UFSM

CIÊNCIA e NATURA

ISSN 2179-460X
ACESSO ABERTO

Ci. e Nat., Santa Maria, v. 48, e89768, 2026 • https://doi.org/10.5902/2179460X89768
Submissão: 20/11/2024 • Aprovação: 06/01/2026 • Publicação: 30/04/2026

Geografia

Influência da precipitação e uso e ocupação do solo na variabilidade espaço-temporal das vazões na bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Machado

Influence of precipitation and land use on the spatio-temporal variability of flows in the Upper and Middle Machado River Basin

Gutieres Camatta Barbino[I], Nara Luísa Reis de Andrade[I], Trent Wade Biggs[II], Camila Andrade Abe[II], Ediane Carvalho Ferreira[I], Alberto Dresch Webler[I]

[I] Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, RO, Brasil
[II] San Diego State University, San Diego, United States

RESUMO

A região amazônica é extremamente vulnerável a processos de alteração de uso e ocupação do solo, que podem causar impactos adversos, como na precipitação local e consequentemente na vazão dos rios. O estudo buscou identificar a variabilidade espaço-temporal da vazão superficial, bem como, analisar a influência do uso e ocupação do solo e da precipitação nas vazões na Bacia Hidrográfica do Alto e Médio Rio Machado, Rondônia. Foram utilizados dados de uso e ocupação do solo (obtidos através do MapBiomas), precipitação e vazão (obtidos através da Agência Nacional de Água e Saneamento Básico). Foi observado um incremento da vazão média em função do aumento da área antropizada. Três estações apresentaram relação significativa (para $\alpha = 0,05$), com coeficientes de regressão: R^2=0,6 (Fazenda Apurú), R^2=0,16 (Pimenta Bueno) e R^2=0,11 (Ji-Paraná). Por sua vez, a precipitação exerceu influência significativa em quatro estações. A precipitação exerce uma influência que explica entre 12% a 53% a variação da vazão para as estações observadas. Além disso, tal influência aumenta conforme há um incremento na área de contribuição da bacia. Mediante isso, fica evidente que controlado pelo efeito da chuva, o uso e ocupação do solo tem influenciado o regime de vazão média. Porém destaca-se a existência de outros fatores relacionados as alterações nas vazões médias na bacia, como usos múltiplos da água, tipo de solo e declividade.

Palavras-chave: Cobertura do solo; Ciclo hidrológico; Desmatamento

Published by Ciência e Natura under a CC BY-NC-SA 4.0 license.

ABSTRACT

The Amazon region is extremely vulnerable to processes of change in land use and occupation, which can cause adverse impacts, such as local precipitation and consequently the flow of rivers. The study sought to identify the spatio-temporal variability of the surface flow, as well as to analyze the influence of land use and occupation and precipitation on the flows in the Upper and Middle Machado River Basin, Rondônia. Data on land use and occupation (obtained through MapBiomas), precipitation and flow (obtained through the Agência Nacional de Água e Saneamento Básico) were used. An increase in the average flow was observed as a function of the increase in the anthropized area. Three stations showed a significant relationship (for $\alpha = 0.05$), with regression coefficients: R^2=0.6 (Apurú Farm), R^2=0.16 (Pimenta Bueno) and R^2=0.11 (Ji-Paraná). In turn, precipitation exerted a significant influence on four seasons. Precipitation exerts an influence that explains between 12% and 53% the flow variation for the observed stations. In addition, this influence increases as -there is an increase in the basin's contribution area. Therefore, it is evident that controlled by the effect of rainfall, the use and occupation of the land has influenced the average flow regime. However, the existence of other factors related to changes in the average flows in the basin is highlighted, such as multiple uses of water, soil type and slope.

Keywords: Land cover; Hydrological cycle; Deforestation

1 INTRODUÇÃO

A bacia do Rio Amazonas é uma área de extrema importância para o ciclo da água e energia, contribuindo para a regulação do clima (Alves *et al.,* 2017; Artaxo *et al.,* 2022; Backer *et al.,* 2022; Cavalcante *et al.,* 2019; Sierra *et al.,* 2023). Entretanto, essa região é vulnerável e tem sido largamente afetada por processos de desmatamento devido à expansão da pecuária, da agricultura, da urbanização e da indústria, sendo causa motriz para o desmatamento, o qual, por sua vez, intensifica os eventos extremos (Brito *et al.,* 2022; Kohler *et al.,* 2021; Marengo; Espinoza, 2016; Reis *et al.,* 2021; Santos *et al.,* 2023; Sorribas *et al.,* 2016).

A ocorrência de eventos climáticos extremos é intensificada principalmente em virtude do desmatamento. Ademais, o desmatamento registrado na Bacia Amazônica é de 20% entre os anos de 1988 e 2021 (INPE, 2021), tal dado é preocupante quando analisadas todas as esferas (ambiental, social e econômica). Isso ocorre porque causa impactos no balanço hídrico e, consequentemente no clima em nível local, regional, nacional e global (Reyer *et al.,* 2017).

Devido à crescente preocupação, vários estudos avaliam a influência do desmatamento no balanço hídrico da Amazônia (Brêda *et al.,* 2020; Casagrande *et al.,* 2021; Cavalcante *et al.,* 2020; Cavalcante *et al.,* 2019; Farinosi *et al.,* 2019). Brêda *et al.* (2020) estudaram diferentes cenários onde alterações no balanço hídrico da bacia amazônica podem provocar diferentes consequências no clima, tais como redução na precipitação, que impacta diretamente nas taxas evapotranspirativas e nas descargas dos rios. Casagrande *et al.* (2021) avaliaram influências de diferentes coberturas do solo, floresta e pastagem, sobre componentes do balanço hídrico, sendo observado que a conversão da vegetação nativa para pastagem reduz consideravelmente componentes do balanço hídrico, como transpiração e interceptação. Por outro lado, Cavalcante *et al.* (2019) estudaram o balanço hídrico de uma microbacia do Rio Amazonas, a Bacia do Rio Itacaiúnas, com uma série de dados já existentes (1973-2016) e relataram que a cobertura vegetal natural reduziu de 95% para 52%, impactando no balanço hídrico, de forma a reduzir a interceptação de água e evapotranspiração e consequentemente aumentar o escoamento superficial e a vazão.

Esses impactos, decorrentes do desmatamento e das alterações nos padrões de uso e ocupação do solo, afetam diretamente a disponibilidade hídrica da bacia, que é comumente avaliada por meio de dados de vazão, escoamento superficial e subsuperficial (Cecílio *et al.,* 2021; Achugbu *et al.,* 2022). Estudos como o de Dias *et al.* (2019); Peixoto *et al.* (2020); Sousa *et al.* (2019); Vieira (2023) buscaram respostas sobre como o uso e ocupação do solo pode influenciar na vazão de uma bacia, haja vista que tais processos são frequentes no Brasil, sobretudo na região amazônica, sendo necessárias investigações mais aprofundadas sobre o tema e sua contribuição para a preservação e gestão dos recursos hídricos.

Nesse sentido, os estudos dessa temática em estados da região amazônica, como Rondônia, tornam-se fundamentais. O Rio Machado, por exemplo, é um rio de domínio estadual, drenando diversas cidades importantes. Está situado numa importante região de desenvolvimento do estado que tem sido fortemente marcada

por alterações no uso e ocupação do solo, onde ao menos 50% da área da bacia é composta por áreas antropizadas (pastagem, cidades, agricultura e outros) (Barbosa; Silva Filho, 2018; Souza *et al.,* 2019).

Mediante o exposto, o presente estudo tem por objetivo identificar a variabilidade espaço-temporal das descargas superficiais, bem como analisar a influência do uso e ocupação do solo e da precipitação nas vazões da Bacia Hidrográfica do Alto e Médio Machado, Rondônia, entre os anos de 1985 a 2022.

2 MATERIAL E MÉTODOS

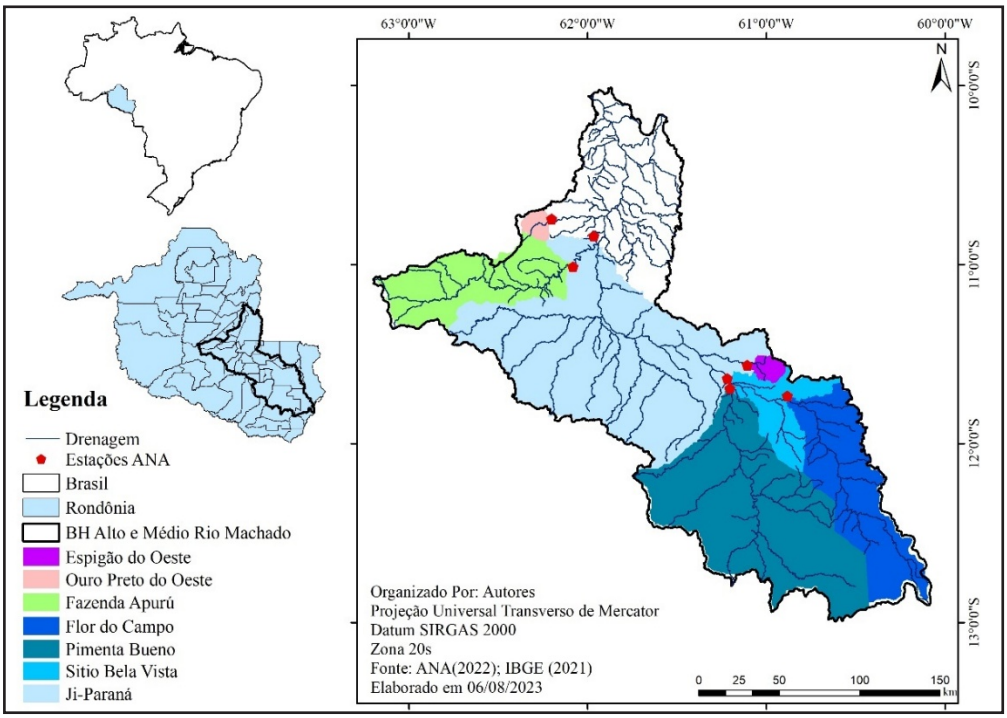
2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na Bacia Hidrográfica do Alto e Médio Rio Machado (Figura 1), uma subdivisão da Bacia do Rio Machado, conforme o Plano Estadual de Recursos Hídricos de Rondônia (Rondônia, 2018). Com área aproximada de 39.362,19 km², está situada na região centro-sul do estado e abrange 24 municípios, incluindo importantes centros urbanos, com uma estimativa de 507.312 habitantes na área da bacia.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da área de estudo é Aw, ou seja, tropical chuvoso, com temperatura média anual de aproximadamente 25 ºC e precipitação anual variando entre 1.500 mm a 2.000 mm (Araújo, 2022).

