


Artigo de Pesquisa**VARIABILIDADE TEMPORAL DO FLUXO DE ELEMENTOS-TRAÇO BIOLOGICAMENTE ESSENCIAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO NEGRO: UM ESTUDO DE CASO COMPARATIVO ENTRE AS ESTAÇÕES SERRINHA E CARACARAÍ****Temporal variability of the flux of biologically essential trace elements in the Rio Negro hydrographic basin: a comparative case study between the Serrinha and Caracaraí stations**

Leylane Araújo Corrêa Lima¹, Naziano Pantoja Filizola Júnior², Bruna Gabriella Matheus de Souza Vaz Mora³, Nayara Pinheiro Diniz⁴, Ednaldo Bras Severo⁵.

¹ Programa de Pós-graduação em Clima e Ambiente, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, Brasil. E-mail. lac.mcl20@uea.edu.br

 <https://orcid.org/0009-0000-7451-4328>

² Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Geociências, Manaus, Brasil. E-mail. nazianofilizola@ufam.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0001-7285-7220>


³ Programa de Pós-graduação em Clima e Ambiente, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, Brasil. E-mail. bgabriellavaz@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0007-9752-7405>

⁴ Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Geociências, Manaus, Brasil. E-mail. nayara.diniz13@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-5778-1635>

⁵ Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Geografia, Manaus, Brasil. E-mail. edsevero.geo@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-9148-5570>

Recebido em 02/09/2024 e aceito em 11/04/2025

RESUMO: Este estudo analisou a variabilidade temporal do fluxo de elementos-traço biologicamente essenciais como o cobalto (Co), cobre (Cu), ferro (Fe), magnésio (Mg), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e zinco (Zn) na bacia do Rio Negro, com base em dados hidrométricos e geoquímicos do programa de monitoramento do observatório Hybam, coletados entre 2003 e 2018 nas estações de Serrinha (Rio Negro) e Caracaraí (Rio Branco). As concentrações e fluxos desses elementos foram determinados por análises estatísticas das séries temporais anuais e mensais, considerando a relação com parâmetros físicos, físico-químicos e regimes hidrológicos. Os resultados indicaram forte variação sazonal, com efeito de diluição durante as cheias, especialmente para magnésio, enquanto o elemento manganês manteve padrões mais estáveis ao longo do ano. Caracaraí apresentou as maiores concentrações, enquanto Serrinha registrou fluxos superiores devido à maior descarga líquida. Os parâmetros físicos e físico-químicos, como temperatura, pH e condutividade elétrica, também responderam às oscilações hidrológicas, refletindo a influência do ciclo hidrológico sobre a dinâmica geoquímica da bacia. No

período analisado, as concentrações dos elementos mantiveram-se dentro dos padrões naturais regionais comparado a outros rios, não indicando um risco ambiental ao ecossistema local no período analisado.

Palavras-chave: Elementos-traço; Rio Negro; Amazônia; Ciclo hidrológico; Geoquímica.

ABSTRACT: This study analyzed temporal variability of fluxes of biologically essential trace elements such as cobalt (Co), copper (Cu), iron (Fe), magnesium (Mg), manganese (Mn), molybdenum (Mo), and zinc (Zn) in the Negro River basin. Analysis was based on hydrometric and geochemical data from the HYBAM observatory monitoring program, collected between 2003 and 2018 at Serrinha (Negro River) and Caracaraí (Branco River) stations. Concentrations and fluxes of these elements were determined through statistical analyses of annual and monthly time series, considering their relationship with physical and physicochemical parameters and hydrological regimes. Results indicated strong seasonal variation, with a dilution effect observed during high-water periods, especially for magnesium, whereas elements such as manganese maintained more stable patterns throughout the year. Caracaraí exhibited the highest concentrations, while Serrinha recorded higher fluxes due to greater water discharge. The physical and physicochemical parameters, such as temperature, pH, and electrical conductivity also responded to hydrological fluctuations, reflecting the influence of the hydrological cycle on geochemical dynamics of the basin. During the study period, concentrations of these elements remained within regional natural background levels when compared to other rivers, indicating no environmental risk to the local ecosystem during the period analyzed.

Keywords: Trace elements; Rio Negro; Amazon; Hydrological Cycle; Geochemistry.

Resumen: Este estudio analizó la variabilidad temporal del flujo de elementos traza biológicamente esenciales como cobalto (Co), cobre (Cu), hierro (Fe), magnesio (Mg), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y zinc (Zn) en la cuenca del río Negro, con base en datos hidrométricos y geoquímicos del programa de monitoreo del Observatorio Hybam, recolectados entre 2003 y 2018 en las estaciones de Serrinha (río Negro) y Caracaraí (río Branco). Las concentraciones y los flujos de estos elementos fueron determinados mediante análisis estadísticos de las series temporales anuales y mensuales, considerando la relación con parámetros físicos, fisicoquímicos y los regímenes hidrológicos. Los resultados indicaron una fuerte variación estacional, con efecto de dilución durante las crecientes, especialmente para el magnesio, mientras que el manganeso mantuvo patrones más estables a lo largo del año. Caracaraí presentó las mayores concentraciones, mientras que Serrinha registró flujos superiores debido a una mayor descarga líquida. Los parámetros físicos y fisicoquímicos, como temperatura, pH y conductividad eléctrica, también respondieron a las oscilaciones hidrológicas, reflejando la influencia del ciclo hidrológico sobre la dinámica geoquímica de la cuenca. En el período analizado, las concentraciones de los elementos se mantuvieron dentro de los patrones naturales regionales en comparación con otros ríos, sin indicar un riesgo ambiental para el ecosistema local durante el periodo evaluado.

Palabras clave: Elementos traza; río Negro; Amazonía; ciclo hidrológico; geoquímica.

INTRODUÇÃO

A água ocupa dois terços da superfície do planeta Terra, com um volume de aproximadamente 1386 milhões de Km³, distribuídos em diferentes estados físicos e nos mais variados ambientes aquáticos, podendo ser classificada em água doce, salobra e salgada, de acordo com sua salinidade (BRASIL, 2005; LIMA, 2001). Entretanto, 98% deste total correspondem à água salgada, sendo impróprios para o consumo humano (MARENGO, 2008; VICTORINO, 2007). Além de ser tão presente

no planeta, a água se configura como recurso fundamental para a manutenção da vida. Logo, trata-se de um tema de grande relevância no que diz respeito à sobrevivência da raça humana, conservação e equilíbrio da biodiversidade e às relações de dependência entre seres vivos e ambientes naturais (BACCI; PATTACA, 2008).

As bacias hidrográficas e seus rios compõem sistemas funcionais para o ciclo da água, o que permite a integração entre diferentes sistemas de gerenciamento, estudo e atividades voltadas para o meio ambiente (TUNDISI, 2008; ZULIANI et al., 2017). Sendo assim, os rios são vitais na ciclagem de elementos, bem como no transporte de materiais para os oceanos, que respondem rapidamente às alterações externas, sejam elas naturais ou de origem antrópica (FILIZOLA et al., 2011a).

Neste sentido a Bacia Amazônica ganha grande destaque, por ser a maior bacia hidrográfica do planeta, cobrindo uma área de 6 milhões de km² com fluxo total médio de descarga para o oceano em torno de 209.000 m³. s⁻¹ (FILIZOLA et al., 2009). No ranking dos dez maiores rios do mundo (na faixa tropical), quatro deles encontram-se nesta bacia, sendo o Rio Amazonas o principal, e além deste tem-se o Negro, Madeira e Japurá. Entre os principais tributários da bacia Amazônica, destaca-se o rio Negro, considerado o segundo maior afluente do rio Amazonas em termos de descarga e extensão. Neste estudo, a análise concentra-se na bacia do rio Negro devido à sua relevância hidrológica, geoquímica e à expressiva contribuição para o balanço hídrico do sistema amazônico. O rio Negro apresenta uma descarga líquida média anual de aproximadamente 30.000 m³ s⁻¹, para uma área de drenagem de 712.000 km², respondendo por cerca de 15% da água que o rio Amazonas transporta até o Oceano Atlântico (MARINHO, 2019).

A concentração de elementos-traço em sistemas aquáticos superficiais é consequência da geoquímica das rochas de origem e solos da bacia hidrográfica (metais liberados pelo intemperismo); poluição antropogênica (derivada de resíduos ou da deposição atmosférica); reações químicas como adsorção em partículas e em outras superfícies, e deposição em sedimentos (STUMM e MORGAN, 1996). Assim, tomando as variáveis hidrométricas, físicas e físico-químicas como contexto dos sistemas fluviais abordados (Rio Negro propriamente dito e Rio Branco) foram analisados neste estudo as máximas relações possíveis entre os parâmetros utilizados.

O monitoramento ambiental, além de fornecer informações importantes sobre a extensão de poluição, permite avaliar a eficácia de ações mitigadoras adotadas com o propósito de diminuir ou mesmo eliminar sua origem (Chapman, 1996). Nesse contexto, a investigação dos impactos em ambientes aquáticos torna-se fundamental para compreender como fatores naturais e antrópicos alteram as características físico-químicas dos ecossistemas fluviais. Diversos autores têm contribuído para o entendimento da dinâmica geoquímica na bacia Amazônica. Por exemplo, Seyler, Pinelli e Boaventura (2003) avaliaram a concentração e a distribuição de elementos-traço, como V, Cr, Mn, Co, Cu, Zn, As, Rb, SER, Mo, Cd, Sb, Cs, Ba e U no Rio Amazonas e em dois de seus afluentes (Madeira e Negro) até a estação de Óbidos, possibilitando o cálculo do fluxo desses elementos para o oceano Atlântico. Da mesma forma, Viers et al. (2005) constataram que a planície de inundação adjacente do Rio

Amazonas tem uma influência significativa nas concentrações e nos fluxos de elementos-traço como Al, Mn, Fe, Co, Cu, Mo, Rb, SER, Ba e U do curso principal.

Nesta mesma região, Moreira (2019) avaliou a variação espaço-temporal dos parâmetros físico-químicos e do fluxo de elementos-traço (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, V, Zn). No entanto, as regiões do alto e médio curso precisam ainda de uma melhor caracterização, em especial quanto à atualização desses fluxos como subsídio para estudos dos efeitos desses elementos na saúde dos organismos ali viventes. Apesar de os elementos-traço serem elementos químicos que ocorrem na natureza em baixas concentrações, muitos desempenham funções vitais no metabolismo animal. A deficiência desses micronutrientes pode comprometer o crescimento e a saúde de diversos organismos, incluindo: As, Ca, Cl, Cr, Co, Cu, F, Fe, I, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Se, Si, Sn, V e Zn. Por outro lado, elementos como Cd, Hg, Pb, Ni e Al não apresentam função biológica conhecida e, mesmo em concentrações baixas, podem desencadear efeitos tóxicos significativos em organismos aquáticos (HOSSAIN et al., 2025).

Em função do volume e por ser o maior ecossistema de águas pretas do mundo, em 2018 o rio Negro foi designado como Sítio Ramsar Regional, significando que foi incluído na lista de áreas úmidas de importância internacional (BRASIL, 2021). O objetivo de se ter essa declaração é importante para a conservação e uso sustentável, contribuindo não só com atividades como o turismo, mas também dar reconhecimento da importância ecológica, econômica, cultural, científica e recreativa da região (BRASIL, 2021). Motivos estes que indicam a necessidade de mais estudos a respeito das variações naturais em sistemas fluviais de modo que seja possível prever mudanças ambientais ou antrópicas (FILIZOLA; GUYOT, 2009; MARTINEZ et al., 2015; PARK; LATRUBESSE, 2015).

Diante da lacuna de conhecimento e da importância da bacia do Rio Negro, este estudo visa caracterizar a variabilidade espaço-temporal de parâmetros físicos (T e CE), físico-químicos (pH) e os fluxos dos elementos-traço biologicamente essenciais: Co, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo e Zn na bacia hidrográfica do Rio Negro. O foco da análise recai sobre as estações de monitoramento de Serrinha, localizada no médio curso do Rio Negro, e Caracaraí, situada no médio curso do Rio Branco, principal afluente do Rio Negro. Os dados foram obtidos por meio da rede SO HYBAM, no período de 1995 a 2019 (períodos de dados disponíveis), com o objetivo de verificar a existência ou não de variabilidade espacial e temporal desses parâmetros. Dentre os elementos considerados biologicamente essenciais, apenas sete foram abordados neste estudo, pois são os que se encontram disponíveis na base de dados da rede SO HYBAM.

