RESCX Revista de Educação, Saúde e Ciências do Xingu

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0036

USO DA TERRA E RESPOSTAS HIDROAMBIENTAIS EM BACIAS AMAZÔNICAS: REVISÃO SISTEMÁTICA COM FOCO NO PARÁ

LAND USE AND HYDROENVIRONMENTAL RESPONSES IN AMAZONIAN WATERSHEDS: A SYSTEMATIC REVIEW FOCUSED ON PARÁ

Iara Suelen Rodrigues de Almeida, Kailane Souza da Silva, Pedro Henrique Silva, Ana Benedita Mendes da Silva, Fernando de Melo Cruz Júnior e Álisson Rangel Albuquerque

RESUMO
Alterações no uso e cobertura da terra modificam fluxos de água e sedimentos em bacias tropicais. Esta revisão sistemática sintetizou estudos publicados entre 2020 e 2025 sobre transformação da paisagem, integridade ripária e respostas hidroambientais, com foco no Pará. O relato do processo de seleção seguiu o PRISMA 2020, e a triagem foi organizada no Rayyan. Foram identificados 110 registros, removidas quatro duplicatas, avaliados 106 títulos, 26 resumos e seis textos completos, resultando em quatro estudos incluídos. O corpus abrangeu Mato Grosso, a bacia do rio Gurupi, Rondônia e Santarém, Pará. A evidência direta concentrou-se na associação entre desmatamento e fragilidade hidroambiental e entre baixa integridade ripária e alterações da qualidade da água. Estudos morfométricos e hidrossedimentológicos acrescentaram condicionantes físicos, mas não isolaram efeitos causais do uso da terra. O pequeno número de estudos, a heterogeneidade dos delineamentos e a orientação geográfica original da busca para o Pará limitam a generalização regional. A síntese sustenta a integração entre conservação ripária, controle das mudanças de cobertura e monitoramento hidrossedimentológico, mas evidencia a necessidade de estudos comparáveis e maior densidade de observações no estado.
Palavras-chave: Desmatamento. Sedimentos. Vegetação ripária. Qualidade da água. Fragilidade ambiental.

ABSTRACT
Land-use and land-cover changes alter water and sediment fluxes in tropical watersheds. This systematic review synthesized studies published from 2020 to 2025 on landscape transformation, riparian integrity, and hydroenvironmental responses, with a focus on Pará. Reporting of the selection process followed PRISMA 2020, and screening was organized in Rayyan. A total of 110 records were identified, four duplicates were removed, 106 titles, 26 abstracts, and six full texts were assessed, resulting in four included studies. The corpus covered Mato Grosso, the Gurupi River watershed, Rondônia, and Santarém, Pará. Direct evidence concentrated on the association between deforestation and hydroenvironmental fragility and between low riparian integrity and water-quality changes. Morphometric and hydrosedimentological studies added physical controls but did not isolate causal land-use effects. The small evidence base, heterogeneous designs, and the original geographic orientation of the search toward Pará limit regional generalization. The synthesis supports integrating riparian conservation, land-cover control, and hydrosedimentological monitoring, while highlighting the need for comparable studies and denser observations within the state.
Keywords: Deforestation. Sediments. Riparian vegetation. Water quality. Environmental fragility.

Data de recebimento: 12/06/2026.
Aceito para publicação: 25/08/2026.

1 INTRODUÇÃO

A conversão de florestas em pastagens, cultivos e áreas urbanizadas modifica a partição da precipitação entre evapotranspiração, armazenamento, infiltração e escoamento, alterando não apenas volumes de água, mas também a sazonalidade dos fluxos que sustentam os sistemas tropicais (D'Acunha et al., 2024; Chagas; Chaffe; Blöschl, 2022). Na Amazônia, esse efeito ultrapassa o limite da área convertida: a perda de floresta interfere na reciclagem de umidade e já foi associada à redução de chuva em escalas regionais, com repercussões inclusive sobre a produtividade de paisagens agrícolas (Leite-Filho et al., 2021; Cui et al., 2026).

O sistema, contudo, não responde como uma superfície homogênea. Águas subterrâneas rasas amortecem parte da variabilidade de descarga e a resposta da precipitação ao desmatamento muda entre estações e escalas espaciais, de modo que o

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0036

mesmo percentual de perda florestal pode produzir sinais hidrológicos distintos conforme o contexto físico e climático (Bagheri et al., 2024; Qin et al., 2025). No componente sedimentar, a atribuição é igualmente complexa: observações globais e modelagem continental mostram que desmatamento, barragens e mudanças de precipitação podem aumentar ou reduzir fluxos de sedimentos, dependendo da posição do distúrbio e da conectividade do sistema fluvial (Dethier; Renshaw; Magilligan, 2022; Fagundes et al., 2023).