Vale ressaltar que o Estado de Rondônia apresenta uma sazonalidade bem definida das chuvas, dividida em períodos de cheia e seca. Os meses de cheia ocorrem entre outubro e março, concentrando cerca de 70% da precipitação anual. Já o período seco, de abril a setembro, concentra os 30% restantes (Franca, 2015; Satyamurty *et al.,* 2013).

Figura 1 – Cartograma de localização da Bacia Hidrográfica do Alto e Médio Rio Machado, Rondônia, Brasil, e as áreas de influência de cada sub bacia hidrográfica estudada (área a montante do ponto de monitoramento de vazões)



Fonte: Autores (2024)

2.2 Séries históricas de precipitação e vazão

Ambas as séries históricas de vazão e de precipitação foram obtidas por meio do site da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, por meio do portal Hidroweb (https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas).

Para caracterizar e analisar o comportamento da vazão superficial na Bacia do Alto e Médio Rio Machado, foram utilizados dados das estações fluviométricas distribuídas ao longo da área da bacia. As estações utilizadas e o período de dados disponíveis para análise estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Rede de estações fluviométricas utilizadas na aquisição de dados de vazão na Bacia Hidrográfica do Alto e Médio Machado, Rondônia, Brasil

Estação	ID ANA	Série de dados	N (Anos)	Área de Drenagem (km²)
Espigão do Oeste (EO)	15558700	01/01/2011 a 31/12/2019	09	266,52
Ouro Preto do Oeste (OPO)	15562000	01/01/2009 a 31/12/2019	11	259,47
Fazenda Apurú (FA)	15558500	01/01/2006 a 31/12/2022	17	3.683,86
Flor do Campo (FC)	15552600	01/12/1982 a 31/12/2022	41	4.460,05
Pimenta Bueno (PB)	15558000	01/01/1980 a 31/12/2022	43	9.328,05
Sítio Bela Vista (SBV)	15559000	01/01/1984 a 31/12/2022	39	15,505.68
Ji-Paraná (JP)	15560000	01/01/1977 a 31/12/2022	46	32.176,17

Fonte: ANA (2023)

Os dados de precipitação, por sua vez, foram adquiridos de estações pluviométricas situadas na área de influência das bacias das estações fluviométricas. Todas estações pluviométricas coincidem com os pontos das estações fluviométricas, com exceção das estações de OPO e FA, onde estas de encontram a montante. As estações pluviométricas utilizadas, bem como o período de dados disponíveis e as bacias hidrográfica de inserção podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 – Rede de estações pluviométricas utilizadas na aquisição de dados de precipitação para cada área de influência das estações fluviométricas

Estação pluviométrica	ID ANA	Série de dados	N (Anos)	Estação fluviométrica
Ministro Andreaza	1161003	01/11/1999 a 31/10/2023	24	Espigão do Oeste
Rondominas	1061003	01/01/1987 a 31/10/2023	36	Ouro Preto do Oeste
Mirante da Serra	1062003	01/08/1983 a 31/10/2023	17	Fazenda Apurú
Flor do Campo	1160002	01/12/1982 a 31/10/2023	42	Flor do Campo
Pimenta Bueno	1161001	01/01/1980 a 31/10/2023	44	Pimenta Bueno
Vista Alegre	1161000	01/12/1977 a 31/08/2023	39	Sitio Bela Vista
Ji-Paraná	1061001	01/01/1972 a 01/01/2023	51	Ji-Paraná

Fonte: ANA (2023)

Para analisar o efeito da precipitação sobre a vazão conforme a sazonalidade do Estado, os dados foram organizados e agrupados de acordo com os meses correspondentes, considerando o ano hidrológico de outubro a setembro. O período analisado inclui todos os dados disponíveis até 2022. Além disso, os dados foram avaliados apenas nos anos em que houvesse registros para ambas as séries, respeitando a disponibilidade de dados de vazão.

2.3 Uso e ocupação do solo

Os dados de uso e ocupação da terra foram obtidos no site do Projeto MapBiomas, que disponibiliza os dados de cobertura do solo para todo o Brasil. O banco de dados contém imagens desde os anos de 1985 até os anos presentes. O MapBiomas surgiu em 2015, foi formado de forma colaborativa entre diversas instituições universitárias, ONGs, empresas de tecnologia, entre outros. Realiza o mapeamento do uso e ocupação do solo anualmente, além de monitorar superfície da água e cicatrizes de queimadas (MapBiomas, 2021).

A classificação de uso e ocupação do solo do MapBiomas é baseada em imagens do satélite Landsat, que fornece registros há mais de 30 anos. O Landsat disponibiliza imagens gratuitamente, com resolução espacial de 30 metros. O uso dessas imagens se destaca por representar uma das principais fontes de dados geoespaciais, permitindo análises sobre desmatamento, uso e ocupação do solo, além do crescimento de áreas agrícolas e urbanas, possibilitando o monitoramento dessas mudanças ao longo de décadas (Bertucini Junior; Centeno, 2016). O MapBiomas utiliza de grande poder de processamento para minimizar interferências atmosféricas nas imagens de satélite e emprega técnicas de aprendizado automático para realizar o extenso trabalho de classificação para todo o território brasileiro (MapBiomas, 2021).

2.3 Análise de dados

Foi realizada a aplicação de estatística descritiva e inferencial nos dados de vazão, precipitação e de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Machado.

Aplicou-se estatística descritiva com o objetivo de obter médias, desvio padrão, n amostral, aproveitamento dos dados, entre outros, para as séries históricas de vazão e precipitação. Vale ressaltar que para os dados de precipitação, somente foram realizadas médias para as estações de SBV e JP, sendo utilizadas as estações pluviométricas que estavam em sua área de influência, visto que estas também influenciam na vazão das respectivas estações. Quanto aos dados de uso e ocupação, após extração das áreas referidas, fez-se a conversão em percentual de cobertura da bacia para as análises de correlação.

Para verificar a influência do uso e ocupação do solo e da precipitação nas séries históricas de vazão, foram analisadas as influências das variáveis de forma individualizada para cada estação, considerando-se apenas a área de influência da bacia hidrográfica e o período de dados disponíveis coincidentes entre as variáveis, como discriminado na Tabela 1, por meio de teste de regressão linear múltipla com índice de confiança de 95%.

Para tratamento e aquisição dos dados de uso e ocupação, bem como a confecção das cartas imagem, foi utilizado o QGIS. O tratamento dos dados e a aplicação dos testes estatísticos foram utilizados o Microsoft Excel 2013 e o software R.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

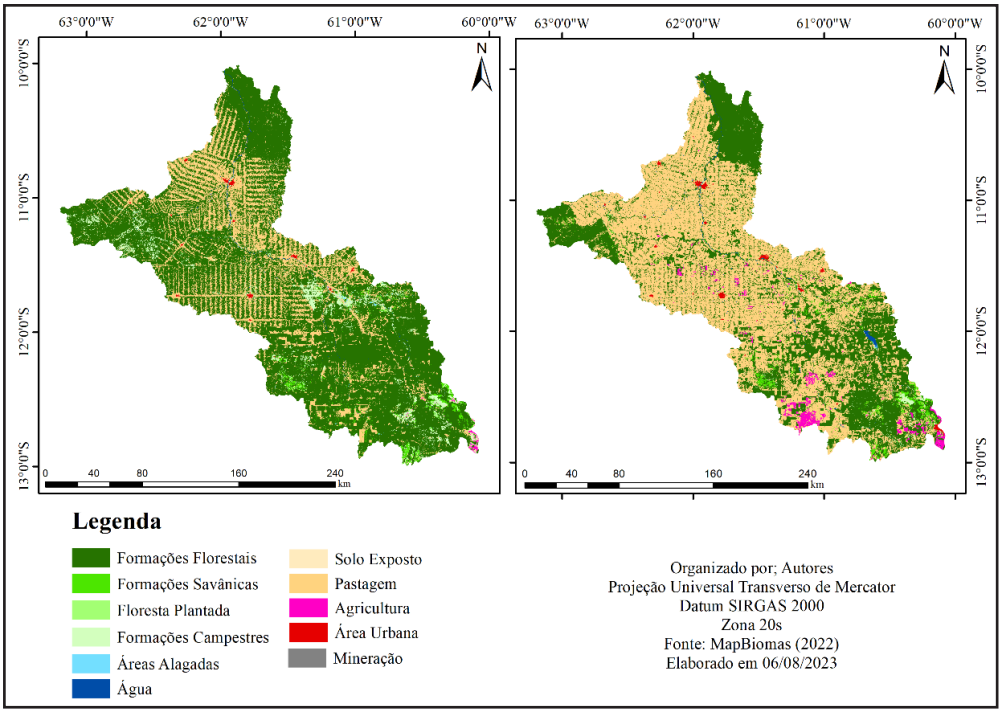
3.1 Uso e ocupação do solo

As alterações no ambiente fazem parte de um processo contínuo de evolução da sociedade. Entretanto, o modelo econômico estabelecido no Brasil fez com que

essas alterações se tornassem excessivas e aceleradas, acarretando em impactos na paisagem e nos serviços ecossistêmicos prestados por ambientes naturais (Bastos; Freitas, 1999; Casagrande *et al.*, 2021), tornando-se de extrema importância o conhecimento da dinâmica de uso e ocupação do solo.

A área de estudo foi fortemente impactada pelas políticas públicas de reforma agrária conduzida pelo INCRA na década de 1970, o que levou ao desmatamento da bacia para a inserção de áreas voltadas à exploração econômica, principalmente pecuária (Figura 2). Na Figura 2, é possível identificar mudanças expressivas na cobertura do solo no período avaliado, cujos valores podem ser observados na Tabela 3. Com base no mapa de cobertura e na Tabela 3, constata-se que as mudanças mais expressivas ocorreram na diminuição de formações florestais e incremento das áreas de pastagem e agricultura.

Figura 2 – Uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Alto e Médio Machado nos anos de 1985 e 2021



Fonte: MapBiomas (2022). Organizado por Autores (2024)

A redução da área florestada foi correspondente a 12.431,2 km², representando uma perda de 45,37% da vegetação natural da área entre os anos de 1985 e 2021. No

mesmo período, a área de pastagem aumentou em 12.845,1 km² (um incremento de 137,7%) e a área de agricultura expandiu em 814,5 km² (um incremento de 1.616,1%).

