

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

NAYARA PINHEIRO DINIZ

FLUXO DE SEDIMENTOS NA BACIA DO RIO NEGRO, AMAZONAS, BRASIL

MANAUS – AM

2022

NAYARA PINHEIRO DINIZ

FLUXO DE SEDIMENTOS NA BACIA DO RIO NEGRO, AMAZONAS, BRASIL

Dissertação de Mestrado
apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em
Geociências, como requisito
para obtenção do Título de
Mestre em Geociências.

ORIENTADOR: PROF. DR. NAZIANO PANTOJA FILIZOLA JR

MANAUS – AM

2022

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

D585f Diniz, Nayara Pinheiro
Fluxo de sedimentos na bacia do Rio Negro, Amazonas, Brasil /
Nayara Pinheiro Diniz . 2022
68 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Naziano Pantoja Filizola Junior
Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal
do Amazonas.

1. Hidrologia. 2. Dinâmica fluvial. 3. Sedimentos. 4. Bacia
Amazônica. I. Filizola Junior, Naziano Pantoja. II. Universidade
Federal do Amazonas III. Título

NAYARA PINHEIRO DINIZ

FLUXO DE SEDIMENTOS NA BACIA DO RIO NEGRO, AMAZONAS,
BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Geociências, área de concentração em Geociências.

Aprovado em 28 de fevereiro de 2022.

BANCA EXAMINADORA



Membro Titular, 5942006-11
Representante (25/21)
CPLA - Geociências
E-16744

Prof. Dr. Naziano Parvoja Filizola Jr., Presidente.
Universidade Federal do Amazonas

Rogério Ribeiro Marinho

Prof. Dr. Rogério Ribeiro Marinho, Membro.
Universidade Federal do Amazonas
Departamento de Geografia



Prof.ª Dr.ª Keila Cristina Pereira Aniceto, Membro.
Universidade Federal do Amazonas

Agradecimentos

À Deus, pela força, principalmente durante a pandemia causada pela COVID, por atender minhas preces noturnas e tudo que tens me proporcionado.

Ao prof. Dr. Naziano Filizola por mais essa orientação, obrigada todos os ensinamentos, és o grande responsável por todo meu desenvolvimento acadêmico.

Aos professores Rogério Marinho, Keila Aniceto, Tereza Cristina, Ingo Wahnfried por todas as contribuições.

Ao Programa de Pós-graduação em Geociência da UFAM, aos professores do curso e especialmente ao secretário Marcos.

À CAPES pelo financiamento desta pesquisa.

Aos meus pais e irmãos por acreditarem em mim.

Aos meus sobrinhos Marcos e Bernardo, todo meu amor a vocês.

Ao meu noivo, por todo apoio e paciência durante esse processo.

Aos meus amigos Juliana, Luís Felipe e Leylane por toda troca de apoio e frustrações compartilhadas.

E a mim mesma, por ter persistido a concluir este trabalho, apesar de todos os obstáculos e frustrações causados durante o isolamento.

Resumo

Realizar um balanço de fluxo sedimentométrico é fundamental para compreender a dinâmica de um canal, que possibilita determinar os principais fatores de controle de uma bacia. O objetivo deste estudo foi caracterizar o fluxo de Sedimentos em Suspensão da Bacia do Rio Negro, no qual não dispõem de grandes quantidades de sedimentos, porém, apresenta um fluxo proveniente do Rio Branco em seu curso inferior, e uma zona de sedimentação, que hoje, aparentemente inativa, mas que resultou na inúmeras de ilhas fluviais, denominado de Arquipélago de Anavilhanas. Para realizar o balanço sedimentométrico da Bacia do Rio Negro, foram utilizados dados de cota (H), vazão (Q), Material Em Suspensão [MES] e físico-química (pH e Condutividade), de fontes distintas de dados. Os resultados mostraram que os rios de águas pretas, transportam grande quantidade de matéria orgânica e pouco material em suspensão, que são águas mais ácidas, com a condutividade elétrica em torno de 8 a 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Já os rios de águas brancas a concentração anual de [MES] é da ordem de 36,2 mg/l, com pH mais neutro e condutividade elétrica mais acentuada.

Palavras-Chave: Hidrologia; Dinâmica Fluvial; Sedimentos; Bacia Amazônica.

Abstract

The sedimentometric balance is essential to understand the dynamics of a channel, which makes it possible to determine the main control factors of a basin.

The objective of this study was to characterize the flow of Sediments in Suspension of the Rio Negro Basin, does not have large amounts of sediment, but has a flow from the Rio Branco in its lower course.

To make the sedimentometric balance of the Rio Negro Basin, data on elevation, discharge, Suspended Material (MES) and physicochemical (pH and Electrical Conductivity) from different data sources were used.

The results showed that blackwater rivers transport a large amount of organic matter and little suspended material, which are more acidic waters, with electrical conductivity around 8 to 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$. On the other hand, in white water rivers, the annual concentration of MES is around 36.2 mg/l, with a more neutral pH and more accentuated electrical conductivity.

Key words: Hydrology; River Dynamics; Sediments, Amazon Basin.

Lista de Figura

Figura 1. A Bacia Amazônica com suas 4 principais unidades morfoestruturais.	19
Figura 2. Unidades Morfoestruturais. Em destaque o Rio Negro.	21
Figura 3. Tipos de solos da Bacia do Rio Negro.	22
Figura 4. Precipitação média anual para o período 1981 - 2016.	24
Figura 5. Mapa de Localização das Estações utilizadas no estudo.	27
Figura 6. Ilustração de uma bacia hidrográfica dividida por canais fluviais.	31
Figura 7. Cota média mensal das estações fluviométricas de afluentes do Alto Rio Negro.	35
Figura 8. Espacialização dos índices de regularidade da precipitação nas sub-bacias.	36
Figura 9. Cota média mensal das estações fluviométricas do Rio Negro.	37
Figura 10. Cota média das estações de afluentes no Alta da sub-bacia do Rio Branco.	38
Figura 11. Cota Média mensal das estações do Médio Branco e seus afluentes.	38
Figura 12. Relação das estações divididas em grupo.	39
Figura 13. Distribuição do Grupo Rio Negro com as Médias de Q (m ³ /s).	41
Figura 14. Distribuição do Grupo Rio Branco com as Médias de Q (m ³ /s).	42
Figura 15. Média de MES versus média Vazão das estações do Alto Rio Negro.	45
Figura 16. Média de MES versus Média de Vazão da Sub-Bacia do Rio Branco.	47
Figura 17. Balanço de Q e QSS em ton/ano.	48
Figura 18. Relação das estações divididas em grupo A e B.	51
Figura 19. Gráficos sazonais de pH, Grupo A.	54
Figura 20. Gráficos sazonais de pH, Grupo B.	56
Figura 21. Gráficos sazonais de CE, Grupo A.	59
Figura 22. Gráficos sazonais de CE, Grupo B.	61
Figura 23. Mapa de Classificação da Variação média de Material em Suspensão na Bacia do Rio Negro.	63
Figura 24. Mapa de Variação de QSS ton/ano na Bacia do Rio Negro.	64
Figura 25. Mapa de Classificação da Variação média de pH na Bacia do Rio Negro.	65
Figura 26. Mapa de Classificação da Variação média de Condutividade Elétrica na Bacia do Rio Negro.	66