A consequência ecológica dessa reorganização não se restringe à vazão. A integridade dos ecossistemas aquáticos amazônicos depende da conectividade hidrológica e da manutenção de processos que operam do canal à bacia, enquanto a perda global de biodiversidade de água doce já alcança níveis incompatíveis com avaliações baseadas apenas em variáveis físicas isoladas (Castello; Macedo, 2016; Sayer et al., 2025). Em riachos da Amazônia Oriental, a configuração do uso da terra influencia a organização das assembleias de peixes e pode gerar ausências de espécies mesmo quando a riqueza observada parece pouco alterada, evidenciando que respostas ecológicas não devem ser reduzidas a um único indicador (Lobato et al., 2022; Cantanhêde et al., 2023).

O monitoramento oficial realizado no estado do Pará registrou 5.731 km² de desmatamento na Amazônia Legal em 2025, e análises locais mostram que a expansão agropecuária se expressa por trajetórias distintas de conversão, inclusive pela substituição de pastagens por agricultura em áreas já consolidadas, o que exige separar abertura de novas frentes de intensificação do uso existente (INPE, 2026; Conceição et al., 2025). Essa distinção também é hidrologicamente relevante, pois o monitoramento de oito pequenas bacias na transição Cerrado–Amazônia mostrou que maior proporção de desmatamento esteve associada a vazões anuais e diárias mais elevadas, maior sazonalidade e picos de cheia mais intensos, ao mesmo tempo em que reduziu a vazão de base durante a estação seca, evidenciando que a conversão da cobertura altera não apenas o volume, mas também a distribuição temporal dos fluxos hídricos (Almada et al., 2026).

O problema científico, portanto, não é demonstrar genericamente que a paisagem importa, mas identificar quais respostas foram de fato medidas, em que escala e com que grau de atribuição ao uso da terra. Diante dessa lacuna, esta revisão sistemática sintetizou criticamente a literatura publicada entre 2020 e 2025 sobre uso e cobertura da terra e respostas hidroambientais em bacias da Amazônia brasileira, com foco no Pará, distinguindo evidência direta de associação, condicionantes morfométricos e inferências apoiadas por literatura externa.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 DELINEAMENTO E PERGUNTA DA REVISÃO

Foi conduzida uma revisão sistemática com síntese qualitativa, relatada conforme o Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses 2020 (PRISMA 2020), utilizado como guia de transparência para identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos (Page et al., 2021). Os registros foram organizados e triados no Rayyan, plataforma destinada ao gerenciamento de títulos, resumos, duplicatas e decisões de elegibilidade (Ouzzani et al., 2016). A questão norteadora foi: como alterações no uso e cobertura da terra e na integridade da vegetação ripária se associam a respostas hidrológicas, hidrossedimentológicas e de qualidade da água em bacias amazônicas, considerando estudos recuperados por uma estratégia de busca com foco no Pará?

A estrutura PECO foi adaptada ao caráter ambiental da revisão. A população ou contexto compreendeu bacias, sub-bacias, microbacias e igarapés inseridos na Amazônia brasileira; a exposição correspondeu a mudanças de uso e cobertura da terra,

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0036

desmatamento, antropização ou degradação ripária; a comparação considerou, quando disponível, gradientes de cobertura, integridade ou uso; e os desfechos incluíram vazão, escoamento, sedimentos, erosão, fragilidade hidroambiental, características de drenagem e parâmetros de qualidade da água. Estudos morfométricos ou hidrossedimentológicos sem contraste explícito de uso foram mantidos apenas quando forneciam condicionantes físicos diretamente úteis à interpretação das respostas do corpus.

2.2 FONTES DE INFORMAÇÃO E ESTRATÉGIA DE BUSCA

O recorte de publicação compreendeu 2020 a 2025. A documentação preservada da revisão registrou consultas à Scopus, à plataforma Springer Nature Link, ao PubMed, ao Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Directory of Open Access Journals (DOAJ), ao JSTOR e à Scientific Electronic Library Online (SciELO). O fluxo quantitativo registrou 108 resultados na Scopus e dois na Springer Nature Link, sem resultados adicionais nas demais fontes. As fontes foram tratadas como fontes de informação, e não como bases equivalentes: a Scopus concentrou a recuperação bibliográfica, enquanto a Springer Nature Link funcionou como plataforma editorial complementar. A documentação disponível não preservou com segurança a data exata de execução de cada consulta; por isso, esse dado não foi reconstruído retrospectivamente.

Expressão de busca: ("land use change" OR "land-use change" OR "land cover change" OR "land-use and land-cover change" OR "land use" OR "land cover" OR desmatamento OR "mudança de uso da terra" OR "mudanças de uso da terra" OR "cobertura da terra" OR "uso e cobertura da terra") AND ("hydrological regime" OR streamflow OR "river discharge" OR runoff OR "water yield" OR "flow regime" OR "hydrologic response" OR "regime hidrológico" OR vazão OR escoamento OR "resposta hidrológica") AND ("small catchment*" OR "headwater stream*" OR microbacia* OR "bacia de cabeceira" OR "small watershed*" OR "headwater basin*") AND (Pará OR "Para State" OR "State of Pará" OR "estado do Pará"). A sintaxe foi ajustada aos recursos operacionais de cada fonte, preservando os quatro blocos conceituais. Como o corpus final continha estudos de outras porções da Amazônia brasileira, essas evidências foram mantidas como comparativas e o alcance da síntese foi explicitado sem alterar a contabilidade registrada do processo de seleção.

