



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

ROSANA COELHO

**DISTRIBUIÇÃO E VARIABILIDADE DE NUTRIENTES EM BACIAS
HIDROGRÁFICAS DA AMAZÔNIA: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA**

BELÉM- PA

2024

ROSANA COELHO

**DISTRIBUIÇÃO E VARIABILIDADE DE NUTRIENTES EM BACIAS
HIDROGRÁFICAS DA AMAZÔNIA: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA**

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/ Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito para obtenção do título de mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia

Linha de Pesquisa: Interação Clima, Sociedade e Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Jose Eduardo Martinelli Filho

BELÉM- PA

2024

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

C672d Coelho, Rosana.
Distribuição e variabilidade de nutrientes em bacias hidrográficas
da Amazônia: uma análise bibliométrica / Rosana Coelho. — 2024.
66 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. José Eduardo Martinelli Filho
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências
Ambientais, Belém, 2024.

1. Nitrogênio. 2. Fósforo. 3. Revisão bibliográfica. 4.
VOSviewer. 5. Rios da Amazônia. I. Título.

CDD 546.712

ROSANA COELHO

**DISTRIBUIÇÃO E VARIABILIDADE DE NUTRIENTES EM BACIAS
HIDROGRÁFICAS DA AMAZÔNIA: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA**

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/ Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito para obtenção do título de mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia

Linha de Pesquisa: Interação Clima, Sociedade e Ambiente

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Martinelli Filho

Data da Aprovação: 19/04/2024

Conceito: Aprovada

Banca Examinadora:

Prof. José Eduardo Martinelli Filho - Orientador
Doutor em Oceanografia.
Universidade Federal de Pará, UFPA, Brasil

Prof. Bruno Spacek Godoy – Membro Interno
Doutorado em Ecologia e Evolução
Universidade Federal de Pará, UFPA, Brasil.

Prof^ª. Aline Maria Meiguins Lima – Membro Interna
Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido.
Universidade Federal de Pará, UFPA, Brasil.

Prof^ª. Simone de Fátima Pinheiro Pereira – Membro Externa
Doutorado em Química.
Universidade Federal de Pará, UFPA, Brasil

A minha mãe e a Deus por terem me concedido a dádiva da vida e pela força de vontade que me impulsionou a alcançar este feito.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Primeiramente, agradeço ao meu orientador, José Eduardo Martinelli Filho, por seu constante apoio, orientação e paciência ao longo deste processo. Sua expertise e dedicação foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Bruno Spacek Godoy, Aline Maria Meiguins Lima e Simone de Fátima Pinheiro Pereira, meus sinceros agradecimentos pelas valiosas contribuições, conselhos e incentivo ao longo da minha jornada acadêmica.

Aos meus amigos Michelly e Uarley, Maurilio e Carol agradeço pelo companheirismo, pelas trocas de ideias e pelo apoio nos momentos difíceis. A amizade de vocês foi essencial para que eu pudesse seguir em frente com determinação.

À minha namorada, Rayana Amorim, um agradecimento especial por seu amor, compreensão e apoio incondicional. Sua presença foi uma fonte constante de motivação e inspiração.

Não poderia deixar de agradecer à minha família, em especial à minha mãe, Maria Coelho, e aos meus irmãos e irmãs. A força, o carinho e o apoio de vocês foram imprescindíveis para que eu pudesse alcançar este objetivo.

A todos vocês, meu mais sincero muito obrigado. Sem a colaboração, apoio e incentivo de cada um, esta dissertação não seria possível.

O futuro pertence àqueles que acreditam
na beleza de seus sonhos. (ROOSEVELT,
Eleanor s/d.)

RESUMO

A presença excessiva de nutrientes na água, desencadeia um processo conhecido como eutrofização, que pode afetar sua qualidade e resultar em desequilíbrio ecológico, gerando impactos ambientais significativos. Atividades humanas, como agricultura, pecuária, mineração e urbanização, podem estar relacionadas ao aumento de nutrientes nos rios da Amazônia. Apesar da gravidade desse problema, estudos sobre o aumento de nutrientes na bacia hidrográfica da Amazônia ainda são escassos no meio científico e acadêmico. O objetivo deste trabalho foi explorar bases de dados como Scopus e Web of Science para sintetizar informações sobre as concentrações de nutrientes (N e P) na bacia hidrográfica amazônica. Após busca nos bancos de dados utilizando palavras-chave selecionadas e seguindo procedimentos de seleção dos artigos, foram escolhidos 40 artigos relevantes para a revisão bibliométrica sobre o tema. A literatura revisada apresentou resultados sobre nitrato, nitrito, amônio e fosfato, sendo o nitrato o nutriente mais frequentemente analisado, em 33 trabalhos publicados, seguido pelo fosfato em 28 estudos, amônio em 26 e nitrito em nove. O estudo revelou concentrações médias mais elevadas para nitrato, com 20,28 mg/l e para fosfato, com 8,03 mg/l, indicando potenciais áreas de interesse para futuras pesquisas em eutrofização. O tronco principal do rio Amazonas foi a área mais estudada, presente em 11 artigos publicados, seguido pelos rios Negro, Solimões e Orinoco ambos com sete estudos. Identificou-se escassez de dados nas áreas dos rios Tapajós, Ji-Paraná, Trombetas, Araguaia, Madre de Dios, Tocantins, Madeira e Xingu, indicando ausência de informações sobre a concentração de nutrientes na cobertura amostral dos dados coletados. Este estudo proporciona uma revisão importante das concentrações de nutrientes nos rios da Amazônia, ressaltando a necessidade de mais pesquisas para entender as concentrações de nitrogênio e fósforo, especialmente nas principais sub-bacias da Amazônia (rio Xingu, Madeira, Tapajós e Tocantins, Purus) localizadas em áreas do arco do desmatamento que sofrem maior pressão antrópica com poucos ou nenhum estudo apresentado. A compreensão desses padrões de nutrientes é fundamental para proteger os ecossistemas aquáticos e promover a saúde humana na Amazônia, visando orientar políticas de conservação e manejo sustentável dos recursos hídricos na região.

Palavras-chave: nitrogênio; fósforo; revisão bibliográfica; VOSviewer; rios da Amazônia; mudança de uso de solo.

ABSTRACT

The excessive presence of nutrients in water triggers a process known as eutrophication, which can affect its quality and lead to ecological imbalance, generating significant environmental impacts. Human activities such as agriculture, livestock farming, mining, and urbanization may be related to the increase of nutrients in the Amazon rivers. Despite the severity of this issue, studies on the increase of nutrients in the Amazon basin are still scarce in the scientific and academic community. The objective of this work was to explore databases like Scopus and Web of Science to synthesize information on nutrient concentrations (N and P) in the Amazon basin. After searching databases using selected keywords and following the three phases of article selection, 40 relevant articles were chosen for the bibliometric review of literature on the topic. The reviewed literature presented results on nitrate, nitrite, ammonium, and phosphate, with nitrate being the most frequently analyzed nutrient in 33 published works, followed by phosphate in 28 studies, ammonium in 26, and nitrite in nine. The study revealed higher average concentrations for nitrate, at 20.28 mg/l, and for phosphate, at 8.03 mg/l, indicating potential areas of interest for future eutrophication research. The mainstem of the Amazon River was the most studied area, appearing in 11 published articles, followed by the Negro, Solimões, and Orinoco rivers, each with seven studies. Data scarcity was identified in areas of the Tapajós, Ji-Paraná, Trombetas, Araguaia, Madre de Dios, Tocantins, Madeira, and Xingu rivers, indicating a lack of information on nutrient concentrations in the sample coverage of collected data. This study provides an important review of nutrient concentrations in the Amazon rivers, emphasizing the need for further research to understand nitrogen and phosphorus concentrations, especially in the main sub-basins of the Amazon (Xingu, Madeira, Tapajós, and Tocantins, Purus), located in deforestation arc areas experiencing greater anthropogenic pressure with few or no studies presented. Understanding these nutrient patterns is essential to protect aquatic ecosystems and promote human health in the Amazon, aiming to guide conservation policies and sustainable management of water resources in the region.

Keywords: nitrogen; phosphorus; bibliographic review; VOSviewer; Amazon rivers; land change use.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo | 24 |
| Figura 2 - Rede de ocorrências de palavras-chave, gerada pelo software VOSviewer. | 34 |
| Figura 3 - Rede de ocorrências de países, gerada pelo software VOSviewer. | 38 |
| Figura 4 - Quantidade de dados coletados sobre nutrientes na bacia Amazônica. | 44 |
| Figura 5 - Análise temporal dos dados coletados de nutrientes na bacia Amazônica. | 45 |
| Figura 6 - Análise da variação sazonal dos dados coletados de nutrientes (nitrato, nitrito, amônio e fosfato) na bacia Amazônica..... | 46 |
| Figura 7 - Análise de variação sazonal de nitrato e fosfato no rio Tocantins..... | 47 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - As três etapas da estratégia de revisão sistemática..... | 26 |
| Tabela 2 - Combinações de palavras-chave em três níveis de indexadores (filtros)..... | 26 |
| Tabela 3 - Sequências de filtros e resultado da revisão sistemática | 31 |
| Tabela 4 - Ocorrência de palavras-chave recuperadas dos 40 artigos selecionados. | 33 |
| Tabela 5 - Ocorrência de autores com maiores números de citações dos 40 artigos selecionados. | 35 |
| Tabela 6 - Os dez artigos com maior número de citações sobre a concentração de nutrientes na bacia Amazônica. | 35 |
| Tabela 7 - Países com número de documentos e de citações nos estudos de nutrientes na bacia Amazônica. | 37 |
| Tabela 8 - Concentrações de nitrato em 13 rios da Amazônia. | 40 |
| Tabela 9 - Concentrações de nitrito em sete rios da Amazônia..... | 41 |
| Tabela 10 - Concentrações de amônio em 11 rios da Amazônia..... | 42 |
| Tabela 11 - Concentrações de fosfato nem 11 rios da Amazônia. | 43 |
| Tabela 12 - Valores médios dos nutrientes nos rios da bacia Amazônica..... | 48 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

| | |
|--------------------------------|--|
| ATP | Adenosina trifosfato |
| CV | Coefficiente de Variação |
| DNA | Ácido desoxirribonucleico |
| H ₃ PO ₃ | Ácido fosforoso |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| mg/l | Miligrama por litro |
| N | Nitrogênio |
| NH ₃ | Amônia |
| NH ₄ ⁺ | Amônio |
| NO ₂ ⁻ | Nitrito |
| NO ₃ ⁻ | Nitrato |
| P | Fósforo |
| PO ₃ ⁻³ | Fosfito |
| PO ₄ ³⁻ | Fosfato |
| PPGCA | Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais |
| Proknow-C | Knowledge Development Process – Construtivist |
| RAISG | Rede Amazônica de Informação Socioambiental Georreferenciada |
| RNA | Ácido ribonucleico |
| WoS | Web of Science |

SUMÁRIO

| | | |
|-------------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1 | Objetivos | 17 |
| 1.1.1 | Objetivo Geral | 17 |
| 1.1.2 | Objetivos Específicos | 17 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 18 |
| 2.1 | Nitrogênio e fósforo | 18 |
| 2.2 | Impactos ambientais associados ao uso crescente de nutrientes | 19 |
| 2.3 | Pressões antrópicas e impactos ambientais nos recursos hídricos da Amazônia | 20 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS | 24 |
| 3.1 | Área de Estudo | 24 |
| 3.2 | Revisão sistemática de estudos | 25 |
| 3.3 | Análise de dados | 25 |
| 3.3.1 | Processo de pesquisa em bancos de dados e bibliometria..... | 25 |
| 4 | RESULTADOS | 31 |
| 4.1 | Análise de palavras-chave | 32 |
| 4.2 | Análises de autores | 34 |
| 4.3 | Análise de citações indexadas | 35 |
| 4.4 | Análise dos artigos por países | 37 |
| 4.5 | Análise de estudos sobre nitrogênio e fósforo | 38 |
| 4.6 | Sistemas aquáticos e classificação de água | 38 |
| 4.7 | Variação na concentração de nutrientes em rios na Amazônicos | 39 |
| 4.8 | Análise geográfica dos dados de coletas dos estudos da bacia Amazônica | 43 |
| 4.9 | Análise temporal de dados de nutrientes (N e P) na Bacia Amazônica | 45 |
| 4.10 | Análise sazonal da coleta de dados de nutrientes (N e P) na Bacia Amazônica . | 46 |
| 5 | DISCUSSÃO | 48 |
| 5.1 | Estudo nutrientes na bacia Amazônica | 48 |
| 5.1.1 | Influências do desmatamento, agricultura e pecuária na qualidade e quantidade de água na Amazônia | 50 |
| 5.1.2 | Influência da urbanização e despejo de efluentes na qualidade da água na Amazônia | 51 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 5.2 | Análise de concentração de Nitrogênio e Fósforo..... | 54 |
| 5.3 | Desafios na pesquisa sobre nutrientes na bacia Amazônica..... | 55 |
| 6 | CONCLUSÃO | 57 |
| | REFERÊNCIAS | 59 |

1 INTRODUÇÃO

A presente pesquisa emerge da necessidade premente de compreender o estado atual dos estudos de distribuição e concentração de nutrientes na bacia hidrográfica da Amazônia. Esta relevância é importante para compreender os efeitos adversos resultantes do aumento dessas substâncias devido as atividades humanas como expansão agropecuária, agricultura, despejos de rejeitos e deficiências em saneamento básico. Tais ações têm o potencial de desencadear alterações significativas nos ecossistemas aquáticos, comprometendo a biodiversidade e a qualidade ambiental da região.

A Amazônia, abriga ecossistemas que variam desde a floresta tropical até savanas, rios e várzeas, sendo assim considerada umas áreas mais diversas do planeta. Contudo, o crescimento das atividades humanas na região tem resultado em impactos cada vez mais expressivos nos corpos d'água, decorrentes da exploração econômica e da urbanização desordenada. Este cenário exacerba a concentração de nutrientes nos rios da região, o que pode ser agravado pela falta de uma gestão adequada de resíduos e da água (Andrade *et al.*, 2023).

Uma das principais dificuldades busca do estudo da concentração de nutrientes nos rios é a escassez de dados para mapeamentos abrangentes dos impactos causados por essa concentração na região amazônica. Estudos, como os conduzidos por Narayan, Rosales, Mora e Mac-Quhae (2021), destacam a carência de investigações detalhadas sobre os efeitos químicos e biológicos da poluição nos rios e lagos. Esta lacuna na compreensão das concentrações de nutrientes, particularmente em sistemas aquáticos, tem implicações significativas para a gestão ambiental e a preservação dos recursos hídricos.

Além disso, a análise dos estudos existentes revela uma abordagem limitada, com pouca atenção à dinâmica de nutrientes específicos, como o fósforo e o nitrogênio e seus principais derivados, em sistemas hídricos poluídos. Esta escassez de pesquisa pode comprometer a compreensão abrangente dos impactos ecológicos da poluição, dificultando o desenvolvimento de estratégias eficazes de mitigação e gestão ambiental em ambientes aquáticos (Lewis Jr.; Wurtsbaugh; Paerl, 2011; Olszewska *et al.*, 2016).

Em adição, conforme destacado por Williams *et al.* (2004), em seu trabalho sobre os efeitos da mudança no uso da terra e colonização no ambiente aquático, ressaltam que esses impactos ainda são pouco compreendidos. Apesar das numerosas pesquisas sobre os efeitos do desmatamento e mudanças no uso da terra na bacia amazônica, ainda há uma falta de

entendimento sobre como essas perturbações afetam o ambiente aquático. Isso implica em uma falta de compreensão sobre os impactos do desmatamento e mudanças no uso da terra nos lagos e rios da região.

A falta de dados abrangentes sobre as concentrações de nutrientes em sistemas aquáticos impactados por atividades humanas, aliada à escassez de estudos que explorem a dinâmica desses nutrientes, representa uma lacuna fundamental no conhecimento científico atual. Esta lacuna não apenas compromete a compreensão integral dos impactos ecológicos da poluição, mas também dificulta significativamente a capacidade de desenvolver estratégias eficazes para mitigar e gerir esses ambientes aquáticos.

Nesse sentido, este estudo visa analisar as concentrações de nitrogênio e fósforo na literatura científica relacionada às bacias hidrográficas da Amazônia. O objetivo principal é identificar padrões na distribuição e concentração desses nutrientes, ao mesmo tempo em que se busca identificar lacunas e escassez de informações por meio de uma análise bibliométrica. Isso permitirá uma compreensão mais abrangente do estado atual do conhecimento sobre nutrientes na região amazônica, destacando áreas de estudo mais amplas e pontos que requerem mais pesquisa.

A pesquisa busca destacar as áreas com dados disponíveis e apresentar as informações contidas nos artigos publicados nos bancos de dados da Scopus e Web of Science (WoS). Esse método é crucial para identificar lacunas nos dados existentes e estimular o interesse por estudos na Amazônia, constituindo-se em uma ferramenta valiosa para embasar decisões relacionadas ao monitoramento das atividades de produção de nutrientes na região.