Lista de Tabela

Tabela 1. Estimativa do aporte de Sedimento em Suspensão do Rio Amazonas (*) até ao oceano.....	15
Tabela 2. Estações fluviométricas utilizadas no estudo. *Estação Hybam(1) e/ou ANA(2).	25
Tabela 3. Frequências de dados disponíveis.	28
Tabela 4. Pontos com dados disponíveis das campanhas Ore Hybam.	28
Tabela 5. Definições das equações e variáveis	31
Tabela 6. Dados disponíveis do Ore Hybam.....	33
Tabela 7. Dados disponíveis da ANA. D.I = Data inicial; D.F. = Data Final; Q.T = Quantidade Total de dados; *** = Dados não disponíveis.....	33
Tabela 8. Valores anuais de Vazão (m ³ /s), grupo Rio Negro	40
Tabela 9. Valores anuais de Vazão (m ³ /s), grupo Rio Branco.....	41
Tabela 10. Quantidade de Dados disponíveis mensalmente do Observatório Hybam, no período de 1988 a 2018.	43
Tabela 11. Quantidade de Dados disponível mensalmente da ANA, no período de 1988 a 2018.	44
Tabela 12. Concentração média anual de MES e Q do Alto Rio Negro.	44
Tabela 13. Concentração média anual de [MES] e Q das estações da Sub-Bacia do Rio Branco.....	46
Tabela 14. Valores de cálculos de balanço Fluxo em Suspensão da Sub Bacia do Rio Branco.....	49
Tabela 15. Quantidade de dados disponíveis por estação de pH Grupo A.....	51
Tabela 16. Quantidade de dados disponíveis por estação de pH Grupo B.....	52
Tabela 17. Quantidade de dados disponíveis por estação de condutividade Grupo A	57
Tabela 18. Quantidade de dados disponíveis por estação de condutividade Grupo B	57
Tabela 19. Comparativo de QSS (ton/ano) de dados deste estudo com os dados de Marinho 2020(*).....	64

Sumário

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Problema da pesquisa	12
2. JUSTIFICATIVA	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1. Fluxo de Sedimento na Bacia Amazônica	14
3.2. Sedimento em Suspensão no Rio Negro	15
3.3. Aspectos físico-químicos da Bacia do Rio Negro.....	16
3.4. Dados Hidrológicos	17
3.4.1. Rede Hidrométrica	18
4. MATERIAIS E MÉTODOS	18
4.1. Área de Estudo	18
4.1.1. Caracterização da localização da Bacia do Rio Negro	18
4.2. Fisiografia	19
4.2.1. Geologia.....	19
4.2.2. Relevo.....	20
4.2.3. Solos	21
4.2.4. Vegetação	22
4.2.5. Clima.....	23
4.2.6. Aspectos Hidrográficos/Hidrológicos.....	24
4.3. Tipos e Fontes de Dados.....	25
4.4. Processamento	29
4.5. Análise de Dados.....	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
5.1. Dinâmica fluvial da Bacia do Rio Negro.....	35
5.2. Balanço de Fluxo da Bacia Do Rio Negro.....	39
5.1.1 Descarga Líquida.....	39
5.2.2. Material Em Suspensão	42
5.2.3. Fluxo de Sólidos Em Suspensão	47
5.3. Parâmetros físico-químicos.....	50
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

1. INTRODUÇÃO

A erosão e a sedimentação são fenômenos naturais que ocorrem em qualquer bacia hidrográfica, mas que podem ser intensificados pelas atividades humanas. Compreender o processo de erosão e transporte de sedimentos em diferentes condições que caracterizam uma bacia hidrográfica, contribui no desenvolvimento de políticas públicas, visto que, as demandas sociais sobre gerenciamento de recursos hídricos, vai além do abastecimento de água. (International Sediment Initiative – ISI, 2011).

Um exemplo, é a bacia do Rio Amarelo que apresenta a maior produção de sedimento do mundo, devido ao solo da região ser altamente erosivo, porém, desde 1950 houve uma redução considerável da carga de sedimentos, através de medidas de gestão das autoridades chinesas, pois, apesar do processo natural, a erosão em grande escala, neste caso, pode apresentar impactos prejudiciais à sociedade e ao meio ambiente (International Sediment Initiative – ISI, 2011).

Os rios amazônicos são os principais agentes de transportes dos produtos de erosão para o oceano, onde a origem desses sedimentos na bacia vem principalmente de rios Andinos, o que permite dizer que a Cordilheira dos Andes é a principal fonte de sedimentos transportados por esses rios (Filizola e Guyot, 2009). Porém, há rios que não são caracterizados pelo transporte de sedimentos, e sim por carregar grandes quantidades de matéria orgânica, como é o caso do Rio Negro, proveniente dos Escudos das Guianas, que transporta pouco material suspenso, em média 8 milhões de ton/ano para o Rio Amazonas (Filizola e Guyot, 2009). Estudos recentes na bacia do Rio Negro mostraram que no período de 2006-2017, a descarga líquida média foi de 35.000 m³/s, e o fluxo sólido médio anual foi estimado entre 1 e 9 milhões de toneladas por ano (Marinho, 2019).

Historicamente a maior parte dos estudos hidrológicos na região amazônica concentram-se nos Rios Solimões (CARNEIRO et al., 1997; RAMALHO et al., 2009; SAMPAIO, 2017) Amazonas (OLTMAN et al. 1968; MEADE et al., 1979; MARTINEZ et al., 2009; PARK & LATRUBESSE, 2014) e Madeira (RIBEIRO NETO, 2006; TEXEIRA, 2009; MUNIZ, 2013; HORBE, et al., 2013; VAUCHEL et al., 2017; AYES RIVERA et al., 2019).

O Rio Negro por ter uma baixa concentração de Material Em Suspensão (MES), quase sempre é deixado um pouco de lado. No entanto, os recentes estudos de Marinho (2019) e Marinho et al. (2020) colocaram em destaque a bacia deste que é o

maior tributário de águas pretas do Rio Amazonas. Aqueles autores destacaram principalmente a região do baixo curso, e mais especificamente o arquipélago de Anavilhanas. As partes do alto e médio curso carecem ainda de uma melhor caracterização. Segundo Latrubesse et al. (2005) o Rio Negro é o segundo maior tributário em volume de água do Rio Amazonas e é considerado o sexto maior do mundo em neste mesmo quesito. Possui um sistema fluvial de clima, geomorfologia e vegetação diversificado que contribui com a conservação de áreas de savana, igapós e os arquipélagos fluviais. Trabalhos de campo executados pelos pesquisadores do Observatório Hybam (ver www.sohybam.org) coletaram muitas amostras que foram analisadas em contextos muito específicos e distintos.