2.3 CRITÉRIOS DE ELEGIBILIDADE

Foram incluídos artigos revisados por pares, publicados no período definido, com texto integral disponível para avaliação, conduzidos na Amazônia brasileira e com dados extraíveis em escala de bacia, sub-bacia, microbacia ou curso d'água. O estudo deveria relacionar uso, cobertura, desmatamento, integridade ripária ou condição da paisagem a pelo menos um desfecho hidrológico ou hidroambiental, ou fornecer caracterização morfométrica ou hidrossedimentológica indispensável para interpretar a sensibilidade da unidade hidrográfica. Foram aceitos delineamentos de campo, séries temporais, sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelagem hidroambiental.

Foram excluídos trabalhos fora da Amazônia brasileira sem componente diretamente comparável, estudos sem texto completo avaliável, teses, dissertações, monografias e literatura cinzenta como amostra principal, revisões sem dados primários, estudos exclusivamente laboratoriais e publicações sem ligação clara com sistemas hidrográficos continentais. Também foram excluídos registros cujo desfecho não pudesse ser extraído ou cuja abordagem de uso da terra fosse apenas incidental, sem informação hidroambiental ou estrutural pertinente.

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0036

2.4 SELEÇÃO, EXTRAÇÃO E SÍNTESE DOS DADOS

Após a importação para o Rayyan, quatro duplicatas foram removidas. A triagem prosseguiu por título e resumo, seguida de leitura integral dos textos potencialmente elegíveis. Foram extraídos ano, autoria, localização, unidade hidrográfica, delineamento, variáveis, método, principais resultados e contribuição para a interpretação integrada. A heterogeneidade de escalas, métricas e delineamentos impossibilitou metanálise ou cálculo de tamanho de efeito comum; por isso, a síntese foi qualitativa e distinguiu resultados diretamente associados ao uso da terra daqueles que representam condicionantes morfométricos ou hidrossedimentológicos. A coerência numérica do processo foi conferida antes da redação final: 110 registros identificados, quatro duplicatas, 80 exclusões por título, 20 por resumo, dois textos completos excluídos e quatro estudos incluídos. Não foi aplicada ferramenta formal de avaliação do risco de viés ou da qualidade metodológica, limitação considerada na interpretação da força da evidência. Publicações externas ao corpus, inclusive trabalhos de 2026 consultados durante a redação, foram utilizadas apenas para contextualização conceitual e comparação na introdução e na discussão; não participaram da seleção nem alteraram a síntese dos quatro estudos incluídos..

