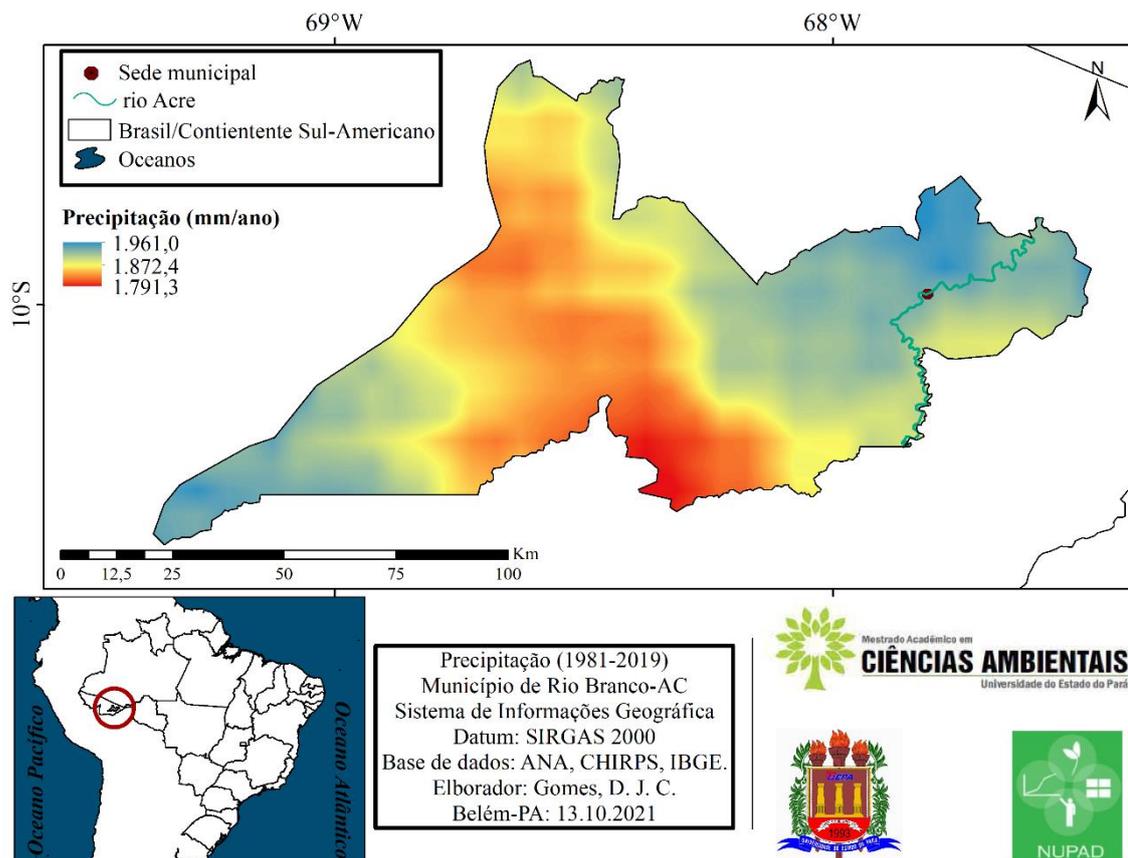


Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Observa-se na Figura 4 a distribuição espacial da precipitação média anual, no qual os menores valores pluviométricos (1.791,3 mm) estão na parte central, região dominada pelas florestas (Fig. 6). Ainda nas proximidades do setor central do município, há precipitação (1.872,4 mm) mais elevada. Entretanto, os maiores montantes pluviométricos (1.961,0 mm) nos extremos (SO-NE) da cidade, onde situa-se a sede municipal. Ferreira Filho *et al.* (2019) utilizou em suas

pesquisas os dados do GPCC para um período de 1982 – 2017 e observou padrões de precipitação anual próximos.

Figura 4 - Variabilidade espacial média anual pluviométrica (1981-2019): município de Rio Branco-AC.