MATERIAIS E MÉTODOS

A região da bacia do Rio Negro tem seus limites contidos entre as coordenadas 3°14'S e 5°8'N de latitude e 72°57'W e 58°16'W de longitude (MARINHO, 2019). Aproximadamente 82% do território desta bacia está localizado no Brasil, enquanto 10% encontram-se na Colômbia, 6% na Venezuela e 2% na Guiana (ARAÚJO et al., 2015). O clima da região é classificado como tropical úmido, e o regime de

precipitação varia de 3500 na porção norte a 2137 mm/ano na porção sul (MOTA, 1996).

Quase toda bacia é coberta por floresta tropical, embora algumas áreas da Colômbia e Roraima sejam cobertas por savana (MARINHO, 2019). Os solos do Rio Negro, com exceção daqueles sob influência do Rio Branco, são muito ácidos e pobres em nutrientes (HORBE e OLIVEIRA, 2008; PANDEY et al., 2020).

Quanto ao relevo, observa-se que a maior parte do curso superior do Rio Negro está situada na região do Escudo das Guianas, um cráton granítico e granulítico de idade Pré-Cambriana. Em contrapartida, o médio e baixo curso desenvolveram-se nos depósitos da bacia sedimentar amazônica, composta por amplos planaltos de idade pleistocênica superior (FRANZINELLI e IGREJA, 2002). A localização das principais estações de monitoramento analisadas neste estudo, Serrinha (SER) e Caracaraí (CAR) estão indicadas na “Figura 1”.

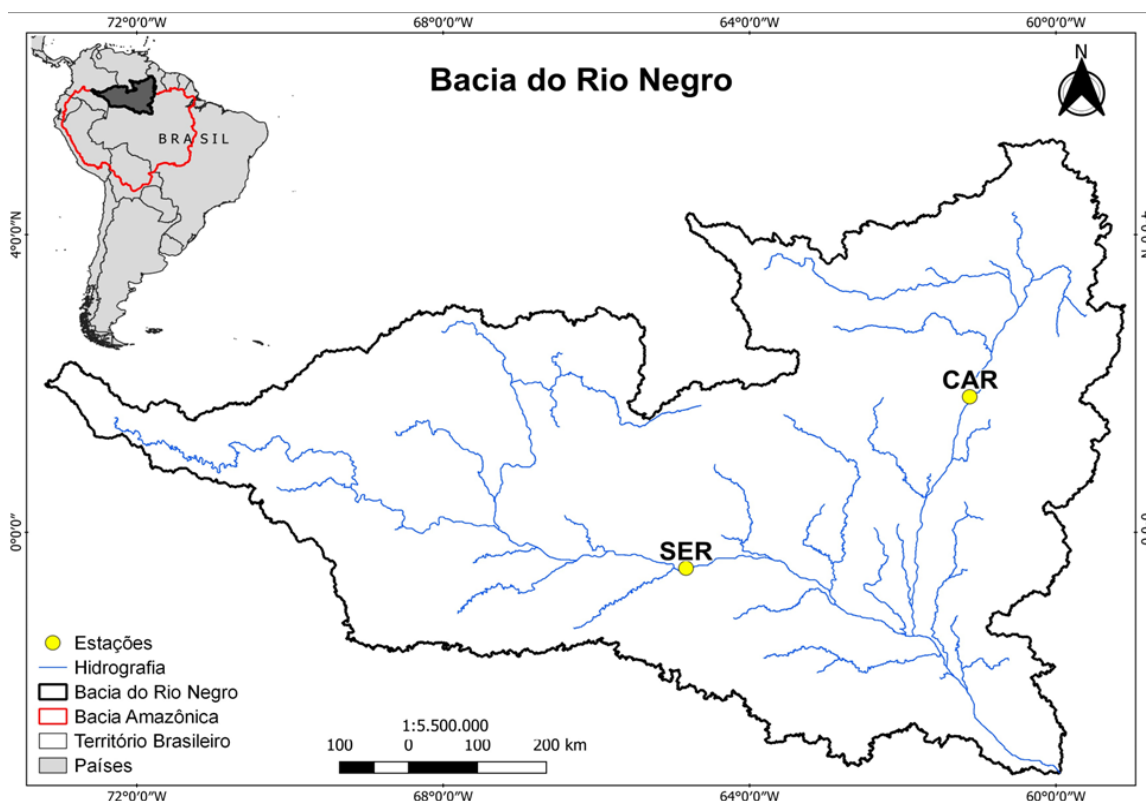


Figura 1. Mapa da área de estudo. **Fonte:** AUTORES (2025).

Aquisição e tratamento de dados

Esta pesquisa utilizou o método quantitativo, e os dados empregados foram obtidos no banco de dados da rede Hybam (www.ore-hybam.org). Desta fonte de dados foram obtidos parâmetros hidrométricos (Cota-H e Vazão-Q), físicos (T e CE), físico-químicos (pH) e geoquímicos (Co, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo e Zn). Esses dados foram analisados em duas estações hidrométricas (Serrinha, no Rio Negro e Caracaraí, no Rio Branco, principal afluente do primeiro) devido ao volume e periodicidade de dados,

sendo a estação controle Caracaraí. Com estes parâmetros realizou-se análise da variabilidade temporal, dos parâmetros físicos, físico-químicos e dos fluxos dos elementos-traço biologicamente essenciais.

Para análise temporal foi estabelecido o período de 2003 a 2018 nas estações Serrinha (SER) e Caracaraí (CAR), por ser o que apresentava volume de dados equivalente nas duas estações. Os dados foram analisados estatisticamente para obtenção das médias anuais e mensais das concentrações dos elementos-traço ao longo do período estudado. Paralelamente, foram processados os dados dos parâmetros físicos e físico-químicos, considerando o intervalo de 1996 a 2012, de acordo com a disponibilidade das séries temporais. Esses resultados foram associados aos hidrogramas anuais e mensais, também calculados para as duas estações analisadas. Dessa forma, foi possível avaliar a evolução do comportamento dos parâmetros em função da variabilidade hidrológica ao longo do tempo.

Para obtenção dos fluxos dos elementos-traço biologicamente essenciais adotou-se a mesma metodologia utilizada para os cálculos de fluxo de Moquet et al (2015) e por Filizola e Guyot, (2011). Segundo esses autores, os fluxos elementares podem ser determinados por meio da seguinte equação:

$$Q_s = Q \cdot [E] \cdot C$$

onde:

Q_s = Fluxo de matéria dissolvida

Q = Vazão

$[E]$ = Concentração do elemento

C = Constante de conversão 0,0864, que permite obter os fluxos em ton.dia⁻¹

Em seguida, para a obtenção dos fluxos anuais, os valores diários foram multiplicados pelo número total de dias do ano civil (365).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e sua discussão foram divididos em duas etapas:

- Variabilidade hidrológica: trata do nível das águas e da descarga líquida na bacia do Rio Negro, relacionando-os com os parâmetros físico-químicos e com a concentração dos elementos-traço biologicamente essenciais para permitir delinear o contexto em que as concentrações de elementos-traço foram obtidas;
- Variabilidade do fluxo dos elementos-traço: trata dos fluxos dos elementos-traço biologicamente essenciais transportados pela bacia do Rio Negro ao Rio Amazonas, tomando-se como referência as estações hidrométricas de referência (Serrinha e Caracaraí).

Variabilidade hidrológica: nível das águas (cota – H), descarga líquida (vazão – Q) e parâmetros físicos (T, CE) e físico-químicos (pH)

- **CARACARAÍ**

A “Figura 2” exibe a variabilidade do compilado de 5844 dados do parâmetro cota (cm) registrados diariamente no período de 2003 a 2018, e o compilado de 5812 dados registrados diariamente no mesmo período, do parâmetro vazão. Onde a vazão está expressa em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, enquanto a cota em cm.

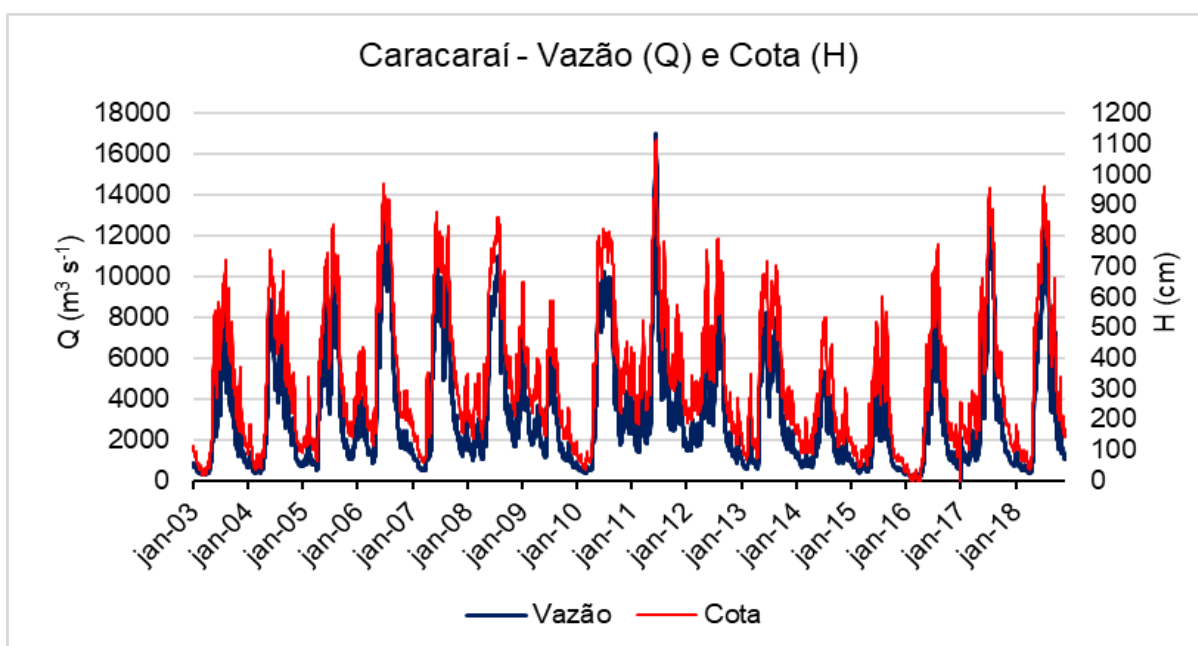


Figura 2. Variabilidade fluviométrica cota versus vazão na estação Caracaraí. A vazão (Q) é representada pela linha azul no eixo y à esquerda, enquanto a cota (H) é representada pela linha vermelha no eixo y à direita. **Fonte:** AUTORES (2025).

De acordo com a “Figura 2” verificou-se que se trata de um comportamento clássico do parâmetro vazão ser semelhante ao de cota, já que a vazão tende a reproduzir o comportamento geral das cotas. O mesmo não se observa para a estação de Manaus, como bem foi citado por Meade et al. (1991) e Filizola et al. (2011) que afirmam que esta estação, bem como a de Moura refletem as influências do efeito de remanso, uma vez que as medições nesta estação acabam mensurando as flutuações do Rio Solimões.

Tanto a cota, quanto a vazão indicam uma ligeira tendência de aumento ao longo do período analisado. Essa tendência é mais evidente nos primeiros anos (2003 a 2008), quando a cota média mensal sobe de cerca de 700 cm para 900 cm, e a vazão de $8000 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$ para $12000 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$, voltando a ficar evidente novamente a partir de 2014 cujos registros apontam como um ano em que houve inundação (MARENGO, ESPINOZA, 2015).

Como a vazão tende a reproduzir o comportamento da cota, realizou-se a análise mensal apenas da vazão exibida na “Figura 3”.

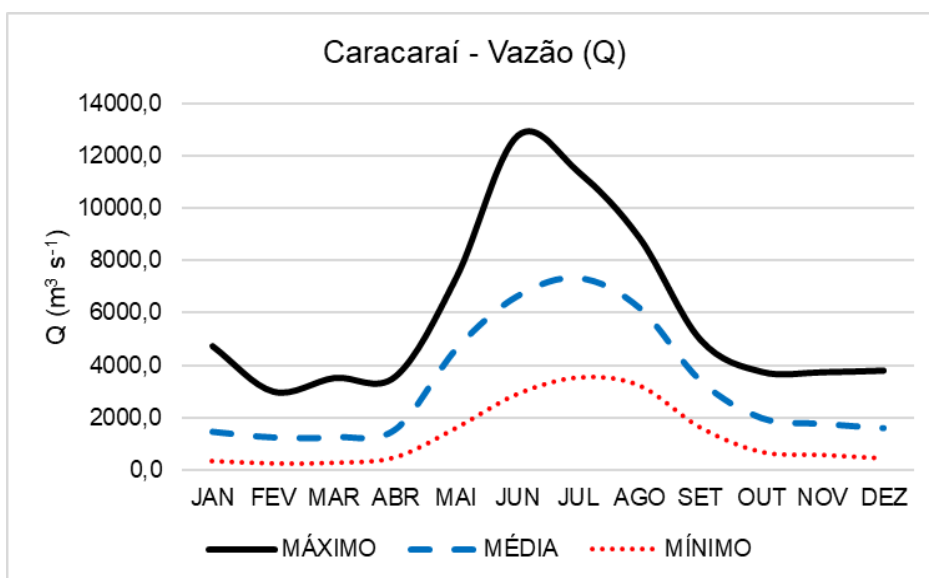


Figura 3. Regime mensal de vazão em Caracaraí no período de 2003 a 2018. O eixo x representa os meses do ano (JAN a DEZ) e o eixo y indica a vazão (Q, em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$). **Fonte:** AUTORES (2025).