Assim, o presente trabalho pretende fazer uma análise de dados físico-químicos e detalhar o tema das MES na bacia do Rio Negro, buscando uma melhor caracterização desse assunto no contexto geral desta importante sub-bacia hidrográfica da Bacia Amazônica.

1.1. Problema da pesquisa

Como tem se dado o funcionamento do fluxo de sedimentos na bacia do Rio Negro, no período de 1989 a 2018?

1.2. Objetivos

1.2.1. Geral

Caracterizar o fluxo de sedimentos em suspensão na Bacia do Rio Negro no escopo do cenário hidrológico dos últimos 30 anos, ressaltando quando possível as contribuições dos principais tributários.

1.2.2. Específicos

- Realizar balanços e caracterizar a variabilidade espacial dos principais elementos do ciclo hidrológico de superfície (cota, vazão, sólidos em suspensão, características físico-químicas) na bacia do Rio Negro;
- Comparar e avaliar dados de fontes distintas (ANA, Ore Hybam e expedições científicas etc.);
- Fazer uma estimativa do fluxo sólidos em suspensão na Bacia do Rio Negro (Balanço).

2. JUSTIFICATIVA

Como mencionado anteriormente, o Rio Negro é considerado o sexto maior em volume de água do mundo. Também, em sua calha, é onde estão localizados os

maiores arquipélagos fluviais, Anavilhanas e Mariuá. Em 2018, o Rio Negro e áreas adjacentes foram designadas como Sítio Ramsar Regional. Isso significa que esta região foi incluída na lista de áreas úmidas de importância internacional, cujo intuito de promover a conservação e uso sustentável, contribuindo não só com atividades como o turismo, mas também dando reconhecimento da importância ecológica, econômica, cultural, científica e recreativa da região (BRASIL, 2020).

Atualmente, se comparada com outras regiões da Bacia Amazônica, a bacia do Rio Negro sofre pouca interferência humana, no entanto, estudos para implantação da UHE Bem Querer no Rio Branco, podem mudar drasticamente este cenário. Uma vez que, Marinho (2020) ressaltam a importância do Rio Branco na manutenção e conservação do Arquipélago de Anavilhanas, principalmente na questão do processo de sedimentação, pois os sedimentos carregam nutrientes, que contribuem na fertilidade do solo e manutenção da biodiversidade local.

Marinho (2020) indica a taxa de acumulação de sedimentos em Anavilhanas, cerca de 8 vezes menor que o estimado no período de formação do arquipélago, que é um processo lento, porém contínuo.

Com a construção da UHE Bem Querer, haverá uma redução no transporte de sedimento do Rio Branco para Rio Negro, ainda não se sabe as consequências exatas, porém, realizar um balanço da carga de sedimentar que contribui direta e indiretamente na manutenção e conservação dessa região, fornecendo subsídio para o desenvolvimento de políticas públicas (Filizola et al., 2020).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com intuito de montar um cenário com os dados disponibilizados pelos autores que já estudaram a região, apresenta-se a seguir um resumo dos trabalhos anteriores.

Um dos pioneiros a estudar sobre os rios da Amazônia foi Sioli (1950, 1957) classificando os rios com características físicas e químicas e parcialmente baseadas na concentração de sedimentos em suspensão. Segundo sua classificação, existem três tipos: “rios de água brancas”, que são de origem Andina, que transportam grandes quantidades de sedimentos em suspensão, como por exemplo, os Rios Solimões e Madeira.

Os “rios de água preta”, denominação atribuída à coloração negra da água, devido ao conteúdo de ácido húmico, decorrente da grande quantidade de matéria

orgânica e pouco material em suspensão. O maior exemplo é Rio Negro, que nasce no Escudo das Guianas, em território colombiano.

Por fim, os “rios de águas claras”, com coloração verde-claro e pouco material em suspensão, cujas nascentes estão nos escudos pré-cambrianos, como é o caso do Rio Tapajós.

3.1. Fluxo de Sedimento na Bacia Amazônica

Inúmeros autores estimaram o fluxo de sedimentos em suspensão total da bacia Amazônica, sobretudo a partir de dados coletados no Rio Amazonas.

Gibbs (1967), ainda na década de 1960, realizou campanhas ao longo do Rio Amazonas até sua foz, e de seus 16 maiores tributários, para investigar os fatores de controle de salinidade, da composição e concentração do material em suspensão, no período chuvoso e seco. Foram coletadas no total de 74 amostras, o que possibilitou estimar que no Rio Amazonas a descarga sólida em suspensão era cerca de $\sim 500 \times 10^6$ ton/ano.

Oltman (1968), fez uma estimativa de descarga média do Rio Amazonas em Óbidos (PA) de $157.000 \text{ m}^3/\text{s}$, com uma variação de $85.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (no mês de novembro) a $240.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (nos meses de maio e junho). A área de drenagem é de cerca de $5.000.000 \text{ km}^2$ até Óbidos, e a área total da bacia até a foz é aproximadamente $6.100.000 \text{ km}^2$, isto significa um aumento de cerca de 20% em relação a Óbidos. Com base em algumas medidas feitas no Rio Tocantins e em dados de precipitação, Oltman estimou que a descarga média do Rio Amazonas na foz, é da ordem de $175.000 \text{ m}^3/\text{s}$ e a descarga sólida de $600 \times 10^6 \text{ t/ano}$.

Um experimento de amostragem de fluxos e sedimentos em suspensão, na estação de Óbidos -PA, no Rio Amazonas, em março de 1995, onde foram utilizadas diferentes ferramentas de medição e amostragem como o Perfilador Doppler Acústico de Corrente (do inglês, ADCP) para medir vazão e pra estimar fluxo de sedimentos (Filizola et al., 2004).

Na ocasião foram utilizados três tipos de amostradores: I) amostrador de saco compressível de 8 litros, como o utilizado por Meade em 1985; II) um modelo brasileiro de amostrador, semelhante ao US P-63, mas adaptado às condições ambientais da Amazônia e destinado a ser operado como um integrador de profundidade; e III) amostrador pontual HiBAm construído a partir de uma garrafa oceanográfica, com capacidade de 12 litros, adequado para uso em grandes rios. A produção de

sedimentos foi calculada usando diferentes métodos, por exemplo, a relação entre o sinal do ADCP e a quantidade total de sedimentos.

Martinez et al. (2009) analisaram o aporte de sedimentos em suspensão em Óbidos, no Rio Amazonas, na estação de Óbidos. Este utilizou dados de amostras de campo a cada 10 dias desde 1995 (390 amostras disponíveis) do Projeto Ore Hybam e estimativas de sensoriamento remoto derivada do sensor MODIS (554 imagens disponíveis desde 2000). Os resultados mostram que os fluxos líquidos em escala de tempo interanual variaram pouco no período avaliado. Na média, a variabilidade pode inclusive ser desprezada. Porém, no mesmo período registrou-se um aumento no fluxo de sedimentos da ordem de 20%, aproximadamente. Neste caso, variabilidade interanual é muito mais significativa para a descarga de sedimentos do que a vazão do rio.