Trancoso *et al.* (2009) relatam que o desmatamento na bacia do Rio Madeira, da qual o Rio Machado é afluente, para inserção de sistemas agropecuários tem sido frequente. Entre os anos de 1987 e 2017, o desflorestamento registrado nos estados que integram a Bacia do Rio Madeira corresponde a mais da metade do desmatamento observado no mesmo período para toda a região amazônica, somando aproximadamente 230.000 km² (INPE, 2021).

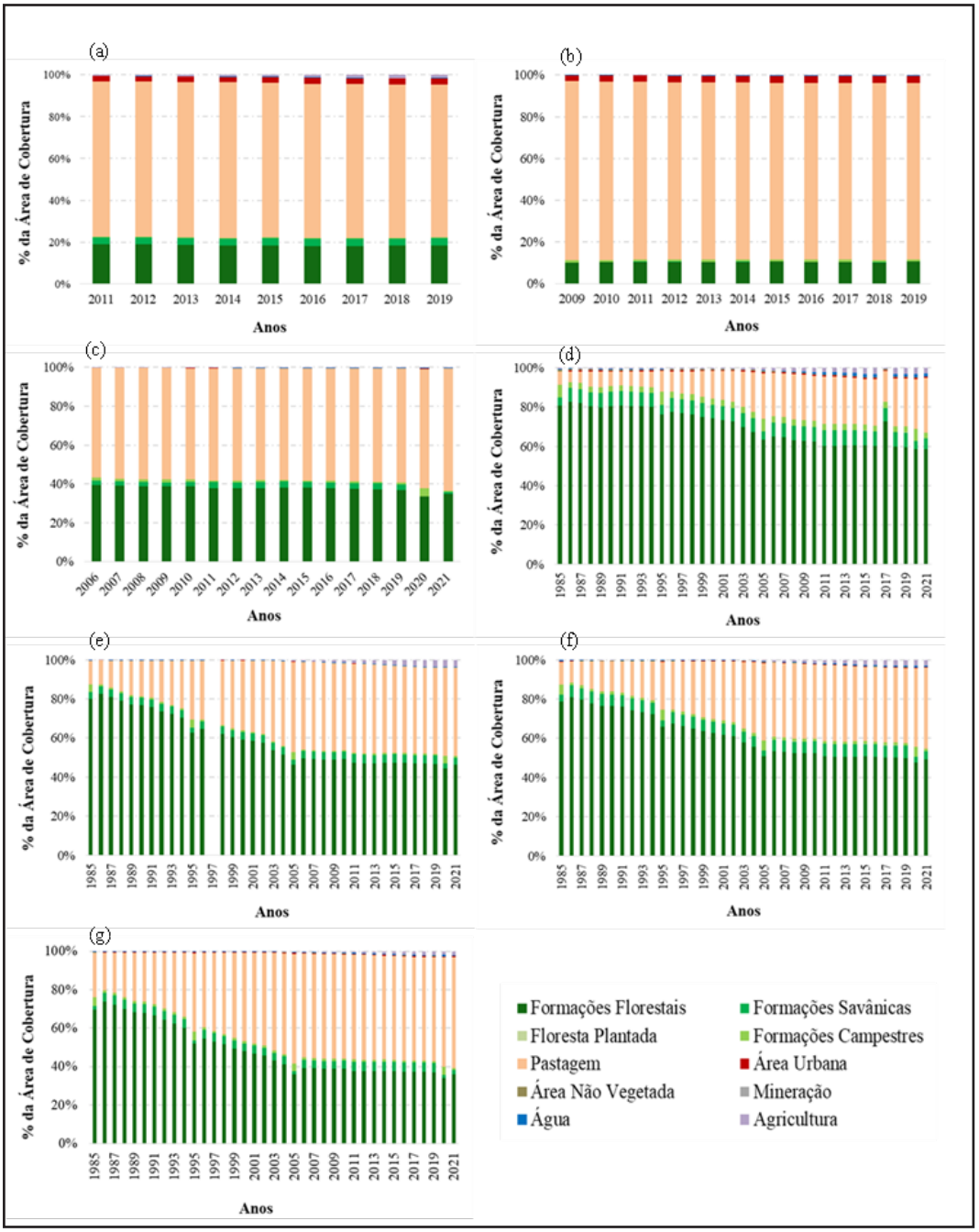
O elevado desmatamento resulta principalmente da estratégia implementada pelo governo para expandir as fronteiras agrícolas por todas as regiões do país, especialmente àquelas com baixo nível de integração territorial, como é o caso da região amazônica (Soares-Filho *et al.,* 2006). Para uma melhor visualização da dinâmica de uso e ocupação do solo, a Figura 3 ilustra essa dinâmica para a área de influência de cada estação fluviométrica estudada, considerando apenas os anos em que há dados de vazão.

Tabela 3 – Classes de uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Alto e Médio Machado nos anos de 1985 e 2021 com suas respectivas áreas (km²) e percentual de cobertura (%) da bacia

	1985		2021	
Classes de Cobertura do Solo	**Área (km²)**	**Percentual (%)**	**Área (km²)**	**Percentual (%)**
Formações Florestais	27.397,9	69,6	14.966,7	38,0
Formações Savânicas	634,6	1,6	801,9	2,0
Floresta Plantada	-	-	6,2	0,02
Formações Campestres	1.637,1	4,2	334,3	0,8
Áreas Alagadas	53,3	0,1	15,6	0,04
Água	123,2	0,3	172,4	0,4
Solo Exposto	50,5	0,1	13,4	0,03
Pastagem	9.328,6	23,7	22.173,7	56,3
Agricultura	50,4	0,1	864,9	2,2
Áreas Urbanas	86,3	0,2	174,0	0,4
Mineração	-	-	0,4	0,001
	39.362,19	100	39.362,19	100

Fonte: Autores (2024)

Figura 3 – Classes de uso e ocupação do solo e seus respectivos percentuais de cobertura da área de influência das estações fluviométricas da ANA. (a) Espigão do Oeste, (b) Ouro Preto do Oeste, (c) Fazenda Apurú, (d) Flor do Campo, (e) Pimenta Bueno, (f) Sitio Bela Vista e (g) Ji-Paraná



Fonte: Autores (2024)

Ao observar o padrão da dinâmica de uso e ocupação da área de influência das estações, nota-se que as áreas das estações EO, OPO e FA não apresentam variação

expressiva. Isso se deve principalmente a dois fatores: o primeiro está relacionado ao período analisado, seguido pela área de influência.

Quanto ao período analisado, por se tratarem de estações em que o monitoramento de vazão começou recentemente, as classes de uso e ocupação do solo estão consolidadas, sem grandes variações, destacando-se apenas um incremento na expansão da agricultura na área da estação de EO. Já a área de influência pode estar relacionada ao fato de essas estações possuírem menores áreas, o que corrobora com a maior consolidação das classes observadas.

Por sua vez, as demais estações apresentam variações mais significativas na dinâmica de uso e ocupação do solo. Destaca-se a dinâmica observada na área de influência da estação de Ji-Paraná (JP), uma vez que esta, por possuir a maior área, abrange a área de influência das demais estações.

Para o período analisado, iniciado em 1985, a cobertura florestal na área de influência representava 69,61% da área, enquanto pastagem e agricultura representavam 22,92% e 0,11%, respectivamente. Em 2021, último ano analisado, observou-se uma expressiva alteração no uso e ocupação na área de influência da referida estação, com a cobertura vegetal representando 35,97%, enquanto pastagem passou a representar 57,89% e agricultura 1,94%.

Tais resultados têm sido observados em outros estudos que avaliam as alterações no uso e ocupação do solo na região amazônica. Araújo; Matos; Anjos (2022) ao estudarem a dinâmica de uso e ocupação no Estado do Pará ao longo de 30 anos, constataram que entre 1985 e 2018 o estado sofreu uma redução significativa de cobertura florestal, enquanto houve um crescimento substancial nas áreas de pastagem, agricultura e mineração. Fato igualmente observado por Araújo *et al.* (2020) ao estudarem as alterações na cobertura do solo em uma bacia hidrográfica no Estado do Amapá. De uma forma geral, em toda a região amazônica, sobretudo na área do “arco do desmatamento”, essas práticas intensivas de desmatamento

para implementação de sistemas agropecuários estão associadas à consolidação da sociedade e crescimento econômico da região (Becker, 2005; Dias Filho, 2011).