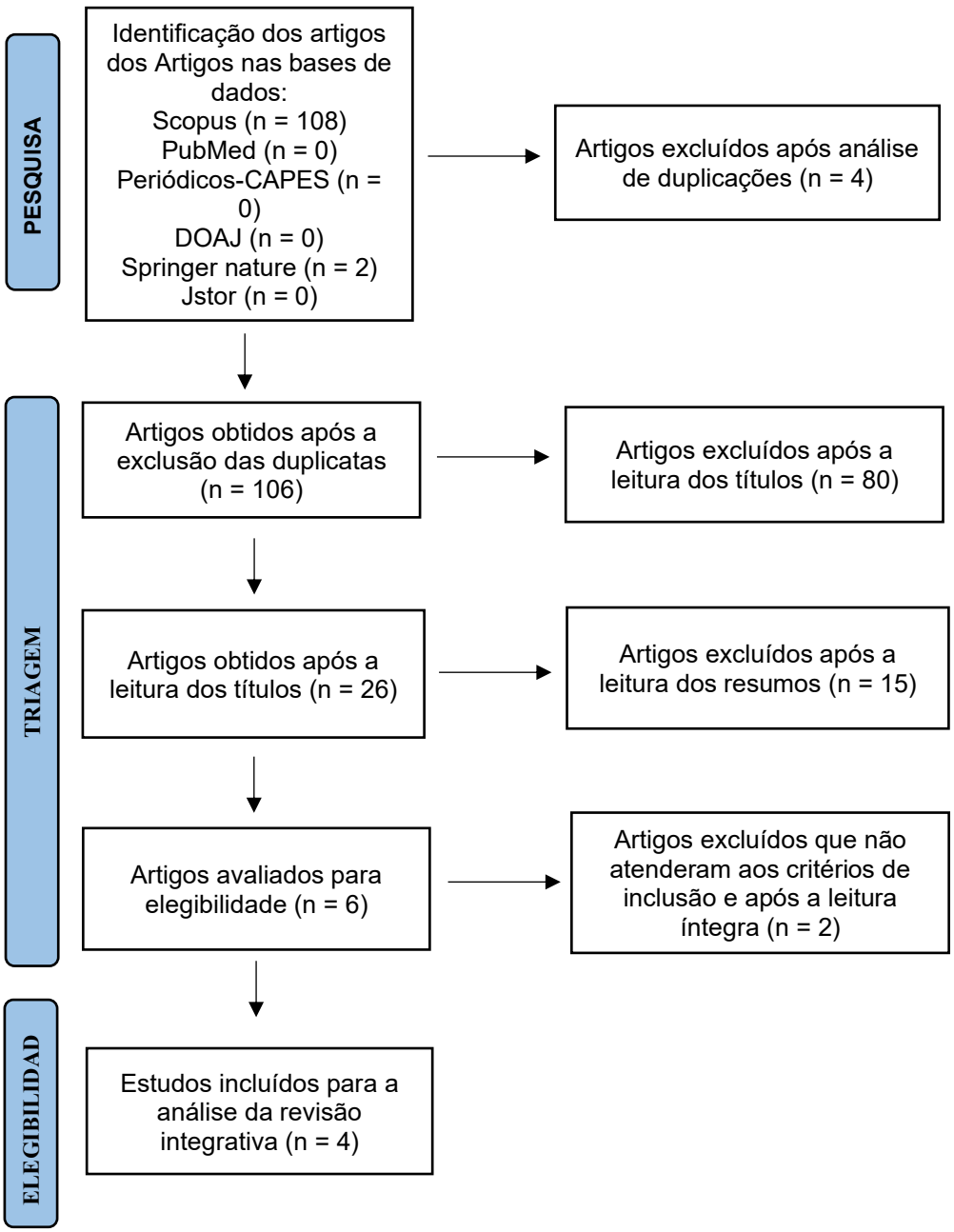
3 RESULTADOS

3.1 SELEÇÃO DOS ESTUDOS

As buscas identificaram 110 registros, dos quais 108 vieram da Scopus e dois da Springer Nature Link. Quatro duplicatas foram removidas, restando 106 registros para triagem por título; 80 foram excluídos nessa etapa. Dos 26 resumos avaliados, 20 não atenderam aos critérios, de modo que seis textos completos seguiram para elegibilidade. Dois foram excluídos após leitura integral e quatro estudos compuseram a síntese qualitativa (Figura 1). O Quadro 1 apresenta a caracterização analítica dos quatro estudos incluídos.

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0036

Figura 1 - Fluxograma PRISMA do processo de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos.



Fonte: elaboração própria segundo o fluxo PRISMA 2020, com dados da presente revisão.

RESCX Revista de Educação, Saúde e Ciências do Xingu

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0036

Quadro 1 - Caracterização dos estudos incluídos na revisão sistemática.

ID	Ano	Estudo	Autores principais	Área/ambiente	Delineamento	Variáveis	Método	Principais achados	Interpretação integrativa
E1	2024	Morphometry, Water Availability and Sediment Transport in the River Renato Watershed, Southern Amazon	Almeida; Souza; Borella; Castagna; Garcia; Alves; Zolin	Bacia do rio Renato, médio Teles Pires, Mato Grosso	Monitoramento hidrossedimentológico e morfometria	Cota, vazão líquida, sedimentos suspensos e de arrasto, relevo, drenagem	Medições mensais; curvas-chave; QGIS	Forma alongada, drenagem regular e baixa suscetibilidade morfométrica a enchentes; ajuste satisfatório para vazão líquida e inferior para descargas sólidas	Evidência estrutural e hidrossedimentológica. O estudo contextualiza uma paisagem com cerca de 69% de vegetação natural, mas não isola efeito causal do uso da terra.
E2	2023	Influence of climatic phenomena and deforestation on hydroenvironmental fragility, Gurupi River watershed, Northern Brazil	Gomes; Beltrão; Lima	Bacia do rio Gurupi, norte do Brasil	Análise espacial de cenários	Precipitação, desmatamento, drenagem, declividade, solos, geomorfologia e rochas	CHIRPS, MapBiomas e bases oficiais; AHP; geoprocessamento	Desmatamento aumentou no período; cenários combinaram chuva extrema, maior conversão e condicionantes naturais, produzindo maior fragilidade hidroambiental	Evidência direta de associação entre desmatamento, clima e fragilidade, sem reduzir a resposta a um único fator.
E3	2021	Caracterização morfométrica da Sub-bacia do Rio Ribeirão, Amazônia Ocidental, Brasil	Marinho; Vendruscolo; Vasconcelos; Cavalheiro; Stachiw	Nova Mamoré e Porto Velho, Rondônia	Caracterização morfométrica	Geometria, altitude, declividade, ordem, densidades de drenagem e hidrográfica, tempo de concentração	QGIS, TauDEM e SRTM	50 microbacias; padrão dendrítico; relevo predominantemente plano a suave ondulado; principais unidades alongadas e de baixa suscetibilidade a enchentes	Evidência estrutural. Define controles físicos necessários para separar sinal de uso da terra de predisposição morfométrica.