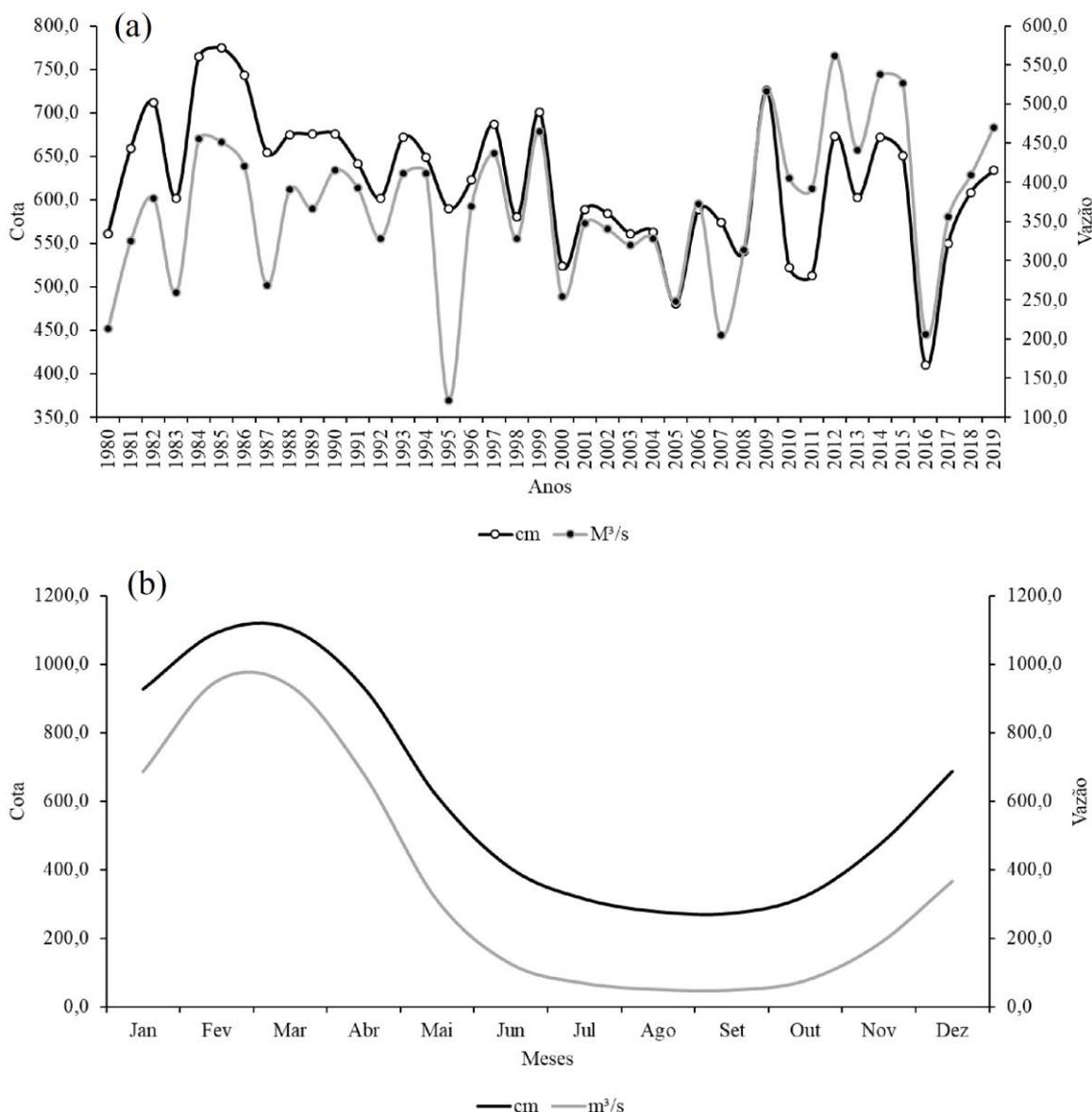


Fonte: CHIRPS (2021). Adaptado pelos autores (2022).