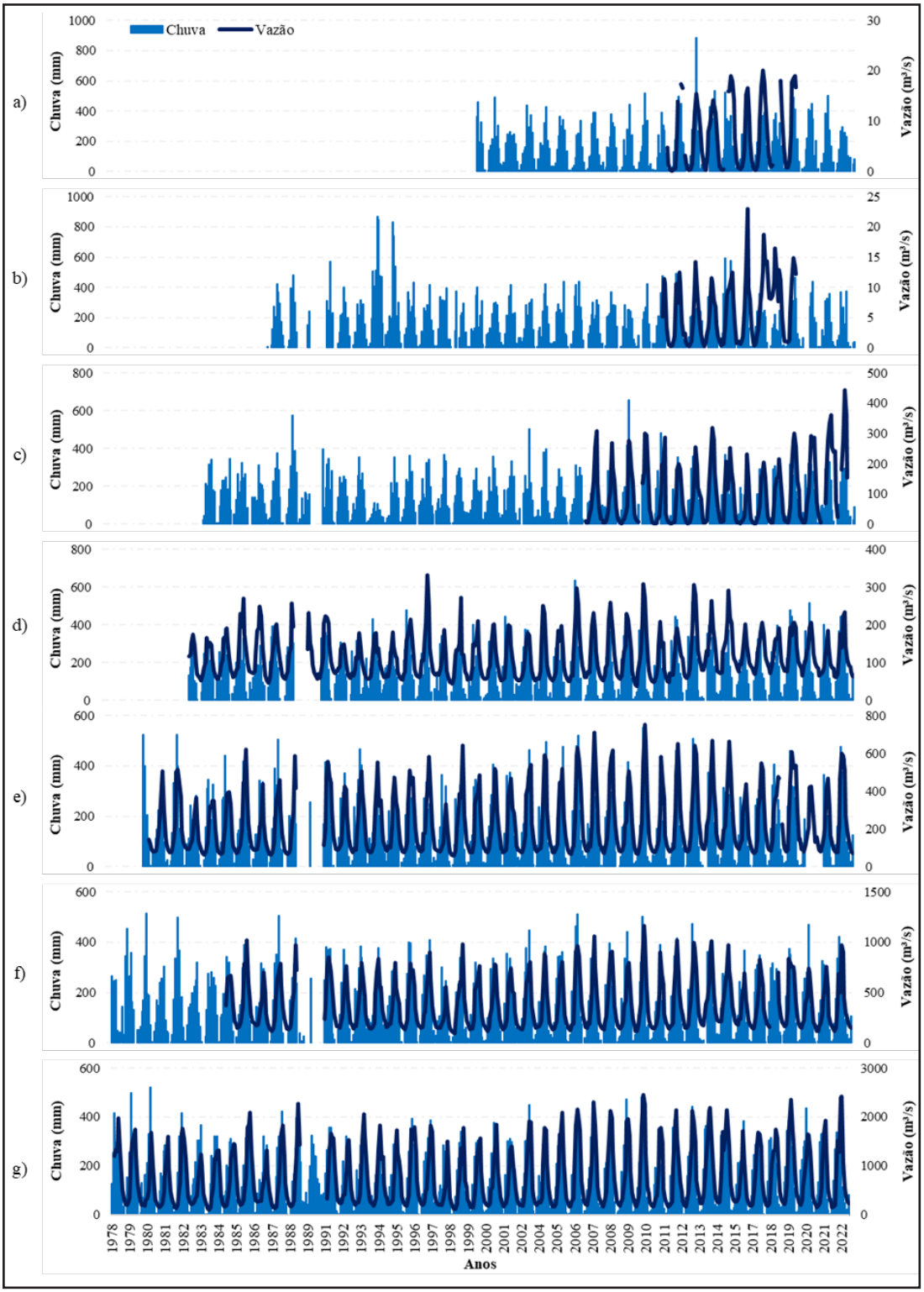
3.2 Série histórica de precipitação e vazão

Os dados de vazão apresentam elevada variabilidade ao longo do ano, o que está diretamente relacionado à sazonalidade das chuvas no estado (Cavalcante *et al.,* 2020; Llopart *et al.,* 2018; Sorribas *et al.,* 2016). A variabilidade da vazão e da precipitação no período estudado pode ser observada na Figura 4.

Estudos realizados no Estado de Rondônia indicam que a precipitação anual varia entre 1.500 e 2.000 mm (Franca, 2015; Gomes *et al.,* 2015; Oliveira, 2014). Para a área de estudo, os resultados são semelhantes, com precipitação variando de 1.768,98 mm a 1.998,67 mm. A bacia hidrográfica com a menor precipitação anual média foi a da estação da FA, com 1.768,98 mm, enquanto a maior precipitação foi registrada na estação EO, com 1.998,67 mm. Os valores de precipitação registrado nas demais estações são correspondentes a 1.943,48 na OPO, 1.956,76 na Flor do Campo (FC), 1.830,69 em Pimenta Bueno (PB), 1.908,18 no Sítio Bela Vista (SBV) e 1943,01 em JP.

A sazonalidade da precipitação em Rondônia, como mencionado anteriormente, é bem definida. Estudos demonstram que a maior pluviosidade ocorre no trimestre de dezembro, janeiro e fevereiro, com valores acumulados no período entre 810 e 920 mm (Franca, 2015). Em contrapartida, no trimestre mais seco no Estado, correspondente aos meses de junho, julho e agosto, a precipitação acumulada não ultrapassa os 70 mm de chuva (Franca, 2015, Gomes *et al.,* 2015). Na área de estudo, observou-se o mesmo padrão, com mais de 75% da precipitação ocorrendo nos seis meses do período úmido, chegando a representar 86% na bacia PB. Ressalta-se que essa precipitação é mais intensa entre dezembro e março, onde nestes 4 meses ocorre mais de 50% da precipitação anual.

Figura 4 – Vazões médias mensais (m³/s) para o período estudado de cada estação fluviométrica e precipitação mensal para cada área correspondente. (a) Espigão do Oeste, (b) Ouro Preto do Oeste, (c) Fazenda Apurú, (d) Flor do Campo, (e) Pimenta Bueno, (f) Sítio Bela Vista, (g) Ji-Paraná



Fonte: ANA (2023). Organizado por Autores (2024)

Quanto à vazão, o comportamento é semelhante: as maiores vazões médias ocorrem nos meses de maior precipitação, enquanto os menores fluxos de água são registrados nos meses de estiagem. Contudo, os picos máximos e mínimos de vazão apresentam defasagem em relação aos meses de maiores precipitações, com os picos de vazão máxima ocorrendo entre fevereiro e março e as vazões mínimas entre setembro e outubro.

Esse fenômeno pode estar relacionado ao processo hidrológico de recarga de aquíferos. Durante a estiagem, os aquíferos subterrâneos mantêm o nível dos rios, e somente após as primeiras chuvas a água infiltrada começa a reabastecer as reservas subterrâneas. Apenas após esse processo, as vazões superficiais aumentam de forma permanente (Azevedo; Campos, 2021; Bagheri *et al.,* 2024; Iritani *et al.,* 2000).

Além disso, nota-se que seis das setes estações estudadas apresentaram picos de vazão nos últimos 10 anos (após 2013). Tal comportamento pode estar relacionado à dinâmica de alteração da cobertura do solo, que reduz a interceptação do dossel, os processos de infiltração e recarga de aquíferos, ao mesmo tempo em que aumenta o escoamento superficial, acarretando na intensificação das vazões máximas (Forsberg *et al.,* 2017; Gomes *et al.,* 2020; Heerspink *et al.,* 2020; Rodriguez; Tomasella; Linhares, 2010; Sorribas *et al.,* 2016).

Ademais, é possível inferir que o comportamento das séries de vazão apresenta comportamentos semelhantes e proximidades de datas em relação a eventos de seca (Cavalcante *et al.,* 2020; Chaudhari *et al.,* 2019), principalmente em bacias com maior área de influência. Por outro lado, as vazões máximas podem estar mais diretamente associadas a eventos de precipitação intensa e esparsa, que afetam individualmente cada estação (Cavalcante *et al.,* 2020).

3.3 Influência do uso e ocupação do solo e precipitação na vazão

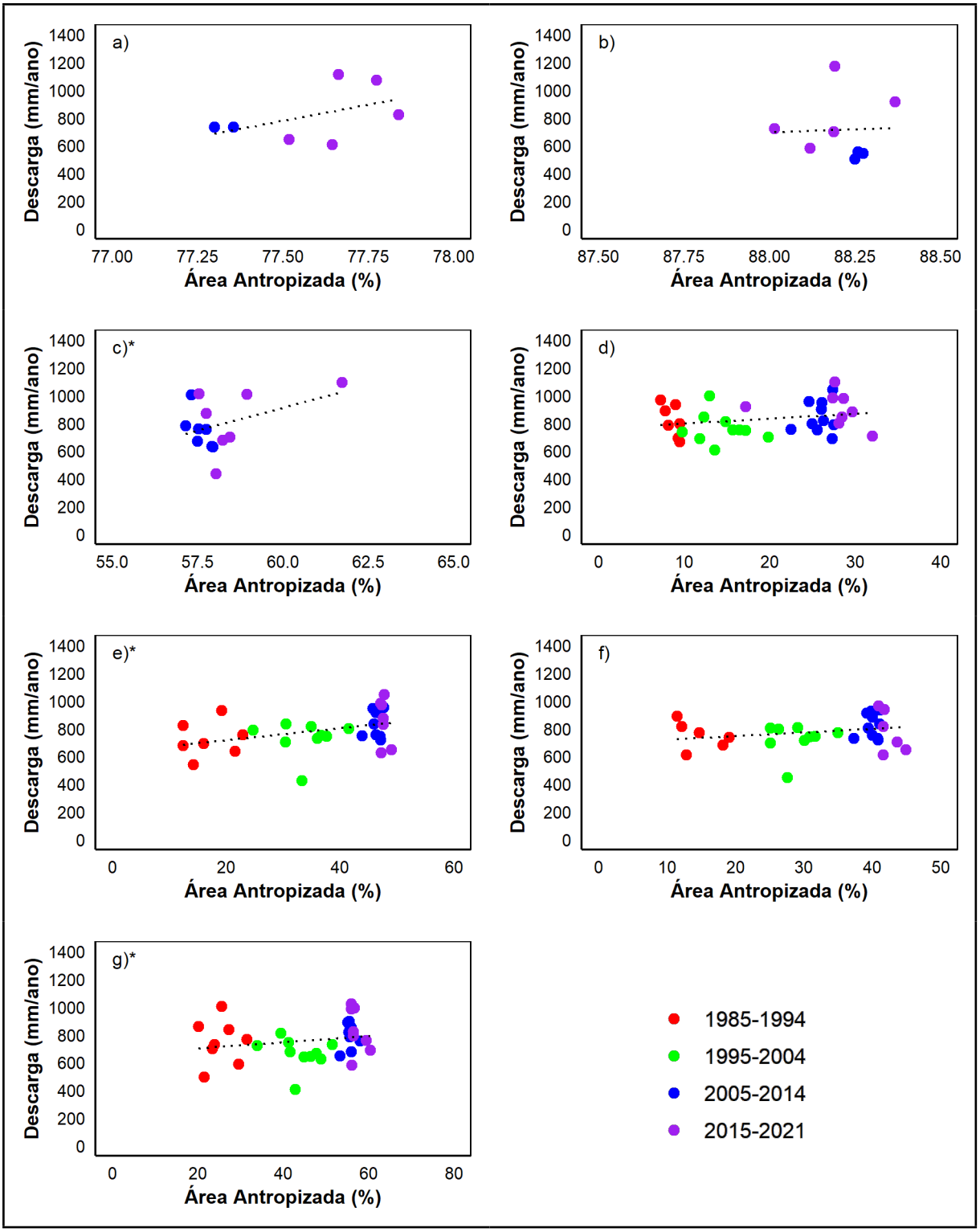
As ações de intensa modificação no uso e ocupação do solo, ocorridas nas últimas décadas na bacia do Alto e Médio Rio Machado, resultaram na conversão

de extensas áreas de cobertura natural em áreas abertas, destinadas às atividades agropecuárias, ocasionando consideráveis impactos nos corpos hídricos. Isso se deve ao fato de que tais modificações afetaram áreas de grande importância, como as regiões ripárias (Pedlowski *et al.,* 1997; Roberts *et al.,* 2002; Soler; Verburg, 2010). Para entender como as alterações no uso e ocupação do solo afetaram as vazões médias para as estações de estudo, foram realizados testes de regressão ($\alpha = 0,05$). Os resultados obtidos podem ser visualizados na Figura 5.