De acordo com a “Figura 3” foi possível observar que o regime mensal de vazão na estação Caracaraí apresentou os maiores valores médios com picos máximos, nos meses de junho, julho e agosto, configurando o período de águas altas nesta estação, enquanto o período de águas baixas, as menores médias, foram registrados nos meses de janeiro, fevereiro e março.

Ou seja, nesta bacia cuja estação de o cenário mostra que a vazão máxima foi de $12760 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$, a média de $3257 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$ e a mínima de $256 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$. Observou-se ainda uma sensibilidade dos parâmetros físicos e físico-químicos frente a essas variações de vazão ao longo de um ano hidrológico, onde a média dos menores valores de temperatura apresentaram-se no período de cheia $26,93^\circ \text{C}$, enquanto as maiores médias de temperatura apresentaram-se no período de águas baixas, $29,51^\circ \text{C}$. Esse comportamento está diretamente relacionado à dinâmica hidrológica e aos controles físicos dos grandes rios tropicais, conforme discutido por Hamilton (2010). Durante a cheia, o aumento do volume e da profundidade do rio eleva a capacidade térmica da coluna d’água, reduzindo a amplitude das variações de temperatura e resultando em águas mais amenas. Já no período de estiagem, o menor volume de água favorece o aquecimento mais rápido pela radiação solar, elevando a temperatura média da água. Portanto, a variação térmica observada ao longo do ciclo hidrológico reflete o papel fundamental do pulso de inundação na regulação das características físico-químicas dos sistemas fluviais amazônicos (HAMILTON, 2010)

Sensibilidade a essas alterações também foram observadas em condutividade elétrica e pH. Verificou-se que a média dos maiores valores de CE, ocorreram nos períodos de vazante e seca, 26,48 a 26,63, respectivamente; enquanto que os menores valores apresentaram-se nos períodos de cheia e enchente, 23,05 a 26,27, respectivamente. Esse padrão é consistente com o efeito de diluição promovido pelo aumento do volume de água durante as cheias, o que reduz a concentração de íons dissolvidos e,

consequentemente, os valores de CE e pH. O fenômeno foi descrito por Hamilton (2010) onde menciona que essa relação é característica de grandes sistemas fluviais, nos quais a variabilidade dos parâmetros físico-químicos está ligada ao pulso hidrológico anual.

No entanto, o Rio Branco apresenta um comportamento hidro químico distinto do esperado para rios de água branca, principalmente devido à geologia da área drenada. Durante o período seco, suas características tornam-se mais semelhantes às dos rios de água clara, como o Tapajós, do que às dos rios de água branca, como o Solimões. Essa peculiaridade está relacionada à geologia local com influência de formações arenosas e altamente lixiviadas, o que determina a composição química da água. Esse efeito geológico foi observado no estudo de Horbe et al. (2013) que estudou a química da água do Rio Madeira associada à geologia local e extrapolável ao Rio Branco por similaridade. Dessa forma, o ciclo hidrológico atua de modo secundário, promovendo diluição nas cheias e concentração nos períodos de estiagem. Nesta pesquisa, os valores médios de pH variaram de 6,54 no período de enchente a 6,67 na vazante. Estudos de Leenheer e Santos (1980) e Silva (2012) mostraram os maiores valores no período de águas baixas, 5,20 e 5,72 respectivamente, e menores no período de enchente e cheia, 4,60 e 4,59, respectivamente, concordando com esta pesquisa.

• SERRINHA

A “Figura 4” exibe a variabilidade do compilado de 5792 dados do parâmetro cota registrados diariamente no período de 2003 a 2018, como também o compilado de 5792 dados registrados diariamente no mesmo período, mas desta vez do parâmetro vazão. A vazão está expressa em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ e a cota diária cm.

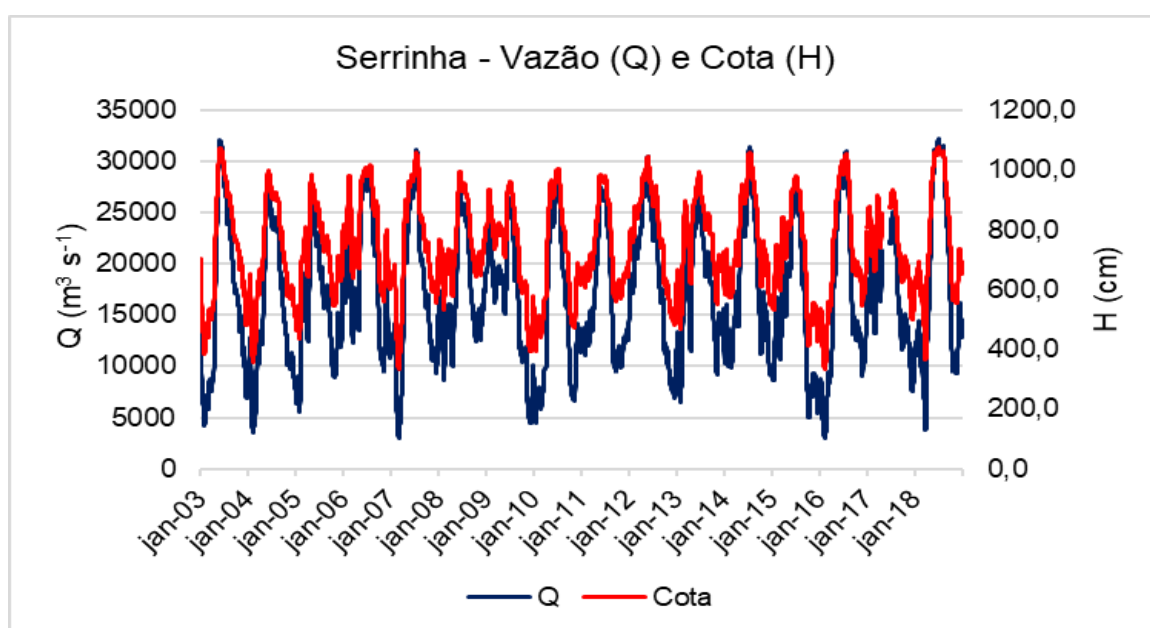


Figura 4. Variabilidade fluviométrica cota versus vazão na estação Serrinha. A vazão (Q) é

representada pela linha azul no eixo y à esquerda, enquanto a cota (H) é representada pela linha vermelha no eixo y à direita. **Fonte:** AUTORES (2025).

A “Figura 4” exibiu linhas contínuas nas séries históricas, sem lacunas; indicando uma série histórica completa. A correlação entre a vazão e a cota é esperada, uma vez que a vazão do rio acompanha de perto as variações de cota. O comportamento exibido aponta para uma forte sazonalidade, provavelmente logada às estações chuvosas e secas.

Foi possível observar picos máximos de vazão próximos de $31340 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ em 2014, coincidente com registro de cheia, seguido por picos mínimos abaixo de $5000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ como no ano de 2010 que indicou ter sido ano de seca (MARENGO, ESPINOZA, 2015). Não é possível afirmar categoricamente uma tendência clara de aumento ou diminuição ao longo do período analisado, mas sim uma repetição de ciclos de alta e baixa.

A “Figura 5” exibe a análise mensal do parâmetro vazão na estação Serrinha.

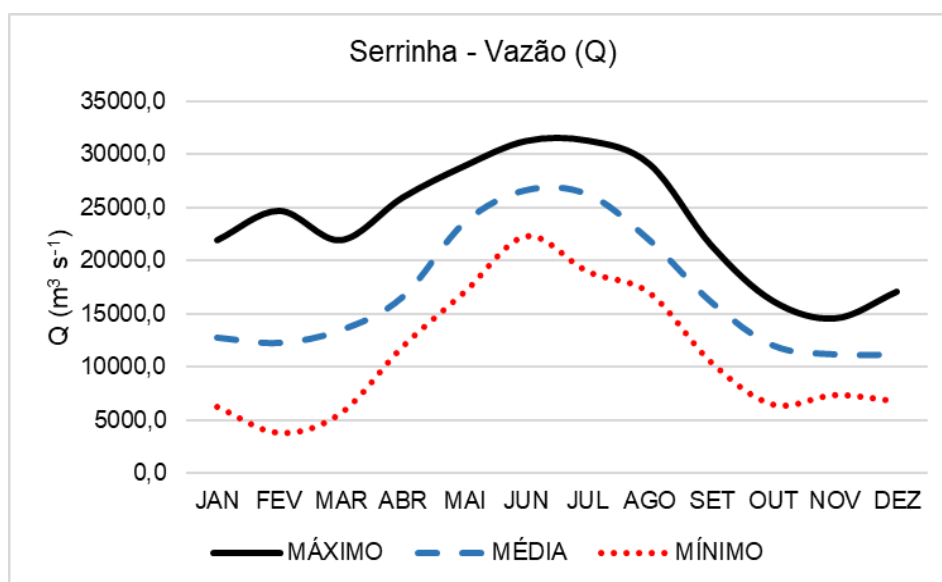


Figura 5. Regime mensal de vazão em Serrinha no período de 2003 a 2018. O eixo x representa os meses do ano (JAN a DEZ) e o eixo y indica a vazão (Q, em $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$). **Fonte:** AUTORES (2025).

Segundo a “Figura 5” foi possível observar que o regime mensal de vazão apresentou os maiores valores médios nos meses de maio, junho e julho, configurando o período de águas altas dessa estação, enquanto que o período de águas baixas, cujas menores médias foram registras em outubro, novembro e dezembro. De acordo com Filizola (2002), na região da bacia do Rio Negro, o máximo pluviométrico é observado de maio a julho, enquanto no sul da bacia, o mesmo se observa de dezembro a março. Neste caso, a variabilidade observada tanto em Caracaraí quanto em Serrinha, está de acordo com os índices pluviométricos descritos na literatura. Guyot et al. (1993)

identificaram que na estação de Serrinha não há uma estação seca bem definida, reforçando a normalidade do resultado.

O cenário geral da estação de Serrinha mostra o valor máximo de vazão de $31310 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, valor médio de $17019 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e mínimo de $3747 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Observou-se ainda uma sensibilidade dos parâmetros físico-químicos frente a essas variações de vazão ao longo de um ano hidrológico, onde a média dos menores valores de temperatura apresentou-se no período de cheia $27,0^\circ \text{ C}$, e a média dos maiores valores registrada no período de seca $28,62^\circ \text{ C}$, assim como em Caracaraí mostrando que águas altas apresentam temperaturas mais amenas e águas baixas exibem temperaturas mais elevadas. Sabe-se que a posição da ITCZ influencia o padrão de chuvas na bacia, e pode estar associada também a esta oscilação da temperatura, uma vez que o deslocamento para norte da ITCZ durante março-maio, causa diminuição de chuva sobre o norte do Nordeste e leste da Amazônia. Uma das razões pelas quais ocorre essa diminuição de chuva é o deslocamento da ITCZ para o hemisfério norte que ocorre no começo do mês de março quando o Atlântico tropical norte está mais quente que o normal. Porém quando o Atlântico tropical sul está mais quente que o normal, a ITCZ começa a se mover para norte em abril, o que é confirmado pelo maior volume de chuvas (NOBRE e SHUKLA, 1996).

Quanto a variação da condutividade elétrica, observou-se que a média dos menores resultados foi observada no período de águas baixas $6,58 \mu\text{S cm}^{-1}$, enquanto que a média dos maiores resultados foi registrada em período de águas altas $7,58 \text{ a } 63 \mu\text{S cm}^{-1}$, concordando com a pesquisa de Santos et al. (1984) que apresenta que condutividade elétrica em torno de $8,00 \mu\text{S cm}^{-1}$ é característico de rios de água preta.