Este estudo adota uma abordagem interdisciplinar alinhada com as linhas de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), concentrando-se na área de "Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia". Dentro deste contexto, a pesquisa se insere na linha de atuação denominada "Ecossistemas Amazônicos e Dinâmicas Socioambientais", que tem como objetivo compreender as intrincadas interações entre as dinâmicas de uso da terra e as transformações nas relações socioambientais.

A interdisciplinaridade desta pesquisa se manifesta na integração de conhecimentos das ciências ambientais, englobando aspectos da climatologia, dinâmica socioambiental e gestão de recursos naturais. Ao explorar os impactos da concentração de nutrientes nos rios da Amazônia, o estudo contribuirá para preencher lacunas existentes na compreensão dos efeitos da atividade

humana sobre os ecossistemas aquáticos, fornecendo subsídios para o desenvolvimento de estudos futuros e estratégias sustentáveis de gestão e conservação ambiental na região.

Ao integrar conhecimentos das ciências ambientais e dos ecossistemas amazônicos, este estudo visa apresentar dados sobre a concentração de nutrientes (nitrogênio e fósforo) nos rios da Amazônia. Isso engloba não apenas a avaliação dos efeitos das mudanças nos diferentes usos da terra na dinâmica socioambiental da região, mas também suas implicações na biodiversidade e na qualidade de vida das populações locais. Essa análise abrangente busca contribuir para uma melhor compreensão dos desafios enfrentados pela região amazônica, fornecendo subsídios para políticas de conservação, desenvolvimento regional e promoção da sustentabilidade ambiental.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Este estudo teve como objetivo realizar um levantamento bibliográfico e uma análise cientiométrica sobre as concentrações de nutrientes derivados do nitrogênio (N) e fósforo (P) nas águas dos rios da Pan Amazônia e águas costeiras adjacentes, visando identificar áreas relevantes de estudo, sintetizar o conhecimento existente e destacar lacunas de pesquisa relacionadas a esses nutrientes.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Objetivo I: Levantar informações na bibliografia científica especializada sobre nutrientes (N-P) nos rios da Amazônia;
- Objetivo II: Analisar os dados disponíveis na literatura referentes à presença e concentrações de nutrientes (N-P) nas águas dos rios amazônicos, considerando variáveis de tempo e espaço;
- Objetivo III: Explorar possíveis padrões e lacunas relacionadas às concentrações de nutrientes (N-P) nos rios da Amazônia e suas possíveis implicações para a gestão ambiental.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Nitrogênio e fósforo

Os macronutrientes, como o nitrogênio (N) e o fósforo (P), são elementos químicos essenciais para os organismos, fundamentais para seu metabolismo, composição, sobrevivência e reprodução (Jose, 2023). Constituindo cerca de 78 % da atmosfera, o nitrogênio é crucial para os processos vitais das plantas e animais, sendo o principal componente de compostos como DNA, RNA, vitaminas, hormônios e enzimas (Zhang; Ward; Sigman, 2020).

No entanto, a proveniência do nitrogênio nas águas é complexa, devido à existência de múltiplas formas, tanto inorgânicas quanto orgânicas, desse elemento. Nos ecossistemas aquáticos, o nitrogênio pode ser encontrado em formas como nitrito, nitrato, amônia, íon amônio, óxido nitroso e nitrogênio orgânico (Madsen, 2011). Os micro-organismos desempenham um papel crucial no ciclo do nitrogênio, participando nos quatro principais processos desse ciclo: fixação, amonificação, nitrificação e desnitrificação (Mosley *et al.*, 2022).

Entre as várias formas de nitrogênio, o nitrato (NO_3^-) e o íon amônio (NH_4^+) são particularmente importantes nos ecossistemas aquáticos, sendo a principal fonte de nitrogênio assimilável para os produtores primários (Esteves, 1998). A amônia (NH_3), resultante da decomposição da matéria orgânica, e o nitrato são encontrados em águas superficiais ou subterrâneas (Reis; Mendonça, 2009). O nitrato é considerado a forma mais estável e menos tóxica de nitrogênio oxidado (Camargo; Alonso, 2006), ocorrendo naturalmente em rios, lagos e águas costeiras a oceânicas.

Observa-se uma correlação entre a densidade populacional nas margens dos rios e a concentração de nitrato em suas águas em todo o mundo (Berner, C., Berner, R., 2012). A quantidade desse composto pode aumentar significativamente devido ao carreamento de fontes de nitrato para os rios e lagos, provenientes de fertilizantes, atividades agrícolas ou esgoto (Li *et al.*, 2023). O nitrito (NO_2^-) também está presente nas águas naturais, resultado da redução do nitrato ou da oxidação da amônia, representando um estado intermediário de oxidação no ciclo do nitrogênio (Zhang; Ward; Sigman, 2020).

O fósforo (P) é reconhecido como um macronutriente essencial devido à sua significativa participação nos processos metabólicos dos organismos vivos, incluindo o armazenamento de energia sob a forma de adenosina trifosfato (ATP) e a formação estrutural

das membranas celulares por meio dos fosfolipídios (Malhotra *et al.*, 2018). Sua importância para a produtividade dos ecossistemas é destacada pelo fato de ser frequentemente o nutriente limitante para produtores primários em sistemas aquáticos (Lampert; Sommer, 2007).

No entanto, em grandes quantidades, o fósforo pode se tornar uma força motriz para impactos ambientais, como o processo de eutrofização, que resulta no crescimento excessivo de macroalgas, fitoplâncton e zooplâncton, podendo resultar em sombreamento da coluna de água e condições de hipoxia e anoxia (Justić; Rabalais; Turner, 1995; Freire *et al.*, 2017).

O ciclo do fósforo é relativamente simples em comparação com o do nitrogênio. As principais formas são o fosfato (PO_4^{3-}), qual é assimilado pelas algas e bactérias; fósforo orgânico particulado e o fósforo orgânico dissolvido (Brezonik; Arnold, 2022). Além disso, o fósforo está presente como fosfito (PO_3^{3-}) uma forma menos instável derivada do ácido fosforoso (H_3PO_3), que possui maior solubilidade em água e é absorvida entre três a seis horas (McDonald; Grant; Plaxton, 2001).

A preocupação com os limites de concentração de fósforo na forma de fosfato em sistemas aquáticos é constante na preservação de lagos e rios, pois o fósforo pode ter origem em fontes naturais e artificiais (Tiessen, 2008). A liberação natural de fosfato ocorre através da degradação pelo intemperismo de minerais da rocha, enquanto as fontes artificiais incluem esgotos domésticos, áreas agrícolas (resultantes de fertilizantes), áreas urbanas, residenciais e industriais, principalmente provenientes de detergentes (Esteves, 1998; Silva *et al.*, 2012).

Em quantidades normais, nutrientes como nitrogênio e fósforo sustentam e limitam o crescimento de algas e plantas aquáticas, sendo essenciais para o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos (Smith, 2014). No entanto, o aumento das atividades humanas nas margens dos rios e áreas costeiras resulta na produção e consumo de mais nutrientes, incluindo nitrogênio e fósforo, gerando consequências negativas para a ecologia e habitats aquáticos (Rashid; Romshoo, 2013).

2.2 Impactos ambientais associados ao uso crescente de nutrientes

O aporte excessivo de nutrientes, conhecido como eutrofização, é considerado uma forçante ambiental que desencadeia impactos significativos, atuando de maneira sinérgica com outras pressões ambientais, como o balanço de gases do efeito estufa e a acidificação de sistemas aquáticos (Smith; Schindler, 2009).

Em ambientes eutrofizados, as cianobactérias geralmente predominam como grupo fitoplanctônico dominante, levando a mudanças na qualidade da água, como perda de qualidade cênica, morte extensiva de peixes e aumento de florações de microalgas e cianobactérias (Josué *et al.*, 2019). Essas florações podem resultar na produção de cianotoxinas prejudiciais aos ecossistemas, à vida aquática e à saúde humana (Vieira *et al.*, 2005). Além disso, a eutrofização pode causar alterações na cor, odor e turbidez da água (Le Bars *et al.*, 2010).

A elevação no custo do tratamento da água e preocupações com a saúde pública são consequências diretas do processo de floração de algas e bactérias, que podem desequilibrar o ambiente e levar à produção de toxinas (Wu; Feng; Gong, 2013). Doenças transmitidas pela água, decorrentes da contaminação dos recursos hídricos, representam desafios significativos para a saúde pública em países em desenvolvimento (e.g. Martinelli Filho *et al.*, 2016). A contaminação de recursos hídricos por rejeitos é um fator de risco adicional para a saúde humana, especialmente em regiões com infraestrutura inadequada de saneamento (Abdel-Raouf; Al-Homaidan; Ibraheem, 2012).

O aumento das atividades humanas em regiões adjacentes dos rios está diretamente ligado ao aumento da quantidade de nutrientes em corpos hídricos. Diversas fontes contribuem para esse aumento, incluindo emissões de efluentes não tratados, atividades de tratamento de águas residuais, lixiviação, uso de fertilizantes na agricultura e liberação de combustíveis fósseis (Boyer *et al.*, 2002).

2.3 Pressões antrópicas e impactos ambientais nos recursos hídricos da Amazônia

A Amazônia possui uma importância multifacetada que abrange aspectos socioeconômicos, ambientais e geopolíticos (Moreira *et al.*, 2003). É amplamente reconhecida por abrigar a maior floresta tropical do mundo, representando cerca de 40% de todas as florestas tropicais globais e sustentando aproximadamente 40% das espécies existentes na Terra (Hansen *et al.*, 2013). Além disso, a região amazônica é um importante local de endemismo, abrigando uma vasta diversidade de fauna e flora, o que a torna uma reserva genética de significância global (Oliveira; Garcia; Costa, 2011). Destaca-se ainda que a Amazônia é reconhecida pela sua alta biodiversidade e por ser responsável por cerca de 15% da água doce do planeta (Rocha; Silva; Loiola, 2015).

No que tange a rede hidrografia da Amazônia, de acordo com critérios da Rede Amazônica de Informação Socioambiental Georreferenciada – RAISG (2021), a Pan-Amazônia abrange aproximadamente 7,8 milhões de quilômetros quadrados, distribuídos entre nove nações, sendo o Brasil detentor de 64% dessa área. A bacia Amazônica, com cerca de 7 milhões de km², destaca-se como a maior bacia hidrográfica global (Sorribas *et al.*, 2020).

O sistema do rio Amazonas é a maior e mais complexa rede de canais fluviais do mundo. Reconhecido por sua biodiversidade excepcional e alta produtividade, o Amazonas abriga uma grande variedade de áreas úmidas que contribuem para o ecossistema. Além disso, desempenha um papel crucial no ciclo global da água, descarregando cerca de 16 a 18% do fluxo de água doce do planeta em seu estuário próximo ao Oceano Atlântico. Com quatro dos dez maiores rios do mundo e vinte dos 34 maiores rios tropicais como afluentes, o sistema do rio Amazonas é responsável pela transferência de sedimentos e solutos em grandes distâncias continentais. Sustenta também o maior cinturão contínuo de várzea do mundo, cobrindo uma vasta área de mais de 1.000.000 km² (Latrubesse *et al.*, 2017).

O estuário Amazônico, onde o rio Amazonas se encontra com o Oceano Atlântico, é caracterizado por uma interação única entre água doce e salgada. Neste ambiente, a água doce domina a ecologia, criando uma barreira contra a água salgada e influenciando a formação de diversos habitats, como florestas estuarinas e savanas alagáveis ao longo da costa. A presença de ilhas, como a Ilha de Marajó, e arquipélagos contribui para a diversidade e complexidade deste ecossistema. Além disso, a influência das marés sazonais é evidente, controlando os níveis de alagamento e afetando ecossistemas tanto rio acima quanto rio abaixo. Os manguezais próximos ao oceano, destacam-se como importantes ecossistemas adaptados à transição entre água doce e salgada, desempenhando um papel vital na proteção costeira e na sustentação da biodiversidade marinha e terrestre (Milliman; Boyle, 1975; Le Bars *et al.*, 2010).

A região Amazônica é estrategicamente importante para a hidroeletricidade, detendo cerca de 60% dos recursos a serem aproveitados no Brasil ANA (2021). A mineração emerge como o segundo uso potencial dos recursos hídricos, especialmente no estado do Pará, com um aumento expressivo na atividade ilegal nos últimos anos (Mapbiomas, 2022).

Apesar de ser uma região de ocupação mais recente em comparação com outras partes do Brasil, a Amazônia enfrenta desafios significativos devido a políticas de desenvolvimento desordenado. A política do “Integrar para não entregar”, promovida pelo governo federal, incentivou o crescimento populacional desenfreado na região, sem investimentos adequados

em saneamento e infraestrutura. Essa abordagem resultou em uma série de impactos socioambientais graves, incluindo desmatamento, fragmentação de florestas, poluição hídrica e atmosférica, grilagem de terras, mineração, agricultura intensiva e pecuária extensiva (Santos, 2017; Lapola *et al.*, 2023).

Os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2022), revelam um discreto crescimento na Amazônia Legal, com mais de 17 milhões de habitantes na Região Norte, mantendo-se como a segunda região menos populosa, após o Centro-Oeste. Entre 2010 e 2022, a região apresentou um aumento anual de 0,75% em sua população, resultado da intensificação da ocupação humana a partir da década de 1970, impulsionada pela exploração madeireira e pelo cultivo de pastagens para a criação de gado (Veríssimo; Pereira, 2020).

A região amazônica enfrenta pressões significativas de origem humana, especialmente no que diz respeito ao saneamento básico e à gestão de resíduos. Schmidt, (2021) destaca o esgoto sem tratamento como uma fonte primária de nutrientes despejados na Amazônia, ressaltando a importância do saneamento para mitigar esses impactos. No entanto, dados revelam uma redução nos investimentos em saneamento básico no Brasil ao longo do tempo, com uma diminuição considerável na parcela do PIB alocada para essa área. Segundo a Associação e Sindicato Nacional das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto - ABCON SINDON, a universalização do tratamento de água e esgoto no país só será alcançada em 2055.

A situação do tratamento e coleta de esgoto na Amazônia brasileira é particularmente preocupante, com índices consideravelmente inferiores em comparação com outras regiões do país. Conforme o Instituto Trata Brasil (2022), relata, apenas 14% da população na região Norte, onde está localizada a maior parte da bacia amazônica, tem acesso à rede de esgoto. Além disso, apenas 20,6% do esgoto coletado é devidamente tratado, uma porcentagem muito baixa considerando a extensa população de 17,4 milhões de pessoas distribuídas entre 450 municípios na região Norte (SNIS, 2022).

Os impactos ambientais se estendem para os corpos hídricos da região. A atividade mineradora, por exemplo, contribui para a sedimentação de reservatórios hidrelétricos e poluição por mercúrio, afetando a saúde pública (Vieira *et al.*, 2022). A agricultura, sobretudo o cultivo de soja, altera o ciclo do nitrogênio no solo e influencia na qualidade da água (Lyu *et al.*, 2023). Além disso, a urbanização desordenada traz consequências socioambientais

significativas, como o desmatamento e a poluição, especialmente em cidades como Belém, Manaus, Santarém, Porto Velho e Rio Branco (Pokorny *et al.*, 2021).

As atividades econômicas na Amazônia, como mineração e agricultura, estão diretamente relacionadas à contaminação dos recursos hídricos da região. O uso de agrotóxicos, por exemplo, contribui para a poluição dos rios e lençóis freáticos, afetando a qualidade da água e prejudicando a fauna e flora aquáticas. Da mesma forma, os resíduos da mineração, como mercúrio e outros metais pesados, contaminam os corpos d'água, tornando-os impróprios para consumo humano e prejudicando os ecossistemas aquáticos (Jose, 2023). A agricultura intensiva, especialmente o cultivo de soja, tem sido associada à contaminação dos recursos hídricos devido ao uso excessivo de fertilizantes e agrotóxicos (Oliveira; Fenzl, 2021).

O desmatamento também é uma questão crítica na Amazônia, conforme dados do MapBiomas (2022), que revelam uma redução de 12% em sua extensão florestal entre 1985 e 2021, resultando em uma perda líquida de 44 milhões de hectares, equivalente a dez vezes a área do estado do Rio de Janeiro. Esse processo acarreta consequências diretas nos corpos d'água, como a erosão do solo, o assoreamento de rios e a alteração dos ciclos hidrológicos (Ruiz-Vásquez *et al.*, 2020).

A ocupação agrária e industrial, aliada à falta de infraestrutura, intensifica os problemas sociais e ambientais na região, evidenciando a necessidade urgente de políticas de planejamento urbano e ambiental. A falta de infraestrutura adequada e políticas de planejamento urbano insuficientes exacerbam os desafios socioambientais na região (Nahum, 2012).