Dentre as estações, a que apresentou o menor coeficiente de regressão foi a estação de OPO ($R^2 = 0,0015$; p-valor = 0,93), sendo que sua relação não foi significativa. Tal comportamento pode estar relacionado às mudanças na cobertura do solo ocorridas nos anos anteriores, que impactaram o regime hidrológico, resultando em redução das vazões (Lopes *et al.,* 2021) e também ao curto período de dados disponíveis, que pode ter sido incapaz de captar a influência entre as variáveis. Considerando também a dinâmica da bacia em análise, outro fator que pode estar associado à redução da vazão são os elevados usos múltiplos da água na bacia, que tem sofrido com problemas de abastecimento público de água, entre outros serviços hídricos, nos últimos anos (Andrade; Moreira; Santos, 2019).

Além disso, a área da bacia está situada em um território que apresenta problemas recorrentes de desabastecimento urbano e falta de água para os usuários da bacia, e que também já atingiu a área máxima para ocupação rural, apresentando um extenso uso da água para práticas de criação animal (que não é outorgável no Estado) (Rondônia, 2018). De acordo com o relatório, na área supracitada, a estimativa de uso da água para abastecimento urbano é de aproximadamente de 0,07 m^3/s, enquanto para dessedentação animal é de 0,5 m^3/s, valor este 700% maior.

Figura 5 – Relação entre as descargas anuais (mm/ano) e os respectivos percentuais de cobertura antropizada (%) para as áreas de influência das estações fluviométricas de Espigão do Oeste (a), Ouro Preto do Oeste (b), Fazenda Apurú (c), Flor do Campo (d), Pimenta Bueno (e), Sítio Bela Vista (f) e Ji-Paraná (g). As estações marcadas com * indicam correlação estatisticamente significativa



Fonte: Autores (2024)

Na bacia de estudo, há uma crescente demanda de uso dos recursos hídricos para atividades de irrigação, uma vez que a produção de grãos, como soja e café, se configura como uma importante contribuição econômica. Marcelino (2023); Silva (2020); Silva *et al.* (2021); Souza *et al.* (2022) destacam a crescente demanda por outorgas para irrigação na área da bacia do Alto e Médio Rio Machado. Destaca-se ainda que, de acordo com Silva (2020), há um subdimensionamento do volume de água requerida para tal atividade, já que existem muitas atividades agrícolas que utilizam de irrigação, mas não possuem outorgas para tal.

Conforme mencionado anteriormente, as demais estações apresentaram comportamento de aumento da vazão média em função do aumento da área antropizada. Os coeficientes para regressão, bem como seus respectivos p-valor, são descritos a seguir: EO (R^2 = 0,22, p-valor = 0,29), FA (R^2 = 0,60, p-valor = 0,00175), FC (R^2 = 0,06, p-valor = 0,16), PB (R^2 = 0,16, p-valor = 0,02), SBV (R^2 = 0,05, p-valor = 0,19) e JP (R^2 = 0,11, p-valor = 0,05).

Tais resultados são corroborados por Andrade *et al.* (no prelo), que, ao estudarem as mesmas estações fluviométricas no mesmo período, encontraram tendência significativa de aumento na vazão média (p-valor < 0,05) nas estações de OPO (trend = 0,7143), FC (trend = 0,2222), PB (trend = 0,4231) e JP (trend = 0,3426). Vale ressaltar que as demais estações também apresentaram tendência de incremento, entretanto não apresentaram significância.

Alguns estudos, ao avaliarem os impactos da mudança na cobertura do solo, encontraram resultados semelhantes. Em um estudo direcionado à Bacia do Rio Machado, Rodriguez; Tomasella; Linhares, (2010) relataram alterações nas tendências de vazão do Rio Machado em função da conversão de florestas em pastagens, observando duas tendências específicas: uma, em que ocorre a intensificação nas vazões máximas do período chuvoso, e outra, em que se verifica uma diminuição acentuada das vazões mínimas no período de estiagem.

Casagrande *et al.* (2021) estudaram a influência da cobertura do solo nos componentes do balanço hídrico, encontrando maiores valores de vazão em áreas de pastagem. Por sua vez, Cavalcante *et al*. (2019) observaram em sua área de estudo que a vegetação florestal diminuiu de 99% em 1973 para 72% em 1994, e, no mesmo período, os valores da série histórica de vazão aumentaram em 19%. Gomes *et al*. (2020), em estudos na bacia do Rio Madeira, também observaram aumentos expressivos das vazões médias nas estações de Guajará-Mirim, Porto Velho, Humaitá e Manicoré.

Tal comportamento pode estar relacionado aos serviços ecossistêmicos e climáticos prestados por áreas florestais. Nestes ambientes, a interceptação da água pela copa e a evapotranspiração são mais elevadas, reduzindo assim o escoamento superficial. Por outro lado, em áreas degradadas, como pastagens e monoculturas, esses processos são reduzidos, resultando em maior concentração da água excedente proveniente da precipitação no escoamento superficial e, consequentemente, aumento da vazão dos rios (Casagrande *et al.,* 2021).

Entretanto, alguns estudos indicam que, na região amazônica, a alteração da cobertura do solo pode levar à redução das vazões fluviais. Farinosi *et al.* (2019) relatam que o ritmo acelerado imposto na alteração do uso e ocupação do solo poderá resultar na diminuição da precipitação. Quando associadas a mudanças climáticas, como elevação da temperatura e alteração nos padrões de incidência de radiação solar, essas transformações podem reduzir o escoamento superficial na Bacia do Rio Tapajós, com quedas estimadas entre 157 mm/ano e 180 mm/ano.

De acordo com Heerspink *et al.* (2020), a análise dos componentes hidrológicos revelou mudanças expressivas entre 1980 e 2014 na porção sul da bacia amazônica, incluindo a redução do volume nas vazões médias e diminuição da frequência nos eventos de inundações. No mesmo sentido Oo; Zin; Kyi, (2020), ao analisarem três cenários futuros de impacto sobre as vazões médias em uma bacia hidrográfica de Mianmar decorrentes das mudanças no uso e ocupação, constataram de decréscimo das vazões médias em todos os cenários avaliados. Em consonância com essas observações, as

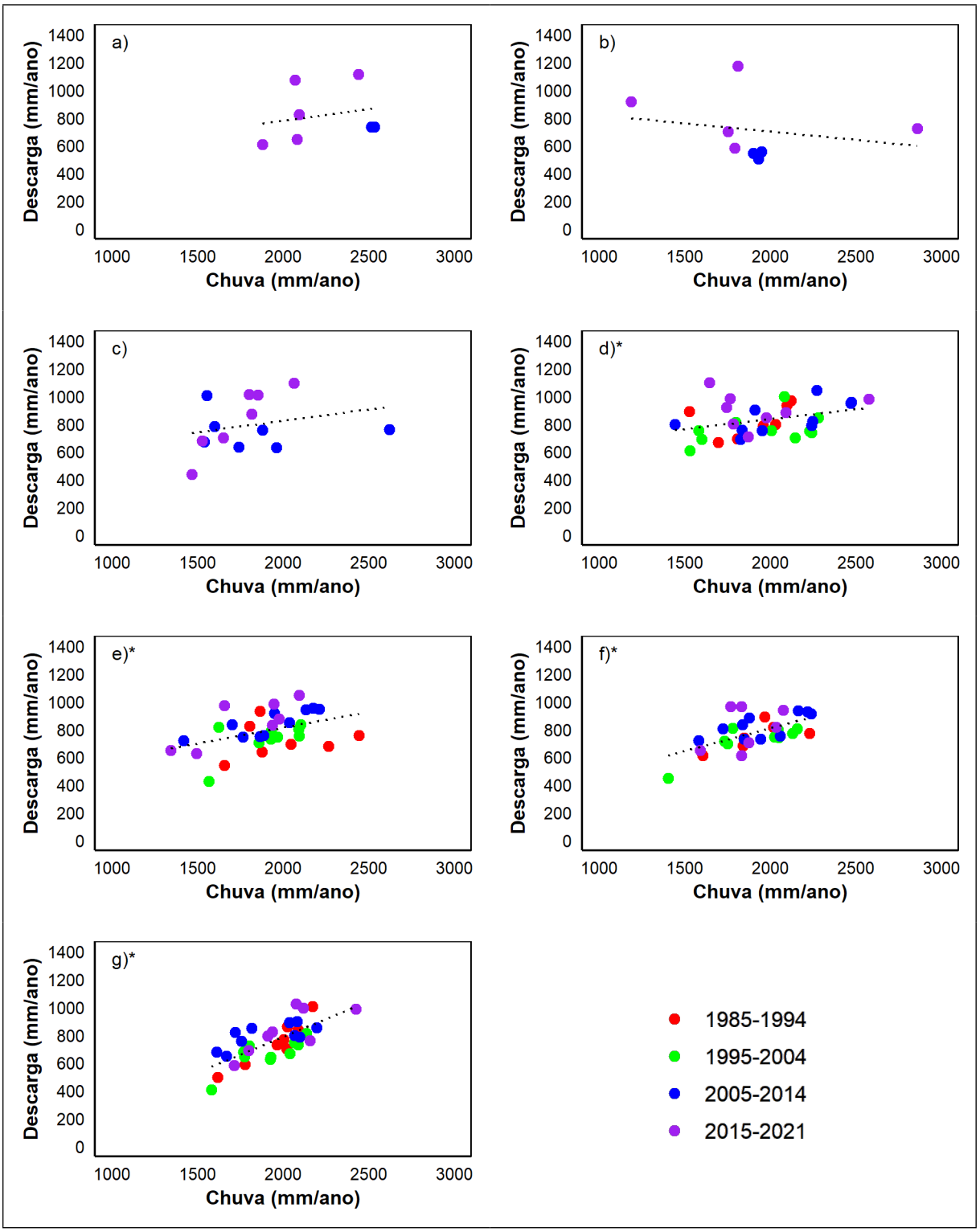
alterações climáticas na região amazônica têm modificado os padrões pluviométricos, resultando no encurtamento do período chuvoso e prolongamento da estação seca (Alves *et al.,* 2017; Commar *et al.,* 2023; Nobre *et al.,* 2016; Sierra *et al.,* 2023).