Enquanto que os valores médios de pH nesse estudo variaram de 4,52 no período de enchente, a 5,17 no período de vazante, logo, o período de água mais baixa apresentou os maiores valores de pH, contrário do período de águas mais altas, em que se deram os menores valores, ou seja, o volume d'água é inversamente proporcional ao valor de pH, haja vista que quando o rio enche atinge áreas de zonas de várzeas, permite o contato com uma grande quantidade de matéria orgânica o que contribui para a diminuição dos valores de pH, devido principalmente a alta percentagem de ácidos orgânicos, dissolvido em águas pretas correspondentes a ácidos húmicos e fúlvicos (LEENHEER, 1980).

Quanto à variabilidade sazonal foi possível confirmar o que a literatura já indicava, que dentro de uma mesma bacia hidrográfica, neste caso a do Rio Negro, há mais de um regime hidrológico dentro de um mesmo ciclo hidrológico com uma defasagem de um mês entre um e outro regime, mais especificamente entre Serrinha e Caracaraí, caracterizando distintamente as duas principais sub-bacias do Rio Negro. Nos resultados obtidos para a estação Serrinha mais ao norte da bacia, o período de cheia variou de maio a julho, enquanto Caracaraí, localizada mais ao sul da bacia, o período de cheia se deu entre junho e agosto, conforme demonstraram as “Figuras 3 e 5”.

A partir do conhecimento do contexto da variabilidade hidrológica e dos parâmetros físicos e físico-químicos de ambas estações, analisou-se o comportamento das concentrações dos elementos-traço biologicamente essenciais, tanto em escala anual, quanto em escala mensal.

As “Tabelas 1 e 2” exibem o resultado das médias das concentrações anuais dos elementos em suas respectivas estações.

Tabela 1. Médias anuais da concentração de matéria dissolvida em Caracaráí.

CARACARÁÍ							
Ano	[Fe] ($\mu\text{g L}^{-1}$)	[Mg] ($\mu\text{g L}^{-1}$)	[Mn] ($\mu\text{g L}^{-1}$)	[Co] ($\mu\text{g L}^{-1}$)	[Cu] ($\mu\text{g L}^{-1}$)	[Zn] ($\mu\text{g L}^{-1}$)	[Mo] ($\mu\text{g L}^{-1}$)
2003	94,38	474,79	6,93	0,07	0,95	5,37	0,05
2004	165,30	780,23	5,70	0,07	2,14	8,14	0,05
2005	290,50	832,45	5,83	0,08	2,17	4,89	0,05
2006	397,61	851,07	9,39	0,13	1,33	9,02	0,07
2007	270,08	843,67	10,85	0,15	1,21	10,64	0,04
2008	317,35	764,59	7,66	0,09	0,80	8,35	0,03
2009	298,03	872,77	7,09	0,10	0,80	9,90	0,03
2010	358,36	901,62	9,59	0,12	0,81	5,03	0,04
2011	382,70	860,77	9,46	0,15	1,43	3,31	0,09
2012	285,74	643,75	4,87	0,08	1,01	3,02	0,04
2013	*	*	3,05	0,06	0,89	19,80	0,35
2014	233,31	786,17	2,61	0,07	0,89	12,26	0,02
2015	187,31	867,80	2,45	0,05	1,11	24,10	0,03
2016	573,62	933,56	11,33	0,22	2,21	23,54	0,03
2017	197,38	881,20	2,77	0,06	1,89	12,03	0,02
2018	*	985,00	3,65	0,18	1,04	6,05	2,45
Média	299,23	835,53	6,46	0,11	1,29	10,31	0,15

* Dados indisponíveis. **Fonte:** AUTORES (2025)

Tabela 2. Médias anuais da concentração de matéria dissolvida em Serrinha.

SERRINHA							
Ano	[Fe] ($\mu\text{g L}^{-1}$)	[Mg] ($\mu\text{g L}^{-1}$)	[Mn] ($\mu\text{g L}^{-1}$)	[Co] ($\mu\text{g L}^{-1}$)	[Cu] ($\mu\text{g L}^{-1}$)	[Zn] ($\mu\text{g L}^{-1}$)	[Mo] ($\mu\text{g L}^{-1}$)
2003	123,56	143,75	4,68	0,05	0,79	4,10	*
2004	151,01	202,14	5,33	0,06	1,09	3,55	0,06
2005	172,40	142,00	5,55	0,06	1,68	2,69	0,02
2006	161,47	140,13	4,57	0,04	1,40	3,10	0,05
2007	200,32	176,39	5,95	0,05	0,59	4,52	0,03
2008	232,04	143,29	8,40	0,07	0,26	2,32	0,03
2009	*	*	*	*	*	*	*
2010	226,27	54,51	9,76	0,06	0,22	3,50	0,02
2011	196,70	178,85	10,81	0,08	0,76	3,96	0,03
2012	185,88	*	8,30	0,06	0,22	2,86	0,01
2013	316,12	95,91	9,93	0,10	0,63	2,86	0,03
2014	270,12	*	6,68	0,10	0,31	1,52	0,01
2015	169,36	*	7,00	0,08	0,68	2,94	0,00
2016	439,07	112,57	13,09	0,22	1,06	8,87	0,00

SERRINHA							
Ano	[Fe] ($\mu\text{g L}^{-1}$)	[Mg] ($\mu\text{g L}^{-1}$)	[Mn] ($\mu\text{g L}^{-1}$)	[Co] ($\mu\text{g L}^{-1}$)	[Cu] ($\mu\text{g L}^{-1}$)	[Zn] ($\mu\text{g L}^{-1}$)	[Mo] ($\mu\text{g L}^{-1}$)
2017	438,39	217,70	17,40	0,37	1,64	7,60	0,01
2018	*	*	8,79	0,07	0,95	*	*
Média	237,40	144,80	8,87	0,11	0,82	4,28	0,02

* Dados indisponíveis. **Fonte:** AUTORES (2025)

Em escala anual, as maiores concentrações de ferro foram observadas em Caracaraí, nesta estação a média geral registrou $229,23 \mu\text{g L}^{-1}$, em SER a média geral marcou $237,40 \mu\text{g L}^{-1}$. Os maiores índices de concentração de ferro foram registrados nos anos 2006, 2011 e 2016 em CAR, enquanto que em SER foram registrados nos anos de 2013, 2016 e 2017.

Em escala anual, as maiores concentrações de magnésio foram observadas em Caracaraí, tanto por possuir maior quantidade de anos com dados, quanto por concentrações mais elevadas. Segundo Villamizar et al. (2020) o fato está diretamente relacionado à geologia da área drenada, devido ao intemperismo das rochas ricas em minerais máficos presentes no Escudo das Guianas. Para a estação CAR a média geral registrou $835,53 \mu\text{g L}^{-1}$, enquanto que em SER a média geral marcou $144,80 \mu\text{g L}^{-1}$. Os maiores índices de concentração de magnésio foram registrados nos anos 2009, 2015 e 2017 em CAR com concentrações maiores que $900 \mu\text{g L}^{-1}$, em contrapartida, SER registrou em apenas dois anos concentrações maiores que $200 \mu\text{g L}^{-1}$, 2004 e 2017.

As concentrações anuais de manganês em CAR variaram de $2,45 \mu\text{g L}^{-1}$ a $11,33 \mu\text{g L}^{-1}$, enquanto que em SER foram de $4,57 \mu\text{g L}^{-1}$ a $17,40 \mu\text{g L}^{-1}$. A média geral entre as duas estações foi semelhante, CAR registrou valores de $6,43 \mu\text{g L}^{-1}$ enquanto que SER marcou $8,87 \mu\text{g L}^{-1}$, os maiores índices de concentração de manganês foram registrados nos anos 2006, 2009 e 2015 em CAR, em contrapartida, SER registrou suas maiores concentrações nos anos de 2011, 2016 e 2017.

As concentrações anuais de cobalto mostraram-se bem baixas em ambas estações, pois, todos os valores apresentaram-se abaixo de $1,0 \mu\text{g L}^{-1}$. Os resultados de CAR variaram de $0,05$ a $0,22 \mu\text{g L}^{-1}$, nos anos de 2014 e 2015, respectivamente. No que diz respeito a SER, os resultados mínimos e máximos, apresentaram-se em 2006 e em 2017, cujos valores foram de $0,04$ e $0,37 \mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente.

As concentrações anuais de cobre em CAR variaram de $0,80 \mu\text{g L}^{-1}$ a $0,21 \mu\text{g L}^{-1}$, enquanto que em SER variaram de $0,22 \mu\text{g L}^{-1}$ a $1,68 \mu\text{g L}^{-1}$. De acordo com a média geral, embora sejam concentrações baixas, as de CAR foram maiores cujo valor foi de $1,29 \mu\text{g L}^{-1}$, enquanto que Serrinha registrou $0,82 \mu\text{g L}^{-1}$; os anos que apresentaram os maiores índices de concentração de cobre, em CAR foram 2003, 2004 e 2015, já em SER 2005, 2006 e 2017.

Para zinco as concentrações anuais em CAR variaram de $3,02 \mu\text{g L}^{-1}$ a $24,10 \mu\text{g L}^{-1}$, enquanto que em SER variaram de $1,52 \mu\text{g L}^{-1}$ a $8,87 \mu\text{g L}^{-1}$. os anos que apresentaram os maiores índices de concentração de zinco em CAR foram 2012, 2014 e 2015, em SER foram os anos 2007, 2016 e 2017.

Em escala anual, as concentrações de molibdênio na estação CAR variaram de 0,02 a 2,45 $\mu\text{g L}^{-1}$, enquanto na estação SER não ultrapassaram 0,06 $\mu\text{g L}^{-1}$. A média anual em Caracará foi de 0,15 $\mu\text{g L}^{-1}$, superior à observada em Serrinha, que apresentou média de 0,02 $\mu\text{g L}^{-1}$. Segundo Seyler e Boaventura (2003), as concentrações de molibdênio tendem a ser inversamente proporcionais à descarga hídrica; assim, os menores valores encontrados em Serrinha, onde a vazão é mais elevada, estão em conformidade com o comportamento esperado.

Os anos de maiores concentrações de molibdênio em Caracará foram 2010, 2012 e 2017. Para Serrinha, os picos ocorreram em 2004, 2006 e 2011. Vale ressaltar que, nesta última estação, não há dados disponíveis para os anos de 2003, 2009 e 2018. Esses resultados estão sintetizados na “Tabela 3”, que também reúne valores de molibdênio reportados em outros rios amazônicos, facilitando a comparação entre diferentes rios da região.

Tabela 3. Média das concentrações de molibdênio em diferentes rios amazônicos.

RIO	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Referência Comparativa
CAR (Branco)	0,15	Autores (2025)
SER (Negro)	0,02	Autores (2025)
Solimões	0,27	Viers et al. (2005)
Negro (Paricatuba)	0,08	Seyler e Boaventura (2003)

Fonte: AUTORES (2025)

As concentrações de molibdênio observadas em CAR e SER assemelham-se às médias registradas para o rio Negro por Seyler e Boaventura (2003) e próximas dos intervalos relatados no Rio Solimões por Viers et al. (2005), sugerindo influência de características hidroquímicas locais na disponibilidade desse elemento.

Agora em escala mensal, a “Tabela 4” mostra os resultados para o período de estudo das concentrações dos elementos-traço biologicamente essenciais obtidos para estação Caracará. Observou-se uma ordem decrescente de concentração dos elementos, nesta ordem: Fe, Mg, Mn, Zn, Cu, Co e Mo.

Tabela 4: Concentração mensal dos elementos-traço em Caracará.

Estação	Q média (m³ s⁻¹)	Concentração média mensal (µg L⁻¹)							
		Fe	Mg	Mn	Co	Cu	Zn	Mo	
Caracaraí	3265,2	Jan	271,96	811,77	6,11	0,08	1,02	8,83	0,04
		Fev	249,18	849,08	6,89	0,10	1,29	14,94	0,14
		Mar	168,37	883,97	5,88	0,11	1,11	7,50	0,30
		Abr	228,90	869,85	6,35	0,11	1,40	9,32	0,05
		Mai	312,75	782,49	7,36	0,14	2,15	13,31	0,03
		Jun	295,10	780,40	5,96	0,09	1,52	7,94	0,26

Estação	Q média (m³ s⁻¹)	Concentração média mensal (µg L⁻¹)						
		Fe	Mg	Mn	Co	Cu	Zn	Mo
	Jul	375,14	794,17	6,62	0,12	1,81	12,05	0,67
	Ago	368,48	797,36	6,18	0,10	1,25	17,92	0,04
	Set	380,84	906,42	6,29	0,09	1,20	10,08	0,04
	Out	285,35	884,08	6,53	0,12	0,77	8,69	0,05
	Nov	340,81	825,92	5,68	0,09	0,94	7,90	0,04
	Dez	323,44	856,73	7,64	0,12	0,99	5,19	0,03

Fonte: AUTORES (2025)

A “Tabela 5”, também em escala mensal, exhibe os resultados para o período de estudo das concentrações dos elementos-traço biologicamente essenciais obtidos para estação Serrinha. Cujas ordens decrescente de concentração dos elementos mostraram-se a mesma de Caracaraí.