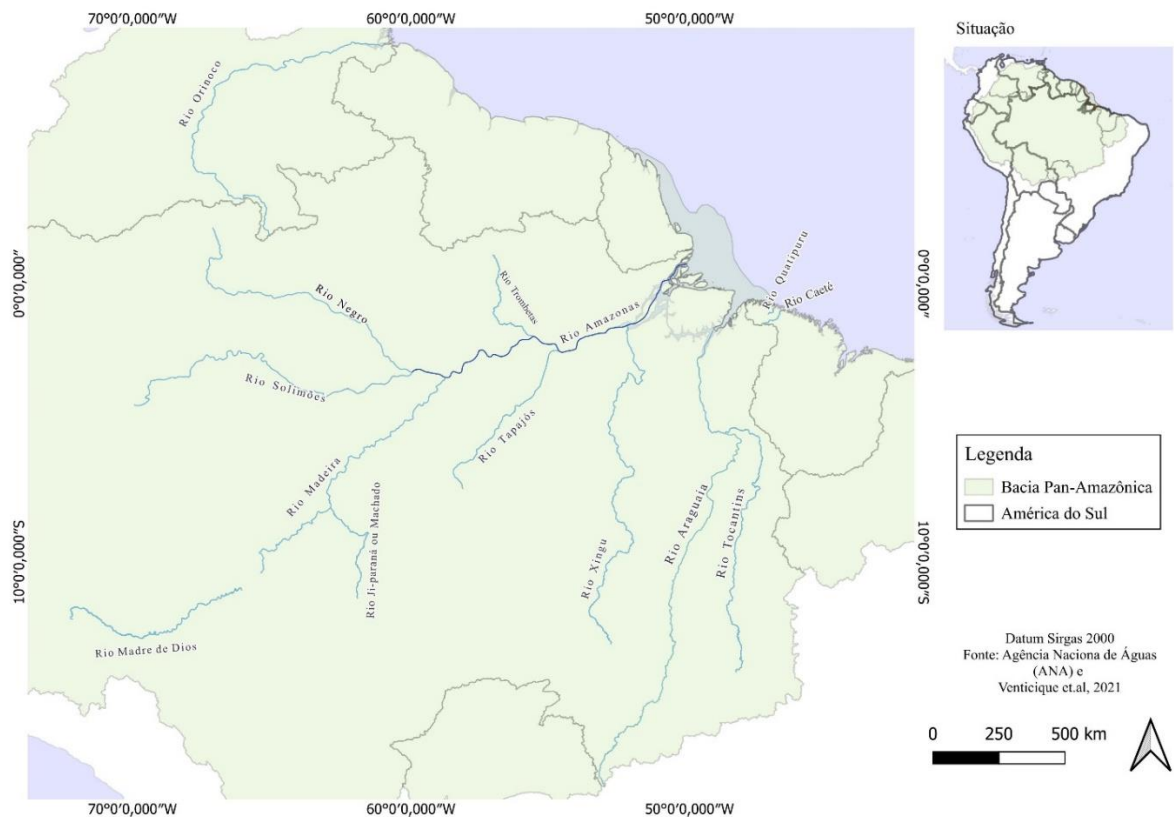
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

As bacias da Pan- Amazônia cobrem uma área de aproximadamente 7 milhões de km² e abrangem oito países: Bolívia, Peru, Equador, Colômbia, Venezuela, Guiana, Suriname e Brasil, além da Guiana Francesa (Venticinque *et al.*, 2016; Moraes *et al.*, 2021). O rio Amazonas, elemento central da bacia Amazônica, é caracterizado por vastas planícies de inundação, que podem alcançar até 100.000 km² em períodos de cheia. Originando-se nos Andes peruanos, o rio Amazonas percorre uma extensão que varia entre 6.400 e 6.800 km e recebendo contribuições de aproximadamente 1.100 tributários (Santos *et al.*, 2015).

Para este estudo, foram consideradas as principais sub-bacias hidrográficas que compõem a Pan-Amazônia, abrangendo os rios Amazonas, Solimões, Negro, Madeira, Caeté, Quatipuru, Orinoco, Xingu, Madre de dios, Tapajós, Ji-Paraná, Trombetas, Araguaia e Tocantins. As três bacias consideradas foram: Amazonas, Tocantins-Araguaia e Atlântico Nordeste Ocidental (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo



Fonte: ANA (2013) e (Venticinque *et al.*, 2021).

3.2 Revisão sistemática de estudos

Para esse estudo foi conduzida uma revisão bibliográfica, considerando exclusivamente a literatura científica disponível em artigos científicos, livros e capítulos de livro com editoriais reconhecidos, conhecida como literatura branca, e acessada nos bancos de dados "Web of Science (WoS)" e "Scopus". Os dados relativos à concentração, distribuição e variabilidade dos macronutrientes nitrogênio e fósforo foram coletados e sintetizados para as bacias hidrográficas da Amazônia.

Para a condução deste estudo, adotou-se a metodologia Proknow-C (Knowledge Development Process – Construtivist) proposta por Lacerda (2012), a qual descreve um processo para a seleção de referências bibliográficas por meio de técnicas bibliométricas. Essa abordagem envolve a análise de artigos e suas referências, autores e periódicos relevantes. O método ProKnow-C inicia-se com a delimitação do tema de pesquisa e considera as restrições intrínsecas ao contexto acadêmico, visando a construção do conhecimento do pesquisador para embasar a investigação científica (Lacerda; Ensslin L.; Ensslin S., 2012).

A metodologia fundamenta-se na seleção inicial de palavras-chave, que resultam em um banco de artigos brutos, passando por etapas sucessivas de filtragem: avaliação da aderência das palavras-chave, alinhamento com o título, alinhamento com o resumo e, por fim, alinhamento com o texto completo (Lacerda; Ensslin L.; Ensslin S., 2012; Vieira *et al.*, 2019).

3.3 Análise de dados

3.3.1 Processo de pesquisa em bancos de dados e bibliometria

Para este estudo optou-se por utilizar como ferramentas de busca o "Scopus" e o "Web of Science", reconhecidos por sua qualidade e amplitude na cobertura de fontes de literatura branca, excluindo automaticamente formatos considerados como literatura cinza, como trabalhos de conclusão de curso, dissertações, resumos de eventos científicos, entre outros. Foram incluídos na análise artigos científicos, livros, capítulos de livros, resenhas e artigos em congressos internacionais com corpo editorial reconhecido, publicados no período compreendido entre os anos de 1972 e 2022. O processo de busca e seleção seguiu três fases distintas: identificação, triagem e elegibilidade, e análise final (Tabela 1) (adaptado de Rossignolo *et al.*, 2022).

Tabela 1- As três etapas da estratégia de revisão sistemática.

| Identificação | | | | |
|----------------------------------|-----------------------|---------------|-----------------------------------|---------------------------|
| PESQUISA | Web of Science | Scopus | Resultado Duplicados | Dados Consolidados |
| Título, Palavras-chave e Resumos | 1.586 | 787 | 1.493 | 890 |
| Triagem e Elegibilidade | | | | |
| TRIAGEM | Excluídos | | Selecionados para Análise | |
| Título, Palavras-chave e Resumos | 767 | | 123 | |
| Análise Final | | | | |
| SELEÇÃO | Excluídos | | Títulos Final selecionados | |
| Processo de Leitura Completa | 83 | | 40 | |

Fonte: Elaborado pelo autor

Para definir as palavras-chave, adotou-se uma abordagem composta por três níveis de filtro: o primeiro destinado aos nutrientes, o segundo relacionado à quantidade/unidade de medida e o terceiro à área de estudo (Tabela 2). As palavras-chave foram escolhidas de forma específica para cada um desses níveis: para os nutrientes, restringiram-se ao nitrogênio e fósforo, incluindo suas formas orgânicas mais comuns na água (nitrito, nitrato, amônia, fosfato, fosfito); para a quantidade, selecionou-se indexadores que relacionam os nutrientes às suas presenças e concentrações em corpos hídricos; e para a área de estudo, considerou-se os principais sub-bacias hidrográficas da Pan Amazônia (rios Tocantins-Araguaia, Amazonas e Orinoco, excluindo-se os afluentes menores) e águas costeiras adjacentes.

Tabela 2 - Combinações de palavras-chave em três níveis de indexadores (filtros).

| Primeiro: nutriente | Segundo: quantidade | Terceiro: área de estudo | |
|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------|
| Nitrogen | Concentration | Abunã river | Javari river |
| Ammonium | Amount | Acará river | Juruá river |
| Nitrate | Flux | Acre river | Madeira river |
| Nitrite | Estimate | Amapari river | Mamoré river |
| Phosphorus | Flow | Amazon river | Moju river |

| Primeiro: nutriente | Segundo: quantidade | Terceiro: área de estudo | |
|--------------------------------|--------------------------------|---|---|
| Phosphate Phosphite | | Amazon river Basin Amazonas river Anajás river Araguaia river Araguari river Aripuanã river Branco river Brazilian Amazon Capim river Coari river Envira river Guamá river Guaporé river Iaco river Içá river Iriri river Itacuaí river Japurá river | Negro river Nhamundá river Oiapoque river Orinoco river Paru river Purus river Solimões river Tapajós river Tarauacá river Tefé river Tocantins river Tocantins-Araguaia river Trombetas river Uatumã river Uaupés river Uraricoera river Urucu river |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota: Nomenclaturas em língua estrangeira (inglês Americano) foram utilizadas.

Na etapa de Identificação, foram aplicados três filtros, utilizando as ferramentas disponibilizadas pela base de dados (Web of Science e Scopus). Na primeira fase, denominada Identificação, foram selecionados os critérios de busca, tais como palavras-chave, plataformas de busca, período de busca e área de estudo. Utilizou-se o operador booleano AND para conectar o primeiro filtro aos seguintes, por exemplo, "Nitrogênio AND fluxo AND 'Rio Xingu'", empregando plataformas de busca como Web of Science e Scopus. Adicionalmente, foram aplicados passos adicionais para reduzir duplicações e maximizar a recuperação das publicações desejadas, incluindo o uso de aspas.

- **Filtro 1 - Nutrientes:** Nesta etapa, foram buscadas palavras-chave com foco em macronutrientes, em específico Nitrogênio (N) e Fósforo (P), e suas formas orgânicas mais comuns encontradas nos recursos hídricos. Foram utilizados os campos de busca como títulos, palavras-chave e resumos nas ferramentas Web of Science e Scopus. Inicialmente, foram utilizados os elementos químicos N e P, seguidos pelas formas

orgânicas mais comuns do N e P encontradas na água (amônia, nitrito, nitrato, fosfato e fosfito).

- **Filtro 2 - Quantidade:** Esta etapa visou estabelecer uma relação entre a primeira palavra-chave (filtro 1) relacionada aos nutrientes selecionados e a presença e quantidade desses nutrientes nos corpos hídricos. Utilizou-se o operador "and" para conectar a segunda palavra-chave, selecionada com base em suas variações e sinônimos, garantindo assim a obtenção de resultados relacionados às concentrações de nutrientes nos recursos hídricos.
- **Filtro 3 - Área de Estudo:** Neste nível, foi estabelecida uma relação entre o primeiro e o segundo filtro, utilizando novamente o operador "and", visando encontrar os nutrientes selecionados em concentrações nos corpos hídricos da região da Pan-Amazônica (sub-bacias hidrográficas e principais rios). Para garantir a precisão dos resultados, as aspas foram utilizadas a fim de evitar sinônimos ou variações, assegurando assim a compatibilidade dos resultados na busca da área de estudo selecionada.

Após a aplicação dos filtros, foram identificadas 1.645 combinações de palavras-chave que foram pesquisadas tanto no Web of Science quanto no Scopus, resultando em um total de 3.290 pesquisas realizadas. A busca das palavras-chave retornou um total de 2.383 publicações, sendo 1.683 publicações relacionadas ao nitrogênio e 698 ao fósforo, as quais foram compiladas em uma planilha para formar um conjunto único de dados.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados dos documentos na base de dados após a aplicação de cada etapa de filtragem mencionada na Tabela 1. Após o levantamento de dados, os documentos foram agrupados e aqueles que apresentavam duplicatas foram excluídos, resultando em uma base consolidada de 890 registros.

Durante a segunda etapa de triagem e elegibilidade, os registros inicialmente selecionados foram minuciosamente avaliados para garantir sua aderência ao escopo da revisão. Nesse estágio, procedeu-se à análise dos títulos, resumos, introduções, conclusões e referências de cada publicação, resultando na escolha de 123 estudos pertinentes. Foi necessário um criterioso filtro para eliminar 767 referências que não estavam diretamente relacionadas à concentração de nutrientes nas águas da bacia amazônica. Muitas dessas bibliografias abordavam análises de nutrientes em outras bacias hidrográficas ou em amostras de solo e plantas, não se enquadrando no contexto do estudo em questão.

Na etapa final da estratégia de pesquisa, os 123 artigos remanescentes foram submetidos a uma análise detalhada por meio de um rigoroso processo de leitura, com o intuito de identificar aqueles que estivessem alinhados com o escopo do estudo. Durante essa fase, 83 trabalhos foram excluídos por não atenderem aos critérios estabelecidos, resultando em uma amostra final de 40 estudos que abordavam a presença de nutrientes (N e P) na bacia amazônica.

Os 40 artigos restantes foram submetidos a uma análise minuciosa por meio de um processo de leitura completa dos artigos, com o objetivo de identificar aqueles que estivessem mais alinhados ao escopo da pesquisa. Durante esse procedimento, os dados referentes à distribuição e concentração dos nutrientes foram extraídos. Esses 40 registros, cuidadosamente selecionados, foram exportados e salvos em formato valores separados por vírgulas (CSV) para facilitar a geração, mapeamento e visualização científica dos resultados por meio do software VOSviewer (versão 1.6.18),

Na construção de tabelas e mapas o programa VOSviewer foi empregado para visualização dos resultados da análise bibliográfica. Para o mapeamento dos dados foram analisados a dinâmica de palavras-chave, autores, publicações, citações e países,

No processo de análise das palavras-chave, foi utilizado o VOSviewer para examinar as co-ocorrências de todas as palavras-chave do portfólio selecionado na pesquisa. Foram examinadas 399 palavras-chave dos artigos, e aquelas que ocorreram no mínimo 3 vezes foram consideradas para análise. As 30 palavras-chave mais citadas foram então representadas em um mapa formado por todas as palavras dos documentos importados, incluindo títulos e resumos.

Para aprimorar a qualidade da análise, foram aplicados filtros a todas as palavras-chave presentes nos documentos selecionados. Nesse processo, foi realizada a sincronização de termos no singular e no plural, evitando redundâncias. Além disso, termos semelhantes foram agrupados sob uma única palavra-chave. Por exemplo, os termos "nitrogênio dissolvido," "nitrogênio orgânico," e "nitrogênio orgânico particulado" foram consolidados exclusivamente sob o termo "nitrogênio". Para manter a consistência e o foco da análise proposta, foram excluídas as palavras relacionadas a outros componentes químicos que não estavam diretamente associados à concentração de nutrientes nos corpos hídricos dos rios da região amazônica.

Além disso, para representar os autores no VOSviewer, buscou-se identificar as redes de coautoria entre autores relacionados ao tema da pesquisa. Analisou-se um total de 244 autores, os quais foram citados em um número mínimo de 2 documentos. Os dados foram apresentados em uma tabela contendo os 12 autores com os maiores números de citações.

Para analisar os artigos mais citados, utilizou-se a metodologia de cocitações, examinando as referências citadas nos 40 artigos selecionados. Encontrou-se um total de 2.656 referências citadas e, com base nisso, solicitou-se que o VOSviewer analisasse as referências citadas em no mínimo 6 documentos. Focou-se então nos 10 trabalhos mais citados por autores.

Adicionalmente, realizou-se a análise de coautoria por países, examinando todas as colaborações entre diferentes países. Identificaram-se os países que mais frequentemente publicaram artigos em conjunto, analisando 13 países com maior conexão. Esta análise permitiu entender as relações entre os autores de diferentes países, revelando, por exemplo, os países com os quais o Brasil mais colabora em artigos científicos. Isso demonstra a presença de autores brasileiros e estrangeiros trabalhando juntos em diversos artigos.

4 RESULTADOS

Após a descrição detalhada dos métodos utilizados neste estudo, foram analisados 40 artigos selecionados para o portfólio final. Na Tabela 3 apresenta os resultados dos dados coletados nas plataformas Scopus e Web of Science. Os resultados mostram que o nitrogênio teve o maior número de registros totais, seguido pelo fósforo e fosfato, que apresentaram um número considerável de estudos. Em contraste, o nitrito e o amônio tiveram números significativamente menores de registros em ambas as bases. Quanto ao fosfito, não foi encontrado nenhum registro.

Tabela 3 - Sequências de filtros e resultado da revisão sistemática

| Palavras-chave | | |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|
| Filtro 1 | Filtro 2 | Filtro 3 |
| Nutrient | Amount | Region |
| Resultado de buscas | | |
| Campo de busca | WoS | Scopus |
| Nitrogen AND Amount AND "Region" | 838 | 340 |
| Ammonium AND Amount AND "Region" | 102 | 50 |
| Nitrate AND Amount AND "Region" | 163 | 120 |
| Nitrite AND Amount AND "Region" | 37 | 35 |
| Phosphorus AND Amount AND "Region" | 335 | 174 |
| Phosphate AND Amount AND "Region" | 111 | 78 |
| Phosphite AND Amount AND "Region" | 0 | 0 |
| Base consolidada | | |
| Total de registro WoS e Scopus | 2.383 | |
| Duplicatas removidas | 1.493 | |
| Total de registros consolidados | 890 | |

Fonte: Elaborado pelo autor

Nota: Nomenclaturas em língua estrangeira (inglês Americano) foram utilizadas.