O comportamento anual fluvial do rio Acre (Figura 5a) apresenta tendências de redução (aumento) na cota (vazão). O ano de 1985 (774,2 cm) ocorreu a maior medição de nível do rio, provavelmente efeito do total pluviométrico acima da média provocado pelos os extremos climáticos (Jorge & Lucena, 2018). A menor cota observada foi em 2016 (409,8 cm), período sob influência de um El Niño forte (Jiménez-muños et al., 2016). No ano de 1995 (121,5 m³/s) identificou-se o menor valor de vazão da série histórica, período em que a formação de um El Niño moderado pode ter impactado na diminuição da recarga hídrica. O maior extremo observado na descarga fluvial foi em 2012 (562,0 m³/s), onde ocorreu um evento de La Niña. Todas as anomalias positivas (negativas) descritos na Fig. 2b refletem nos extremos fluviais observados no rio Acre.

Na Figura 5b, a cota do rio oscila conforme a variabilidade pluviométrica, observa-se que a flutuação sazonal da altura linométrica do rio Acre acompanha a pluviosidade, no qual os maiores valores de cota nos meses de Fevereiro (1.091,8 cm), Março (1.103,6 cm) e Abril (931,2 cm) com o tempo de resposta de 1 mês. A variação espacial pluviométrica impacta o regime fluvial no sistema de drenagem amazônico (Santos, 2008). O trimestre com as menores cotas foi nos meses de Julho (315,9 cm), Agosto (278,7 cm) e Setembro (274,2 cm) com defasagem de 2 meses.

Figura 5 - (a) Variabilidade média anual fluviométrica (1980-2019). (b) Variabilidade média mensal fluviométrica (1980-2019): município de Rio Branco-AC.



Fonte: Ana (2020). Adaptado pelos autores (2021).

A flutuação mensal da descarga fluvial do rio Acre (Figura 5b) indica que as maiores vazões estão em fevereiro (951,3 m³/s), março (927,6 m³/s) e abril (688,5 m³/s) associados aos maiores valores de precipitação nesses meses. As menores medições de vazão são nos meses Julho (69,9 m³/s), agosto (51,1 m³/s) e setembro (49,1 m³/s), valores que estão condizentes com a defasagem de 1 mês em relação a chuva. Franco *et al.* (2018) discutem algumas importâncias sobre o monitoramento da vazão como manutenção do volume hídrico do lençol freático, umidificação das raízes de vegetações, produção de energia elétrica, qualidade da água, prevenção de erosões fluviais, entre outros. A compreensão da oscilação da vazão fluvial é de suma importância para o planejamento sustentável, monitoramento de cheias, projetos de barragens, autorização de outorgas e solução de problemas relacionados a água (práticas agrícolas, consumo humano e de animais, etc) (Ana, 2009).

Na Tabela 2 é apresentada a estatística de correlação entre as variáveis hidroclimáticas. A correlação entre as anomalias de TSM do Pacífico tropical e a chuva foi de $r = 0,30$ (moderada), ou seja, quanto maior o valor da TSM menor será o volume de chuvas. O coeficiente de determinação foi de $r^2 = 0,09$ (Frac). A relação entre os parâmetros climáticos da TSM do Atlântico Norte e a pluviosidade foi de $r = -0,56$, assim, são caracterizadas por uma relação inversamente proporcional (quanto maior a TSM menor será o regime chuvas), sendo grau de explicação de $r^2 = 0,31$.

A correlação entre os valores anômalos da TSM do Atlântico Sul e a precipitação foi de $r = 0,37$, uma relação diretamente proporcional (quanto maior a TSM maior será a precipitação), sendo seu coeficiente de determinação de $r^2 = 0,14$. A regressão linear entre a precipitação e a cota fluvial foi de $r = 0,84$ com coeficiente de determinação de $r^2 = 0,70$, ou seja, 70 % do comportamento da cota pode ser explicada pelo regime pluviométrico, sendo os valores estatísticos entre a precipitação e vazão próximos a chuva x cota. Macêdo et al. (2013) obtiveram uma correlação de $r = 0,52$ para a bacia hidrográfica do Riozinho do Rôla (afluente da bacia do rio Acre) e comentaram que a região é vulnerável as oscilações climáticas e desflorestamento.