Vários outros autores estimaram o fluxo de sedimento em suspensão total da Bacia Amazônica, com métodos, abordagens e períodos de medições diferentes, o que explica em parte, a variabilidade apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Estimativa do aporte de Sedimento em Suspensão do Rio Amazonas (*) até ao oceano.

QS (10 ⁶ t/ano)	Autor/ANO
500	(Gibbs, 1967)
600	(Oltman, 1968)
900	(Meade et al., 1979)
1,100-1,300	(Meade et al., 1985)
550-1,000	(Nittrouer et al., 1995 e Nittrouer et al., 1986a)
600-800	(Bordas 1988; Filizola, 1999) *
800	(Martinez et al., 2009) *
610	Wittman et al., 2011) *
872	(Guyot et al., 2011)

Fonte: Filizola et al., (2011).

3.2. Sedimento em Suspensão no Rio Negro

Marinho (2014) apresenta uma alternativa de monitoramento das concentrações de sedimento em suspensão em confluências, empregando o uso do sensoriamento remoto. Este estudo foi realizado na confluência entre o Rio Solimões

(águas brancas) e Rio Negro (águas negras), entre maio de 2013 a fevereiro de 2014, utilizando metodologia de medições de espectrometria de campo de modo a comparar resultados tanto com as amostras de água superficial quanto com os dados radiométricos das imagens MODIS. Os resultados mostraram que a confluência é uma zona de contraste de sedimento em suspensão, que depende da maior ou menor influência dos afluentes, ou seja, no período de janeiro e fevereiro, o Solimões domina a confluência, já no período de julho e agosto, apresenta características onde o Rio Negro se destaca.

Marinho et al. (2020) realizaram um estudo entre 2016 a 2019, onde analisaram o fluxo de água e de sedimento em suspensão em diferentes trechos no baixo curso do Rio Negro, mais especificamente a montante, no interior e a jusante do arquipélago de Anavilhanas. Estimaram que a média da descarga líquida antes de Anavilhanas foi de 28.655 m³/s. Já em relação a concentração de sólidos totais (TSS ou MES) à montante do arquipélago foi de 3,28 mg/l e a jusante esse valor diminui para 1,63 mg/l, porém, no interior do arquipélago na margem esquerda do Rio Negro o valor médio é de 4.50 mg/l. Com isso, há uma indicação do processo de sedimentação em Anavilhanas, ainda que seja lento, mas contínuo.

3.3. Aspectos físico-químicos da Bacia do Rio Negro

O Potencial Hidrogeniônico (pH) é um importante parâmetro na qualidade da água, e considerado, ao mesmo tempo, mais difícil de interpretar, devido aos inúmeros fatores que podem influenciá-lo (ESTEVES, 1998).

O pH indica o grau de acidez, este indicativo varia entre caráter ácido ($0 < \text{pH} < 7$); neutro ($\text{pH} = 7$); e alcalino ($7 < \text{pH} < 14$). A alcalinidade ou neutralidade da água pode influenciar em vários processos biológicos e químicos nos corpos d'água. Os valores elevados de pH em sistemas hídricos podem estar relacionados à proliferação de vegetais em geral, que devido ao aumento da fotossíntese, aumenta o consumo de gás carbônico, com isso, aumenta o pH (VON SPERLING, 1995).

Um estudo feito por Leenheer & Santos (1980), faz considerações importantes em relação ao processo de fluxo geoquímico e de sedimentos no Rio Negro. Os autores observaram uma mudança na química da água na convergência dos Rios Negro e Branco, onde o Rio Negro age como um ácido e o Branco com base, e para os autores essa mudança é possivelmente causada pela floculação de sedimentos finos do Rio Branco, ou seja, agregação das partículas desses sedimentos.

Com a intensidade das precipitações recorrentes na região amazônica, as substâncias químicas encontradas nas águas são provenientes das camadas dos solos, visto que a ação da chuva dissolve os compostos no solo, que são transportadas para os rios e igarapés. Segundo Santos et al. (1984), os rios da Bacia do Rio Negro que apresentam os maiores valores de pH nascem nas áreas serranas da bacia, tendo como exemplo o Rio Branco, com 6,6. O Rio Uaupés, apesar de sua nascente estar localizada na parte baixa dos contrafortes do Andes, possui um pH considerado baixo, de 4,2. Os valores mais baixos de pH indicam a pobreza do solo em sais solúveis, especialmente em cálcio, que é o caso dos Rios Curicuriari (4,0) e Cuieiras (4,1).

A condutividade elétrica (CE) é a medida da facilidade com a qual a água permite a passagem de corrente elétrica, sendo medida em S/m (siemens por metro) ou ainda em $\mu\text{S}/\text{cm}$ (microsiemens por centímetro). A medição da condutividade de um líquido é uma maneira indireta e simples de inferir a presença de íons provenientes de substâncias polares, geralmente sais inorgânicos, dissolvidos na água, como cloretos, sulfetos, carbonatos, fosfatos. (ALVES, 2016).

Com relação aos resultados mostrados por Santos *et al.*, (1984) quanto à condutividade elétrica, os maiores valores corresponderam as substâncias coloridas, exemplo o Rio Preto (margem esquerda do Rio Negro, afluente do Rio Padauari) que apresentou o valor de 23.10 uS_{20} (Resultado expressos em condutividade específica: $k_{20} = \text{uS}/\text{cm}$). E os menos valores são resultantes da pobreza dos rios em sais minerais dissolvidos, como é o caso do Rio Unini com 7.20 uS_{20} .

No Arquipélago de Anavilhanas, Baixo Negro os valores físico-químico encontrados foram: pH 4,88 e a condutividade elétrica varia de 9 a 13 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (MARINHO et al. 2019).

3.4. Dados Hidrológicos

A geração de dados hidrológicos (cota, vazão etc.) são importantes para caracterização dos cursos d'água. São obtidas através de instalações específicas de cotas fluviométricas, ou dados de vazão. No Brasil, este trabalho é realizado principalmente pela Agência Nacional de Água – ANA, pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM, e ainda há o programa de monitoramento desenvolvido pelo Serviço de Observação Hybam, que faz controles geodinâmico, hidrológico e biogeoquímico da erosão/alteração e da transferência de matérias na bacia.

3.4.1. Rede Hidrométrica

Segundo definido pela Agência Nacional de Água (2012) Hidrometria é um conjunto de pontos de monitoramento ou estação hidrométrica, com a finalidade de monitoramento pluviométrico, limnimétrico, fluviométrico, sedimentométrico e de qualidade da água.