Na análise dos 40 artigos, foram identificados um total de 37 tipos diferentes de periódicos de publicação do portfólio, com destaque para o "Biogeochemistry" (10 vezes) e o

"Hydrobiologia" (cinco vezes) como os mais comuns, seguidos pelo "Limnology and Oceanography" e "Global Biogeochemical Cycles" (ambos com quatro). O período de publicação dos artigos selecionados compreendeu os anos de 1972 a 2022, abrangendo os anos de realização dos estudos de 1967 a 2016. A quantidade total de autores envolvidos nos estudos foi de 202.

Quanto aos locais de coleta de dados, foram identificados três países distintos: Brasil, Venezuela e Peru. O Brasil se destacou como o país com o maior número de dados coletados, totalizando 35 ocorrências, seguido pela Venezuela com seis ocorrências e pelo Peru com uma ocorrência. No Brasil, os estados mais frequentes nas coletas foram o Amazonas, com 20 ocorrências, e o Pará, com 11 ocorrências. As amostras analisadas foram coletadas em uma variedade de ambientes, incluindo rios, riachos, lagos, estuários e barragens. A maioria das amostras foi coletada no tronco principal do rio Amazonas, presente em 11 artigos publicados, seguido pelos rios Negro, Solimões e Orinoco, cada um com sete estudos. Foi possível identificar uma escassez de dados nas áreas dos rios Tapajós, Ji-Paraná, Trombetas, Araguaia, Madre de Dios, Tocantins, Madeira e Xingu, indicando uma ausência de informações sobre a concentração de nutrientes na cobertura amostral dos dados coletados.

4.1 Análise de palavras-chave

Na Tabela 4 são apresentadas as 30 palavras-chave mais citadas da análise realizada no software VOSviewer, destacando-se termos como "water" (16 ocorrências), "Amazon" (12 ocorrências) "nitrogen" (nove ocorrências) além de "phosphate", "nitrate" e "phosphorus" indicando uma relação significativa da água da Amazônia relacionada aos estudos de nutrientes da região.

A análise destaca, ainda, um interesse considerável na qualidade da água e nos nutrientes influenciando os ecossistemas aquáticos, evidenciado por "water quality" (oito ocorrências) e "nutrients" (oito ocorrências) indicam um interesse de estudo da qualidade da água e dos nutrientes que influenciam os ecossistemas aquáticos. Termos como "deforestation" (cinco ocorrências) e "land use" (cinco ocorrências) apontam para o interesse em entender ou relacionar os impactos das atividades humanas, como o desmatamento e o uso da terra, na região amazônica.

Tabela 4 - Ocorrência de palavras-chave recuperadas dos 40 artigos selecionados.

| Palavra-chave | Ocorrências | Palavra-chave | Ocorrências |
|---------------|-------------|----------------|-------------|
| water | 16 | land use | 5 |
| amazon | 12 | management | 5 |
| amazon river | 10 | nitrate | 5 |
| nitrogen | 9 | phosphorus | 5 |
| nutrients | 8 | pollution | 5 |
| water quality | 8 | stream | 5 |
| basin | 6 | Brazil | 4 |
| forest | 6 | lake | 4 |
| phosphate | 6 | reservoir | 4 |
| river | 6 | transport | 4 |
| sediment | 6 | watersheds | 4 |
| chemical | 5 | ecosystem | 3 |
| chemistry | 5 | eutrophication | 3 |
| deforestation | 5 | flux | 3 |
| geochemistry | 5 | variability | 3 |

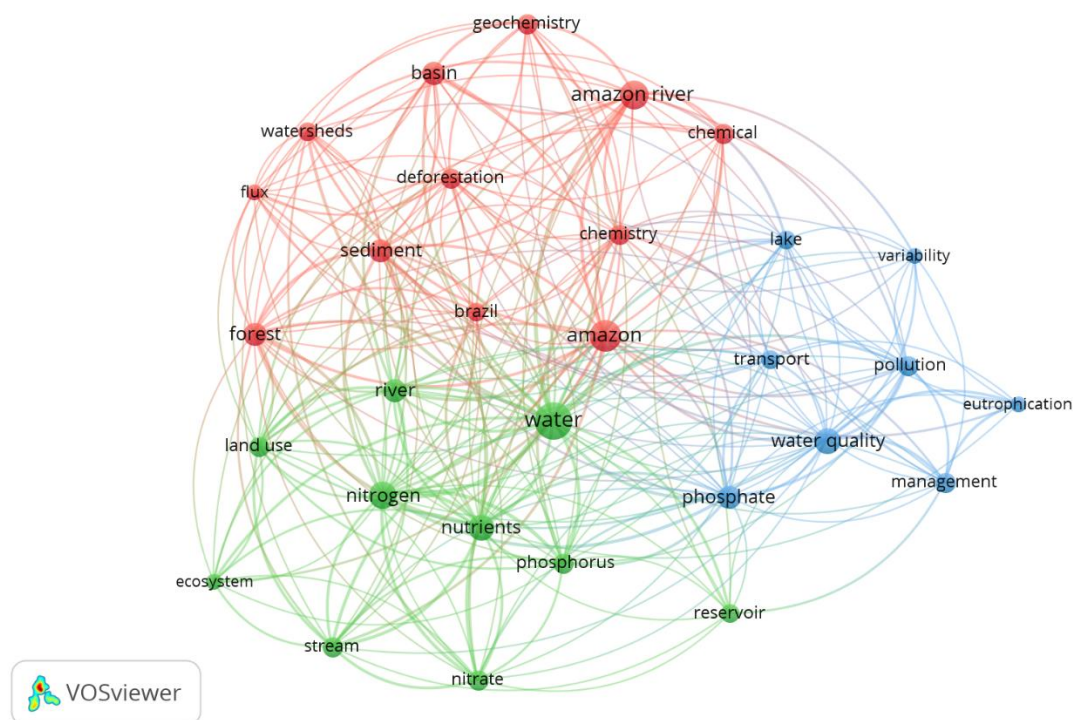
Fonte Elaborado pelo autor no software VOSviewer.

Os termos “sediments” (seis ocorrências) “chemistry” e “geochemistry” (ambos com cinco ocorrências), indicam um foco em processos geoquímicos e sedimentares nos ecossistemas aquáticos. Além disso, palavras como “transport” (quatro ocorrências), “flux” e “variability” (ambos com três ocorrências) sugerem um interesse em entender a variabilidade climática e a dinâmica hidrológica nas áreas estudadas. Os termos “river”, “basin” (ambos com seis ocorrências) “streams” (cinco ocorrências) “lake” e “reservoir” (ambos com quatro ocorrências), juntamente com “Amazon river” (10 ocorrências) e “Brazil” (quatro ocorrências) destacam-se como os locais mais frequentemente abordados nos estudos analisados. Essas repetidas menções sugerem uma significativa concentração de pesquisa nesses ambientes específicos, indicando sua importância e relevância para o campo de estudo em questão.

Na Figura 2, são ilustradas as 30 palavras-chave mais recorrentes que foram utilizadas para elaborar o mapa, que exibe a rede de ocorrências das palavras-chave com aglomerados formados com base na conectividade entre os termos. Na figura, é possível identificar a presença de grupos distintos, destacados por cores diferentes. O mapa revela a formação de três agrupamentos de nós. O maior deles, representado em vermelho e composto por 12 palavras-chave, além de incluir os termos mais fortes, como “amazon” e “amazon river” abrange também outras palavras relacionadas à geomorfologia fluvial e aos processos sedimentares, como

“basin”, “geochemistry” e “sediment”, além de associar-se ao uso da terra, como “deforestation” e “forest”. O segundo nó, identificado pela cor verde e formado por 10 palavras-chave, mostra termos associados à relação da água com os nutrientes, como “water”, “nitrogen”, “phosphate”, “nitrate” e “phosphorus”. Já o terceiro nó, que possui oito palavras-chave, contém termos associados à gestão ambiental e aos impactos ambientais aquáticos, como “management” e “eutrophication” e “pollution”.

Figura 2 - Rede de ocorrências de palavras-chave, gerada pelo software VOSviewer.



Fonte: Elaborado pelo autor no software VOSviewer.

Nota: O tamanho de cada nó varia conforme a frequência do termo, enquanto sua posição é determinada pela co-ocorrência nas publicações analisadas. As cores representam padrões de relações, e o tamanho do círculo reflete a quantidade de vezes que uma determinada palavra-chave aparece.

4.2 Análises de autores

Na Tabela 5, são destacados os autores que mais contribuíram para o estudo em questão. Richey, J. E. e Lewis Jr., W., registraram a maior quantidade de citações entre os documentos publicados, com Richey, J. E. acumulando um total de 367 citações. Lewis, Jr., W., Pimentel,

T. e Victoria, R. L. também apresentam números consideráveis, variando entre 208 e 164 citações. A maioria dos pesquisadores (41,67%) teve contribuição de apenas dois documentos, com o número de citações variando de 100 a 12.

Tabela 5 - Ocorrência de autores com maiores números de citações dos 40 artigos selecionados.

| Autores | Documentos | citações |
|---------------------|------------|----------|
| Richey, J. E. | 5 | 305 |
| Lewis, Jr., W. | 3 | 208 |
| Pimentel, T. | 3 | 182 |
| Victoria, R. L. | 4 | 164 |
| Ballester, M. V. R. | 3 | 121 |
| Krusche, A. V. | 3 | 121 |
| McClain, M. | 2 | 109 |
| Forsberg, B. R. | 2 | 77 |
| Hauser-Davis, R. A. | 3 | 29 |
| De Oliveira, T. F. | 2 | 18 |
| Lobato, T. | 2 | 18 |
| Saraiva, A. C. F. | 2 | 12 |

Fonte: Fonte Elaborado pelo autor no software VOSviewer.

4.3 Análise de citações indexadas

Na Tabela 6 oferece uma compilação dos artigos mais citados no contexto dos estudos sobre nutrientes (nitrogênio e fósforo) nos rios da bacia amazônica, incluindo informações sobre os autores e o ano de publicação. O trabalho de Meybeck (1982) foi o mais citado entre os documentos publicados.

Tabela 6 - Os dez artigos com maior número de citações sobre a concentração de nutrientes na bacia Amazônica.

| Autores | Título | Ano de Publicação | Citações |
|----------------|--|-------------------|----------|
| Meybeck (1982) | Carbon, Nitrogen, and Phosphorus Transport by World Rivers | 1982 | 1631 |
| Gibbs (1972) | Water chemistry of the Amazon River | 1972 | 231 |

| Autores | Título | Ano de Publicação | Citações |
|------------------|--|-------------------|----------|
| Dellinger (2015) | Riverine Li isotope fractionation in the Amazon River basin controlled by the weathering regimes | 2015 | 178 |
| Lewis Jr. (1989) | Concentration and transport of dissolved and suspended substances in the Orinoco River | 1989 | 114 |
| Dittmar (2001) | Do mangroves rather than rivers provide nutrients to coastal environments south of the Amazon River? Evidence from long-term flux measurements | 2001 | 100 |
| Wissmar (1981) | Plankton Metabolism and Carbon Processes in the Amazon River, Its Tributaries, and Floodplain Waters, Peru-Brazil | 1981 | 86 |
| Biggs (2004) | Natural controls and human impacts on stream nutrient concentrations in a deforested region of the Brazilian Amazon basin | 2004 | 80 |
| Mcclain (1994) | Groundwater nitrogen dynamics at the terrestrial-lotic interface of a small catchment in the Central Amazon basin | 1994 | 74 |
| Devol (1995) | Seasonal variation in chemical distributions in the Amazon (Solimões) River: A multiyear time series | 1995 | 73 |
| Chase (1980) | Phosphorus in suspended sediments of the Amazon River | 1980 | 61 |
| Ballester (2003) | A remote sensing GIS-based physical template to understand the biogeochemistry of the Ji-Paraná river basin (Western Amazônia) | 2003) | 53 |

Fonte Elaborado pelo autor no software VOSviewer.

Nota: Nomenclaturas em língua estrangeira (inglês) foram utilizadas.

4.4 Análise dos artigos por países

Na Tabela 7 é apresentada uma visão detalhada dos países que produziram pesquisas na área, juntamente com o número de documentos desenvolvidos e suas respectivas contagens de citações. O Brasil se destaca com 22 publicações e 640 citações, destacando sua presença expressiva e reconhecimento substancial na comunidade acadêmica internacional. Os Estados Unidos também figuram proeminentemente, contribuindo com 12 documentos e 560 citações, o que indica uma participação significativa no cenário de pesquisa sobre estudos de nutrientes na bacia amazônica.

Além desses dois países, outros como Áustria, França, Alemanha, Portugal, Colômbia, Suíça, Venezuela e Espanha também demonstram um engajamento notável nesse campo, enriquecendo o panorama global de estudos e contribuindo com suas pesquisas. Esses resultados refletem uma diversidade de contribuições e reflexões provenientes de diferentes nações, evidenciando o crescente interesse internacional na investigação dos nutrientes na bacia amazônica.

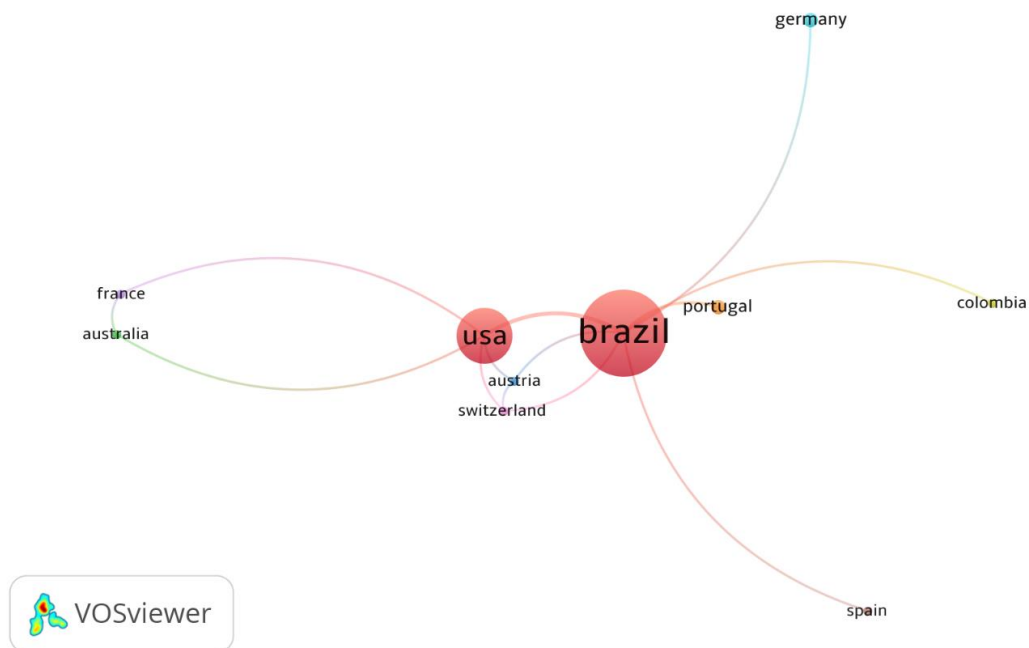
Tabela 7 - Países com número de documentos e de citações nos estudos de nutrientes na bacia Amazônica.

| Países | Documentos | Citações |
|----------------|------------|----------|
| Brasil | 22 | 640 |
| Estados Unidos | 12 | 560 |
| Austrália | 1 | 178 |
| França | 1 | 178 |
| Alemanha | 2 | 104 |
| Portugal | 2 | 53 |
| Colômbia | 1 | 43 |
| Áustria | 1 | 15 |
| Suíça | 1 | 15 |
| Venezuela | 2 | 15 |
| Espanha | 1 | 5 |

Fonte Elaborado pelo autor no software VOSviewer.

Na Figura 3 proporciona uma visualização clara das parcerias estabelecidas, ressaltando a participação do Brasil como coautor em estudos sobre nutrientes na Bacia Amazônica. Os nós de ligação revelam as interações entre as nações, oferecendo uma perspectiva gráfica sobre as relações colaborativas presentes nos documentos analisados.

Figura 3 - Rede de ocorrências de países, gerada pelo software VOSviewer.



Fonte Elaborado pelo autor no software VOSviewer.

Nota: Nomenclaturas em língua estrangeira (inglês) foram utilizadas.

4.5 Análise de estudos sobre nitrogênio e fósforo

A maioria dos trabalhos examinou amostras de água, o que representa 44 dos 51 estudos (86%). Por outro lado, as amostras de sedimentos totalizaram 6 ocorrências, equivalente a 12%. Apenas um artigo apresentou resultados para água e sedimento, representando 2% do total de estudos analisados. Esses dados fornecem uma visão abrangente sobre as preferências de amostragem e as matrizes exploradas nos estudos de nutrientes na bacia amazônica.

4.6 Sistemas aquáticos e classificação de água

Na análise em amostras de água do rio, destaca-se uma ampla diversidade de locais de coleta, abrangendo rios principais e diferentes categorias de sistemas aquáticos, como lóticos (rios, riachos e córregos) e lênticos (lagos, lagoas e reservatórios). Além disso, são observados distintos tipos de água, incluindo águas brancas, negras e claras.