Na Figura 6, está disposto o resultado da regressão linear realizada para as sete estações. Os coeficientes de regressão obtidos e seus p-valores foram: EO (R^2 = 0,05, p-valor = 0,63), OPO (R^2 = 0,05, p-valor = 0,60), FA (R^2 = 0,05, p-valor = 0,42), FC (R^2 = 0,12, p-valor = 0,04), PB (R^2 = 0,18, p-valor = 0,01), SBV (R^2 = 0,36, p-valor = 0,0002) e JP (R^2 = 0,53, p-valor = 5,5x10-7).

Pode-se observar que quatro das sete estações apresentaram coeficientes de regressão significativos, sendo essas as de maiores áreas de contribuição. Para essas estações, a precipitação explica entre 12 e 53% das variações nos valores de vazão, com o coeficiente aumentando conforme a área da bacia se amplia. Apesar de significativos, esses valores estão bem abaixo do esperado, o que pode estar relacionado às características socioambientais das bacias, que apresentam uso e ocupação do solo intensos, além de diversos usos múltiplos que demandam grande quantidade de água, resultando em problemas como a escassez hídrica, impactando diretamente a vazão (Andrade; Moreira; Santos, 2019; Lopes *et al.,* 2021). Além disso, destaca-se o atraso na resposta das variações do nível dos rios ao início do período chuvoso devido à regulação hidrológica, uma vez que ocorre a recarga dos níveis de água no solo (Germer; Elsenbeer; Moraes, 2006).

A influência da precipitação sobre a vazão é intrínseca a essas variáveis (Backer *et al.,* 2022; Brêda *et al.,* 2020; Breinl *et al.,* 2021; Costa; Blanco; Oliveira Junior *et al.,* 2021; Limberger *et al.,* 2021; Lucas-Borja *et al.,* 2020; Mendonça; Blanco; Carvalho, 2023; Rizzo *et al.,* 2020; Sousa Junior *et al.,* 2024). Dessa forma, espera-se que alterações nos padrões da precipitação também afetem a vazão dos rios. Por exemplo, a seca severa no ano de 2023 afetou fortemente os níveis dos rios na região amazônica, cujos efeitos se prolongaram por alguns meses até 2024 (Espinoza *et al.,* 2024; Rodrigues, 2023).

Figura 6 – Relação entre as descargas anuais (mm/ano) e precipitação anual (mm/ano) e seus respectivos resíduos da regressão para as estações de Espigão do Oeste (a), Ouro Preto do Oeste (b), Fazenda Apurú (c), Flor do Campo (d), Pimenta Bueno (e), Sítio Bela Vista (f) e Ji-Paraná (g). As estações marcadas com * indicam regressão estatisticamente significativa



Fonte: Autores (2024)

Dessa forma, diversos estudos buscam estudar as mudanças nos padrões da precipitação e seus possíveis impactos (Artaxo *et al.,* 2022; Backer *et al.,* 2022; Baudena *et al.,* 2021; Berenguer *et al.,* 2021; Cunha *et al.,* 2023; Duku; Hein, 2023). De acordo com os autores citados, a principal causa de alteração nos padrões da precipitação são as mudanças climáticas, intensificadas pelo alto índice desmatamento na Amazônia.

O alto desmatamento na Amazônia reduziu a precipitação em até 18% e 9% em áreas não florestadas e florestadas, respectivamente, entre os anos de 2016 e 2020 (Duku; Hein, 2023). Esse fenômeno impacta o ciclo hidrológico (Artaxo *et al.,* 2022; Baudena *et al.,* 2021; Berenguer *et al.,* 2021; Cunha *et al.,* 2023), reduzindo a evapotranspiração (Artaxo *et al.,* 2022) e a interceptação do dossel, além de aumentar o escoamento superficial (Cavalcante *et al.,* 2019) e diminuir a vazão (Brêda *et al.,* 2020).

A variabilidade do regime de vazões de uma bacia hidrográfica também pode estar associada a eventos climáticos, como El Niño e La Niña. Essas anomalias podem causar o aumento da precipitação e, consequentemente, o incremento de vazões (La Niña) ou impactar negativamente a precipitação, resultando em períodos de estiagens mais severos e intensificação de vazões mínimas (El Niño) (Guedes *et al.,* 2013; Macêdo *et al.,* 2013; Morais *et al.,* 2021; Santos *et al.,* 2016). Além disso, esses efeitos são intensificados por fatores relacionados ao uso e ocupação do solo, que, conforme discutido anteriormente, influenciam os padrões de vazão.

Contudo, é importante considerar que alterações nos valores das vazões também podem estar associadas, de forma complementar, a fatores inerentes à escala espacial do estudo. Conceitualmente, a vazão de um corpo hídrico resulta da precipitação que ocorre na bacia hidrográfica e do balanço hídrico entre todos seus componentes (Tucci, 2013). Além disso, outros fatores relevantes incluem as características da bacia, como tipo de solo, declividade e topografia (Breinl *et al.,* 2021).

Por fim, realizou-se o teste de regressão linear múltipla para compreender a influência das variáveis de forma simultânea, considerando o ano hidrológico, e como elas podem afetar o comportamento da vazão. Os termos da equação do modelo

e seus coeficientes de regressão podem ser observados na Tabela 4. Mediante os resultados obtidos, observa-se que, para as menores bacias estudadas, a chuva e o uso e ocupação do solo não explicam as variações nas vazões média. Entretanto, destacam-se as estações de EO e FA. A estação de EO, na análise individual, não apresentou nenhuma influência significativa. No entanto, na análise conjunta, os coeficientes foram mantidos, ambos se mostraram significativos e o coeficiente de regressão geral para o modelo apresentou seu maior índice. Embora esse índice não seja significativo, ele pode indicar uma influência conjunta das variáveis na vazão.

Tabela 4 – Regressão linear múltipla indicando os coeficientes lineares (constante) e angulares (chuva e antropização) com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e p-valor, além do coeficiente de determinação e p-valor do modelo geral para as estações de Espigão do Oeste (EO), Ouro Preto do Oeste (OPO), Fazenda Apurú (FA), Flor do Campo (FC), Pimenta Bueno (PB), Sítio Bela Vista (SBV) e Ji-Paraná (JP)

Est.	**N**	**Coeficientes**			**R^2 Variável**		**p - valor Coeficientes**			**R^2 Modelo**	**p-valor Modelo**
		Const.	Chuv.	Antr.	Chuv.	Antr.	Const.	Chuv.	Antr.		
EO	7	-85.093*	0,734*	1.086*	0,05	0,22	0,033*	0,049*	0,033*	0,73	0,071
OPO	8	93.498	-0,323	-1.045	0,06	0,002	0,530	0,422	0,534	0,13	0,698
FA	15	-2.838	0,115	58,84	0,07	0,16	0,299	0,522	0,224	0,19	0,313
FC	35	527,2*	0,127	2,68	0,12	0,06	0,001*	0,072	0,280	0,15	0,074
PB	33	68,19	0,276*	5,31*	0,18	0,16	0,688	0,001*	0,002*	0,41	0,0004*
SBV	32	65,66	0,328*	2,65	0,35	0,05	0,687	0,0002*	0,1	0,40	0,0005*
JP	35	-242,89	0,471*	2,61*	0,50	0,11	0,09	0,000003*	0,04*	0,56	0,00001*

Fonte: Autores (2024). Legenda: valores de p-valor marcados com (*) indicam coeficiente estatisticamente significativos a uma significância de 5% ($\alpha = 0,05$)

Por sua vez, a estação FA, que na análise individual apresentou coeficiente moderado e significativo para influência do uso e ocupação do solo, mostrou uma redução e perda desse coeficiente na regressão múltipla. Isso indica que, a pouca variação no uso e ocupação do solo durante o período de estudo não foi suficiente para explicar as variações na vazão média.

Por outro lado, as maiores bacias estudadas – PB, SBV e JP – apresentaram modelos significativos. Para essas bacias, todas mostraram coeficientes significativos para a influência da chuva, mantendo os valores observados nas análises individuais. As estações PB e JP também mantiveram a relação significativa do uso e ocupação do solo sobre a vazão. No entanto, a estação SBV não apresentou significância para essa variável quando analisada em conjunto com a chuva. Observa-se que o coeficiente de regressão do modelo aumentou em relação ao da variável isolada, evidenciando uma participação do uso e ocupação do solo no comportamento da vazão média nessas bacias.

Diante disso, reforça-se a importância dos resultados encontrados, uma vez que se evidencia que, quando controlado pelo efeito da precipitação, o uso e ocupação do solo tem ocasionado o aumento da vazão média na bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Machado, sobretudo nas bacias de maior extensão. Esses achados também podem contribuir para programas de gestão de recursos hídricos, sociais e econômicos no Estado de Rondônia, considerando a relevância dessa bacia hidrográfica para a região.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível observar que a área de estudo sofreu elevada modificação em sua cobertura do solo. Além disso, nota-se que, na área de influência de todas as estações fluviométricas, há uma estabilização do desmatamento de áreas florestadas, uma vez que a maior parte das florestas remanescentes está inserida em áreas protegidas por lei, o que impede, do ponto de vista legal, o desmatamento.

Verificou-se um padrão de incremento da vazão em função da área desmatada, consequência da retirada da vegetação, que reduz a interceptação da chuva e aumenta o escoamento superficial. Entretanto, vale ressaltar que esse comportamento não é hidrologicamente benéfico, pois compromete os padrões hidrológicos do corpo hídrico. Quanto à influência da precipitação, esta foi significativa para as quatro maiores áreas estudadas, aumentando conforme há um incremento na área de influência. No entanto,

é importante destacar que os coeficientes de regressão são estatisticamente fracos, o que pode estar relacionado à alta variabilidade espaço-temporal da precipitação em uma bacia hidrográfica, além das próprias particularidades de cada bacia, que podem interferir nos valores da vazão.