Tabela 5: Concentração dos elementos-traço em Serrinha.

Estação		Q média (m³ s⁻¹)	Concentração média mensal (µg L⁻¹)						
			Fe	Mg	Mn	Co	Cu	Zn	Mo
Serrinha	16949,4	Jan	251,69	121,71	7,73	0,08	0,75	3,35	0,02
		Fev	222,17	97,80	7,58	0,07	0,99	3,40	0,01
		Mar	274,78	135,50	7,61	0,08	0,65	3,55	0,04
		Abr	224,75	122,58	10,18	0,08	0,58	2,50	0,02
		Mai	227,89	116,59	9,34	0,08	0,72	3,45	0,03
		Jun	282,40	240,15	14,27	0,26	1,58	5,53	0,04
		Jul	175,17	156,36	11,62	0,12	0,74	3,53	0,01
		Ago	213,88	207,11	9,16	0,14	0,80	5,07	0,01
		Set	171,75	160,71	7,15	0,15	0,73	4,22	0,02
		Out	336,97	115,72	7,80	0,09	0,80	4,53	0,03
		Nov	190,05	135,79	7,09	0,07	0,76	4,65	0,01
		Dez	244,23	135,08	7,90	0,09	0,75	3,52	0,02

Fonte: AUTORES (2025)

Quanto à vazão, a estação Serrinha registrou uma média de vazão superior à estação Caracaraí por quase cinco vezes, 16949,4 m³ s⁻¹ contra 3265,2 m³ s⁻¹, respectivamente. Comparando as concentrações entre as estações, observou-se que de modo geral as concentrações de Caracaraí mostraram-se superiores às de Serrinha.

Estes dados foram projetados graficamente resultando na “Figura 6” que trata dos valores mensais da estação Caracaraí, e “Figura 7” representando a estação Serrinha.

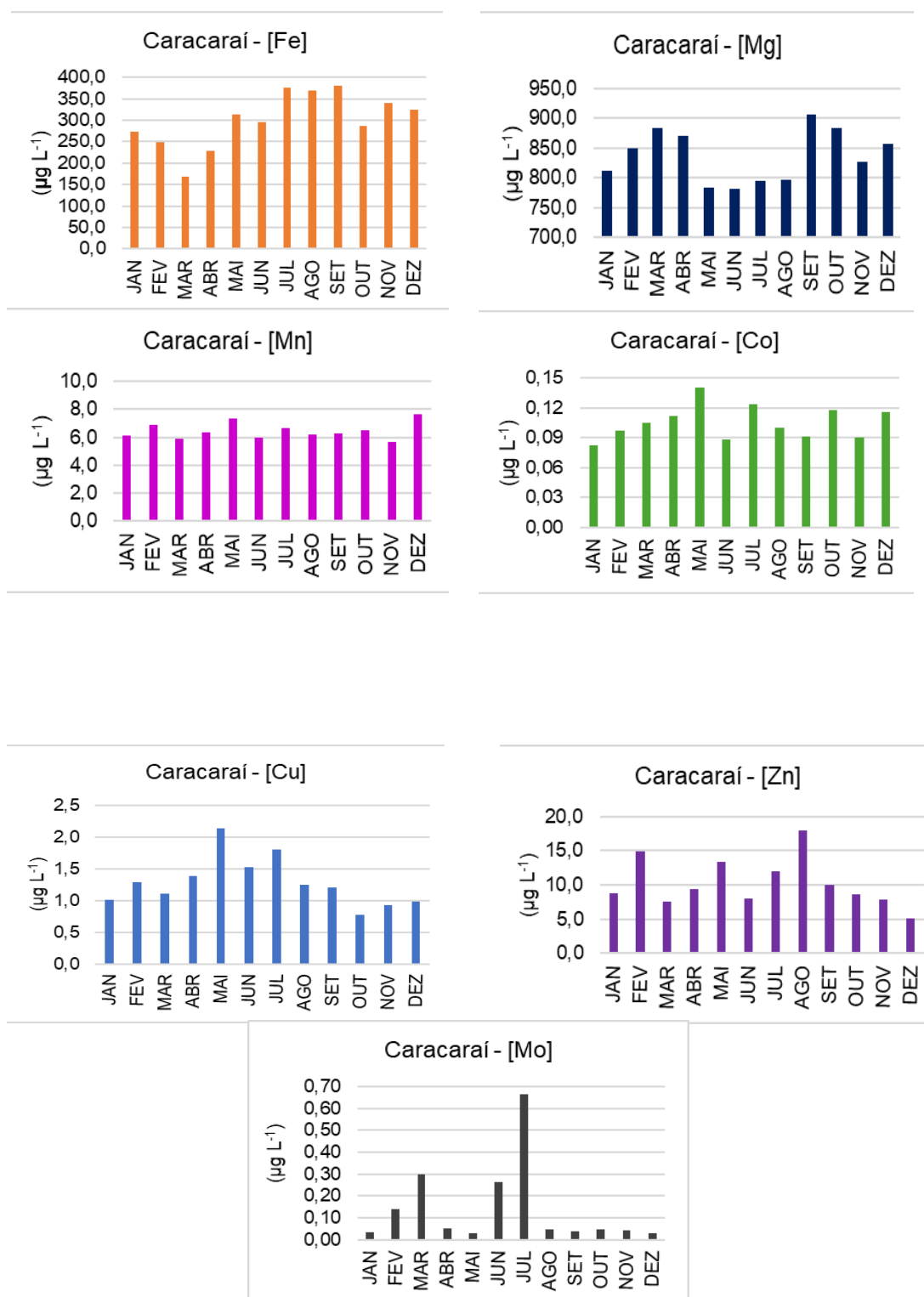


Figura 6. Gráficos de concentração mensal de elementos-traço na estação Caracarái.

Fonte: AUTORES (2025).

Analisando-se individualmente as estações observou-se que em Caracarái:

- A concentração de ferro [Fe] apresentou um padrão sazonal, com valores mais altos nos meses de julho a setembro e valores mais baixos nos meses de outubro a março. Esse padrão pode ser explicado pela influência da estação chuvosa, que ocorre de dezembro a abril. As chuvas podem aumentar a concentração de Fe nos rios por meio da erosão do solo e da lixiviação de rochas; o estudo de Horbe et al. (2013) que mostrou que no período de transição para seca, ocorreram as maiores concentrações de ferro.
- Magnésio [Mg] apresentou um padrão sazonal oposto ao de ferro, com valores mais altos nos meses setembro a abril, e valores mais baixos nos meses de maio a agosto. Ou seja, no período de chuvas a concentração diminui, indicando diluição. Embora não tenha apresentado dados para este elemento em específico, Horbe et al. (2013) inferiu que elementos-traço sofrem influência da sazonalidade, e que no período de cheia é esperado que suas concentrações sofram diluição. Em estudos mais distantes, Mortatti et al. (1997) indicaram que os teores de magnésio apresentaram um certo equilíbrio entre os valores de concentração produzidas e escoadas.
- Manganês [Mn] manteve o nível de suas concentrações quase que constante ao longo do ano, sem grandes oscilações, registrou no mês de dezembro sua maior concentração, $7,64 \mu\text{g L}^{-1}$, valor muito próximo do obtido no Rio Solimões por Viers et al. (2005), $10,78 \mu\text{g L}^{-1}$, mesmo que em outro rio. O que sugere que sua concentração não está exclusivamente ligada ao regime hidrológico já que se manteve com pequenas flutuações ao longo de todo ano, em nível de concentração.
- Zinco [Zn] apresentou variação de concentração de aproximadamente $5,0$ e $18 \mu\text{g L}^{-1}$, com um pico acentuado em agosto, que representa o maior valor registrado no período. Outros meses de destaque, com concentrações mais elevadas, incluem fevereiro, maio e julho, todos acima de $12,0 \mu\text{g L}^{-1}$. Entre setembro e dezembro, houve uma tendência de declínio gradual nas concentrações, com os menores valores observados em dezembro, próximo de $5,0 \mu\text{g L}^{-1}$. De maneira geral, os maiores valores de Zn concentram-se nos meses de transição entre o final da cheia e o início da estiagem. As concentrações de zinco medidas no Rio Negro e Solimões Seyler e Boaventura (2003) são em torno de 15 vezes menor, do que as obtidas em CAR.
- Cobre [Cu] apresentou um padrão sazonal, em que o mês de dezembro indica o início da subida das concentrações, atingindo seu pico máximo no mês de maio, o mês de julho aponta o período de declive das concentrações. Comparando com os resultados de Viers et al. (2005), observou-se que de fato as maiores concentrações foram obtidas no período de aumento de descarga, apresentando um atraso entre os picos máximos de concentração versus descarga.
- Cobalto [Co] apresentou um padrão sazonal semelhante ao padrão de cobre, embora tenha mostrado oscilações no período de declive. Exibiu uma crescente de concentrações nos meses de janeiro a maio, enquanto que junho foi o mês com a menor concentração. As concentrações desse estudo são menores quando comparadas ao estudo de Horbe et al. (2013) em que os mesmos exibiram uma média $0,6 \mu\text{g L}^{-1}$ nas águas do Rio Madeira.

- Molibdênio [Mo] não apresentou um comportamento padrão, apontou um pico majoritário no mês de julho, e outro menor em março, no período de agosto a janeiro não exibiu significativas oscilações nas concentrações. Embora, Seyler e Boaventura (2003) tenham inferido que a concentração de molibdênio decresça com o aumento da descarga, o mesmo não foi constatado nesta pesquisa. Este foi o elemento cuja média das concentrações foi a menor, dentre os demais.

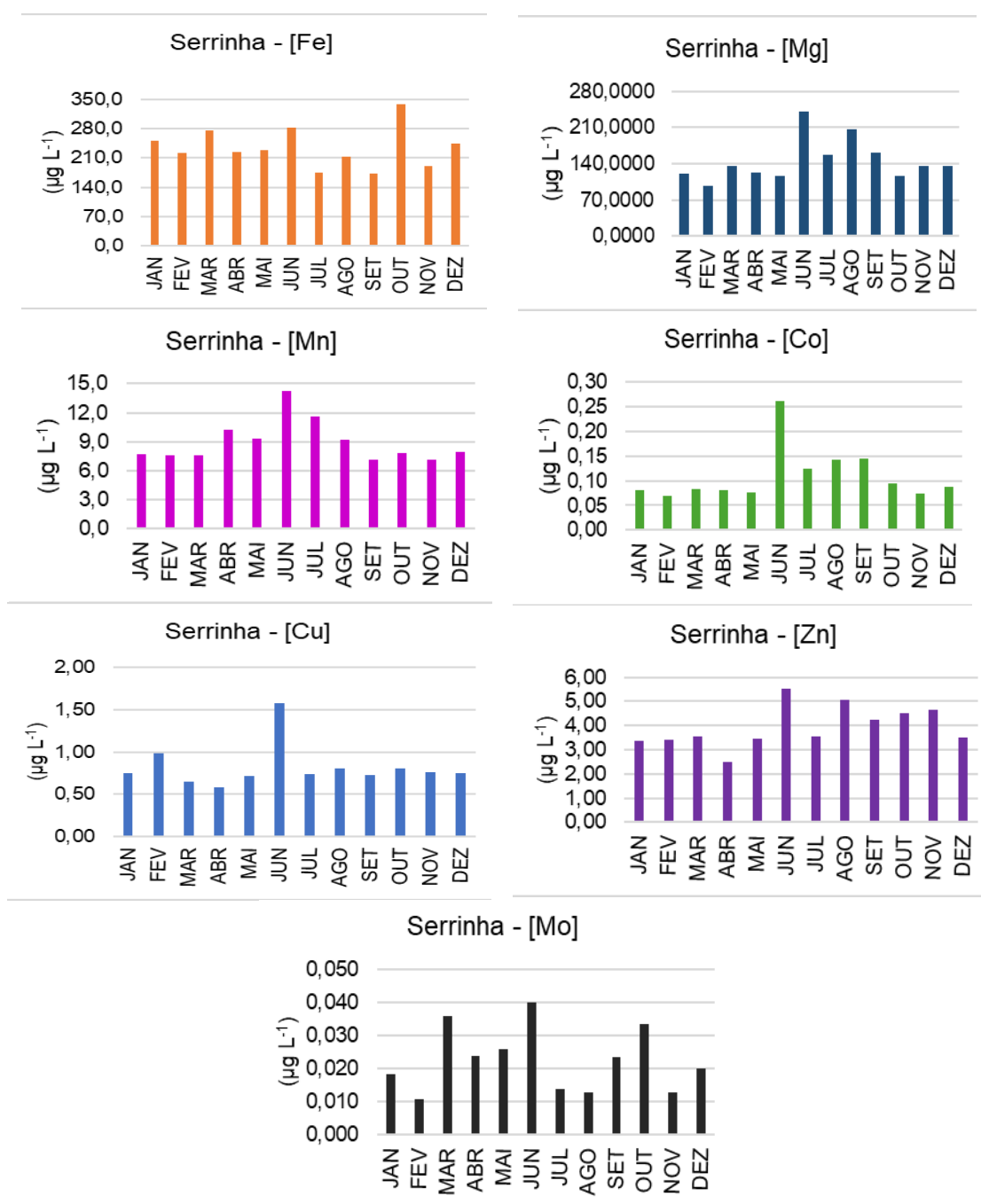


Figura 7. Gráficos de concentração mensal de elementos-traço na estação Serrinha. **Fonte:** AUTORES (2025).