RESCX Revista de Educação, Saúde e Ciências do Xingu

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0036

ID	Ano	Estudo	Autores principais	Área/ambiente	Delineamento	Variáveis	Método	Principais achados	Interpretação integrativa
E4	2022	Efeitos da integridade ambiental da zona ciliar e sua influência na qualidade da água de igarapés urbanos em Santarém-PA, Amazônia, Brasil	Santos; Mortati; Canani; Oliveira	Seis igarapés urbanos, Santarém, Pará	Observacional ecológico	Integridade do habitat, cobertura, vazão, largura, profundidade, pH, condutividade, oxigênio dissolvido, turbidez e temperatura	Índice de Integridade do Habitat; medições hidrológicas e físico-químicas; correlação e comparação entre pontos	Cinco igarapés degradados; integridade correlacionada significativamente com oxigênio dissolvido e condutividade	Evidência direta para degradação ripária e qualidade da água em ambiente urbano amazônico.

Fonte: elaboração própria a partir dos quatro estudos incluídos na revisão.

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0036

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS ESTUDOS INCLUÍDOS

Os quatro estudos incluídos foram publicados entre 2021 e 2024 e ocuparam posições distintas do gradiente amazônico. Para reduzir ambiguidade entre evidência direta e contribuição estrutural, eles são identificados no Quadro 1 como E1 a E4: E1 examinou a bacia do rio Renato, no médio Teles Pires, em Mato Grosso; E2 analisou a fragilidade hidroambiental da bacia do rio Gurupi; E3 caracterizou a sub-bacia do rio Ribeirão, em Rondônia; e E4 avaliou seis igarapés urbanos em Santarém, Pará. A distribuição confirma que o corpus não sustenta uma revisão restrita ao território paraense e tampouco é composto exclusivamente por microbacias.

A evidência mais direta de associação entre transformação da paisagem e resposta hidroambiental concentrou-se em E2 e E4. Em E2, o avanço do desmatamento, combinado a anos de precipitação extrema e a condicionantes geoambientais, esteve relacionado a cenários de maior fragilidade; em E4, cinco dos seis igarapés foram classificados como degradados, e o Índice de Integridade do Habitat apresentou correlação significativa com oxigênio dissolvido e condutividade. Esses resultados medem relações distintas, mas ambos conectam condição da paisagem a desfechos hidroambientais observáveis.

E1 e E3 contribuíram de forma complementar, sem testar isoladamente causalidade do uso da terra. E1 mostrou forma alongada, drenagem regular e baixa suscetibilidade morfométrica a enchentes extremas; as curvas de vazão líquida tiveram desempenho superior às estimativas de descarga sólida, indicando maior incerteza no componente sedimentar. E3 delimitou 50 microbacias, com drenagem dendrítica, relevo predominantemente plano a suave ondulado e baixa suscetibilidade morfométrica a enchentes nas principais unidades. Em ambos os casos, a morfometria define controles físicos que precisam ser considerados antes de atribuir variações hidrológicas exclusivamente à cobertura da terra.

3.3 SÍNTESE INTEGRATIVA

A síntese revela dois níveis de evidência. E2 e E4 relacionaram explicitamente condição da paisagem, desmatamento ou integridade ripária a desfechos hidroambientais; E1 e E3 forneceram controles morfométricos e hidrossedimentológicos necessários para interpretar a sensibilidade das unidades hidrográficas. Essa separação foi mantida porque reunir os quatro trabalhos sob uma mesma linguagem causal produziria uma força de evidência que os delineamentos não oferecem.

Não houve base comum suficiente para estimar um efeito agregado sobre infiltração, escoamento superficial, vazão ou exportação de sedimentos. A revisão também não encontrou, entre os quatro estudos incluídos, séries diretamente comparáveis que permitissem separar estatisticamente o efeito da perda florestal daquele exercido por precipitação, topografia, rede de drenagem e condição antecedente. Assim, os resultados sustentam uma interpretação de sensibilidade hidroambiental crescente sob degradação da paisagem, mas não uma magnitude única ou universal de resposta para bacias amazônicas.

4 DISCUSSÃO

A síntese não sustenta uma leitura simplista em que menos floresta produz, de forma automática e uniforme, mais escoamento, mais sedimento e pior qualidade da água. No Gurupi, Gomes, Beltrão e Lima (2023) encontraram uma fragilidade hidroambiental construída pela interação entre desmatamento, precipitação extrema e atributos geoambientais; em Santarém, Santos et al. (2022) registraram um sinal de outra natureza,

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0036

mais localizado, no qual a perda de integridade da zona ciliar acompanhou alterações de oxigênio dissolvido e condutividade. Esses estudos convergem quanto à relevância da paisagem, mas não medem o mesmo processo e, por isso, não autorizam uma cadeia causal única para bacias amazônicas.