A análise do resultado da distribuição dos estudos mostra dois tipos de sistemas aquáticos: lântico (águas paradas) e lótico (águas em movimento). Nota-se que a maioria das observações, cerca de 76%, está associada aos sistemas lóticos, enquanto os sistemas lânticos representam aproximadamente 24% dos artigos analisados.

Ademais, observou-se a distribuição das classificações de água. A quantidade de análises realizadas em rios de água branca representa cerca de 82% das observações, enquanto na categoria de água preta representam aproximadamente 15%, e as águas claras compreendem aproximadamente 3% dos estudos. Essa diversidade de locais de coleta e classificação de água proporciona uma visão abrangente da distribuição de nutrientes em diferentes tipos de sistemas aquáticos na região analisada.

4.7 Variação na concentração de nutrientes em rios na Amazônia


Os resultados revelaram a variação nos valores de nitrato, nitrito, amônio e fosfato nas águas de 14 rios distintos da bacia amazônica: Amazonas, Negro, Solimões, Madeira, Caeté, Quatipuru, Orinoco, Xingu, Madre de Dios, Tapajós, Ji-Paraná, Trombetas, Araguaia e Tocantins.

Ao detalhar os valores de nitrato, observa-se que foram analisados valores para 13 rios da bacia Amazônica: Solimões, Orinoco, Negro, Caeté, Tocantins, Madre de Dios, Amazonas, Tapajós, Ji-Paraná, Xingu, Quatipuru, Madeira e Trombetas. Os resultados indicam que rios como o Madeira, com um Coeficiente de Variação (CV) de 147,3%, o Negro com CV de 116,9% e o Amazonas com CV de 107,93% apresentam alta variabilidade, indicando flutuações significativas nas concentrações de nitrato. Por outro lado, rios como o Caeté, com CV de 23,84%, Madre de Dios, com CV de 50,5% e Orinoco, com CV de 56,22%, apresentam uma variabilidade relativamente baixa de nitrato (Tabela 8).

Tabela 8 - Concentrações de nitrato em 13 rios da Amazônia.

NITRATO

| Rio | Máximo (mg/l) | Mínimo (mg/l) | Média (mg/l) | Desvio Padrão (mg/l) | Coefficiente de Variação (CV) (%) |
|-------------------|---------------|---------------|--------------|----------------------|-----------------------------------|
| Rio Solimões | 1.89 | 0.05 | 0.71 | 0.62 | 87.72 |
| Rio Orinoco | 0.27 | 0.07 | 0.13 | 0.07 | 56.22 |
| Rio Negro | 0.98 | 0.01 | 0.31 | 0.36 | 116.90 |
| Rio Caeté | 0.97 | 0.69 | 0.83 | 0.20 | 23.84 |
| Rio Tocantins | 37.69 | 1.25 | 20.28 | 15.54 | 76.61 |
| Rio Madre de Dios | 0.19 | 0.09 | 0.14 | 0.07 | 50.50 |
| Rio Amazonas | 1.36 | 0.01 | 0.40 | 0.43 | 107.93 |
| Rio Tapajós | 0.60 | 0.09 | 0.27 | 0.27 | 102.36 |
| Rio Ji-Paraná | 0.38 | 0.38 | 0.38 | N/A | N/A |
| Rio Xingu | 0.99 | 0.17 | 0.58 | 0.58 | 100.24 |
| Rio Quatipuru | 0.50 | 0.50 | 0.50 | N/A | N/A |
| Rio Madeira | 3.82 | 0.25 | 0.97 | 1.43 | 147.30 |
| Rio Trombetas | 0.20 | 0.20 | 0.20 | N/A | N/A |



Fonte Elaborado pelo autor.

Nota1: N/A indica que o desvio padrão e o coeficiente de variação não puderam ser calculados devido à falta de dados (apenas um valor para os rios).

Com relação às concentrações de nitrito, foram encontrados valores para sete rios da bacia Amazônica, incluindo os rios Caeté, Orinoco, Amazonas, Quatipuru, Solimões, Negro e Madeira. O rio Amazonas apresenta o maior Coeficiente de Variação (CV), com um valor de 170,62%, indicando alta variabilidade em relação à média dos valores de nitrito nesse rio. Por outro lado, o rio Negro apresentou o menor coeficiente de variação, com um valor de 93,55%, indicando uma variabilidade relativamente menor em relação à média dos valores de nitrito. Já os rios Orinoco, Quatipuru e Solimões não apresentaram variação nos valores de nitrito (Tabela 9).

Tabela 9 - Concentrações de nitrito em sete rios da Amazônia.

NITRITO

| Rio | Máximo (mg/l) | Mínimo (mg/l) | Média (mg/l) | Desvio Padrão (mg/l) | Coefficiente de Variação (CV) (%) |
|----------------------|---------------|---------------|--------------|----------------------|-----------------------------------|
| Rio Caeté | 0.69 | 0.040 | 0.37 | 0.46 | 126.03 |
| Rio Orinoco | 0.01 | 0.010 | 0.01 | N/A | N/A |
| Rio Amazonas | 0.15 | 0.001 | 0.05 | 0.09 | 170.62 |
| Rio Quatipuru | 0.37 | 0.370 | 0.37 | N/A | N/A |
| Rio Solimões | 0.001 | 0.001 | 0.001 | N/A | N/A |
| Rio Negro | 0.03 | 0.001 | 0.02 | 0.01 | 93.55 |
| Rio Madeira | 0.37 | 0.005 | 0.19 | 0.26 | 138.62 |



Fonte Elaborado pelo autor.

Nota1: N/A indica que o desvio padrão e o coeficiente de variação não puderam ser calculados devido à falta de dados (apenas um valor para os rios)

Na Tabela 10, é ilustrada a relação de a concentração de amônio em 11 rios da bacia Amazônica, incluindo os rios Solimões, Orinoco, Negro, Caeté, Tocantins, Madre de Dios, Amazonas, Xingu, Quatipuru, Madeira e Araguaia. Dentre esses rios, aqueles que apresentam maior variabilidade na concentração são o Solimões, com um coeficiente de variação (CV) de 128,57%, e o Amazonas, com 113,33%, evidenciando flutuações significativas nas concentrações de amônio. Em contrapartida, os rios Tocantins, com um CV de 13,95%, Orinoco, com 35,71%, e Madeira, com 53,85%, exibem uma variabilidade relativamente baixa. Por outro lado, os rios Madre de Dios, Xingu, Quatipuru e Araguaia não apresentaram variação nos valores de amônio.

Tabela 10 - Concentrações de amônio em 11 rios da Amazônia.

AMÔNIO

| Rio | Máximo (mg/l) | Mínimo (mg/l) | Média (mg/l) | Desvio Padrão (mg/l) | Coefficiente de Variação (CV) (%) |
|-------------------|---------------|---------------|--------------|----------------------|-----------------------------------|
| Rio Solimões | 0.21 | 0.01 | 0.07 | 0.09 | 128.57 |
| Rio Orinoco | 0.06 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 35.71 |
| Rio Negro | 0.22 | 0.01 | 0.10 | 0.10 | 98.98 |
| Rio Caeté | 2.73 | 0.05 | 1.39 | 1.34 | 96.40 |
| Rio Tocantins | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.01 | 13.95 |
| Rio Madre de Dios | 0.01 | 0.01 | 0.01 | N/A | N/A |
| Rio Amazonas | 0.99 | 0.01 | 0.28 | 0.32 | 113.33 |
| Rio Xingu | 0.51 | 0.51 | 0.51 | N/A | N/A |
| Rio Quatipuru | 0.11 | 0.11 | 0.11 | N/A | N/A |
| Rio Madeira | 0.09 | 0.04 | 0.07 | 0.04 | 53.85 |
| Rio Araguaia | 0.11 | 0.11 | 0.11 | N/A | N/A |



Fonte Elaborado pelo autor.

Nota1: N/A indica que o desvio padrão e o coeficiente de variação não puderam ser calculados devido à falta de dados (apenas um valor para os rios)

Na Tabela 11, são apresentados os valores de fosfato de 11 rios da Amazônia: Solimões, Orinoco, Caeté, Amazonas, Tocantins, Madre de Dios, Tapajós, Xingu, Quatipuru, Negro e Ji-Paraná. Com base nos valores do coeficiente de variação, observa-se que o rio Amazonas apresenta uma variabilidade relativamente alta, com um CV de 152,31%, seguido pelos rios Tocantins e Tapajós, com CVs de 132,94% e 111,67%, respectivamente. Por outro lado, o rio Orinoco indica uma variabilidade relativamente baixa, com um CV de 37,5%. Além disso, cinco rios, como o Madre de Dios, Xingu, Quatipuru, Negro e Ji-Paraná, não apresentaram variação nos valores de fosfato.

Tabela 11 - Concentrações de fosfato nem 11 rios da Amazônia.

FOSFATO

| Rio | Máximo (mg/l) | Mínimo (mg/l) | Média (mg/l) | Desvio Padrão (mg/l) | Coefficiente de Variação (CV) (%) |
|-------------------|---------------|---------------|--------------|----------------------|-----------------------------------|
| Rio Solimões | 0.08 | 0.002 | 0.04 | 0.03 | 70.68 |
| Rio Orinoco | 0.01 | 0.004 | 0.01 | 0.00 | 37.50 |
| Rio Caeté | 0.05 | 0.010 | 0.03 | 0.02 | 70.00 |
| Rio Amazonas | 0.86 | 0.010 | 0.20 | 0.30 | 152.31 |
| Rio Tocantins | 22.68 | 0.002 | 8.03 | 10.68 | 132.94 |
| Rio Madre de Dios | 0.02 | 0.020 | 0.02 | N/A | N/A |
| Rio Tapajós | 0.21 | 0.003 | 0.11 | 0.12 | 111.67 |
| Rio Xingu | 0.01 | 0.010 | 0.01 | N/A | N/A |
| Rio Quatipuru | 0.07 | 0.070 | 0.07 | N/A | N/A |
| Rio Negro | 0.01 | 0.010 | 0.01 | N/A | N/A |
| Rio Ji-Paraná | 0.06 | 0.060 | 0.06 | N/A | N/A |



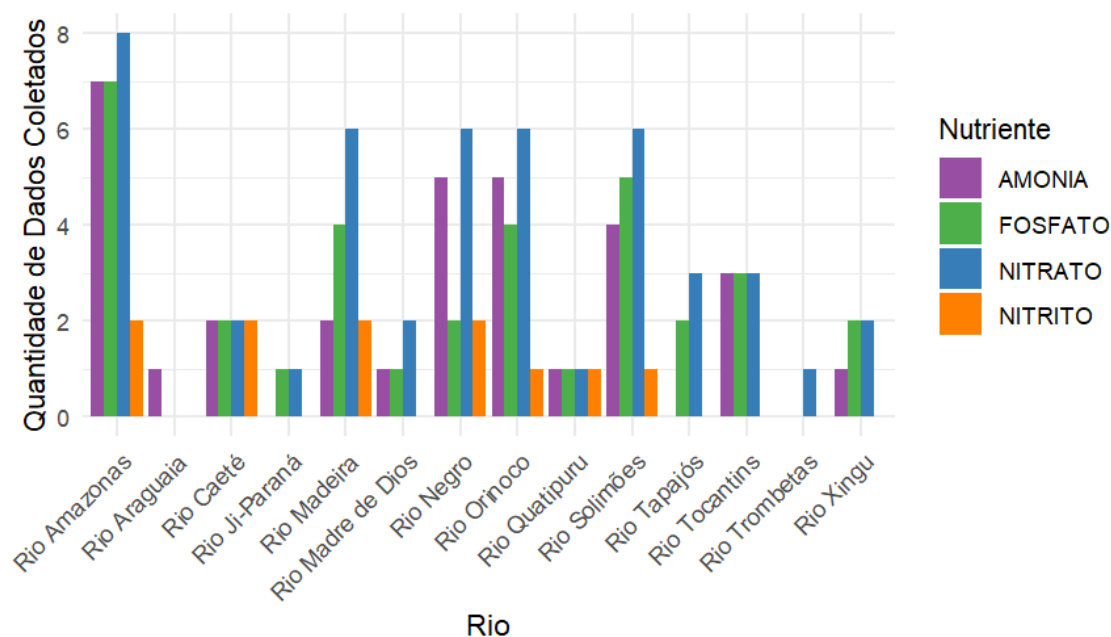
Fonte Elaborado pelo autor.

Nota1: N/A indica que o desvio padrão e o coeficiente de variação não puderam ser calculados devido à falta de dados (apenas um valor para os rios)

4.8 Análise geográfica dos dados de coletas dos estudos da bacia Amazônica

Na Figura 4 é possível verificar quais rios tiveram dados coletados e a quantidade de dados obtidos para os 14 rios da bacia Amazônica. Ao analisar, observa-se que o nitrato foi o nutriente mais estudado, seguido pelo fosfato e pela amônia, enquanto o nitrito foi o nutriente com menor quantidade de análises no portfólio do estudo selecionado. O rio Amazonas apresenta as maiores concentrações de dados de nutrientes analisados. Por outro lado, rios como o Trombetas e o Araguaia apresentam escassez de dados, não sendo possível verificar valores analisados para todos os nutrientes. O rio Trombetas apresentou dados apenas para o nitrato, enquanto o rio Araguaia apresentou dados apenas para a amônia.

Figura 4 - Quantidade de dados coletados sobre nutrientes na bacia Amazônica.



Fonte Elaborado pelo autor.

Ao analisar os dados, observa-se que o nitrato é o nutriente com a maior quantidade de estudos, totalizando 47 dados coletados e abordado em 33 artigos. O rio Amazonas se destaca, com 16 pontos de coleta para o nitrato, o que denota sua importância nesse contexto. Em contrapartida, o nitrito teve apenas 11 dados de coleta registrados, com nove artigos do portfólio selecionado abordando esse nutriente, indicando uma menor incidência de estudos sobre este nutriente em comparação ao nitrato.

No que diz respeito ao amônio, foram identificados 32 pontos de coleta, com 28 artigos do portfólio selecionado tratando desse nutriente. Sete desses pontos de coleta estão situados no rio Amazonas. Os rios Orinoco e Negro também apresentam relevância, com cinco pontos de coleta cada um, refletindo uma distribuição mais ampla desse nutriente na bacia.

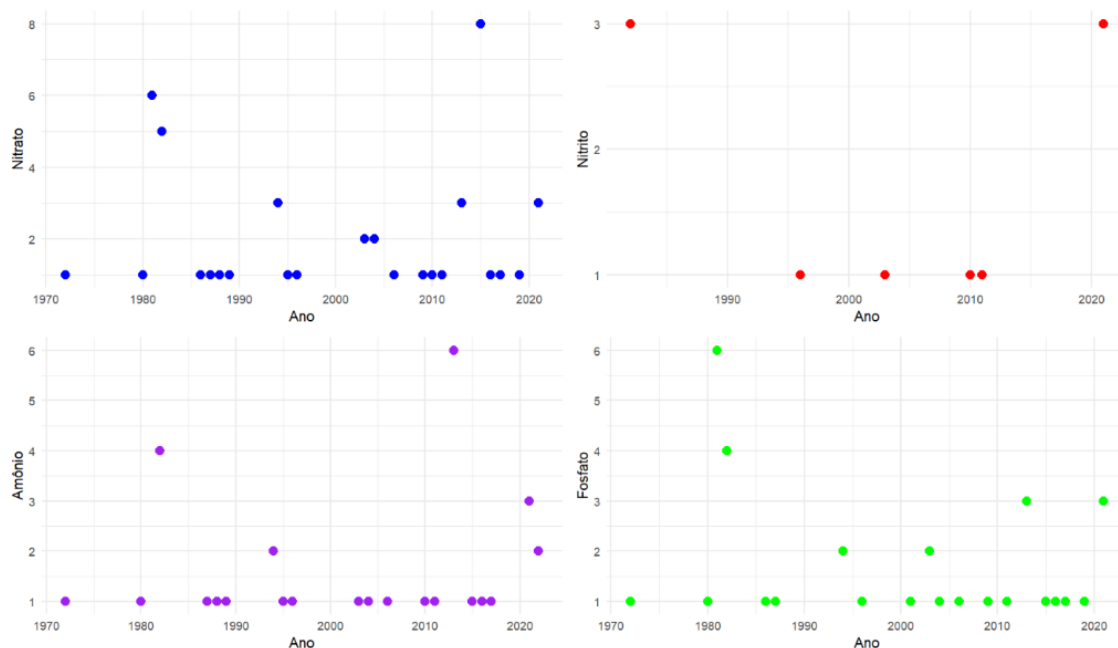
Em relação ao fosfato, foram identificados 34 pontos de coleta, abordados em 26 artigos do portfólio selecionado. Sete desses pontos de coleta estão localizados na região do rio Amazonas, destacando-se como uma área de interesse para estudos sobre esse nutriente.

4.9 Análise temporal de dados de nutrientes (N e P) na Bacia Amazônica

Na Figura 5, é possível analisar os dados temporais de coletas de nutrientes na bacia Amazônica. Ao observar o número de dados de nitrato para cada ano, nota-se que o período com o maior número de dados é entre os anos de 1990 e 2010. Durante esse período, há um total de 13 entradas de dados de nitrato, de um total de 48, distribuídas entre vários locais da bacia Amazônica. Portanto, o período entre 1990 e 2010 apresenta o maior número de dados de nitrato, indicando uma maior cobertura temporal de informações nesse intervalo de anos.