Realizando-se esta mesma análise para estação Serrinha, observou-se que de modo geral, todos os elementos-traço apresentaram um padrão sazonal claro, com picos de concentração no mês de junho para quase todos os elementos, com exceção apenas para o ferro. No entanto, a densidade de concentrações mais elevadas ocorre em períodos de transição como enchente e/ou vazante. Esse padrão pode ser explicado pela influência da estação chuvosa, que ocorre no Rio Negro de dezembro a abril, no qual se observa um efeito diluidor nas concentrações.

Análise individual dos elementos-traço:

- Ferro [Fe] apresentou um comportamento intervalado, no qual o mês de junho apresentou a segunda maior média, seguido por três meses de concentrações menores, voltando em outubro com uma concentração mais elevada e majoritária. As médias de concentração desse estudo não apresentou uma discrepância com os apresentados por Horbe et al (2008) cuja média foi de 0,76 mg. L⁻¹ nos igarapés de água preta, contra aproximadamente 0,24 mg. L⁻¹ neste.
- Magnésio [Mg] não apresentou um comportamento padrão, mas registrou uma densidade de concentrações mais elevadas no meio do ano, entre junho e setembro, apontando um pico majoritário no mês de junho, e um menor em fevereiro; já que o primeiro semestre as concentrações foram inferiores. Quando comparado ao estudo de Lages et al. (2013) que também estudou águas pretas, notou-se o mesmo padrão de comportamento, uma densidade de maiores concentrações em período de transição, neste caso fim da estação cheia e início da vazante.
- Manganês [Mn] exibiu seu pico máximo de concentração também no mês de junho, cujo resultado foi de aproximadamente 14 µg L⁻¹, onde os meses que o antecederam mostraram um crescimento gradativo, bem como os meses que o sucederam, que apresentaram declínio também gradativo nas concentrações. Comparando este resultado a outros trabalhos em diferentes rios, observou-se que não existe uma discrepância entre as médias de concentração, visto que Horbe et al. (2013) obteve a média 14 µg L⁻¹ no Rio Madeira, e Miranda et al. (2009) obteve a concentração de aproximadamente 12,0 µg L⁻¹ no Rio Tapajós.
- Zinco [Zn] apresentou um padrão sazonal com valores mais altos nos meses de junho a novembro e valores mais baixos nos meses de dezembro a maio, consequentemente, o segundo semestre registrou o conjunto de médias mais elevadas. apresentou um padrão sazonal com valores mais altos nos meses de junho a novembro e valores mais baixos nos meses de dezembro a maio. Esse comportamento coincide com o observado por Horbe et al. (2013) em que indica que as maiores concentrações de zinco ocorrem na transição para a seca.
- Cobre [Cu] não apresentou oscilações bruscas quanto as médias de concentração ao longo do ano, todas mantiveram-se no intervalo entre 0,65 µg L⁻¹ a 1,0 µg L⁻¹, com exceção para o mês de junho que apresentou o pico máximo de concentração de 1,58 µg L⁻¹.
- Cobalto [Co] apresentou um padrão sazonal semelhante ao padrão de cobre, embora tenha mostrado que entre os meses de junho a setembro houve o maior volume de concentrações altas, sendo junho o mês com a maior média de concentração, os demais meses não evidenciaram grandes oscilações em seus

valores. Em termos de concentração, estes resultados estão semelhantes aos que foram apontados por Horbe et al. (2013) no Rio Madeira, cuja média foi de $0,6 \mu\text{g L}^{-1}$.

- Molibdênio [Mo] apresentou uma variação sazonal, com valores mais altos no primeiro semestre do ano e valores mais baixos no segundo semestre, cuja concentração média de molibdênio na estação de Serrinha, Rio Negro, é de $0,023 \mu\text{g L}^{-1}$. Comparando com estudos realizados em outros rios da bacia Amazônica, Viers et al. (2005) e Seyler et al. (2003) afirmam que a concentração de molibdênio decresce com o aumento de descarga.

Fluxo dos elementos-traço biologicamente essenciais

Obteve-se o fluxo dos elementos-traço biologicamente essenciais por meio da equação: $Q_s = Q \cdot [E] \cdot C$, onde: Q_s = Fluxo de matéria dissolvida; Q = Vazão; $[E]$ = Concentração do elemento e C = Constante $0,0864 (\text{ton} \cdot \text{dia}^{-1})$. Para estimar o fluxo anual, o resultado diário foi multiplicado por 365, considerando um ano civil completo. Os fluxos anuais dos elementos foram organizados a partir da relação entre as concentrações médias anuais de cada um dos sete elementos e os respectivos anos do período analisado 2003 a 2018.

As “Tabelas 5 e 6” exibem a médias anuais dos fluxos dos elementos traço na estação CAR e SER, respectivamente, expressos em $\text{ton} \cdot \text{ano}^{-1}$. Caracará exibiu a seguinte ordem decrescente de fluxo: magnésio [Mg] > ferro [Fe] > zinco [Zn] > manganês [Mn] > cobre [Cu] > cobalto [Co] > molibdênio [Mo]. Enquanto que em Serrinha a ordem decrescente do fluxo foi: ferro [Fe] > magnésio [Mg] > manganês [Mn] > zinco [Zn] > cobre [Cu] > cobalto [Co] > molibdênio [Mo]. Sendo os 3 menores fluxos iguais para ambas estações, cobre > cobalto > molibdênio. Em SER existe uma lacuna de dados no ano de 2009 para todos os elementos.

Tabela 6. Médias anuais do fluxo de matéria dissolvida em Caracará.

CARACARÁ							
Ano	Q_s [Fe] ($\text{ton} \cdot \text{ano}^{-1}$)	Q_s [Mg] ($\text{ton} \cdot \text{ano}^{-1}$)	Q_s [Mn] ($\text{ton} \cdot \text{ano}^{-1}$)	Q_s [Co] ($\text{ton} \cdot \text{ano}^{-1}$)	Q_s [Cu] ($\text{ton} \cdot \text{ano}^{-1}$)	Q_s [Zn] ($\text{ton} \cdot \text{ano}^{-1}$)	Q_s [Mo] ($\text{ton} \cdot \text{ano}^{-1}$)
2003	7,42E+06	3,73E+07	5,45E+05	5,71E+03	7,49E+04	4,22E+05	3,63E+03
2004	1,50E+07	7,10E+07	5,19E+05	6,81E+03	1,94E+05	7,41E+05	4,85E+03
2005	3,12E+07	8,93E+07	6,25E+05	8,89E+03	2,33E+05	5,25E+05	5,07E+03
2006	5,62E+07	1,20E+08	1,33E+06	1,90E+04	1,89E+05	1,28E+06	1,02E+04
2007	3,32E+07	1,04E+08	1,33E+06	1,83E+04	1,48E+05	1,31E+06	4,45E+03
2008	4,22E+07	1,02E+08	1,02E+06	1,22E+04	1,07E+05	1,11E+06	3,58E+03
2009	2,36E+07	6,91E+07	5,62E+05	7,58E+03	6,34E+04	7,84E+05	2,12E+03
2010	4,75E+07	1,19E+08	1,27E+06	1,57E+04	1,07E+05	6,66E+05	5,04E+03
2011	5,57E+07	1,25E+08	1,38E+06	2,18E+04	2,08E+05	4,81E+05	1,35E+04
2012	2,98E+07	6,72E+07	5,08E+05	8,51E+03	1,06E+05	3,16E+05	3,92E+03
2013	*	*	3,16E+05	6,51E+03	9,22E+04	2,05E+06	3,67E+04

CARACARAÍ							
Ano	Qs [Fe] (ton.ano ⁻¹)	Qs [Mg] (ton.ano ⁻¹)	Qs [Mn] (ton.ano ⁻¹)	Qs [Co] (ton.ano ⁻¹)	Qs [Cu] (ton.ano ⁻¹)	Qs [Zn] (ton.ano ⁻¹)	Qs [Mo] (ton.ano ⁻¹)
2014	1,35E+07	4,56E+07	1,51E+05	3,90E+03	5,18E+04	7,11E+05	1,24E+03
2015	9,10E+06	4,22E+07	1,19E+05	2,44E+03	5,38E+04	1,17E+06	1,63E+03
2016	4,16E+07	6,77E+07	8,22E+05	1,59E+04	1,60E+05	1,71E+06	2,00E+03
2017	2,16E+07	9,66E+07	3,04E+05	6,97E+03	2,08E+05	1,32E+06	2,34E+03
2018	*	1,19E+08	4,42E+05	2,19E+04	1,26E+05	7,32E+05	2,96E+05
Média	3,08E+07	8,60E+07	6,65E+05	1,09E+04	1,33E+05	1,06E+06	1,53E+04