A estrutura física da bacia impõe um segundo filtro à interpretação. Marinho et al. (2021) mostraram, na sub-bacia do rio Ribeirão, que forma, relevo, densidade de drenagem e tempo de concentração delimitam a predisposição hidrológica antes mesmo de se atribuir qualquer mudança ao uso da terra. Isso não reduz o peso da cobertura florestal; obriga a colocá-lo no mecanismo correto. Modelos recentes indicam que o acoplamento entre perda florestal e reciclagem de umidade pode diminuir a estabilidade climática da Amazônia em níveis de aquecimento mais baixos do que os estimados quando a retroalimentação do desmatamento é ignorada, enquanto a resposta sedimentar fluvial pode surgir rapidamente em áreas fortemente perturbadas, com amplitude dependente da conectividade do sistema (Wunderling et al., 2026; Narayanan; Cohen; Gardner, 2024). Percentual de desmatamento, isoladamente, portanto, é um descritor insuficiente: importa onde a conversão ocorre, como água e sedimentos se conectam ao canal e quais estoques superficiais e subsuperficiais amortecem o pulso.

A dimensão hidrossedimentológica é o ponto em que interpretações apressadas se tornam especialmente frágeis. Almeida et al. (2024), na bacia do rio Renato, obtiveram ajuste mais consistente para vazão líquida do que para descarga sólida, diferença que expõe a dificuldade de representar sedimentos com a mesma segurança das variáveis hidráulicas. Em escala mais ampla, tendências de concentração e fluxo de sedimentos resultam de forças que podem atuar em direções opostas, e na planície amazônica a deposição depende conjuntamente de inundação, concentração de sedimentos em suspensão e hidrodinâmica (Sun et al., 2025; Feng et al., 2025). A incerteza da descarga sólida não é um detalhe estatístico: ela recai justamente sobre a variável que costuma sustentar inferências de erosão e transferência de material, exigindo maior resolução temporal e fechamento mais rigoroso do balanço de sedimentos.

Na faixa ripária, a implicação é mais direta e mais exigente para o manejo. Limiares ecológicos podem ocorrer após perdas relativamente pequenas de vegetação, e a efetividade dos buffers tropicais depende de largura, continuidade e qualidade do hábitat, não de uma metragem uniforme aplicada sem contexto (Dala-Corte *et al.*, 2020; Luke *et al.*, 2019). Na Amazônia Oriental, mudanças em macroinvertebrados foram detectadas sob pequenas perdas florestais e estudos de peixes mostram que proteger apenas o trecho imediato da margem é insuficiente quando impactos na escala da bacia permanecem ativos (Brito *et al.*, 2020; Leal *et al.*, 2018). O Código Florestal fornece uma base jurídica indispensável às Áreas de Preservação Permanente, mas conformidade cartográfica não pode ser confundida com funcionamento hidroecológico efetivo (Brasil, 2012).

Há ainda uma dimensão de qualidade da água que não cabe em diagnósticos centrados apenas em vazão e sedimentos. Projeções globais indicam que cargas fluviais de nitrogênio continuam fortemente dependentes de fertilização e trajetórias socioeconômicas, ao passo que o transporte de fósforo vem sendo reorganizado por fertilizantes, barragens e desmatamento, com crescimento relativo importante em pequenos rios e no Hemisfério Sul (Lee *et al.*, 2024; Liu *et al.*, 2025). Na Amazônia, a conversão de floresta em pastagem também modifica a estrutura física do riacho e reduz dimensões funcionais das assembleias de peixes, reforçando que diagnóstico hidrológico e diagnóstico ecológico não devem caminhar em trilhas separadas (Cantanhêde *et al.*, 2021).

As limitações desta revisão precisam permanecer visíveis. Quatro estudos, dos quais apenas um foi integralmente realizado no Pará, não sustentam uma magnitude regional de efeito, e a heterogeneidade entre correlações físico-químicas, fragilidade hidroambiental,

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0036

morfometria e curvas-chave inviabiliza qualquer síntese quantitativa defensável. A busca geográfica originalmente orientada ao Pará, a ausência da data exata das consultas e a não aplicação de ferramenta formal de risco de viés reduzem a força inferencial; essas restrições não anulam os achados, mas impedem que sejam apresentados como consenso para toda a Amazônia. O avanço metodológico mais necessário é combinar séries sincrônicas de cobertura da terra, vazão, sedimentos, água subterrânea e qualidade da água em desenhos capazes de controlar chuva, morfometria e posição da conversão na paisagem. Sem esse controle, novas correlações podem ampliar o diagnóstico, mas continuarão insuficientes para estimar causalidade ou limiares de manejo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A literatura incluída indica que mudanças na condição da paisagem podem aumentar a sensibilidade hidroambiental de bacias amazônicas, sobretudo quando desmatamento e degradação ripária se combinam a condicionantes de relevo, drenagem e variabilidade climática. A evidência direta foi mais consistente para fragilidade hidroambiental associada ao desmatamento e para alterações de qualidade da água vinculadas à baixa integridade ripária; os estudos morfométricos e hidrossedimentológicos contribuíram como evidência estrutural, sem permitir atribuição causal isolada ao uso da terra.