A análise de nitrito apresenta menores números de dados ao longo dos anos de 1982 a 2021, com apenas 10 resultados nos artigos selecionados. Quanto ao amônio, observa-se uma quantidade de 33 dados coletados entre os anos de 1972 e 2022. O período com o maior número de coletas é entre os anos de 2002 e 2022, totalizando 19 coletas de dados de amônio. Com relação ao fosfato, observa-se que o período com o maior número de coletas é entre os anos de 1981 e 2011. Durante esse período, há um total de 23 coletas de dados de fosfato.

Figura 5 - Análise temporal dos dados coletados de nutrientes na bacia Amazônica.



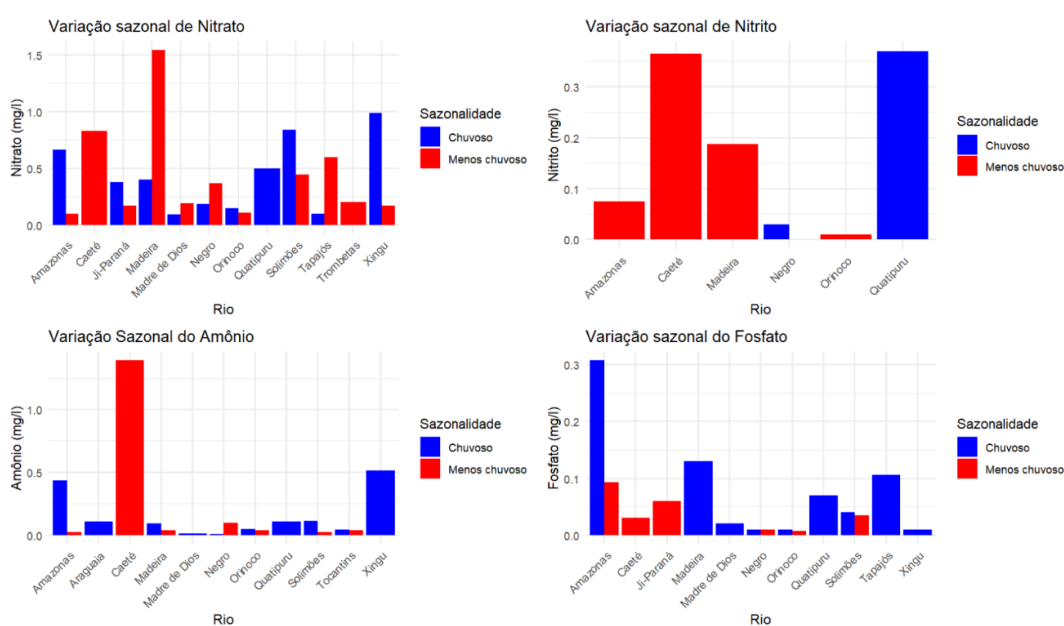
Fonte Elaborado pelo autor.

Nota 1: Imagem mostrando dispersão temporal dos dados coletados de nutrientes na bacia hidrográfica amazônica, de nitrato (pontos azuis), de nitritos (pontos vermelhos) de amônio (pontos verdes) fosfato (pontos verdes claro). Com base em pesquisas publicadas (n = 40 estudos).

4.10 Análise sazonal da coleta de dados de nutrientes (N e P) na Bacia Amazônica

A Figura 6 mostra a variação dos nutrientes entre os períodos chuvoso e menos chuvoso. No período chuvoso, os níveis dos nutrientes tendem a ser mais baixos em comparação com o período menos chuvoso. O amônio apresentou a maior variação sazonal no período menos chuvoso. O nitrito também apresentou a maior variação sazonal no período menos chuvoso. Por outro lado, o nitrato apresentou a maior variação sazonal no período chuvoso, assim como o fosfato, cuja variação sazonal mais alta foi encontrada no mesmo período.

Figura 6 - Análise da variação sazonal dos dados coletados de nutrientes (nitrato, nitrito, amônio e fosfato) na bacia Amazônica.

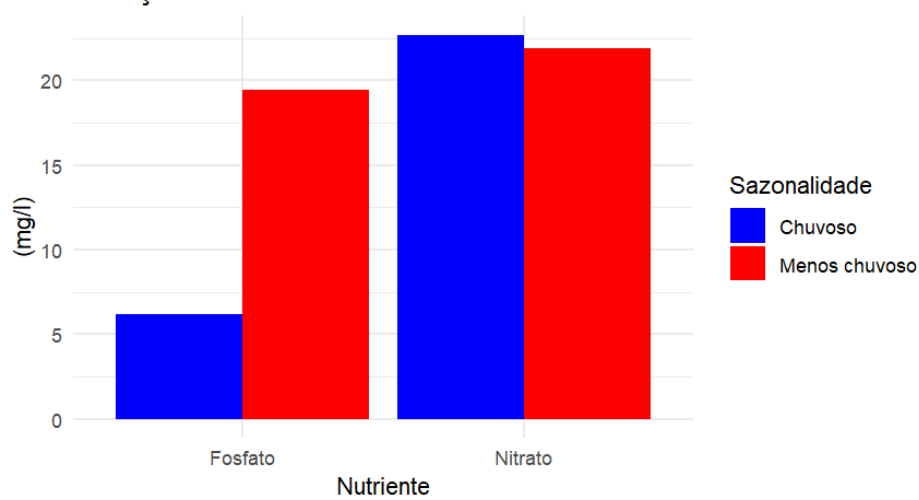


Fonte Elaborado pelo autor.

Nota1: A imagem mostra a variação sazonal dos dados coletados de nutrientes (nitrato, nitrito, amônio e fosfato) na bacia hidrográfica amazônica, de chuvoso (azuis), e menos chuvosos (vermelho). Com base em pesquisas publicadas (n = 40 estudos).

No caso específico do Rio Tocantins, foi realizada uma análise do nitrato e do fosfato em um gráfico separado devido à maior escala que esses nutrientes apresentam. Dessa forma, ao analisar o rio Tocantins, nota-se que a variação sazonal do fosfato foi mais alta, especialmente no período chuvoso, enquanto para o nitrato a variação sazonal não foi tão expressiva, mostrando uma constância nos dois períodos analisados (Figura 7).

Figura 7 - Análise de variação sazonal de nitrato e fosfato no rio Tocantins.
Variação sazonal no Rio Tocantins



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota1: A imagem ilustra a variação do sazonal dos dados coletados de nutrientes (nitrato e fosfato) no rio Tocantins, de chuvoso (azuis), e menos chuvosos (vermelho).

5 DISCUSSÃO

5.1 Estudo nutrientes na bacia Amazônica

O estudo revela lacunas na cobertura amostral dos dados coletados, especialmente na análise da variação dos nutrientes. Destaca-se a falta de dados para certos nutrientes, como o nitrito, em alguns rios específicos, tais como o Tapajós, Ji-Paraná, Trombetas e Araguaia. Isso indica uma escassez na cobertura amostral, conforme ilustrado na Tabela 12.

Tabela 12 - Valores médios dos nutrientes nos rios da bacia Amazônica.

| | NITRATO (mg/l) | NITRITO (mg/l) | AMÔNIO (mg/l) | FOSFATO (mg/l) |
|-------------------|----------------|----------------|---------------|----------------|
| Rio Solimões | 0.71 | 0 | 0.07 | 0.04 |
| Rio Orinoco | 0.13 | 0.01 | 0.04 | 0.01 |
| Rio Negro | 0.31 | 0.03 | 0.1 | 0.01 |
| Rio Caeté | 0.83 | 0.69 | 1.39 | 0.03 |
| Rio Amazonas | 0.4 | 0.15 | 0.28 | 0.2 |
| Rio Quatipuru | 0.5 | 0.37 | 0.11 | 0.07 |
| Rio Xingu | 0.58 | 0.01 | 0.51 | |
| Rio Madeira | 0.97 | 0.37 | 0.07 | |
| Rio Tocantins | 20.28 | | 0.04 | 8.03 |
| Rio Madre de Dios | 0.14 | | 0.01 | 0.02 |
| Rio Tapajós | 0.27 | | | 0.11 |
| Rio Ji-Paraná | 0.38 | | | 0.06 |
| Rio Trombetas | 0.2 | | | |
| Rio Araguaia | | | 0.11 | |

Fonte Elaborado pelo autor.

A ausência de dados suficientes para nutrientes específicos em certos rios tornou insuficiente para calcular o desvio padrão e o coeficiente de variação, como é o caso do nitrato no rio Ji-Paraná e do nitrito no rio Orinoco, indicando poucas amostras ou até mesmo amostras únicas nesses locais. Os elevados valores de coeficiente de variação em rios como o Amazonas, com nitrito (170.62%) e fosfato (152.31%), o Madeira, com nitrato (147.3%) e nitrito (138.62%), o Solimões, com amônio (128.57%), e o Caeté, com variabilidade para nitrito (126.03%) e amônio (96.4%), revelam uma grande variabilidade nos dados, possivelmente

devido a uma ampla coleta de dados ou variações temporais significativas nas concentrações dos nutrientes.

Ao analisar a média e o desvio padrão dos nutrientes, observou-se que alguns rios se destacam na concentração dos estudos. O rio Tocantins, por exemplo, apresenta altos valores de nitrato (média de 20,28 mg/l) e fosfato (média de 8,026 mg/l), com desvios padrão elevados, sugerindo influências significativas de atividades humanas na contaminação dos recursos hídricos. Isso reflete o impacto de várias atividades antrópicas na qualidade da água, influenciadas por sistemas de esgoto não organizados, resíduos agrícolas e efluentes industriais. Por outro lado, o rio Caeté mostra valores relativamente altos de nitrito (média de 0,69 mg/l), indicando uma possível mudança na qualidade da água devido às atividades agrícolas com uso de fertilizantes, esgoto e escoamento industrial.

Em síntese, o nutriente nitrato apresentou cobertura amostral nos 13 rios analisados, com variações significativas, especialmente no rio Tocantins, havendo uma lacuna apenas no rio Araguaia, que não possui dados amostrais para esse nutriente. O fosfato também recebeu atenção, com variação expressiva de valores no rio Tocantins. Os dados indicam uma cobertura amostral variada, com falhas em alguns pontos devido à ausência de dados suficientes. Rios como o Amazonas e o Solimões receberam uma maior concentração de estudos, particularmente em relação aos nutrientes nitrato e fosfato.

Os 14 rios analisados neste estudo apresentam características distintas, incluindo localização geográfica, tamanho, características hidrológicas e principais influências antropogênicas e naturais. No que tange as características hidroquímicas das classificações das águas as amostras foram retiradas de rios de águas brancas (como os rios Amazonas, Solimões Madeira e o Madre de dios), de águas pretas (como o rio Negro) e de águas claras (como os rios Tapajós e Xingu, Tocantins, Trombetas e Araguaia) (Ríos-Villamizar *et al.*, 2020). Essa classificação é importante para entender os parâmetros químicos e sua influência nas concentrações de nutrientes. Ainda segundo Rios Villamizar (2020) os rios de águas brancas apresentam um conteúdo de nutrientes superior ao encontrado em rios de águas pretas e claras. Este estudo observou que os rios de águas brancas (Amazonas, Solimões e Madeira) tendem a ter maiores concentrações médias de nitrato, nitrito, amônio e fosfato em comparação aos rios de águas pretas e claras.

5.1.1 Influências do desmatamento, agricultura e pecuária na qualidade e quantidade de água na Amazônia

Os estudos sobre as influências do desmatamento, agricultura e pecuária na qualidade da água na região amazônica revelam impactos significativos. Williams *et.al.* (2004) identificou que o desmatamento aumenta a concentração de nutrientes como fósforo em riachos e rios do Solimões, afetando a importância hidroquímica da precipitação nos lagos de várzeas. Estudos de Biggs *et.al.* (2004) corroboram esses achados ao observarem mudanças nas concentrações de nitrogênio e fósforo em riachos localizados em Rondônia e grandes sistemas fluviais do rio Ji-Paraná, decorrentes do desmatamento. O trabalho publicado por Ballester *et.al.* (2003) também mostraram que a conversão em pastagem após o desmatamento resulta em maiores concentrações de nutrientes na água do rio Tocantins, especialmente em áreas de pastagens.

Os resultados do estudo revelam que o local com maior quantidade de dados coletados foi o tronco principal do rio Amazonas. Em contraste, os rios Tapajós, Xingu, Madeira, Tocantins e Araguaia, localizados nos estados de Mato Grosso, Goiás, Tocantins e Rondônia, apresentaram coleta de dados de nutrientes pouco expressiva. Esses rios estão situados no chamado arco do desmatamento, a área que mais sofre influência antrópica, mostrando uma lacuna de dados que poderiam ser analisados nessas áreas para entender a dinâmica dessas atividades nos recursos hídricos.

O desmatamento impacta diretamente os recursos hídricos, influenciando as concentrações de nutrientes como nitrogênio e fósforo. A remoção das florestas aumenta a erosão dos solos, depositando sedimentos nos corpos d'água e elevando os níveis de nutrientes na água (Williams; Filoso; Lefebvre, 2004). A diminuição da vegetação reduz a absorção de nutrientes pelo solo, resultando em maior lixiviação de nutrientes para os corpos d'água (Biggs; Dunne; Martinelli, 2004). Essas mudanças nas concentrações de nutrientes, especialmente de fósforo, são indicadores claros dos impactos antropogênicos do desmatamento (Neill *et al.*, 2006). Esses efeitos são visíveis em riachos pequenos e em corpos d'água maiores, como reservatórios, durante diferentes fases do ciclo hidrológico observadas nos rios Madeira, Tocantins, Xingu e Tapajós, resultando na interrupção do equilíbrio natural de nutrientes e na potencial eutrofização da água (Freire *et al.*, 2017)

Estudos sobre as influências do desmatamento na qualidade da água dos rios da bacia Amazônica foram conduzidos em pequenos riachos de várzea em regiões como Rondônia (rio

Ji-Paraná), no rio Madeira e no rio Tocantins. Essas pesquisas abordaram a hidroquímica, as concentrações de nutrientes e as características dos riachos afetados pelas atividades de desmatamento, incluindo a agricultura de corte e queima, bem como mudanças no uso da terra. Os estudos identificaram alterações nas proporções de nutrientes, concentrações de solutos e no fluxo de água nos riachos, atribuídas ao desmatamento, destacando seu impacto nos ecossistemas e na qualidade da água (Davidson *et al.*, 2004; Thomas *et al.*, 2004; Neill *et al.*, 2006). Atividades agrícolas, como o uso de fertilizantes, também podem contribuir para a lixiviação de nutrientes, incluindo nitrogênio e fósforo, que podem entrar nos rios através do escoamento, como evidenciado no rio Tocantins, essas descobertas ressaltam a importância de compreender as consequências do desmatamento sobre os recursos hídricos na região amazônica para mitigar a degradação ambiental e preservar o equilíbrio ecológico dos sistemas fluviais (Freire *et al.*, 2017).

5.1.2 Influência da urbanização e despejo de efluentes na qualidade da água na Amazônia

Apesar da abundância de recursos hídricos, a Amazônia enfrenta uma situação crítica de saneamento. Dados do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento – SNIS (2022) mostram que, na região hidrográfica da Amazônia, apenas 76,4% da população tem acesso ao abastecimento de água e somente 25% do esgoto doméstico é coletado. Em comparação, a média nacional é de 93,2% de cobertura de água e 58,8% de coleta de esgoto. Os piores índices de tratamento e coleta de esgoto no Brasil estão na Amazônia.

A região hidrográfica da bacia Amazônica enfrenta sérias deficiências em saneamento básico, refletindo-se em indicadores alarmantes. Segundo o Instituto Trata Brasil (2022), cerca de 33,2 milhões de brasileiros não têm acesso à água tratada, e 94,1 milhões carecem de tratamento de esgoto. Na região Norte, onde está a maior parte da bacia Amazônica, apenas 58% da população tem acesso à água tratada e à coleta e tratamento de esgoto. A falta de investimentos em infraestrutura e políticas públicas eficazes agrava essa situação.

Das 20 piores cidades em saneamento básico listadas pelo Instituto Trata Brasil, metade está na Amazônia, incluindo Macapá (AP), Porto Velho (RO), Santarém (PA), Rio Branco (AC), Belém (PA) e Ananindeua (PA). Nessas cidades, os serviços de saneamento são extremamente precários, com pouco ou nenhum acesso a água tratada e coleta de esgoto. Isso resulta no aumento de nutrientes nas águas, prejudicando a saúde dos ecossistemas aquáticos e

da população. No rio Negro e Solimões e Amazonas, por exemplo, recebem a influência da urbanização, da cidade de Manaus e Macapá.

A análise de dados mostra que os rios Amazonas, Madeira, Tapajós, Acre e Guamá, localizados nos estados com os piores índices de saneamento básico mencionados pelo Instituto Trata Brasil, apresentam dados insuficientes de análise de nutrientes. Entre os cinco rios citados, não foram analisados dados de nutrientes presentes no rio Acre e no rio Guamá. A ausência de dados indica a necessidade de mais pesquisas sobre a influência da urbanização e poluição nessas áreas, especialmente em relação à presença de nitrogênio e fósforo.