Tabela 2 - Estatística de regressão linear entre os indicadores climáticos e as variáveis hidrológicas.

TSM/Parâmetros	ION x Precipitação	TNA x Precipitação	TSA x Precipitação	Precipitação x Cota	Precipitação x Vazão	Cota x Vazão
R	-0,30	-0,56	0,37	0,84	0,83	0,99
R²	0,09	0,31	0,14	0,70	0,68	0,98

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Observa-se a evolução espaço-temporal do avanço dos tipos de uso e cobertura da terra em Rio Branco (Figura 6). No ano de 1990 (7.587,9 km²) a cobertura florestal é a categoria predominante, principalmente no lado oeste do município e sofreu impactos negativos com diminuição de aproximadamente 21,4 % em 2020 (5.963,9 km²). Esta supressão vegetal pode estar relacionada à crescente atividades agropastoris, onde as áreas de pasto no ano de 1990 (1.108,6 km²) presente nos arredores da zona urbana (59,2 km²) avançaram na direção oeste do município intensificando o uso da pastagem como observado em 2020 (2.698,8 km²) e aumentando em cerca de 58,9 % ao longo deste período. Em 2020, observou-se que a classe da cidade (95,8 km²) aumentou em aproximadamente 38,2 % às margens do rio à leste.

Este cenário de degradação ambiental pode auxiliar na explicação das mudanças hidrológicas observadas, como a tendência de redução dos níveis de cota e o aumento da vazão no rio Acre pode ser inferida por meio das alterações no uso e cobertura do terra no município, onde a diminuição da cobertura florestal contribui para o aumento do escoamento da água superficial e consequentemente aumento do volume de descarga hídrica no rio, aumentando seu fluxo (Lee *et al.*, 2018), além de elevar o carreamento de sedimentos no corpo hídrico (Guzha *et al.*, 2018).

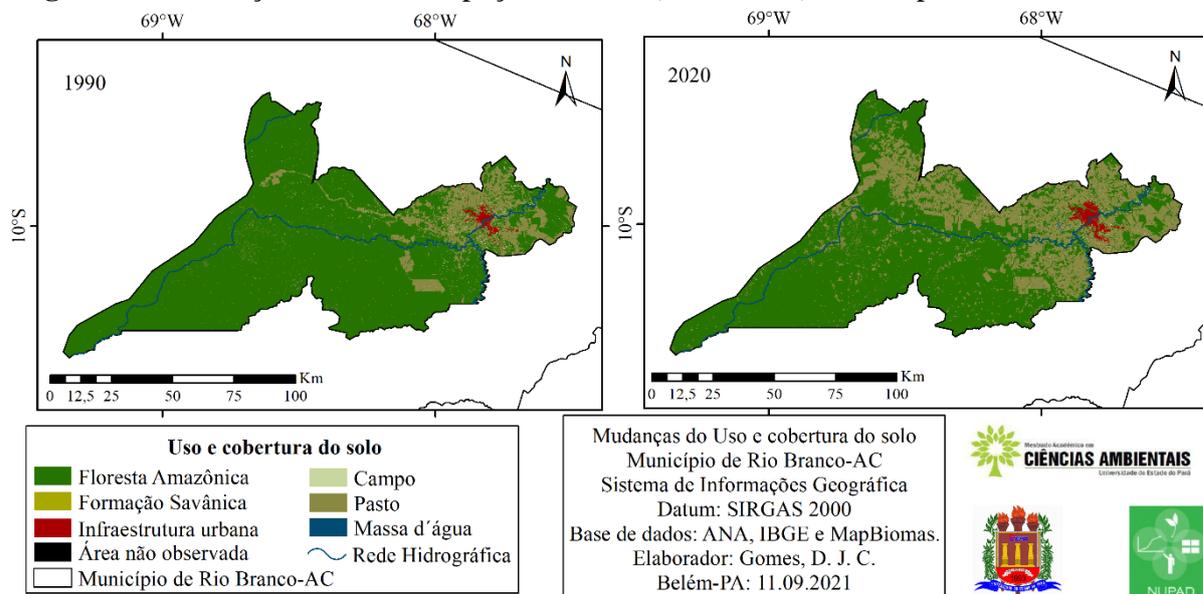
Tal situação acarreta o assoreamento do corpo hídrico, diminuindo seus níveis de cota (Gao *et al.*, 2011; Martins *et al.*, 2020). Isto pode ser observado a partir do mapeamento de uso e cobertura do solo (Figura 6) que ilustra o aumento de áreas de pasto em detrimento da diminuição da cobertura vegetal, assim como o aumento espacial das áreas de massa d'água entre os anos de 1990 (19,6 km²) até 2020 (29,7 km²), correspondendo um crescimento de 34 %.