A síntese deve ser interpretada com prudência. Quatro estudos, distribuídos por diferentes porções da Amazônia brasileira e baseados em delineamentos não equivalentes, não permitem generalização quantitativa para toda a região; a busca geográfica originalmente orientada ao Pará e a ausência de avaliação formal do risco de viés reforçam essa restrição. Ainda assim, os resultados sustentam o planejamento integrado de bacias, com proteção de zonas ripárias, controle de conversão da cobertura e monitoramento conjunto de água e sedimentos, ao mesmo tempo em que evidenciam a necessidade de séries comparáveis e maior densidade de estudos no Pará.

REFERÊNCIAS

ALMADA, H. K.; SILVÉRIO, D. V.; NEILL, C.; OLIVEIRA, E. L. de; MARACAHIPES-SANTOS, L.; MACEDO, M. N. Hydrological impacts of deforestation on flow dynamics of small watersheds in the Brazilian Cerrado–Amazon transition region. **Journal of Hydrology** *X*, v. 30, 100214, 2026. https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2026.100214

ALMEIDA, F. T. de; SOUZA, A. P. de; BORELLA, D. R.; CASTAGNA, D.; GARCIA, A. C.; ALVES, M. A. B.; ZOLIN, C. A. Morphometry, Water Availability and Sediment Transport in the River Renato Watershed, Southern Amazon. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 1, p. 297-314, 2024. DOI: https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.1.p297-314.

BAGHERI, O.; POKHREL, Y.; MOORE, N.; PHANIKUMAR, M. S. Groundwater dominates terrestrial hydrological processes in the Amazon at basin and subbasin scales. **Journal of Hydrology**, v. 628, art. 130312, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130312.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651compilado.htm. Acesso em: 24 ago. 2026.

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0036

BRITO, J. G. et al. Small forest losses degrade stream macroinvertebrate assemblages in the eastern Brazilian Amazon. **Biological Conservation**, v. 241, art. 108263, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108263.

CANTANHÊDE, L. G.; LUIZA-ANDRADE, A.; LEÃO, H.; MONTAG, L. F. A. How does conversion from forest to pasture affect the taxonomic and functional structure of the fish assemblages in Amazonian streams? **Ecology of Freshwater Fish**, v. 30, p. 334-346, 2021. DOI: https://doi.org/10.1111/eff.12589.

CANTANHÊDE, L. G. et al. Dark diversity in Amazonian stream fish communities: What factors determine species absence along environmental gradients? **Freshwater Biology**, v. 68, p. 1-11, 2023. DOI: https://doi.org/10.1111/fwb.14004.

CASTELLO, L.; MACEDO, M. N. Large-scale degradation of Amazonian freshwater ecosystems. **Global Change Biology**, v. 22, n. 3, p. 990-1007, 2016. DOI: https://doi.org/10.1111/gcb.13173.

CHAGAS, V. B. P.; CHAFFE, P. L. B.; BLÖSCHL, G. Climate and land management accelerate the Brazilian water cycle. **Nature Communications**, v. 13, art. 5136, 2022. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-022-32580-x.

CONCEIÇÃO, R. P. da; COSTA, C. E. A. de S.; PROGÊNIO, M. F.; LIMA, J. A. P. Análise temporal do uso e cobertura da terra em relação à expansão da soja no município de Paragominas-PA. **Economia & Região**, v. 13, e51018, 2025. DOI: https://doi.org/10.5433/2317-627X.2025.v13.51018.

CUI, J. et al. Historical deforestation drives strong rainfall decline across the southern Amazon basin. **Nature Communications**, v. 17, art. 1642, 2026. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-026-68361-z.

D'ACUNHA, B. et al. Changes in evapotranspiration, transpiration and evaporation across natural and managed landscapes in the Amazon, Cerrado and Pantanal biomes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 346, art. 109875, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109875.

DALA-CORTE, R. B. et al. Thresholds of freshwater biodiversity in response to riparian vegetation loss in the Neotropical region. **Journal of Applied Ecology**, v. 57, n. 7, p. 1391-1402, 2020. DOI: https://doi.org/10.1111/1365-2664.13657.

DETHIER, E. N.; RENSHAW, C. E.; MAGILLIGAN, F. J. Rapid changes to global river suspended sediment flux by humans. **Science**, v. 376, n. 6600, p. 1447-1452, 2022. DOI: https://doi.org/10.1126/science.abn7980.