No presente estudo são utilizados os dados a seguir:

- a) Fluviométricos: Definidos como a medição de variáveis de um curso d'água, tais como níveis d'água (cota) e vazão (ou descarga) líquida. Que permitem a definição e atualização da curva de descarga, assim a estação fluviométrica é essencial para estudos hidrológicos, de planejamento de uso dos recursos hídricos, auxilia nas previsões de cheias, no gerenciamento de bacias hidrográficas, da navegação, dentre outros aspectos;
- b) Sedimentométricos: Dados de sedimentos em suspensão e de fundo, que permitem determinar a descarga sólida total. No presente estudo, serão considerados apenas os dados de Sedimentos em Suspensão, denominado aqui de Material de Sedimento Em Suspensão (MES);
- c) Qualidade da água: o levantamento de parâmetros físico-químicos e hidroquímicos relacionados à qualidade da água para diferentes usos. Neste estudo são considerados apenas alguns dos aspectos físico-químicos (Condutividade e pH), para fins de caracterização geral.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Área de Estudo

4.1.1. Caracterização da localização da Bacia do Rio Negro

A Bacia do Rio Negro localiza-se entre as latitudes 3°14'S e 5°8'N e longitudes 72°57'W e 58°16'W. A área de drenagem do Rio Negro é de cerca de 600.000 km², que abrange partes da Colômbia, Venezuela e Brasil. (FRANZINELLI E IGREJA, 2002).

A parte superior da bacia atravessa planícies da Colômbia e o escudo das Guianas. Recebe o nome de Rio Negro a partir da confluência entre os Rios Guainía e Cassiquiare. No Brasil, esta bacia envolve os estados do Amazonas e Roraima. (MARINHO, 2019).

Grande parte da Bacia do Rio Negro é coberta com floresta tropical densa, apesar de existirem áreas de Savanas na Colômbia e em Roraima.

4.2. Fisiografia

4.2.1. Geologia

O Escudo das Guianas, de idade é Pré-Cambriano ocupa uma vasta área da Bacia do Rio Negro e de seus afluentes (Içana, Tiquié e Uaupés); além de parte da Bacia dos Rios Urubu e Uatumã, afluentes do Rio Amazonas.

O escudo guianense (Figura 1) é geologicamente pouco ativo em comparação com os Andes, possui rios com águas com menor concentração de sedimentos em suspensão e mais matéria orgânica sob a forma dissolvida, dando uma cor preta aparente (MOLINIER et al., 1994; FILIZOLA & GUYOT, 2011).

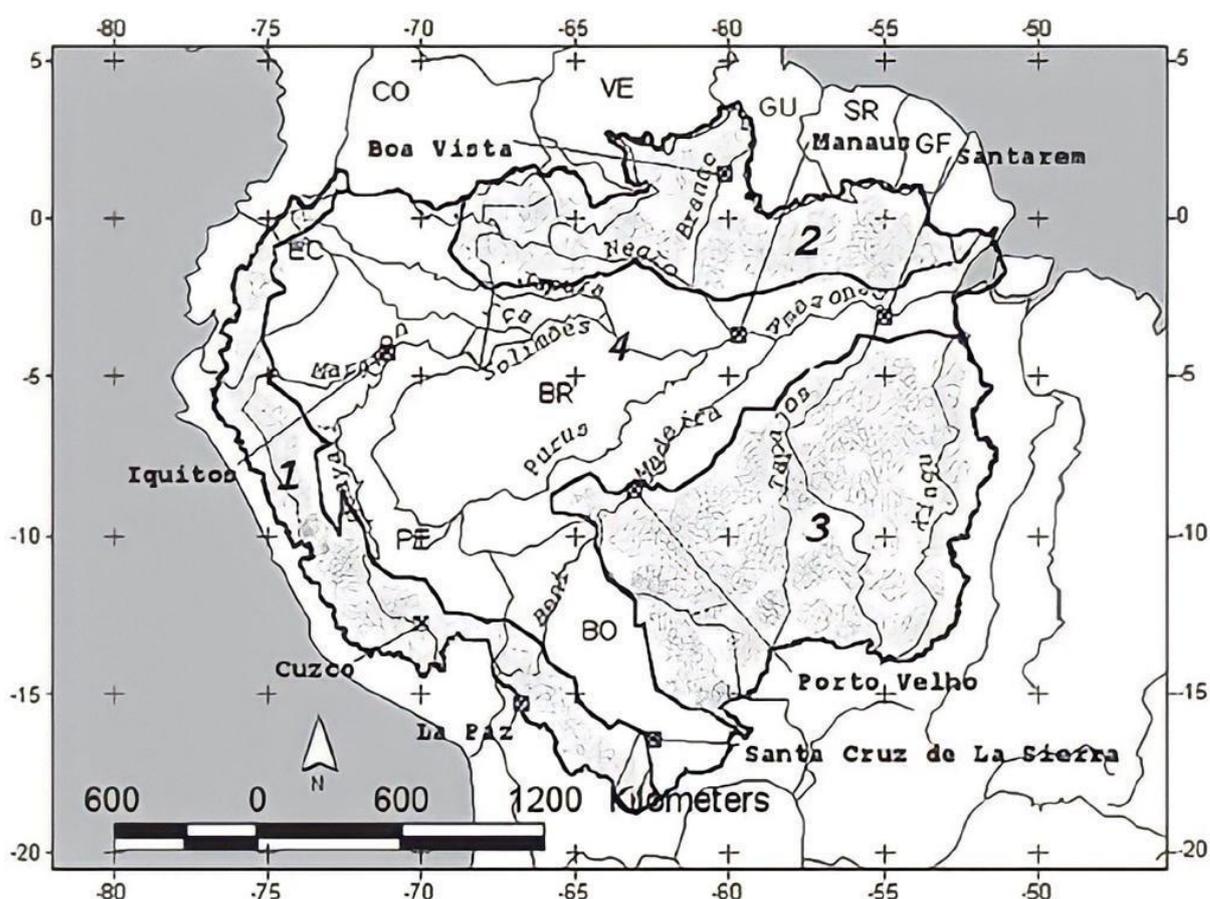


Figura 1. A Bacia Amazônica com suas 4 principais unidades morfoestruturais (1 – Cadeia Andina; 2 – Escudo das Guianas; 3 – Escudo Brasileiro; e 4 – Planície Fluvial) e seus principais cursos d'água. Fonte: FILIZOLA & GUYOT, 2011, p. 02.

De acordo com Franzinelli & Igreja (2002), a estrutura geológica do Rio Negro é dividida em três partes: O Alto Rio Negro, de sua nascente até a localidade de Santa Isabel, onde o Rio sai das rochas cristalinas do escudo das Guianas e flui através de depósitos sedimentares da Bacia Amazônica; O Médio Rio Negro, que vai até à confluência com o Rio Branco, flui sobre depósitos V do terciário e segue na direção NW-SE, e o baixo Rio Negro, que vai daquela confluência até a confluência com o Rio

Solimões, em frente a cidade de Manaus, inserido em rochas mesozoicas da formação Alter do Chão. E onde está fortemente influenciado pela neotectônica (FRANZINELLI, 2011).