A ação conjunta deste cenário pode acarretar sérios problemas ambientais para a cidade, principalmente áreas próximas ao rio Acre, pois o aumento do escoamento superficial da água pluvial promove eventos de inundações, enchentes, erosões (Balbinot *et al.*, 2009; Licco & Mac Dowell, 2015), assim como o déficit hídrico causa episódios de estiagens e secas extremas (Marengo *et al.*, 2011).

As informações obtidas através de análises observacionais de índices climáticos e estações pluviométricas associados a aplicação de estatísticas hidroclimáticas é de suma importância para o conhecimento do quanto as mudanças climáticas nos últimos anos podem afetar o sistema hidrológico regional e consequentemente acarretar em distúrbios ambientais

como os eventos de desastres naturais em algumas regiões do Brasil (Serrão *et al.*, 2016; Santos *et al.*, 2016; Gomes *et al.*, 2019b; Gomes *et al.*, 2019c; Silva & Gomes, 2019).

Figura 6 - Mudanças do uso e ocupação da terra (1990-2020): município de Rio Branco-AC.



Fonte: MapBiomias (2021). Adaptado pelos autores (2022).

4. Conclusão

- O regime pluviométrico de Rio Branco apresenta uma resposta mediana para as oscilações climáticas, estando mais relacionada com a oscilação do acoplamento oceano-atmosfera do Atlântico Norte e com tendência maior a eventos de La Niña. A sazonalidade apresentou observações diferentes em relações aos meses extremos (maior e menor chuva), complementando estudos passados e concordando de modo geral com pesquisas recentes, expondo o quanto as variações climáticas estão mudando o padrão meteorológico no período de 1990 a 2020. Por tanto, as alterações do regime pluviométrico provavelmente foram influenciadas pelo deslocamento temporal das chuvas mostrando um tempo de resposta de 1 mês.
- A dinâmica acelerada do uso e ocupação da terra pode ter impactado a variabilidade fluvial como uma forçante antrópica, pois o crescimento da cidade e do pasto nas proximidades das margens do rio Branco possivelmente influenciou no fluxo hídrico. Estas mudanças no regime hidrológico servem como um sinal de alerta para o município de Rio Branco para a importância de estudos e monitoramento integrado dessas componentes ambientais com a finalidade de prevenção de desastres naturais, pois a

região já possui um histórico de eventos de enchentes e inundações. O que reforça a necessidade do aumento das estações hidrometeorológicas na região onde há apenas cerca de 11 pluviométricas e 5 fluviométricas concentradas principalmente no setor leste. Contudo, recomenda-se a instalação de mais estações distribuídas espacialmente regular abrangendo todo o território municipal, como no Estado do Ceará.