Um estudo realizado por Pereira et al. (2007) mostra que as atividades industriais no município de Barcarena, no estado do Pará, têm um impacto significativo na contaminação do rio Murucupi. Próximo às áreas de produção de alumínio, foram detectados níveis de elementos químicos acima dos limites permitidos, sugerindo contaminação causada por resíduos industriais. Esse estudo ressalta os riscos potenciais à saúde devido às altas concentrações de alumínio e outros elementos químicos no rio, além de destacar os efeitos negativos dessas atividades na qualidade da água.

Biggs, Dunne e Martinelli (2004), mostra como a urbanização com falta de saneamento adequado exerce uma influência marcante nas concentrações de nutrientes nos rios amazônicos. Dados de nutrientes coletados ao longo do rio Ji-Paraná, rio Madeira e rio Xingu revelam que as bacias hidrográficas urbanizadas na Amazônia brasileira apresentam níveis mais elevados de nitrogênio e fósforo devido a fatores como desmatamento e densidade populacional urbana. Além disso, outro estudo realizado no rio Ji-Paraná, em Rondônia, enfatiza a significativa contribuição da urbanização na alteração do equilíbrio de nutrientes nos rios, com as concentrações de nitrogênio frequentemente superando as concentrações de fósforo nas áreas impactadas (Ballester *et al.*, 2003).

Outro estudo realizado por Couceiro *et al.* (2007) destaca o impacto da urbanização nas concentrações de nitrogênio e fósforo nos riachos do Amazonas, evidenciando que os riachos urbanos apresentam concentrações elevadas desses elementos devido ao uso de detergentes e ao descarte de dejetos humanos, resultando em um enriquecimento de nutrientes semelhante ao observado em áreas agrícolas. Esse aumento de nutrientes está diretamente relacionado à poluição proveniente do esgoto doméstico, comprometendo a qualidade da água (Martins *et al.*, 2017). A perturbação causada pela urbanização pode levar à erosão e sedimentação das áreas circundantes, resultando em níveis aumentados de sólidos em suspensão e turbidez na água.

Esse fenômeno, somado ao aumento de nutrientes na água proveniente da urbanização, contribui para a contaminação das fontes hídricas e afeta negativamente sua qualidade (Forsberg *et al.*, 1988)

Adicional aspecto preocupante é a poluição sobre a contribuição do fosfato causada pelo tripolifosfato de sódio (STPP) presente nos sabões e detergentes. Países como Suíça, Alemanha, Holanda e Japão deixaram de comercializar detergentes contendo fosfatos desde a década de 1980.(Quevedo; Paganini, 2011) No Brasil, a preocupação com a limitação do fósforo nos detergentes começou em 1978, com a Resolução Normativa nº 01 do Ministério da Saúde, que estabeleceu um limite de 15% em peso de pentóxido de fósforo nas formulações de detergentes. Essa legislação foi revisada em 2005, com a publicação da Resolução nº 359 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), que estipula a redução progressiva do pentóxido de fósforo. Além disso, a Resolução Conama nº 357, de 29 de abril de 2005, define limites de concentração de fósforo nos corpos d'água, variando conforme a classe de enquadramento.

Na Amazônia, esgotos domésticos e industriais são fontes significativas de fosfato, contribuindo para a eutrofização dos corpos d'água. A falta de infraestrutura de saneamento nas áreas urbanas próximas aos rios exacerba esse problema, aumentando a concentração de fosfato na água. Analisando os dados de fosfato na bacia Amazônica, pode-se identificar que a concentração média de fosfato nas águas tende a ser maior nos rios Tocantins e Amazonas.

A descarga de efluentes no rio Amazonas contribui significativamente para a concentração de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, devido ao esgoto doméstico e industrial. Esse aporte de nutrientes resulta em baixa oxigenação, eutrofização elevada e aumento das concentrações de nitrogênio e fósforo inorgânicos. (Demaster; Pope, 1996; Couceiro *et al.*, 2007). Estudos mostram que o uso de detergentes com fosfatos em áreas urbanas aumenta os níveis de fósforo na água, impactando a qualidade dos corpos d'água (Sousa *et al.*, 2016).

Na bacia Amazônica, a poluição por esgoto bruto provoca níveis elevados de fosfato e nitrato, principalmente em regiões urbanizadas, contribuindo para condições mesotróficas e eutróficas. Esses efeitos degradam o índice trófico e a saúde geral dos ecossistemas aquáticos (Mcclain; Richey; Pimentel, 1994; Sousa *et al.*, 2016). No rio Caeté, por exemplo, a descarga de esgoto leva a águas insaturadas e saturadas, com elevados níveis de amônio e nitrato, especialmente em áreas urbanizadas (Goes *et al.*, 2014).

5.2 Análise de concentração de Nitrogênio e Fósforo

Na análise do estudo, foi observada uma variação nos íons de amônio, com valores variando entre 0,01 e 2,73 mg/l ao longo do estudo. Segundo a Conama 357/2005 (Brasil, 2005), os valores aceitáveis de amônio devem estar entre 3,7 e 13,3 mg/l). Os valores encontrados estão dentro das normas estabelecidas pela legislação, embora seja necessário investigar a relação entre a concentração de amônio e o pH da água (Silva *et al.*, 2013).

Quanto ao nitrato, os limites máximos permitidos pela Conama 357/2005 são de 10 mg/l. Os valores encontrados no estudo variaram de 0,01 a 37,69 mg/l, com o menor valor no rio Negro e o maior no rio Tocantins, este último coletado dentro da barragem da hidrelétrica de Tucuruí. Observou-se que os valores de nitrato estão acima dos limites estabelecidos pela legislação brasileira. Além disso, em relação ao fosfato, foram encontrados valores variando de 0,01 mg/l a 22,67 mg/l, sendo o rio Orinoco o de menor valor e o rio Tocantins o de maior. O rio Tocantins ultrapassou o limite estabelecido pela lei, que determina um máximo de 0,025 mg/l.

em relação ao nitrito, os valores foram de 0,01 a 0,69 mg/l, sendo o rio Xingu com o menor valor e o rio Caeté com o maior. A Conama 357/2005 estabelece os limites para o valor de nitrito em 1,0 mg/l. Sendo assim, o rio Xingu apresenta limites dentro dos padrões estabelecidos, enquanto o rio Caeté apresenta valores acima do determinado, evidenciando uma possível interferência de atividades antrópicas nessa região.

Em análise aos resultados, observou-se que a região com as maiores concentrações de nitrato e fosfato está localizada dentro de uma barragem de usina hidrelétrica, onde os valores podem ter sido influenciados por essa atividade. Estudos mostram que a construção de usinas hidrelétricas influencia nas concentrações de nutrientes nos reservatórios. A influência das hidrelétricas nas concentrações de nutrientes pode ser observada em alguns reservatórios na região amazônica. A influência das hidrelétricas nas concentrações de nutrientes pode ser observada em alguns reservatórios na região amazônica. A avaliação das variações tróficas nesses reservatórios durante diferentes fases hidrológicas mostrou que os regimes hidrológicos locais têm um impacto significativo nas concentrações de nutrientes, incluindo amônio, nitrato e fosfato, especialmente durante a fase de enchimento dos reservatórios. Isso destaca a necessidade de mais estudos nessas regiões para obter mais conhecimento e, assim, desenvolver

estratégias de mitigação e remediação para lidar com as condições de eutrofização nesses ambientes (Deus *et al.*, 2013; Almeida *et al.*, 2015; Freire *et al.*, 2017).

Ademais, no rio Caeté, onde o valor de nitrito está acima do estabelecido pela resolução, apresenta dados que indicam que sistemas de saneamento público inadequados para o tratamento de esgoto contribuem para a poluição do rio. Essa poluição é ocasionada pela entrada descontrolada de águas residuais. Além disso, a presença de coliformes fecais no rio indica contaminação, especialmente durante o período seco, quando a descarga de águas residuais é mais concentrada, destacando os impactos humanos na qualidade da água (Pereira *et al.*, 2010).

5.3 Desafios na pesquisa sobre nutrientes na bacia Amazônica

A pesquisa de dados deste estudo foi baseada em um portfólio de 40 artigos, quantidade que teve um impacto significativo devido ao método de seleção dos bancos de dados. A pesquisa foi restrita às bases de dados Web of Science e Scopus devido à sua credibilidade e ampla cobertura internacional (Mongeon; Paul-Hus, 2016), enquanto bancos de dados como Google Scholar e SciELO foram excluídos.

Apesar disso, a pesquisa se concentrou apenas em fontes consideradas brancas, que são essenciais para fundamentar pesquisas, embasar teorias e validar resultados devido ao seu rigor de análise de suas publicações (Morais *et al.*, 2024) Os dados provenientes dessas fontes passam por revisão por pares e são submetidos a critérios rigorosos de qualidade. No entanto, a inclusão de fontes de leitura cinza poderia fornecer insights adicionais para preencher lacunas de informação e explorar mais resultados, no entanto esse não foi o foco desse estudo, para analisar a produção científica de nutrientes na bacia amazônica globalmente.

Os resultados da pesquisa destacam que, apesar da gravidade do problema, a investigação sobre os nutrientes na bacia hidrográfica do Amazônica ainda é pouco explorada no meio científico e acadêmico. A análise bibliométrica ressaltou a escassez de dados relacionados ao aumento de nutrientes (N e P) devido a atividades antrópicas, como desmatamento, pecuária, barramento, efluentes e urbanização. Embora alguns estudos apresentem análises de nutrientes relacionando a concentração de N e P, observa-se que ainda há poucos dados que estabelecem essa relação, evidenciando uma lacuna no conhecimento sobre esse assunto. Isso sugere a necessidade de mais estudos nessa área para uma compreensão mais profunda dos padrões de nutrientes na região e seus impactos.

Essa lacuna de estudo pode estar relacionada à falta de investimento direcionado para a região Norte, onde está localizada a maior parte da bacia Amazônica. Um estudo recente de Stegmann *et al.* (2024) revelou que, em um período de sete anos, apenas 10% do orçamento federal destinado a projetos de pesquisa sobre biodiversidade foi alocado para a Amazônia. Este estudo evidencia que, em comparação com outras regiões do Brasil, a Amazônia, que é a região com a maior diversidade biológica e abriga a maior floresta tropical do mundo, recebe uma parcela menor de investimentos em pesquisa.

A região Norte, que compreende 59% do território brasileiro e 87% da Amazônia brasileira, é rica em biodiversidade. Em termos de financiamento, o Norte e o Centro-Oeste receberam os menores investimentos. Essa disparidade de investimentos pode contribuir para a escassez de estudos sobre nutrientes na região, ressaltando a importância de um maior suporte financeiro para pesquisas relacionadas à preservação e conservação da Amazônia (Stegmann *et al.*, 2024).

6 CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo identificar padrões na distribuição e concentração de nutrientes na região amazônica por meio de uma revisão sistemática da literatura. Foi realizada uma análise dos dados existentes relacionados aos nutrientes nos rios da Pan-Amazônia, visando destacar áreas de estudo mais abrangentes e pontos que necessitam de mais pesquisa.

Foram identificadas escassez de dados na literatura internacional para os rios Tapajós, Ji-Paraná, Trombetas, Araguaia, Madre de Dios, Tocantins, Madeira e Xingu. Essas regiões estão localizadas em áreas de maior pressão antrópica causada pela prática do desmatamento. Poucos estudos abordaram a relação entre atividades humanas e o aumento de nutrientes nos rios amazônicos. Alguns estudos selecionados identificaram a influência de atividades como desmatamento, lançamento de efluentes, urbanização e construção de barragens na interferência dos níveis de nitrogênio e fósforo. Esses estudos observaram tanto a interferência natural quanto a antrópica na concentração de nutrientes em 14 sub-bacias da Amazônia, incluindo a região estuarina.

É importante ressaltar que, apesar da relevância de investigar as influências das ações humanas na concentração de nutrientes nos rios da Amazônia, há poucos estudos explorando essa relação e seus potenciais impactos no ciclo de vida biótico e abiótico. Dois aspectos adicionais merecem atenção: os escassos de estudos específicos sobre a influência do nitrogênio e fósforo em suas diferentes formas, e a necessidade de ampliar a área de estudo para quantificar o impacto ambiental dessas atividades.

Durante a análise da concentração de nutrientes nos rios, observou-se que, dos 14 rios estudados, apenas os rios Solimões, Negro, Amazonas, Caeté, Quatipuru e Orinoco apresentaram resultados para os quatro nutrientes levantados. Nos outros rios, Xingu, Madeira, Madre de Dios, Tapajós, Ji-Paraná, Trombetas, Araguaia e Tocantins, não foram encontrados dados.

É evidente a importância de priorizar áreas que carecem de dados substanciais para uma compreensão mais completa da concentração de N e P nos ecossistemas aquáticos da região amazônica, especialmente aquelas relacionadas aos impactos ambientais do desmatamento, lançamento de efluentes, urbanização e mudanças no uso da terra. Essas áreas necessitam de

mais estudos para compreender a dinâmica dos nutrientes com essas atividades, que têm um impacto significativo na qualidade da água e na saúde dos ecossistemas fluviais.

Além disso, é fundamental direcionar esforços para estudos que abordem tipos específicos de ambientes, como pequenos riachos e áreas de várzea, que podem não ter recebido atenção adequada devido à escassez de dados ou à falta de estudos em pequena e grande escala temporal. Esses ambientes são cruciais para o equilíbrio ecológico da região e para a compreensão abrangente dos padrões de nutrientes e impactos das atividades humanas nos recursos hídricos da Amazônia.

As áreas dos rios da Amazônia, como o rio Xingu, Madeira e Tapajós, localizadas no arco do desmatamento, são especialmente críticas e demandam estudos aprofundados para compreender as concentrações de nitrogênio e fósforo. O arco do desmatamento é uma região caracterizada por intensa atividade de alteração do uso da terra, incluindo expansão da agricultura, pecuária e urbanização. Essas atividades podem resultar em aumentos significativos nas concentrações desses nutrientes na água, acarretando problemas como eutrofização, redução da biodiversidade aquática e impactos na saúde humana.

Portanto, é crucial realizar estudos mais abrangentes nessas áreas para compreender melhor os padrões de nutrientes, as fontes de contaminação e os impactos ambientais associados ao desmatamento na região amazônica. Esses estudos são essenciais para orientar políticas de conservação, manejo sustentável dos recursos hídricos e proteção dos ecossistemas aquáticos na Amazônia.

REFERÊNCIAS

ABDEL-RAOUF, N.; AL-HOMAIDAN, A. A.; IBRAHEEM, I. B. M. Microalgae and wastewater treatment. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 19, n. 3, p. 257–275, 2012.

ABRIZAH, A. *et al.* LIS journals scientific impact and subject categorization: a comparison between Web of Science and Scopus. **Scientometrics**, v. 94, n. 2, p. 721–740, 2013.

ALMEIDA, R. M. *et al.* Phosphorus transport by the largest Amazon tributary (Madeira River, Brazil) and its sensitivity to precipitation and damming. **Inland Waters**, v. 5, n. 3, p. 275–282, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Catálogo de metadados da ANA**. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadados/7bb15389-1016-4d5b-9480-5f1acdadd0f5>. Acesso em 7 jun. 2014

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. 2. ed. Brasília, DF: CEDOC, 2021.

ANDRADE, A. C. F. *et al.* **Hidrologia da Amazônia vista do espaço: avanços científicos e desafios futuros**. Porto Alegre, RS: Câmara Brasileira do Livro, 2023.

BALLESTER, M. V. R. *et al.* A remote sensing/GIS-based physical template to understand the biogeochemistry of the Ji-Paraná river basin (Western Amazônia). **Remote Sensing of Environment**, v. 87, n. 4, p. 429–445, 2003.

BERNER, E. K.; BERNER, R. A. **Global environment: water, air, and geochemical cycles - second edition**. 2. ed. [S.I.] Princeton University Press, 2012.

BIGGS, T. W.; DUNNE, T.; MARTINELLI, L. A. Natural controls and human impacts on stream nutrient concentrations in a deforested region of the Brazilian Amazon basin. **Biogeochemistry**, v. 68, n. 2, p. 227–257, 2004.

BOYER, E. W. *et al.* Anthropogenic nitrogen sources and relationships to riverine nitrogen export in the northeastern U.S.A. **Biogeochemistry**, v. 57, n. 1, p. 137–169, 2002.

BRASIL. Conselho Nacional Do Meio Ambiente (Conama). **Resolução nº 357, de 2005**. Atos Normativos da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, mar. 2005. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450. Acesso em: 22 dez. 2023.

BRASIL. Conselho Nacional Do Meio Ambiente (Conama). **Resolução nº 359, de 2005**. Atos Normativos da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, abr. 2005. Disponível em: https://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-359-2005_101052.html. Acesso em: 25 fev. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução nº 01, de 1978**. Atos Normativos da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, jan. 1978. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/1978/res0009_11_12_1978.html. Acesso em: fev. 25. 2024.

BREZONIK, P. L.; ARNOLD, W. A. Nutrient cycles and the chemistry of nitrogen and phosphorus. *In*: BREZONIK, P. L.; ARNOLD, W. A. (eds.). **Water chemistry: the chemical processes and composition of natural and engineered aquatic systems**. 2. ed. USA: Oxford University Press, 2022. parte iv, p. 601-636.