Os resultados evidenciam que, controlado pelo efeito da chuva, o desmatamento tem ocasionado o aumento da vazão média na Bacia Hidrográfica do Alto e Médio Rio Machado, que é abrangida quase em sua totalidade pela área hidrográfica da estação de Ji-Paraná. No entanto, ressalta-se que outros fatores também influenciam as alterações nas vazões médias, como os usos múltiplos da água, o tipo de solo e declividade do terreno. Dessa forma, reforça-se a necessidade da continuidade dos estudos para compreender a dinâmica de uma das bacias hidrográficas mais importantes do estado, contribuindo para o gerenciamento de recursos hídricos de Rondônia, bem como para a compreensão de fenômenos hidrológicos em uma escala mais ampla.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE No. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento. Agradecemos ao Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera da Amazônia (Programa LBA/INPA), pela bolsa concedida e por todo apoio durante a realização da pesquisa. Os autores agradecem também ao Projeto Connections Between Water and Rural Production: Sociohydrological Systems on a Tropical Forest Frontier (NSF) pelo apoio técnico e científico prestados durante a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ACHUGBU, I. C. *et al.* Potential effects of Land Use Land Cover Change on streamflow over the Sokoto Rima River Basin. **Heliyon**, v. 8, n. 7, 2022. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09779

Agencia Nacional de Água e Saneamento Básico – ANA. **Portal HidroWeb**. 2023. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/hidroweb/. Acesso em 12 de janeiro de 2023.

ALVES, L. M. et al. Sensitivity of Amazon regional climate to deforestation. **Am J Clim Chang**, 2017. https://doi.org/10.4236/ajcc.2017.61005

ANDRADE, L. R.; MOREIRA, J. P. P. C.; SANTOS, A. M. Análise Temporal do Uso e Cobertura da Terra na Bacia do Rio Boa Vista, Ouro Preto do Oeste-RO. **Revista Caderno de Geografia**, v.29, n.56, 2019.

ANDRADE, N. L. R. *et al.* Eventos extremos: padrões e fatores de secas e inundações e os impactos sobre a segurança hídrica no sudoeste da Amazônia. No prelo.

ARAÚJO, A. N. *et al.* Dinâmica da cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Araguari (Amapá, Amazônia, Brasil), **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 06, p. 01-13. 2020. http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.e202003

ARAÚJO, C. S. F.; MATOS, G. H. B.; ANJOS, L. J. S. Dinâmica da cobertura vegetal e mudanças no uso da terra no estado do Pará ao longo de três décadas, **Agrossistemas**, v. 1, n. 1, p. 83 – 95, 2022. http://dx.doi.org/10.18542/ragros.v14i1.11595

ARAUJO, S. L. S. **Padrões de chuva em uma área de floresta amazônica em Rondônia: Série temporal de 1999 a 2020**. Ji-Paraná: UNIR, 2022, Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária), Departamento de Engenharia Ambiental, 2022.

ARTAXO, P. *et al.* Tropical forests are crucial in regulating the climate on Earth. **PLOS Climate**, v. 1, n. 8, p. e0000054, 2022. https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000054

AZEVEDO, J. H; CAMPOS, J. E. G. Flow patterns and aquifer recharge controls under Amazon rainforest influence: The case of the Alter do Chão aquifer system**. Journal of South American Earth Sciences**, v. 112, 2021. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103596

BACKER, J. C. A. *et al.* The Changing Amazon Hydrological Cycle Inferences From Over 200 Years of Tree□Ring Oxygen Isotope Data. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 127, n. 10, p. e2022JG006955, 2022. https://doi.org/10.1029/2022JG006955

BAGHERI, O. *et al.* Groundwater dominates terrestrial hydrological processes in the Amazon at the basin and subbasin scales. **Journal of Hydrology**, v. 628, 2024. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130312

BARBOSA, L. S. SILVA FILHO, E. P. Influência do uso e ocupação na qualidade da água no Rio Pirarara, afluente do Rio Machado, Rondônia/Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais,** v.9, n.7, p.320-332, 2018. http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.007.0030

BASTOS, A. C. S.; FREITAS, A. C. Agentes e processos de interferência, degradação e dano ambiental. In: Cunha, S. B.; Guerra, A. J. T. (Org.). **Avaliação e Perícia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 17-75, 1999.

BAUDENA, M. *et al.* Effects of land□use change in the Amazon on precipitation are likely underestimated. **Global Change Biology**, v. 27, n. 21, p. 5580-5587, 2021. https://doi.org/10.1111/gcb.15810

BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, 2005. http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142005000100005

BERENGUER, E. *et al.* Drivers and ecological impacts of deforestation and Forest degradation. **Amazon Assessment Report**, 2021. https://doi.org/10.55161/aizj1133

BERTUCINI JUNIOR, J. J.; CENTENO, J. A. S. Registro de série de imagens LANDSAT usando correlação e análise de relação espacial. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 4, p.685-702, 2016. http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702016000400039

BRÊDA, J. P. L. F. *et al.* Climate change impacts on South American water balance from a continental-scale hydrological model driven by CMIP5 projections. **Climatic Change**, v. 159, p. 503-522, 2020. 10.1007/s10584-020-02667-9

BREINL, K. *et al.* Understanding the relationship between rainfall and flood probabilities through combined intensity-duration-frequency analysis. **Journal of Hydrology**, v. 602, 2021. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126759

BRITO, A. L. *et al.* Impacts of greenhouse gases and deforestation in Amazon Basin climate extreme indices. **Climate Research**, v. 88, p. 39-56, 2022. doi.org/10.3354/cr01694

CASAGRANDE, E. *et al*. Water balance partitioning for ecosystem service assessment. A case study in the Amazon. **Ecological Indicators**, v. 121, 107155, 2021. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107155

CAVALCANTE, R. B. L. *et al*. Terrestrial water storage and Pacific SST affect the monthly water balance of Itacaiúnas River Basin (Eastern Amazonia). **International Journal of Climatology**, v. 40, p. 3021-3035, 2020. doi.org/10.1002/joc.6380

CAVALCANTE, R. B. L. *et al*. Opposite Effects of Climate and Land Use Changes on the Annual Water Balance in the Amazon Arc of Deforestation. **Water Resources Research,** v. 55, p. 3092–3106, 2019. https://doi.org/10.1029/2019WR025083

CECÍLIO, R. A. *et al.* Trends in monthly and annual streamflow related to rainfall and land use at the Atlantic rainforest biome. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 112, 103600, 2021. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103600

CHAUDHARI, S. *et al.* Multi-decadal hydrologic change and variability in the Amazon River basin: understanding terrestrial water storage variations and drought characteristics, **Hydrology Earth System Sciences**, v. 23, p. 2841–2862, 2019. https://doi.org/10.5194/hess-23-2841-2019

COMMAR, L. F. S. A.; ABRAHÃO, G. M.; COSTA, M. H. A possible deforestation-induced synoptic-scale circulation that delays the rainy season onset in Amazonia. **Environmental Research Letter**, 2023. https://doi.org/10.1088/1748-9326/acc95f

COSTA, C. E. A. S.; BLANCO, C. J. C.; OLIVEIRA-JUNIOR, J. F. Impact of climate change in the flow regimes of the Upper and Middle Amazon River. **Climatic Change**, v. 166, n. 45, 2021. https://doi.org/10.1007/s10584-021-03141-w

CUNHA, Z. A. *et al*. A Modeling Approach for Analyzing the Hydrological Impacts of the Agribusiness Land-Use Scenarios in an Amazon Basin. **Land**, v. 12, 2023. https://doi.org/10.3390/land12071422

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de Pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4. ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2011.

DUKU, C.; HEIN, L. Assessing the impacts of past and ongoing deforestation on rainfall patterns in South America. **Global Change Biology**, v. 29, p. 5292–5303, 2023. 10.1111/gcb.16856

ESPINOZA, J. C. *et al*. The new record of drought and warmth in the Amazon in 2023 related to regional and global climatic features. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 8107, 2024. https://doi.org/10.1038/s41598-024-58782-5

FARINOSI, F. *et al*. Future climate and land use change impacts on river flows in the Tapajós Basin in the Brazilian Amazon. **Earth's Future**, v. 07, p. 993-1017, 2019. https://doi.org/10.1029/2019EF001198

Forsberg, B. R. *et al.* The potential impact of new Andean dams on Amazon fluvial ecosystems. **PLOS One**, v. 12, n. 08, 2017. https://doi.org/10.1371/journal.pone. 0182254

FRANCA, R. R. Climatologia das chuvas em Rondônia – período 1981-2011. (2015). **Geografias: Artigos Científicos**, v. 11, n. 01, p.44-58. https://doi.org/10.35699/2237-549X.13392

GERMER, S.; ELSENBEER, H.; MORAES, J. M. Throughfall and temporal trends of rainfall redistribution in an open tropical rainforest, south-western Amazonia (Rondônia, Brazil). **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 10, n. 3, p. 383-393, 2006. https://doi.org/10.5194/hess-10-383-2006

GOMES, J. B. *et al.* Conversão de florestas tropicais em sistemas pecuários na Amazônia: quais as implicações no microclima da região? **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, p. 67-81, 2015. http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v17i0.42879

GOMES, W. B. *et al.* Avaliação dos Impactos das Mudanças na Cobertura da Terra e Cenário de Emissões (RCP 8.5) no Balanço de Água na Bacia do Rio Madeira, **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 4, 689 702, 2020. http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863540076

GUEDES, A. E. D. S.; CÂNDIDO, L. A.; SANTO, A. R. S. E. Variabilidade do estoque de água continental e sua relação com as cheias e vazantes extremas na Amazônia. Revista **Ambiente & Água**, v. 8, n. 2, p. 88-99, 2013. https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1137

HEERSPINK, B. P. *et al.* Trends in streamflow, evapotranspiration, and groundwater storage across the Amazon Basin linked to changing precipitation and land cover, **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 32, 2020. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100755

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. **Projeto PRODES: Monitoring the Brazilian Amazon Forest by satellite**. São José dos Campos, Brasil. 2021. Disponível em http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php). Acesso em: jan 2021.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Cidades e Estados.** 2021. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html?view=municipio>. Acesso em: 17 jun. 2022.

IRITANI, M. A. *et al*. Avaliação dos valores de transmissividade do aquífero sedimentar no município de Caçapava (SP), com base na capacidade específica obtida em testes de bombeamento. **Águas Subterrâneas**. [S.l], 2020.