Referências

- Alves, L. B., Medeiros, R. B., Silva, C. A., Berezuk, A. G. (2018). A relação entre leptospirose, precipitação e ação pública no estado do Mato Grosso do Sul. *Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros (Seção Três Lagoas-MS)*, 1 (28), 133-150.
- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos*. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em: 17 jun. 2022.
- Araújo, E. S., Amâncio, F. E., Felipe, M. J., Santos, W. L. (2019). A atividade de mineração de areia e impactos ambientais no rio Acre. *Revista Uáquiri*, 1 (1), 95-104.
- Bakker, P., Prange, M. (2018). Response of the intertropical converge zone Antarctic ice sheet melt. *Journal Geophysical Research Letters*, 45, 8673-8680.
- Balbinot, R., Oliveira, N. K., Vanzetto, S. C., Pedroso, K. (2008). O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. *Revista Ambiência*, 4 (1), 131-149.
- Carvalho, M. A. V., Oyama, M. D. (2013). Variabilidade da largura e intensidade da zona de convergência intertropical Atlântica: aspectos observacionais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 28 (3), 305-316.
- Cassol, H. L. G., Arai, E., Sano, E. E., Dutra, A. C., Hoffmann, T. B., Shimabukuro, Y. E. (2020). Maximum fraction images derived from year-based project for on-board autonomy-vegetation (PROBA-V) data for the rapid assessment of land use and land cover areas in Mato Grosso states, Brazil. *Land*, 9 (139), 1-20.
- Chirps. *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations*. Climate Hazard Center – UC Santa Bárbara. Disponível em: <https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/global_annual/tifs/>. Acesso em: 17 jun. 2022.
- Cheng, C. L., Shalabh, S., Garg, G. (2014). Coefficient of determination of multiple measurement error models. *Journal of Multivariate Analyses*, 126, 137-152.

- Costa, F. S., Zago, M. F., Franke, I. L. (2017). Evapotranspiração de referência para Rio Branco, Acre. *XX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia - V Simpósio de Mudanças Climáticas e Desertificação do Seminário*. Juazeiro-BA/Petrolina.
- Costa, J., Pereira, G., Siqueira, M. E., Cardozo, F., Silva, V. V. (2019). Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 24 (15), 228-243.
- Coutinho, E. C. (2016). *Contribuições das sub-bacias para vazão do rio Amazonas e riscos socioambientais associados a eventos hidrológicos extremos*. Tese (Doutorado) em Ciências Ambientais. UFPA, PPGCA, Belém-PA.
- Duarte, A. F. (2006). Aspectos da climatologia do Acre, Brasil, com base no intervalo 1971 – 2000. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21 (3), 308-317.
- Ferreira, A. G.; Mello, N. G. S. (2005) Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos pacífico e atlântico no clima da região. *Revista Brasileira de Climatologia*, 1 (1), 15-28.
- Ferreira filho, D. F.; Crispim, D. L.; Pessoa, F. C. L.; Fernandes, L. L. (2019). Spatialization of precipitation and analyzes of trends obtained through the GPCC satellite for the state of Acre. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 9 (2), p. 68-79.
- Franca, R. R., Mendonça, F. A. (2016). A pluviosidade na Amazônia meridional: variabilidade e teleconexões extra-regionais. *Revista Franco-Brasileira de Geografia*, 29 (29).
- Franco, V., Souza, E. B., Lima, A. M. M. (2018). Cheias e vulnerabilidade social: estudo sobre o rio Xingu em Altamira/PA. *Revista Ambiente & Sociedade*, 21, 1-22.
- Freitas, M. A. S. (2005). Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semi-áridas. *Revista Tecnologia*, 19 (1), 84-95.
- 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 (150066).
- Gao, P., Mu, X. M., Wang, F., Li, R. (2011). Changes in streamflow and sediment discharge and the response to human activities in the middle reaches of the Yellow River. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 1-10.
- Gomes, D. J. C., Lima, A. M. M., Soares, C. S. T., Ferreira, N. S. (2019a). Influência do uso e cobertura da terra associados a eventos climáticos em sistemas hidrometeorológicos. *Revista Geográfica Acadêmica*, 13 (2), 21-36.