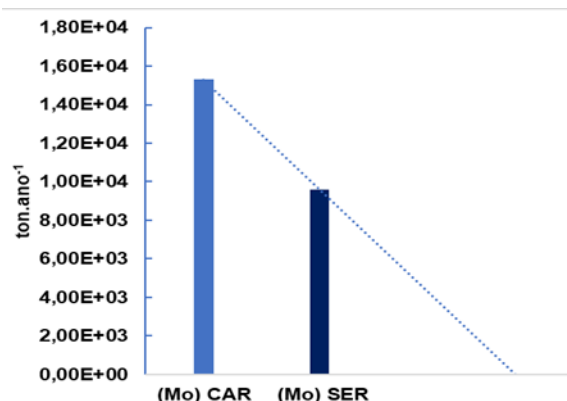
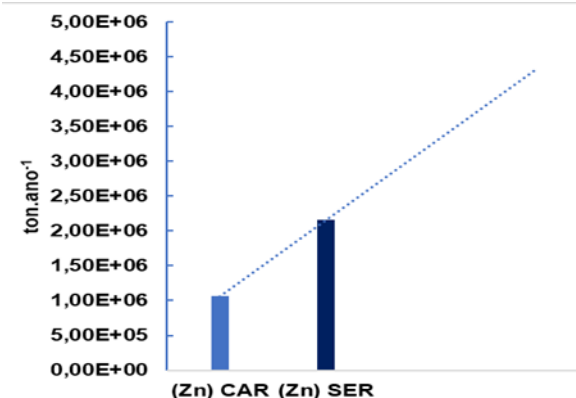
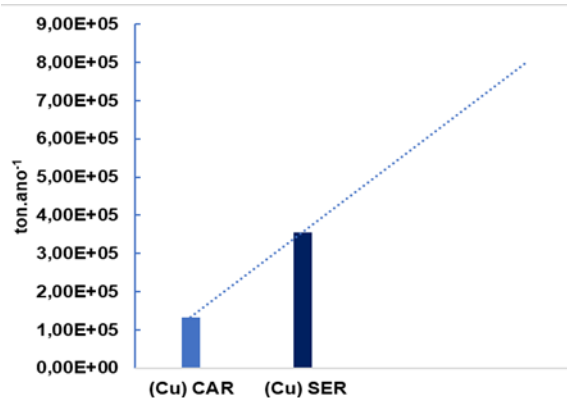
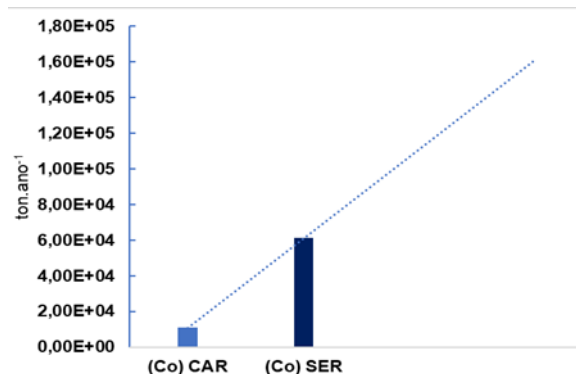
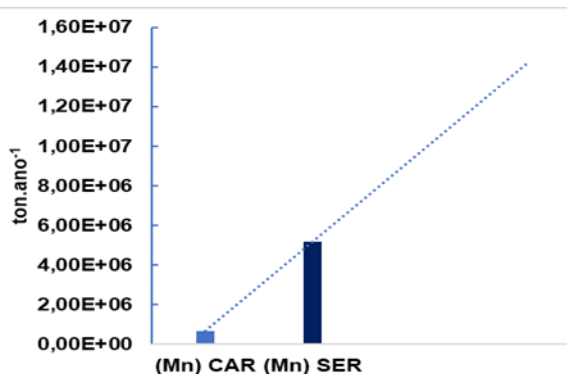
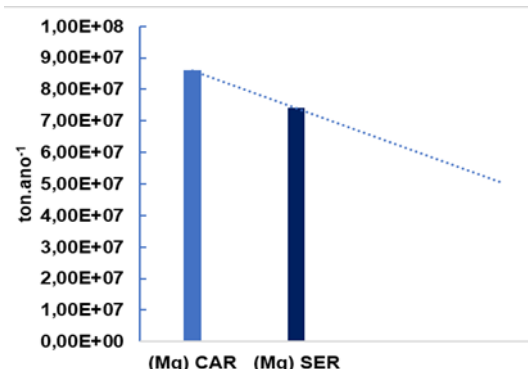
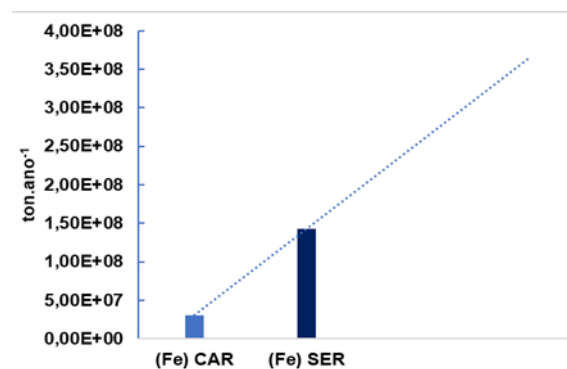
* Dados indisponíveis. **Fonte:** AUTORES (2025)

Tabela 7. Médias anuais do fluxo de matéria dissolvida em Serrinha.

SERRINHA							
Ano	Qs [Fe] (ton.dia ⁻¹)	Qs [Mg] (ton.dia ⁻¹)	Qs [Mn] (ton.dia ⁻¹)	Qs [Co] (ton.dia ⁻¹)	Qs [Cu] (ton.dia ⁻¹)	Qs [Zn] (ton.dia ⁻¹)	Qs [Mo] (ton.dia ⁻¹)
2003	6,42E+07	7,47E+07	2,43E+06	2,40E+04	4,11E+05	2,13E+06	*
2004	7,34E+07	9,82E+07	2,59E+06	2,75E+04	5,31E+05	1,72E+06	2,93E+04
2005	8,61E+07	7,10E+07	2,77E+06	3,01E+04	8,39E+05	1,34E+06	1,03E+04
2006	9,97E+07	8,65E+07	2,82E+06	2,36E+04	8,65E+05	1,91E+06	3,37E+04
2007	1,07E+08	9,41E+07	3,17E+06	2,45E+04	3,13E+05	2,41E+06	1,62E+04
2008	1,27E+08	7,87E+07	4,61E+06	3,95E+04	1,45E+05	1,27E+06	1,62E+04
2009	*	*	*	*	*	*	*
2010	1,07E+08	2,57E+07	4,60E+06	2,97E+04	1,04E+05	1,65E+06	1,03E+04
2011	1,02E+08	9,26E+07	5,59E+06	4,15E+04	3,93E+05	2,05E+06	1,79E+04
2012	1,11E+08	*	4,96E+06	3,79E+04	1,32E+05	1,71E+06	6,19E+03
2013	1,81E+08	5,49E+07	5,68E+06	5,81E+04	3,58E+05	1,64E+06	1,64E+04
2014	1,53E+08	*	3,79E+06	5,72E+04	1,74E+05	8,62E+05	5,12E+03
2015	8,22E+07	*	3,40E+06	3,64E+04	3,29E+05	1,43E+06	2,28E+03
2016	2,24E+08	5,74E+07	6,68E+06	1,11E+05	5,41E+05	4,53E+06	6,96E-04
2017	2,32E+08	1,15E+08	9,22E+06	1,96E+05	8,71E+05	4,03E+06	4,94E+03
2018	*	*	5,12E+06	4,01E+04	5,52E+05	*	*
Média	1,43E+08	7,41E+04	5,17E+06	6,11E+04	3,56E+05	2,16E+06	9,61E+03

* Dados indisponíveis. **Fonte:** AUTORES (2025)

Os dados apresentados nas “Tabelas 6 e 7” foram plotados graficamente, na qual originou-se a “Figura 8” exibindo a linha de tendência de previsão linear.



SR – Seminha	Mn – Manganês
Cc – Caracará	Co – Cobalto
Fe – Ferro	Cu – Cobre
Mg – Magnésio	Zn – Zinco

Figura 8. média anual dos fluxos dos elementos em SER e CAR em ton.ano⁻¹. **Fonte:** AUTORES (2025)

A “Figura 8” exibe o fluxo da média total de todos os elementos, bem como a linha de tendência de previsão linear duas estações, Caracaraí e Serrinha, onde cada um dos elementos foi projetado graficamente de ambas estações, para respeitar a proporcionalidade dos fluxos entre cada elemento, uma vez que a concentração de ferro é muito maior que a de molibdênio, por exemplo. De modo geral, os fluxos de SER mostraram-se superiores aos de CAR, exceto para os elementos magnésio e molibdênio, sendo os mesmos com linha de tendência descendente indicando que de Serrinha a Caracaraí houve um aumento de fluxo para esses elementos sugerindo que a vazão em SER embora bem superior que em CAR não é o único fator impactante para os fluxos desses elementos, especificamente. No mais, as demais linhas de tendência foram ascendentes sugerindo a influência da vazão de SER.

Este comportamento dos fluxos mostra-se o oposto das concentrações em que os resultados em CAR foram superiores, entende-se que o fato de o fluxo ter se apresentado assim nesta análise, se deu por conta de a vazão em SER ser bem maior (5 vezes) que em CAR.

Desta forma elaborou-se a “Tabela 8” como uma espécie de tabela resumo com os resultados das médias gerais dos fluxos de ambas estações e o somatório, representando uma estação fictícia que seria a estação mais à jusante da foz do Rio Branco, indicando o fluxo esperado.

Tabela 8. Médias dos fluxos de matéria dissolvida.

Estações	Qs [Fe] (ton.ano ⁻¹)	Qs [Mg] (ton.ano ⁻¹)	Qs [Mn] (ton.ano ⁻¹)	Qs [Co] (ton.ano ⁻¹)	Qs [Cu] (ton.ano ⁻¹)	Qs [Zn] (ton.ano ⁻¹)	Qs [Mo] (ton.ano ⁻¹)
Serrinha	1,43E+08	7,41E+07	5,17E+06	6,11E+04	3,56E+05	2,16E+06	9,61E+03
Caracaraí	3,08E+07	8,60E+07	6,65E+05	1,09E+04	1,33E+05	1,06E+06	1,53E+04
Σ	1,73E+08	1,60E+08	5,83E+06	7,20E+04	4,89E+05	3,22E+06	2,49E+04
Caracaraí (%)	17,77	53,73	11,41	15,15	27,25	32,99	61,43
Serrinha (%)	82,23	46,27	88,59	84,85	72,75	67,01	38,57

Fonte: AUTORES (2025)

E a partir da “Tabela 8” projetou-se a “Figura 9”.

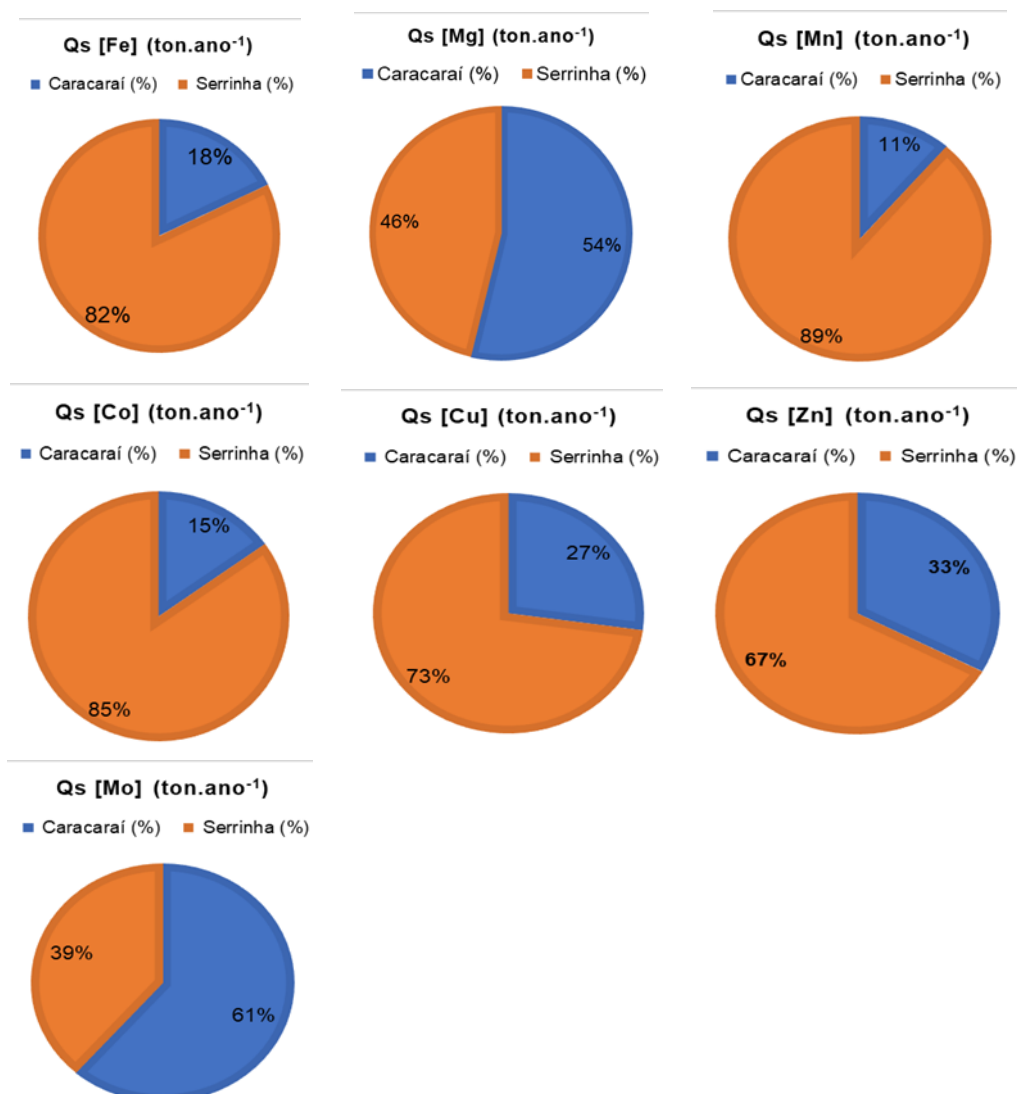


Figura 9. Representação gráfica em percentagem da contribuição da estação Caracarái e Serrinha no somatório. **Fonte:** AUTORES (2025).

A “Figura 9” exibe um gráfico de pizza para cada elemento-traço biologicamente essencial, identificado no topo do gráfico. Ao analisar a figura, pode-se observar que a contribuição da estação Serrinha foi superior à de Caracarái para a maioria dos elementos, com exceção apenas para magnésio e molibdênio, sugerindo que a vazão não é o único fator que influencia no transporte desses elementos na bacia.