FAGUNDES, H. O. et al. Human-Induced Changes in South American River Sediment Fluxes From 1984 to 2019. **Water Resources Research**, v. 59, n. 6, e2023WR034519, 2023. DOI: https://doi.org/10.1029/2023WR034519.

FENG, D. et al. Drivers and impacts of sediment deposition in Amazonian floodplains. **Nature Communications**, v. 16, art. 3148, 2025. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-025-57495-1.

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0036

GOMES, D. J. C.; BELTRÃO, N. E. S.; LIMA, A. M. M. de. Influence of climatic phenomena and deforestation on hydroenvironmental fragility, Gurupi River watershed, Northern Brazil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 58, n. 3, p. 375-385, 2023. DOI: https://doi.org/10.5327/Z2176-94781621.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Sistema do INPE aponta 5.731 km² de desmatamento na Amazônia em 2025. São José dos Campos, 18 ago. 2026. Disponível em: https://www.gov.br/inpe/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/sistema-do-inpe-aponta-5-731-km2-de-desmatamento-na-amazonia-em-2025. Acesso em: 24 ago. 2026.

LEAL, C. G. et al. Is environmental legislation conserving tropical stream faunas? A large-scale assessment of local, riparian and catchment-scale influences on Amazonian fish. **Journal of Applied Ecology**, v. 55, n. 3, p. 1312-1326, 2018. DOI: https://doi.org/10.1111/1365-2664.13028.

LEE, M. et al. Uneven consequences of global climate mitigation pathways on regional water quality in the 21st century. **Nature Communications**, v. 15, art. 5464, 2024. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-024-49866-x.

LEITE-FILHO, A. T. et al. Deforestation reduces rainfall and agricultural revenues in the Brazilian Amazon. **Nature Communications**, v. 12, art. 2591, 2021. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-021-22840-7.

LIU, G. et al. Human alterations to global riverine phosphorus fluxes to the ocean. **Science Advances**, v. 11, n. 50, eady5884, 2025. DOI: https://doi.org/10.1126/sciadv.ady5884.

LOBATO, C. M. C.; BENONE, N. L.; BRASIL, L. S.; MONTAG, L. F. A. Land use effects on the co-occurrence patterns of streams ichthyofauna in the eastern Amazon. **Ecological Indicators**, v. 145, art. 109659, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109659.

LUKE, S. H. et al. Riparian buffers in tropical agriculture: Scientific support, effectiveness and directions for policy. **Journal of Applied Ecology**, v. 56, n. 1, p. 85-92, 2019. DOI: https://doi.org/10.1111/1365-2664.13280.

MARINHO, D. da S.; VENDRUSCOLO, J.; VASCONCELOS, T. B.; CAVALHEIRO, W. C. S.; STACHIW, R. Caracterização morfométrica da Sub-bacia do Rio Ribeirão, Amazônia Ocidental, Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 2, p. 367-381, 2021. DOI: https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14n2e7225.

NARAYANAN, A.; COHEN, S.; GARDNER, J. R. Riverine sediment response to deforestation in the Amazon basin. **Earth Surface Dynamics**, v. 12, p. 581-599, 2024. DOI: https://doi.org/10.5194/esurf-12-581-2024.

OUZZANI, M.; HAMMADY, H.; FEDOROWICZ, Z.; ELMAGARMID, A. Rayyan: a web and mobile app for systematic reviews. **Systematic Reviews**, v. 5, art. 210, 2016. DOI: https://doi.org/10.1186/s13643-016-0384-4.

PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, v. 372, art. n71, 2021. DOI: https://doi.org/10.1136/bmj.n71.

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0036

QIN, Y. et al. Impact of Amazonian deforestation on precipitation reverses between seasons. **Nature**, v. 639, p. 102-108, 2025. DOI: https://doi.org/10.1038/s41586-024-08570-y.

SANTOS, G. P. dos; MORTATI, A. F.; CANANI, L. G. de C.; OLIVEIRA, L. L. Efeitos da integridade ambiental da zona ciliar e sua influência na qualidade da água de igarapés urbanos em Santarém-PA, Amazônia, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 7, p. 4035-4055, 2022. DOI: https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.7.p4035-4055.

SAYER, C. A. et al. One-quarter of freshwater fauna threatened with extinction. **Nature**, v. 638, p. 138-145, 2025. DOI: https://doi.org/10.1038/s41586-024-08375-z.

SUN, X. et al. Changes in global fluvial sediment concentrations and fluxes between 1985 and 2020. **Nature Sustainability**, v. 8, p. 142-151, 2025. DOI: https://doi.org/10.1038/s41893-024-01476-7.

WUNDERLING, N. et al. Deforestation-induced drying lowers Amazon climate threshold. **Nature**, v. 654, p. 114-120, 2026. DOI: https://doi.org/10.1038/s41586-026-10456-0.