KOHLER, M. R. *et al.* O desmatamento da Amazônia brasileira sob o prisma da pecuária: a degradação dos recursos hídricos no contexto da região norte de Mato Grosso. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, 2021. http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19252

LIMBERGER, L. *et al.* Streamflow and precipitation trends in the Brazilian Amazon basin and their association with Pacific decadal oscillation and deforestation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 146, p. 511–526, 2021. https://doi.org/10.1007/s00704-021-03739-1

LLOPART, M. *et al.* Land Use Change over the Amazon Forest and Its Impact on the Local Climate. **Water**, v. 10, 2018. https://doi.org/10.3390/w10020149

LOPES, T. R. *et al.* Hydrological regime, water availability and land use/land cover change impact on the water balance in a large agriculture basin in the Southern Brazilian Amazon. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 108, 2021. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103224

LUCAS-BORJA, M. E. *et al*. Impacts of land-use and climate changes on surface runoff in a tropical forest watershed (Brazil). **Hydrological Sciences Journal.** v. 65, n. 11, 1956–1973, 2020. https://doi.org/10.1080/02626667.2020.178741

MACÊDO, M. N. C. *et al.* Precipitação pluviométrica e vazão da bacia hidrográfica do Riozinho do Rôla, Amazônia Ocidental. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, n. 1, p. 206-221, 2013. https://doi.org/10.4136/ambi-agua.809

MARCELINO, N. L. C. **Análise do uso da água na bacia hidrográfica do Ribeirão Cacau - Alvorada Do Oeste/RO**. Ji-Paraná: UNIR. Dissertação, Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Universidade Federal de Rondônia, 2023.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 3, p. 1033-1050, 2016. https://doi.org/10.1002/joc.4420

MENDONÇA, L. M.; BLANCO, C. J. C.; CARVALHO, F. O. Recurrent neural networks for rainfall-runof modeling of small Amazon catchments. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 9, p. 2517–2531, 2023. https://doi.org/10.1007/s40808-022-01626-w

Microsoft. Excel 2013. California, 2013. Disponível em: <office.microsoft.com/enus/excel>. Acesso em: 26 jun. 2016.

MORAIS, T. M. O. *et al*. Leaf-litter production in human-modified Amazônian forests following the El Niño-mediated drought and fires of 2015–2016. **Forest Ecology and Management**, v. 496, 2021. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119441

NOBRE, C. A. *et al.* Land-use and climate change risks in the amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. **Proc Natl Acad Sci**,113:10759– 10768, 2016. https://doi.org/10.1073/pnas.1605516113

OLIVEIRA, M. A. **Caracterização da Precipitação em Área de Floresta e Pastagem no Sudoeste da Amazônia**. Ji-Paraná: UNIR. Monografia (Bacharel em Estatística), Departamento de Matemática e Estatística, Universidade Federal de Rondônia, 2014.

OO, H, T.; ZIN, W. W.; KYI, C. C. T. Analysis of Streamflow Response to Changing Climate Conditions Using SWAT Model. **Civil Engineering Journal**, v. 6, n. 2, 2020. http://dx.doi.org/10.28991/cej-2020-03091464

PEDLOWSKI, M. A. *et al.* Patterns and impacts of deforestation in Rondônia, Brazil. **Landscape and Urban Planning**, v. 38, n. 3–4, p. 149–157, 1997. https://doi.org/10.1016/S0169-2046(97)00030-3

PEIXOTO, R. A. O. *et al.* Determinação da relação entre vazões líquida e sólida e análise de fatores que influenciam a dinâmica do transporte de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Jordão (UPGRH-PN 1). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.25, n.6, p. 921-931, 2020. https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020180137

Projeto MapBiomas. **Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil.** 2021. Acesso em 13 de janeiro de 2022 através do link: https://mapbiomas.org/download

REIS, M. *et al*. Forest fires and deforestation in the central Amazon: Effects of landscape and climate on spatial and temporal dynamics. **Journal of Environmental Management**, v. 288, 2021. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112310

REYER, C. P. O. *et al.* Climate change impacts in Latin America and the Caribbean and their implications for development. **Regional Environmental Change**, v. 17, p. 1601–1621, 2017. 10.1007/s10113-015-0854-6

RIZZO, R. *et al.* Land use changes in Southeastern Amazon and trends in rainfall and water yield of the Xingu River during 1976–2015. **Climatic Change**, v. 162, p. 1419–1436, 2020. https://doi.org/10.1007/s10584-020-02736-z

ROBERTS, D. A. *et al*. Large area mapping of land-cover changes in Rondônia using multitemporal spectral mixture analysis and decision tree classifiers. **Journal of Geophysical Research: Atmosphere**, v.107, n. 20, p. 40–48, 2002. https://doi.org/10.1029/2001JD000374

RODRIGUES, M. The Amazon's record-setting drought: how bad will it be? **Nature**, v. 623, n. 7988, p. 675-676, 2023. https://doi.org/10.1038/d41586-023-03469-6

RODRIGUEZ, D. A., TOMASELLA, J., LINHARES, C. Is the forest conversion to pasture affecting the hydrological response of Amazonian catchments? Signals in the Ji-Parana Catchment. **Hydrological Processes**, v. 24, n. 10, p. 1254–1269, 2010. https://doi.org/10.1002/hyp.7586

RONDÔNIA. Plano Estadual De Recursos Hídricos Do Estado De Rondônia – PERH/RO. **Relatório de etapa (RE 01) para elaboração do plano estadual de recursos hídricos do estado de Rondônia**. 2018. Disponível em <coreh.sedam.ro.gov.br/wp-content/uploads/2019/08/relatorio-etapa-01.PDF>. Acesso em: 28 de maio de 2022.

SANTOS, C. A. *et al.* Distribuição espacial da precipitação na bacia hidrográfica do rio Xingu. **Nucleus**, v. 13, p. 81A-88A, 2016. 10.3738/1982.2278.1630

SANTOS, D. I. P. *et al.* Mudanças climáticas e modo de vida ribeirinho: bases para a governança de risco no Amazonas. **Revista EDUCAmazônia - Educação Sociedade e Meio Ambiente**, v. 16, n. 02, p. 416-438, 2023.

SATYAMURTY, P. *et al.* A quick look at the 2012 record flood in the Amazon Basin. **Geophysical Research Letters**, v. 40, p. 1396–1401, 2013. doi.org/10.1002/grl.50245

SIERRA, J. P. *et al*. Impacts of land-surface heterogeneities and Amazonian deforestation on the wet season onset in southern Amazon. **Climate Dynamics**, v.6, p. 4867–4898, 2023. https://doi.org/10.1007/s00382-023-06835-2

SILVA, F. D. *et al*. Diagnóstico prévio da bacia hidrográfica do Ribeirão Cacau para identificação de possíveis conflitos de uso da água no município de Alvorada D'Oeste/RO. **Revista Presença Geográfica**, vol. 9, n. 2, p. 178-187, 2021.

SILVA, F. M. **Microbacia do rio Ribeirão Cacau em Alvorada D'Oeste – RO: Análise socioambiental em decorrência da expansão cafeeira.** 2020. Ji-Paraná: UNIR, 2023. Dissertação, Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Universidade Federal de Rondônia, 2020.

SOARES-FILHO, B. S. *et al*. Modelling conservation in the Amazon basin. **Nature**, v. 440, n. 7083, p. 520–3, 2006. doi:10.1038/nature04389.

SOLER, L. S., VERBURG, P. H. Combining remote sensing and household level data for regional scale analysis of land cover change in the Brazilian Amazon. **Regional Environmental Change**, v. 10, n. 4, p. 371–386, 2010. 10.1007/s10113-009-0107-7

SORRIBAS, M. V. *et al.* Projections of climate change effects on discharge and inundation in the Amazon basin. **Climatic Change**, v. 136, n. 3-4, p. 555-570, 2016. 10.1007/s10584-016-1640-2

SOUSA, R. G. *et al*. Análise da precipitação, vazão, uso e cobertura da terra na bacia do Rio São João/MG. **Revista Augustus**, v.24, n. 49, p. 146-154, 2019. https://doi.org/10.15202/1981896.2019v24n49p146

SOUSA JUNIOR, M. F. *et al.* Streamflow prediction based on machine learning models and rainfall estimated by remote sensing in the Brazilian Savanna and Amazon biomes transition. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 10, p. 1191–1202, 2024. https://doi.org/10.1007/s40808-023-01837-9

SOUZA, N. F. C. *et al*. Usos de água em um trecho da bacia do rio Machado, Ji-Paraná, Rondônia. **Revista Presença Geográfica,** v. 9, n. 2, 2022.

TRANCOSO, R. *et al.* Deforestation and conservation in major watersheds of the Brazilian Amazon. **Environmental Conservation**, v. 36, n. 4, p. 277-288, 2009. DOI:10.1017/S0376892909990373

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia:** ciência e aplicação. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 943p. 2013.

Contribuição de autoria

1 – Gutieres Camatta Barbino

Mestrado profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Rondônia
https://orcid.org/0000-0003-1590-8962 • gutieres.barbino@gmail.com
Contribuição: Conceitualização, Curadoria de dados, Análise formal, Investigação, Escrita - primeiro resumo, Escrita- revisão e edição

2 – Nara Luísa Reis de Andrade

Doutorado em Física Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso
https://orcid.org/0000-0001-8602-6161 • naraluisar@gmail.com
Contribuição: Conceitualização, Curadoria de dados, Análise formal, Investigação, Supervisão, Escrita- revisão e edição

3 – Trent Wade Biggs

Doutorado em Geografia pela Universidade da Califórnia
https://orcid.org/0000-0003-4978-1779 • tbiggs@sdsu.edu
Contribuição: Conceitualização, Curadoria de dados, Análise formal, Investigação, Supervisão, Escrita- revisão e edição

4 – Camila Andrade Abe

Mestre em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
https://orcid.org/0000-0002-4558-7824 • cabe6547@sdsu.edu
Contribuição: Conceitualização, Análise formal, Investigação, Supervisão, Escrita- revisão e edição

5 – Ediane Carvalho Ferreira

Graduada em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Rondônia
https://orcid.org/0009-0001-9440-0624 • edianerenata6@gmail.com
Contribuição: Conceitualização, Análise formal, Investigação, Escrita- revisão e edição

6 – Alberto Dresch Webler

Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro
https://orcid.org/0000-0001-5777-2982 • alberto.webler@unir.br
Contribuição: Conceitualização, Análise formal, Investigação, Escrita- revisão e edição

Como citar este artigo

BARBINO, G. C.; ANDRADE, N. L. R.; BIGGS, T. W.; ABE, C. A.; FERREIRA, E. C.; WEBLER, A. D. Influência da precipitação e uso e ocupação do solo na variabilidade espaço-temporal das vazões na bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Machado. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 48, e89768, 2026. DOI: 10.5902/2179460X89768. Disponível em: https://doi.org/10.5902/2179460X89768