- Gomes, D. J. C., Lima, A. M. M., Soares, C. S. T., Ferreira, N. S. (2019b). Vulnerabilidade natural á erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Capim. *III Congresso Brasileiro de Redução de Riscos e Desastres*. Belém-PA.
- Gomes, D. J. C., Soares, C. S. T., Conceição, T. K. S., Ferreira, N. S. (2019c). Extremos climáticos associados a eventos desastres naturais no estado do Mato Grosso do Sul. *VII Simpósio Internacional de Meteorologia*. Belém-PA.
- Guzha, A. C., Rufino, M. C., Okoth, S., Jacobs, S., Nóbrega, R. L. B. (2018). Impacts of land use and land cover change on surface runoff, discharge and low flows: Evidence from East Africa. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 15, 49-67.
- Hänsel, S., Schucknecht, A., Matschullat, J. (2016). The modified Rainfall Anomaly Index (mRAI) – is this an alternative to the Standardised Precipitation Index (SPI) in evaluating future extreme precipitation characteristics. *Theoretical and Applied Climatology*, 123, 827-844.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Cidade e Estado*. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/riobranco/panorama>>. Acesso: 17/06/2022.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 17/06/2022.
- Jacobel, A. W., Mcmanus, J. F., Anderson, R. F., Winckler, G. (2016). Large deglacial shifts of the Pacific intertropical convergence zone. *Journal Nature Communications*, 7 (10449), 1-7.
- Jiménez-muñoz, J. C., Mattar, C., Barichivich, J., Santamaría-artigas, A., Takahashi, K., Malhi, Y., Sobrino, J. A., Schrier, G. (2016). Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015-2016. *Scientific Report*, 6 (33130), 1-6.
- Jorge, R. L. O., Lucena, D. B. (2018). Eventos extremos anuais de precipitação em Mauriti – CE. *Ciência & Natura*, 40 (65), 1-10.
- Kasuya, E. (2018). Onthe use of r and r squared in correlation and regression. *Ecological Research*, 34 (1), 235-236.
- Leite filho, C. A. (2019). Considerations on linear correlation analysis. *Audiology Communucation Research*, 24 (2143), 1-2.
- Lee, E., Livino, A., Han, S. C., Zhang, K., Briscoe, J., Kelman, J., Moorcroft, P. (2018). Land cover change explains the increasing discharge of the Paraná river. *Regional Envirionmental Change*, 18, 1871-1881.

- Lewis, S. L., Brando, P. M., Philips, O. L., Van der heijen, G. M. F., Nepstad, D. (2011). The 2010 Amazon drought. *Science*, 331 (6017), 554-554.
- Licco, E. A., Mac dowell, S. F. (2015). Alagamentos, enchentes, enxurradas e inundações: Digressões sobre seus impactos sócio econômicos e governança. *Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística*, 5 (3).
- Lima, J. A., Dambros, M. V. R., Antonio, M. A. P. M., Janzen, J. G., Marchetto, M. (2011). Potencial da economia de água potável pelo uso de água pluvial: análise de 40 cidades da Amazônia. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 16 (3), 291-298.
- Linnakoski, R., Kasanen, R., Dounavi, A., Forbes, K. M. (2019). Editorial: forest health under climate change: effects on tree resilience, and pest and pathogen dynamics. *Frontiers in Plant Science*, 10 (1157), 1-3.
- Lins, F. A. C., Silva, J. B., Moura, G. B. A., Ortiz, P. F. S., Oliveira, J. D. A., Alves, M. V. C. (2017). Quantile technique to precipitation, rainfall anomaly index and biophysical parameters by remote sensing in Serra Talhada, Pernambuco. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 7 (6), 334-344.
- Macêdo, M. N. C., Dias, H. C. T., Coelho, F. M. G., Araújo, E. A., Souza, M. L. H., Silva, E. (2013). Precipitação pluviométrica e vazão da bacia hidrográfica do Riozinho do Rôla, Amazônia ocidental. *Ambiente e Água*, 8 (1), 206-221.
- Marengo, J. A., Tomasella, J., Alves, L. M., Soares, W. R., RODRIGUEZ, D. A. (2011). The drought of 2010 in the contexto of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters*, 28 (12), 1-5.
- Martins, A. M., Filgueira, H. J. A., Azevedo filho, A. C., Silva, T. C., Silva júnior, M. H. (2020). Análise de não homogeneidades de séries de vazão de captações de nascentes na bacia hidrográfica do rio Gramame, PB, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13 (6), 2896-2907.
- NOAA. National Oceanic and Administration Atmospheric. *Climate Indices: Monthly Atmospheric and Ocean Time-Series*. Disponível em: <<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>>. Acesso: 17/06/2022.
- Nunes, F. T., Vasconcelos junior, F. C., Silveira, C. S. (2019). Avaliação interanual das anomalias de chuvas da bacia hidrográfica do rio Mundaú – Ceará. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12 (1), 22-38.
- Projeto mapbiomas – *Coleção 6.1 da série anual de mapas de cobertura e uso do solo do Brasil*. Disponível: <https://mapbiomas.org/>. Acesso: 17/06/2022.