Segundo Franzinelli & Igreja (2002) a neotectônica, definida por eventos tectônicos jovens que ocorreram desde o Terciário Superior, é responsável pela profundidade do canal e pela ocorrência de falésias em alguns pontos das margens do Rio Negro e também é um possível fator que influenciou na origem das ilhas. Além disso, o sistema do Negro tem sua evolução intimamente ligada ao comportamento do sistema Solimões/Amazonas associado a respostas a mudanças climáticas durante o Holoceno (LATRUBESSE & FRANZINELLI, 2005).

Há um controle tectônico de variações gradativas do vale e um nível de base crescente que produziram condições hidro-geomorfológicas ao longo da parte Rio Negro que resultou em arquipélagos fluviais espetaculares: os arquipélagos de Anavilhanas e Mariuá (LATRUBESSE & FRANZINELLI, 2005).

O principal afluente do Rio Negro, o Rio Branco drena áreas montanhosas de rochas cristalinas e montanhas formadas por sedimentos pré-cambrianos rochas do estado de Roraima (Brasil) e a fronteira entre o Brasil e a Guiana bem como sobre as planícies de savana do Lavrado Roraima. No meio do percurso, o Rio atravessa uma enorme planície de gradiente denominada de Pantanal do Norte. (LATRUBESSE & FRANZINELLI, 2005).

4.2.2. Relevo

A Bacia do Rio Negro localiza-se na região da linha do equador, na planície Amazônica, na região norte, onde situa-se o Rio Branco, são os Escudos das Guianas (FILIZOLA et al., 2002).

O Projeto RADAM BRASIL (1978) através das formas de relevo da Amazônia definiu sete unidades morfoestruturais. Neste contexto o Rio Negro (Figura 2) localiza-se em duas unidades que são: Pediplano Rio Branco-Rio Negro, situada ao norte e Planalto Dissecado Rio Trombetas-Rio Negro.

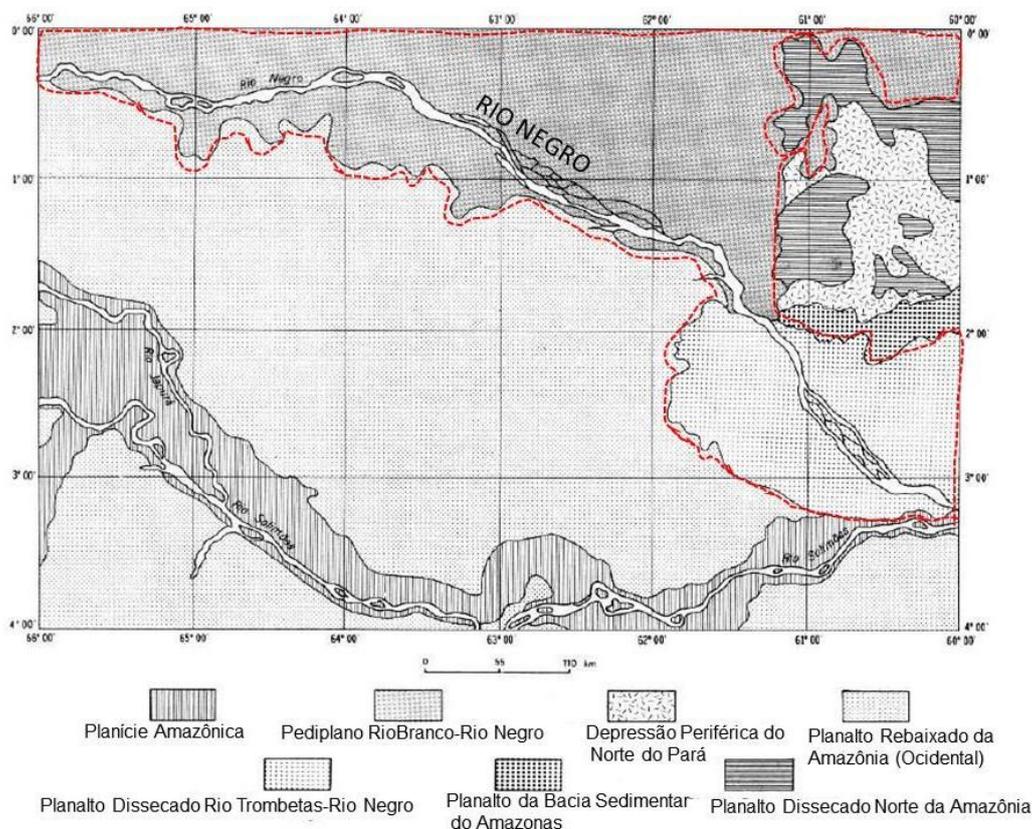


Figura 2. Unidades Morfoestruturais. Em destaque o Rio Negro. Fonte: Projeto RADAM BRASIL, 1978.

O Rio Negro funciona como limite entre estas duas unidades onde os limites do pediplano ultrapassam o Rio Negro, para sul, abrangendo as áreas de acumulação inundáveis. A leste, limita-se pela depressão periférica do Norte do Pará. Na área entre Santa Izabel do Rio Negro e Barcelos, o pediplano situa-se em processo de dissecação em interflúvios tabulares (Projeto RADAM BRASIL, 1978).

As áreas aplainadas ocorrem a norte do Rio Negro e configuram o Pediplano Rio Branco-Rio Negro. Nos interflúvios tabulares dos Rios Solimões e Negro, o relevo é colinoso e ondulado, com baixos platôs (Projeto RADAM BRASIL 1978).

4.2.3. Solos

O Rio Negro drena áreas arenosas ao norte do estado do Amazonas e praticamente todo o estado de Roraima por um dos seus afluentes, o Rio Branco. Nas margens do Rio Negro, os solos que predominam na área de várzea são em geral os Neossolos Flúvicos e Neossolos Quartzarênicos (praias do Rio Negro), na parte superior da margem (barranco), aparecem os Argissolos, Latossolos e Plintossolos, e a partir do município de Novo Airão o que predomina são Espodossolos, onde em todas estas classes de solos ocorrem severas limitações de aptidão agrícola pelo baixo nível de fertilidade. (TEIXEIRA, *et al.*, 2009).

A origem da água preta do Rio Negro, está amplamente relacionada ao solo podzólico da área da cabeceira, ou seja, neste solo, o material orgânico sofre rapidamente decomposição para o húmus, que é facilmente dissolvido pelo desempenho da água da chuva e transportada para o lençol freático, que emerge na superfície como pequenos riachos (SIOLI, 1991).

No contexto geral, os tipos de solos da Bacia do Rio Negro (Figura 3) são predominantemente Latossolo principalmente na margem esquerda. No Alto Rio Negro solo foi caracterizado como Podzólico indiscriminado (ESCARIÃO, 2001).