CONCLUSÃO

Com base na série histórica de 15 anos (2003 a 2018) desta pesquisa com dados do Hybam, foram processados mais de 12000 dados, dos quais foi possível realizar análises temporais de todo o período tanto anual como mensal. Por meio das análises de variabilidade da bacia do Rio Negro como um todo, foi possível observar alguns

valores anômalos em meio as séries, talvez por falha humana ao registrar o dado, ou por algum evento extremo ocorrido no período, ou ainda pela ausência de mais dados.

No que se refere aos parâmetros físicos e físico-químicos, mesmo que exista a defasagem de um mês entre os regimes, o comportamento dos parâmetros, de modo geral, em Serrinha e Caracaraí, resumem-se em: - temperatura: valores máximos em períodos de águas baixas, em contrapartida os valores mínimos apresentaram-se nos períodos de águas altas; - condutividade elétrica: mostrou-se mais elevada nos períodos de águas altas, enquanto que em águas baixas foi menor; - pH: exibiu comportamento semelhante ao de temperatura, em que no período de águas mais altas os resultados foram menores, enquanto que para o período de águas baixas, os resultados foram maiores, resultados típicos com a classificação dessas águas, o pH foi o parâmetro físico-químico com menor variação. Com isso pode-se dizer que estes parâmetros sofrem influência da vazão, seja diretamente ou inversamente proporcional.

A respeito das concentrações dos elementos-traço biologicamente essenciais desta pesquisa, magnésio apresentou a maior média de concentração entre os demais elementos. Ao comparar as concentrações dos elementos entra as estações, CAR apresentou as maiores médias, enquadrando-se com a literatura que afirma que rios de água preta são mais pobres em material dissolvido e em suspensão. De acordo com os resultados de concentração obtidos neste estudo, os elementos foram dispostos na seguinte ordem decrescente: [Mg]> [Fe]> [Mn]> [Zn]> [Cu]> [Co]> [Mo].

No entanto, quando relacionadas as concentrações dos elementos com a vazão como na análise dos fluxos, esse comportamento das concentrações de CAR serem maiores que as de SER se inverte, por conta de a vazão de SER ser cinco vezes maior que a de CAR, ou seja, os fluxos de Serrinha são maiores que os de Caracaraí. Cada estação apresentou uma ordem decrescente individual de concentração de fluxos, resultando para CAR: [Mg]> [Fe]> [Zn]> [Mn]> [Cu]> [Co]> [Mo], já em SER a ordem foi a seguinte: [Fe]> [Mg]> [Mn]> [Zn]> [Cu]> [Co]> [Mo], sendo os 3 menores fluxos coincidentes em ambas estações.

Neste estudo foi possível realizar a caracterização dos elementos-traço biologicamente essenciais na bacia hidrológica do Rio Negro, indicando que esses elementos estão disponíveis neste meio aquático, e que fatores antropogênicos não chegaram ao nível de perturbação e desequilíbrio das concentrações nas estações estudadas, pois, quando comparadas a trabalhos anteriores e ate mesmo em diferentes rios, não foi observada uma discrepância entre os dados. No entanto, por se tratar de uma questão importante à saúde da bacia, saúde humana, fauna e flora, sugere-se que trabalhos futuros possam indicar se essa quantidade disponível afeta esses grupos, e se afeta em que caráter, se tóxico ou de promoção à qualidade de vida.

Sugere-se ainda, o desenvolvimento de trabalhos relacionados com a especiação dos elementos-traço encontrados na bacia do Rio Negro, tendo em vista a necessidade de se determinar a forma em que alguns elementos químicos se encontram na água, para entender a função desses elementos em reações geoquímicas e biológicas.

Houve ainda dificuldade em processar algumas análises devido a lacunas no banco de dados, sugerindo-se então monitoramento mais amplo das estações desta região, além de constância na produção e atualização de dados, quando possível.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Concepção: Leylane Lima e Naziano Filizola. **Metodologia:** Leylane Lima e Naziano Filizola. **Análise formal:** Naziano Filizola e Leylane Lima. **Pesquisa:** Leylane Lima. **Recursos:** Leylane Lima. **Preparação de dados:** Leylane Lima, Bruna Mora, Nayara Diniz, Ednaldo Severo. **Escrita do artigo:** Leylane Lima. **Revisão:** Naziano Filizola, Leylane Lima e Ednaldo Severo. **Supervisão:** Naziano Filizola. **Aquisição de financiamento:** Não houve financiamento. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, S. R. V; et al. **A Bacia Hidrográfica Do Rio Negro E Sua Importância Como Afluente Da Bacia Do Rio Amazonas**. Belém: EDUEPA, 2020. p. 9-33.
- BACCI, D. C.; PATTACA, E. M. Educação para água. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 211–226, 2008. DOI: 10.1590/S0103-40142008000200014
- BRASIL, M. M. A. Ministério do Meio Ambiente. **Rio Negro, no Amazonas, é sítio Ramsar Regional**. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/informma/item/14770-noticia-acom-2018-05-2997.html>. Acesso em: 20 ago. 2021.
- BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº. 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf. Acesso em: 4 out. 2021.
- CHAPMAN, D. **Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring** - 2. ed. London, 1996.
- FILIZOLA, N.; et al. **O ponto de confluência dos rios Negro e Solimões – observações hidrométricas durante o ciclo 2006/2007**. Morfodinâmica fluvial, costeira e estuarina: RCEM, p.1003-1006, 2009.
- FILIZOLA, N.; GUYOT, J.L. **Suspended sediment yields in the Amazon basin: an assessment using the Brazilian national data set**. Hydrological Processes: An International Journal. v. 23, n. 22. p. 3207–3215, 2009.
- FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L. Fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Amazonia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 41, n. 04, p. 566-576, 2011.
- FILIZOLA, N.; et al. **A importância da determinação do transporte de sedimentos em suspensão no cenário hidrológico amazônico**. Transporte de sedimentos em ambientes aquáticos, p. 45-64, 2011a.
- HAMILTON, S.K. **Biogeochemical implications of climate change for tropical rivers and floodplains**. Hydrobiologia 657, p. 19–35, 2010. DOI: 10.1007/s10750-009-0086-1

HORBE, A. M. C.; OLIVEIRA, L.G. de S. **Química de igarapés de água preta do nordeste do Amazonas - Brasil**. Acta Amaz. 2008. DOI: 10.1590/S0044-59672008000400020.

HORBE, A. M. C.; Et al. **Geoquímica das águas do médio e baixo rio Madeira e seus principais tributários-Amazonas-Brasil**. Acta Amazonica, v. 43, p. 489-504. 2013.

HOSSAIN, M. M.; JAHAN, I.; DAR, M. A.; DHANAVADE, M. J.; MAMTAZ, A. F. B.; MAXWELL, S. J.; HAN, S.; ZHU, D. **A review of potentially toxic elements in sediment, water, and aquatic species from the river ecosystems**. *Toxics*, v. 13, n. 1, 2025. DOI: 10.3390/toxics13010026.

LAGES, A. S; HORBE, A. M. C; MOQUET, J.S. Geoquímica de rios de água preta do sudeste do Amazonas: Origem, fluxo dos elementos e consumo de CO₂. **Acta Amazônica**, v. 43(3), p. 343 – 352, 2013.

LEENHEER, J. A.; SANTOS, U. DE M. **Considerações sobre os processos de sedimentação na água preta ácida do rio Negro (Amazônia Central)**. v. 10, n. 2, p. 343–355, 1980.

LIMA, J. E. F. W. **Recursos Hídrico no Brasil e no Mundo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, v. 33, p. 1-44, 2001.

MARENGO, J. A. **Água E Mudanças Climáticas**. Estudos Avançados, v. 22, n. 63, p. 83–96, 2008. DOI: 10.1590/S0103-40142008000200006

MARENGO, J. A., & Espinoza, J. C. **Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts**. International Journal of Climatology, 36(3). 2016. DOI: 10.1002/joc.4420.

MARINHO, R. R. **Integração de dados de campo e sensoriamento remoto no estudo do fluxo de água e matéria no Arquipélago de Anavilhanas, Rio Negro – Amazonas, Brasil**. 2019. Tese (Doutorado em clima e ambiente) – INPA e UEA, Manaus, 2019(a).

MARINHO, R.R.; et al. **O projeto Hidrogeos-Negro no arquipélago de Anavilhanas, Novo Airão (AM): resultados iniciais**. Geonorte, v. 10, p. 153–167, 2019(b). DOI: 10.21170/geonorte.2019. V.10.N.34.153.167

MARTINEZ, J. et al. **The optical properties of river and floodplain water in the Amazon River Basin: Implications for satellite-based measurements of suspended particulate matter**. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, p. 1274–1287, 2015.

MEADE, R.H.; et al. **Backwater effects in the Amazon River basin of Brazil**. Environmental Geology and Water Sciences, v. 18, p. 105–114, 1991.

MOQUET, J.-S.; et al. **Amazon River dissolved load: temporal dynamics and annual budget from the Andes to the ocean**. Environmental Science and Pollution Research, v. 23, p. 11405–11429, 2016.

MIRANDA, G.; et al. **Qualidade dos recursos hídricos da Amazônia - Rio Tapajós: avaliação de caso em relação aos elementos químicos e parâmetros**

físico-químicos. Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, vol. 4, nº 2, p. 75-92, 2009.

MOREIRA, W.P. **Variação espaço-temporal dos parâmetros físicos e químicos e do fluxo de elementos-traço como indicadores basais no arquipélago fluvial de Anavilhanas - AM. 2019.** Dissertação (mestrado em química) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019.

MORTATTI, J. et al. Balanço de alteração e erosão química na Bacia Amazônica. Geochim. Brasil, 11 (1): 099-111. 1997

NOBRE, P. & SHUKLA, J. Variations of Sea Surface Temperature, Wind Stress, and Rainfall Over the Tropical Atlantic and South America. **Journal Of Climate**, 9, 2464-2479. 1996.

PANDEY, S. D.; et al. **Properties of carbon particles in archeological and natural Amazon rainforest soils.** Catena, v. 194, p. 104687, 2020.

PARK, E.; LATRUBESSE, E. M. **Surface water types and sediment distribution patterns at the confluence of mega rivers: The Solimões - Amazon and Negro rivers junction.** Water Resources Research, 2015.

SANTOS, U. DE M.; et al. **Rios da Bacia Amazônica. Afluentes do Rio Negro.** Acta Amazonica, v. 14, n. 1-2, p. 222-237, 1984.

SEYLER, P.T.; Boaventura, G.R. **Distribution and partition of trace metals in the Amazon basin.** Hydrological Processes, v. 17, n. 7, pág.1345-1361, 2003. DOI: 10.1002/hyp.1288.

SEYLER, P.T.; PINELLI, M.; BOAVENTURA, G.R. **A first quantitative estimate of trace metal fluxes from Amazon river and its main tributaries.** Journal de Physique IV (Proceedings), v. 107, p. 1213-1218, 2003.

SILVA, L. M. DA. **Estudo da correlação entre o oxigênio dissolvido e a matéria orgânica em diferentes ambientes aquáticos da Região Amazônica.** 2012. Dissertação (mestrado em Química) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2012.

SIOLI, H.; KLINGE, H. **Solos, tipos de vegetação e água na Amazônia.** Boletim Geográfico, 1964. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/19/bg_1964_v22_n179_mar_abr.pdf. Acesso em: 24 set. 2020.

SIOLI, H. The Amazon and its main affluents: Hydrography, morphology of the river courses; and river types. In: SIOLI, H. (Ed.). The Amazon: Limnology and Landscape Ecology of a might Tropical River and its Basin. p. 127 - 165, 1984. DOI: 10.1007/978-94-009-6542-3_5

Stumm, W., & Morgan, J. J. **Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters.** John Wiley & Sons. 2013.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VICTORINO, C. J. A. **Planeta água morrendo de sede: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos.** Edipucrs, 2007.

VIERS, J.; et al. **The influence of the Amazonian floodplain ecosystems on the trace element dynamics of the Amazon River mainstem (Brazil)**. Science of the Total Environment, p. 219-232, 2005.

VILLAMIZAR, et al. **Hydrochemical classification of amazonian rivers: a systematic review na meta-analysis**. Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 21, n. 78, p. 211–226, 2020. DOI: 10.14393/RCG217853272.

ZULIANI, D. Q. et al. **Elementos-traço em águas, sedimentos e solos da bacia do Rio das Mortes**. Minas Gerais. Holos, v. 4, p. 308, 2017.



Revista Geonorte, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus-Brasil. Obra licenciada sob Creative Commons Atribuição 3.0