- Rooy, M. P. V. (1965). A rainfall anomaly index independent of time and space. Notes. *Weather Bureau of South Africa*, 14, 43- 48.
- Santos, C. A., Lima, A. M. M., Serrão, E. A. O., Farias, M. H. C., Wanzeler, R. T. S., Araújo, I. B. (2016). Modelo de previsão fluviométrica para o rio Xingu na cidade de Altamira-PA. *Revista Internacional de Ciências*, 6 (2), 230-243.
- Santos, D. M. (2008). *Análise e Modelagem Hidrometeorológica na Bacia do Tocantins em Marabá-PA*. 118f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará. Belém – Pará.
- Salvador, M. A. (2017). CLIMAP – Aplicativo para análise de dados climáticos – versão 3.0. *Revista Brasileira de Climatologia*, 20 (13), 349-374.
- Serrão, E. A. O., Wanzeler, R. T. S., Santos, C. A., Gonçalves, L. J. M., Lima, A. M. M. (2016a). Avaliação estatística entre as estimativas de precipitação da constelação GPM com satélite TRMM: uma análise a bacia hidrográfica do rio Solimões. *Revista Brasileira de Climatologia*, 18 (12), 256-275.
- Serrão, E. A. O., Lima, A. M. M., Sousa, F. A. S., Ferreira, T. R., Santos, C. A., Silva junior, J. A. (2017b), Distribuição espacial de intensidade pluviométrica na calha do rio Solimões: estudo de caso a seca de 2010 na Amazônia. *Acta. Geográfica*, 11 (2), 1-16.
- Silva, A. P. N., Moura, G. B. A., Giongo, P. R.; Medeiros, S. R. R. (2011). Correlação entre as temperaturas da superfície do mar e a quantidade da precipitação na estação chuvosa no nordeste do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 26 (1), 149-156.
- Silva, L. P., Gomes, D. J. C. (2019). Variabilidade interanual climática associada a ocorrências de desastres naturais: Estado do Pará. *VIII Simpósio Internacional de Climatologia*. Belém.
- S2iD – Sistema Integrado de Informações sobre Desastres Naturais. *Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil*. Disponível em: <<https://s2id.mi.gov.br/>>. Acesso em: 17 jun. 2022.
- Souza, V. A. S., Nunes, M. L. A., Francener, S. F., Rosa, A. L. D. (2014). Eventos de precipitações extremas na Amazônia ocidental: Rondônia – Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 14 (10), 295-314.
- Terassi, P. M. B., Oliveira junior, J. F., Góis, G., Galvani, E. (2018). Variabilidade do índice de precipitação padronizada na região norte do estado do Paraná associada aos eventos de El Niño Oscilação Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 33 (1), 11-25.

UFJ/UFG

GEOAMBIENTE ON-LINE
Revista Eletrônica do Curso de Geografia
Graduação e Pós-Graduação
[Http://www.revistas.ufg.br/geoambiente](http://www.revistas.ufg.br/geoambiente)
Jataí-GO | n 43 | Maio-Agos/2022