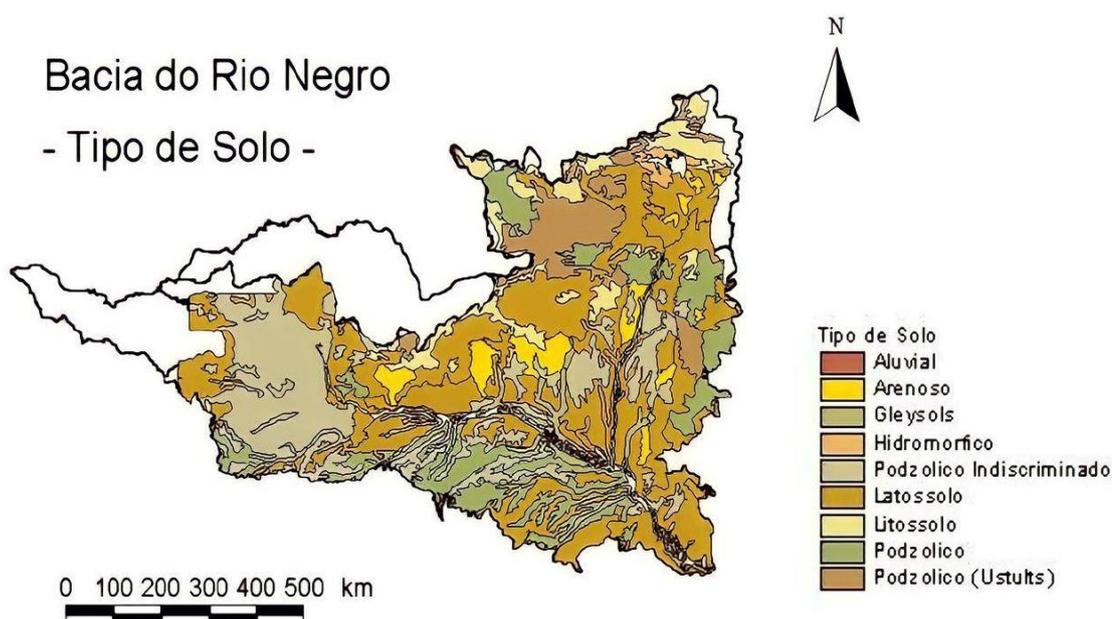


Figura 3. Tipos de solos da Bacia do Rio Negro. Fonte: Escarião, 2001.

No Alto Rio Negro, a maior parte da área é constituída por superfícies aplainadas, e o principal mecanismo responsável pelo aplainamento geral do terreno pode ter relação com a transformação dos Latossolos em areais brancas hidromórficas (MAFRA, et al., 2002).

4.2.4. Vegetação

Na região amazônica ocorrem diversos tipos de vegetação, tal como: floresta de terra firme; floresta de várzea; floresta de igapó; manguezais; campos de várzea; campos de terra firme; campinas; vegetação serrana e vegetação restinga. Na região do Alto Rio Negro, grandes áreas são ocupadas pela Caatinga alta, contém muitas espécies endêmicas (BRAGA, 1979).

Nos escudos das Guianas, próximo à divisa do Brasil com a Venezuela e Guiana, onde são formadas por rochas areníticas a vegetação predominante é do tipo savana, é uma região antiga com serras altas (BRAGA, 1979).

Na região de Anavilhanas no baixo Rio Negro, a água foi determinante para caracterizar a vegetação nessas ilhas, onde adaptaram-se a suportar longos períodos de inundação e faixas estreitas do relevo, ou seja, vegetação do tipo igapó. Nas porções mais elevadas, na medida que a ilha envelhece, há uma vegetação mais estável, porém, na região mais às margens destas ilhas, são frequentes arbustos e plantas de ciclos curtos, das quais desaparecem na medida em ocorre o período de cheia (PIEIDADE et al., 2005).

Nas áreas deprimidas de acumulação inundáveis, áreas sedimentares em relevo tabular ondulado, a predominância são as campinaranas, e nas planícies aluviais do Rio Negro. A leste dos Rios Negro e Jauaperi a predomina floresta tropical densa e aberta (PROJETO RADAMBRASIL, 1978).

4.2.5. Clima

De modo geral, a região Amazônica possui um regime de precipitação com fortes influências de sistemas atmosféricos dinâmicos de micro, meso e grande escala.

Segundo Marinho e Rivera (2019) a climatologia e o regime de precipitação apresentado no período de 1981 a 2016 (Figura 4), mostram diferenças acentuadas na região da Bacia do Rio Negro, onde a região mais úmida (3.000 mm/ano ou maior) está concentrada na região oeste da cidade de São Gabriel da Cachoeira (AM). Já a região mais seca (1.500 mm/ano ou menor) está ao norte do estado de Roraima, próximo das cidades de Boa Vista e Uiramutã.