CAMARGO, J. A.; ALONSO, Á. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. **Environment International**, v. 32, n. 6, p. 831–849, 2006.

CHASE, E. M.; SAYLES, F. L. Phosphorus in suspended sediments of the Amazon River. **Estuarine and Coastal Marine Science**, v. 11, n. 4, p. 383–391, 1980.

COUCEIRO, S. R. M. *et al.* Deforestation and sewage effects on aquatic macroinvertebrates in urban streams in Manaus, Amazonas, Brazil. **Hydrobiologia**, v. 575, n. 1, p. 271–284, 2007.

DAVIDSON, E. A. *et al.* Loss of nutrients from terrestrial ecosystems to streams and the atmosphere following land use change in Amazonia. *In*: **Ecosystems and land use change**. [S.I.] American Geophysical Union (AGU), 2004. p. 147–158.

DELLINGER, M. *et al.* Riverine li isotope fractionation in the Amazon river basin controlled by the weathering regimes. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 164, n. 9, p. 71–93, 2015.

DEMASTER, D. J.; POPE, R. H. Nutrient dynamics in Amazon shelf waters: results from AMASSEDS. **Continental Shelf Research**, v. 16, n. 3, p. 263–289, 1996.

DEUS, R. *et al.* Impact evaluation of a pisciculture in the Tucuruí reservoir (Pará, Brazil) using a two-dimensional water quality model. **Journal of Hydrology**, v. 487, n. 4, p. 1–12, 2013.

DEVOL, A. *et al.* Seasonal variation in chemical distributions in the Amazon (Solimões) river: A multiyear time series. **Global Biogeochemical Cycles** v. 9, n. 3 p. 307-328, 1995.

DITTMAR, T.; LARA, R. J. Do mangroves rather than rivers provide nutrients to coastal environments south of the Amazon River? Evidence from long-term flux measurements. **Marine Ecology Progress Series**, v. 213, n., p. 67–77, 2001.

SANTOS, J. G. dos *et al.* Geographic trends and information deficits in Amazonian conservation research. **Biodiversity and Conservation**, v. 24, n. 11, p. 2853–2863, 2015.

ESTEVEZ, F. de A. **Fundamentos de Limnologia**. 2ª Ed ed. Rio de Janeiro, Brasil: Editora Interciência, 1998.

- FORSBERG, B. R. *et al.* Factors controlling nutrient concentrations in Amazon floodplain lakes. **Limnology and Oceanography**, v. 33, n. 1, p. 41–56, 1988.
- FREIRE, J. C. A. *et al.* Influence of the Amazon hydrological regime on eutrophication indicators of a hydroelectric power plant reservoir. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 98, n. 5, p. 677–681, 2017.
- GIBBS, R. J. Water chemistry of the Amazon River. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 36, n. 9, p. 1061–1066, 1972.
- GOES, J. I. *et al.* Influence of the Amazon River discharge on the biogeography of phytoplankton communities in the western tropical north Atlantic. **Progress in Oceanography**, v. 120, n.1, p. 29–40, 2014.
- HANSEN, M. C. *et al.* High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. **Science**, v. 342, n. 6160, p. 850–853, 2013.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2022 - Panorama**. Brasília: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Disponível em: <https://www.ibege.gov.br>, Acesso em: 11 mar. 2023.
- INSTITUTO TRATA BRASIL. **Relatório de atividades 2022**. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br>. Acesso em: 11 mar. 2023.
- JOSE, J. V. Chapter one - Physiological and molecular aspects of macronutrient uptake by higher plants. *In*: AFTAB, T.; HAKEEM, K. R. (eds.). **Sustainable Plant Nutrition**. [S.I.] Academic Press, 2023. p. 1–21.
- JOSUÉ, I. I. P. *et al.* Cyanobacteria dominance drives zooplankton functional dispersion. **Hydrobiologia**, v. 831, n. 1, p. 149–161, 2019.
- JUSTIĆ, D.; RABALAIS, N. N.; TURNER, R. E. Stoichiometric nutrient balance and origin of coastal eutrophication. **Marine Pollution Bulletin**, v. 30, n. 1, p. 41–46, 1995.
- LACERDA, R. T. de O.; ENSSLIN L, L.; ENSSLIN S, S. R. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. **Gestão & Produção**, v. 19, n. 1 p. 59–78, 2012.
- LAMPERT, W.; SOMMER, U. Limnoecology: The ecology of lakes and streams. **Journal of Plankton Research**, v. 30, n. 4, p. 489–490, 2007.
- LAPOLA, D. M. *et al.* The drivers and impacts of Amazon forest degradation. **Science**, v. 379, n. 6630, p 1-12, 2023.
- LATRUBESSE, E. M. *et al.* Damming the rivers of the Amazon basin. **Nature**, v. 546, n. 7658, p. 363–369, 2017.
- LE BARS, Y. *et al.* The AMANDES tidal model for the Amazon estuary and shelf. **Ocean Modelling**, v. 31, n. 3, p. 132–149, 2010.

- LEWIS, JR., W. M.; WURTSBAUGH, W. A.; PAERL, H. W. Rationale for control of anthropogenic nitrogen and phosphorus to reduce eutrophication of inland waters. **Environmental Science & Technology**, v. 45, n. 24, p. 10300–10305, 2011.
- LEWIS, JR., W. M.; SAUNDERS, J. F. Concentration and transport of dissolved and suspended substances in the Orinoco River. **Biogeochemistry**, v. 7, n. 3, p. 203–240, 1989.
- LI, X. *et al.* Riverine nitrate source and transformation as affected by land use and land cover. **Environmental Research**, v. 222, n.4, p. 1-13, 2023.
- LYU, C. *et al.* Insight into the microbial nitrogen cycle in riparian soils in an agricultural region. **Environmental Research**, v. 231, n.1 p. 1-9, 2023.
- MADSEN, E. L. Microorganisms and their roles in fundamental biogeochemical cycles. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 22, n. 3, p. 456–464, 2011.
- MALHOTRA, H. *et al.* Phosphorus nutrition: plant growth in response to deficiency and excess. *In: Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance*. [S.I.: sn.] p. 171–190, 2018.
- MAPBIOMAS. **MapBiomias Alerta**: a cada segundo, cerca de 21 árvores foram derrubadas na Amazônia em 2022. Disponível em:<https://alerta.mapbiomas.org/a-cada-segundo-cerca-de-21-arvores-foram-derrubadas-na-amazonia-em-2022>. Acesso em:1 mar.2023
- MARTINELLI FILHO, J. E. *et al.* Are natural reservoirs important for cholera surveillance? The case of an outbreak in a Brazilian estuary. **Letters in Applied Microbiology**, v. 63, n. 3, p. 183–188, 2016.
- MARTINS, R. T. *et al.* Effects of urbanization on stream benthic invertebrate communities in Central Amazon. **Ecological Indicators**, v. 73, n. 2, p. 480–491, 2017.
- MCCLAIN, M. E.; RICHEY, J. E.; PIMENTEL, T. P. Groundwater nitrogen dynamics at the terrestrial-lotic interface of a small catchment in the Central Amazon basin. **Biogeochemistry**, v. 27, n. 2, p. 113–127,1994.
- MCDONALD, A. E.; GRANT, B. R.; PLAXTON, W. C. Phosphite (phosphorous Acid): Its relevance in the environment and agriculture and influence on plant phosphate starvation response. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, n. 10, p. 1505–1519, 2001.
- MEYBECK, M. Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by world rivers. **American Journal of Science**, v. 282, n. 4, p. 401–450, 1982.
- MILLIMAN, J. D.; BOYLE, E. Biological uptake of dissolved silica in the Amazon River estuary. **Science**, v. 189, n. 4207, p. 995–997, 1975.
- MONGEON, P.; PAUL-HUS, A. The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. **Scientometrics**, v. 106, n. 1, p. 213–228, 2016.

MORAES, R. M. *et al.* Amazonian ecosystems and their ecological functions. In: NOBRE, C. *et al.* (eds.). **Amazon assessment report 2021**. [S.I.] United Nations Sustainable Development Solutions Network, 2021. v.1.

MORAIS, L. M. S. *et al.* Microplastics in the Amazon biome: State of the art and future priorities. **Heliyon**, v. 10, n. 7, p. e28851, 15 abr. 2024.

MOREIRA, T. P. *et al.* Exportation of organic carbon from the Amazon River and its main tributaries. **Hydrological Processes**, v. 17, n. 7, p. 1329–1344, 2003.

MOSLEY, O. E. *et al.* Nitrogen cycling and microbial cooperation in the terrestrial subsurface. **The ISME Journal**, v. 16, n. 11, p. 2561–2573, 2022.

NAHUM, J. Região, discurso e representação: a Amazônia nos planos de desenvolvimento. **Boletim de Geografia**, v. 29, n. 2, p 17-31, 2012.

NARAYAN, A. *et al.* Does alumina-refining waste increase the nutrient level in tropical mesotrophic floodplain lakes. **Bulletin of environmental contamination and toxicology**, v. 107, n. 3, p. 506–513, 2021.

NEILL, C. *et al.* Deforestation alters the hydraulic and biogeochemical characteristics of small lowland Amazonian streams. **Hydrological Processes**, v. 20, n. 12, p. 2563–2580, 2006.

OLIVEIRA, A. S. de; GARCIA, R. A.; COSTA, A. Caracterização da dinâmica demográfica da Amazônia legal e projeção populacional municipal. **Cadernos do Leste**, v. 11, n. 11, p. 8-31, 2011.

OLIVEIRA, P. C. de; FENZL, N. **Pesticides in the Brazilian Amazon: The toxic environmental heritage for future generations**. Santarém,Pará, Brasil: LAP Lambert Academic Publishing, 2021.

OLSZEWSKA, J. P. *et al.* Assessing the legacy of red mud pollution in a shallow freshwater lake: arsenic accumulation and speciation in macrophytes. **Environmental Science & Technology**, v. 50, n. 17, p. 9044–9052, 2016.

PEREIRA, L. C. C. *et al.* Seasonal effects of wastewater to the water quality of the Caeté river estuary, Brazilian Amazon. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 82, n. 2, p. 467–478, 2010.

PEREIRA, S. P. *et al.* Environmental chemical study of the Murucupi river – Barcarena, PA, Brazil impacted area for the aluminum production. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 2, n. 3, p. 62–82, 2007.

POKORNY, B. *et al.* Forest frontiers out of control: The long-term effects of discourses, policies, and markets on conservation and development of the Brazilian Amazon. **Ambio**, v. 50, n. 12, p. 2199–2223, 2021.

QUEVEDO, C. M. G. de; PAGANINI, W. da S. Impactos das atividades humanas sobre a dinâmica do fósforo no meio ambiente e seus reflexos na saúde pública. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 16, n. 8 p. 3539–3539, 2011.

REDE AMAZÔNICA DE INFORMAÇÃO SOCIOAMBIENTAL GEORREFERENCIADA-RAISG. **Amazônia sob pressão**. Rede Amazônica de Informação Socioambiental Georreferenciada. Disponível em: <https://www.raisg.org/pt-br/publicacoes/>. Acesso em: 29 fev. 2024.

RASHID, I.; ROMSHOO, S. A. Impact of anthropogenic activities on water quality of Lidder River in Kashmir Himalayas. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 185, n. 6, p. 4705–4719, 2013.

REIS, J. A. T. dos; MENDONÇA, A. S. F. Análise técnica dos novos padrões brasileiros para amônia em efluentes e corpos d'água. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 14, v. 3, p. 353–362, 2009.

RÍOS-VILLAMIZAR, E. A. *et al.* New insights on the classification of major Amazonian river water types. **Sustainable Water Resources Management**, v. 6, n. 5, p. 83, 2020.

ROCHA, M. R. V. S.; SILVA, D. de C. O.; LOIOLA, E. Amazônia oriental: Impactos socioambientais em Pequiá de Baixo no Município de Açailândia-Ma. **Revista Acta Ambiental Catarinense**, v. 12, n. 1, p. 17–30, 2015.

ROSSIGNOLO, J. A. *et al.* Algae application in civil construction: A review with focus on the potential uses of the pelagic *Sargassum* spp. biomass. **Journal of Environmental Management**, v. 303, n. 2, p. 114–258, 2022.

RUIZ-VÁSQUEZ, M. *et al.* Effects of Amazon basin deforestation on regional atmospheric circulation and water vapor transport towards tropical South America. **Climate Dynamics**, v. 54, n. 9, p. 4169–4189, 2020.

SANTOS, T. V. dos. Metropolização e diferenciações regionais: estruturas intraurbanas e dinâmicas metropolitanas em Belém e Manaus. **Cadernos Metrôpole**, v. 19, n. 40, p. 865–890, 2017.

SCHMIDT, S.; BOURSCHUIT, A. **Amazon's largest city dumps almost everything in the river**. Disponível em: <https://infoamazonia.org/en/2021/03/26/amazons-largest-city-dumps-almost-everything-in-the-river/>. Acesso em: 11 mar. 2024.

SILVA, L. C. da *et al.* Phosphorus behavior on an Oxisol fertilized by phosphate alkaline biosolid and cultivated with common bean comportamento do fósforo em latossolo fertilizado com bio sólido alcalinizado fosfatado e cultivado com feijoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - Agriambi**, v. 16, n. 12, p. 1261–1268, 2012.

SILVA, M. *et al.* Classificação dos rios da Amazônia: uma estratégia para preservação desses recursos. **Holos Environment**, v. 13, n. 2, p. 163–174, 2013.

- SMITH, S. D. P. The roles of nitrogen and phosphorus in regulating the dominance of floating and submerged aquatic plants in a field mesocosm experiment. **Aquatic Botany**, v. 112, n. 1 p. 1–9, 2014.
- SMITH, V. H.; SCHINDLER, D. W. Eutrophication science: where do we go from here? **Trends in Ecology & Evolution**, v. 24, n. 4, p. 201–207, 2009.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO - SNIS **Painel de informação sobre saneamento**. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/snis-1>. Acesso em: 11 mar. 2024
- SORRIBAS, M. V. *et al.* Hydrological tracking model for Amazon surface waters. **Water Resources Research**, v. 56, n. 9, p. 1–19, 2020.
- SOUSA, N. S. S. *et al.* Effects of sewage on natural environments of the Amazon region (Pará-Brazil). **Journal of Coastal Research**, v. 1 n. 75, p. 158–162, 2016.
- STEGMANN, L. F. *et al.* Brazilian public funding for biodiversity research in the Amazon. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v.22, n. 1, p. 1-7, 2024.
- THOMAS, S. M. *et al.* Influences of land use and stream size on particulate and dissolved materials in a small Amazonian stream network. **Biogeochemistry**, v. 68, n. 2, p. 135–151, 2004.
- TIESSSEN, H. Phosphorus in the global environment. *In*: WHITE, P. J.; HAMMOND, J. P. (eds.). **The ecophysiology of plant-phosphorus interactions**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2008. p. 1–7.
- VENTICINQUE, E. *et al.* An explicit GIS-based river basin framework for aquatic ecosystem conservation in the Amazon. **Earth System Science Data**, v. 8, n. 2, p. 651–661, 2016.
- VENTICINQUE, E. *et al.* Pan-Amazon basins: a spatial framework for the conservation of aquatic ecosystems in the Amazon-Orinoco-Guianas region. [*S.l.*: *s.n.*], 2021
- VERÍSSIMO, T. C.; PEREIRA, J. **A floresta habitada**: História da ocupação humana na Amazônia. 1ª ed. ampl. ed. Belém: Imazon, 2020.
- VIEIRA, CAMILLE. D. *et al.* Siltation processes and metal sediment profiles in a hydroelectric power plant reservoir in the Paraíba do Sul river Basin, Southeastern Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 81, n. 22, p. 523, 2022.
- VIEIRA, E. L. *et al.* Application of the Proknow-C Methodology in the Search of Literature on performance indicators for energy management in manufacturing and industry 4.0. **Procedia Manufacturing** v. 39, p. 1259–1269, 2019.
- VIEIRA, J. M. dos S. *et al.* Toxic cyanobacteria and microcystin concentrations in a public water supply reservoir in the Brazilian Amazonia region. **Toxicon**, v. 45, n. 7, p. 901–909, 2005.

WILLIAMS, M. R.; FILOSO, S.; LEFEBVRE, P. Effects of land-use change on solute fluxes to floodplain lakes of the central Amazon. **Biogeochemistry**, v. 68, n. 2, p. 259–275, 2004.

WISSMAR, R. C. *et al.* Plankton metabolism and carbon processes in the Amazon river, its tributaries, and floodplain waters, Peru-Brazil, May-June 1977. **Ecology**, v. 62, n. 6, p. 1622–1633, 1981.

WU, Y.; FENG, Q.; GONG, Y. Blooming of bacteria and algae is a biokiller for mass-extinction of Devonian coral-stromatoporoid reef ecosystems. **Science China Earth Sciences**, v. 56, n. 7, p. 1221–1232, 2013.

ZHANG, X.; WARD, B. B.; SIGMAN, D. M. Global nitrogen cycle: critical enzymes, organisms, and processes for nitrogen budgets and dynamics. **Chemical Reviews**, v. 120, n. 12, p. 5308–5351, 2020.