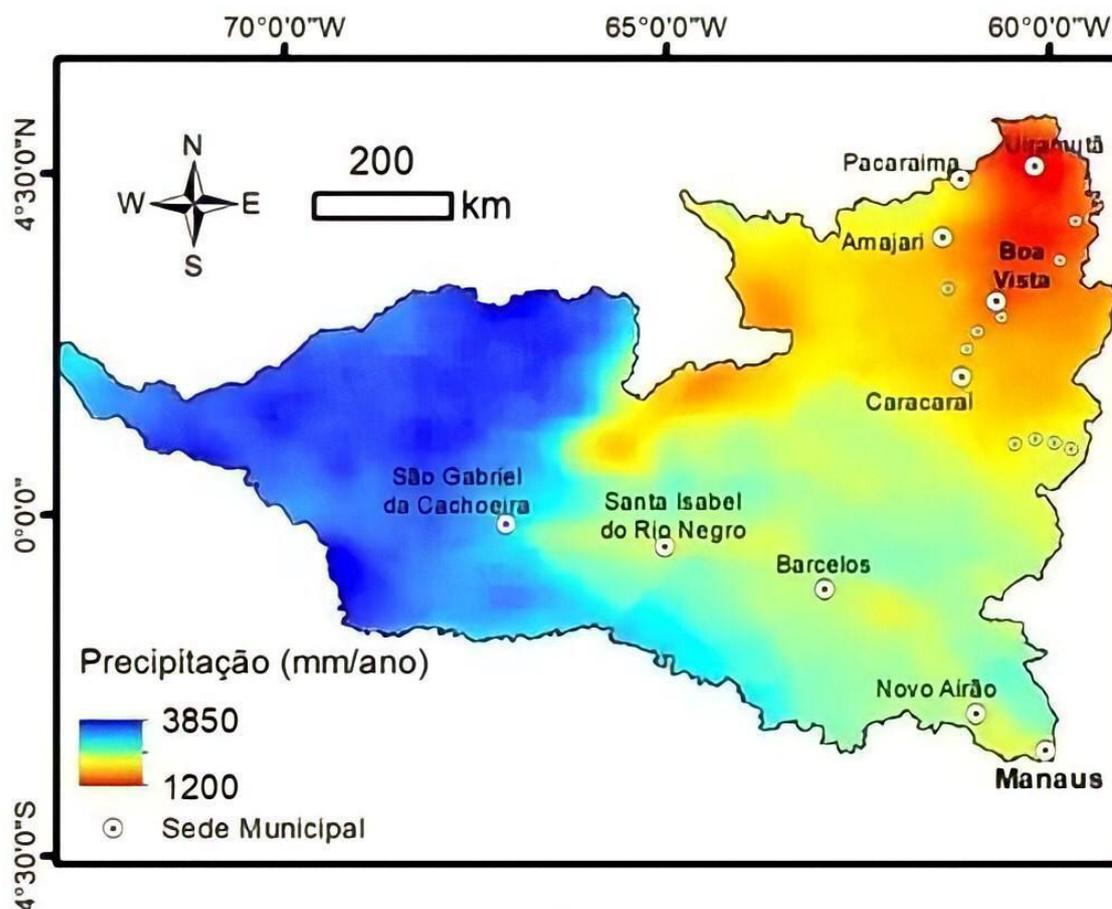


Figura 4. Precipitação média anual para o período 1981 - 2016. Fonte: Marinho e Rivera, 2019

4.2.6. Aspectos Hidrográficos/Hidrológicos

O regime dos rios da Bacia Amazônica é governado pela distribuição não uniforme da pluviosidade. Na parte central da bacia a quantidade de chuvas alcança 2.500 mm/ano e, na Bacia do Rio Negro, chega a 3.600 mm/ano. (FRANZINELLI, 2011).

O Rio Negro recebe este nome devido à cor da água, que se dá, pela grande quantidade de ácidos húmicos dissolvido, que decorrente de material orgânico, como raízes, folhas e madeira que se decompõem de forma lenta na água.

A água do curso inferior do Rio Negro tem velocidade muito baixa, chegando a ser represada em algumas épocas do ano durante o pico máximo do Solimões, dando aspecto de grande lago a esse trecho do Rio (FRANZINELLI, 2011).

Latrubesse (2008) definiu o Rio Negro com padrão de drenagem predominantemente anabranching, isso significa ser um sistema multicanal com ilhas grandes (arquipélagos de Anavilhanas e Mariuá) estáveis que dividem o seu fluxo.

4.3. Tipos e Fontes de Dados

Para realizar o balanço sedimentométrico da Bacia do Rio Negro, foram utilizados dados de Cota (H), Vazão (Q), Material Em Suspensão (MES) e físico-química (pH e Condutividade), obtidos de 03 fontes distintas: i) Amostras realizadas pelo Observatório Hybam; ii) amostras da ANA; iii) amostras das Campanhas do Observatório Hybam (1995, 1996, 1998 e 2005).

Os conjuntos de séries históricas das estações hidrométricas foram obtidas da Rede Hidrometeorológica Nacional (www.snirh.gov.br/hidroweb) da Agência Nacional de Água (ANA) e do Observatório Hybam.

Para estabelecer o período de estudo, foram analisadas as estações disponíveis na Bacia do Rio Negro, através da construção de uma tabela de dados de base, para verificar qual o período e disponibilidade de dados em comum existia entre as estações. Assim o período base selecionado foi aquele entre os anos de 1988 a 2018, caracterizando 30 anos de dados. No total foram obtidos dados de 02 estações do Observatório Hybam (Caracaraí e Serrinha) e 31 estações da ANA (Tabela 2).

Tabela 2. Estações fluviométricas utilizadas no estudo. *Estação Hybam(1) e/ou ANA(2).

Código	Estação	Rio	Latitude	Longitude	Área Km ²
14850000	Base Alalau ⁽²⁾ .	Alalaú	0°51'31.00"S	60°31'12.00"O	6.589,00
14485010	Missão Auari Jusante ⁽²⁾ .	Auari	4° 0'11.00"N	64°29'19.00"O	707,00
14710000	Caracaraí ^{(1) (2)} ..	Branco	1°49'17.00"N	61° 7'25.00"O	124.980,00
14620000	Boa Vista ⁽²⁾ .	Branco	2°49'34.00"N	60°39'29.00"O	97.023,00
14750000	Missão Catrimani ⁽²⁾ .	Catrimani	1°45'0.00"N	62°16'60.00"O	6.182,00
14540000	Fazenda Bandeira Branca ⁽²⁾ .	Cotingo	4°37'50.00"N	60°28'14.00"O	3.075,00
14550000	Maloca do Contão ⁽²⁾ .	Cotingo	4°10'6.28"N	60°31'41.24"O	5.815,00
14350000	Jusante da Cachoeira do Caju ⁽²⁾ .	Curicuriari	0°14'46.00"N	67° 0'33.00"O	10.228,00
14325000	Tumbira ⁽²⁾ .	Curicuriari	0°20'40.00"N	67°32'9.00"O	10.628,75
14440000	Posto Ajuricaba ⁽²⁾ .	Demeni	0°53'3.00"N	62°37'19.00"O	14.756,00
14230000	Missão Içana	Içana	1° 4'27.00"N	67°35'36.00"O	22.282,00
14845000	Fazenda São José ⁽²⁾ .	Jauaperi	0°31'4.00"N	60°27'58.00"O	8.639,00
14380000	Missão Maturacá ⁽²⁾ .	Maturacá	0°37'10.00"N	66° 8'6.00"O	725,78

14680001	Fé e Esperança ⁽²⁾ .	Mucajaí	2°52'15.00"N	61°26'26.00"O	13.658,00
14650000	Posto Funai ⁽²⁾ .	Mucajaí	2°43'54.00"N	62° 1'2.00"O	9.300,00
14690000	Mucajaí ⁽²⁾ .	Mucajaí	2°14'59.46"N	60°55'4.98"O	19.566,35
14420000	Serrinha ⁽¹⁾ (2)..	Negro	0°28'55.00"S	64°49'44.00"O	279.945,00
14330000	Curicuriari ⁽²⁾ .	Negro	0°12'6.00"S	66°48'12.00"O	194.462,00
14250000	São Felipe ⁽²⁾ .	Negro	0°22'18.00"N	67°18'46.00"O	110.862,00
14110000	Cucui ⁽²⁾ .	Negro	1°12'53.00"N	66°51'8.00"O	61.781,00
14428000	Vila Conceição Montante ⁽²⁾ .	Padauari	0°13'38.00"N	63°59'18.00"O	6.631,62
14530000	Vila Surumu	Surumu	4°10'49.54"N	60°47'38.03"O	2.428,00
14526000	Bonfim	Tacutu	3°21'9.35"N	59°48'52.60"O	9.744,00
14300000	Pari Cachoeira ⁽²⁾ .	Tiquié	0°14'58.00"N	69°47'6.00"O	1.617,00
14310000	Cunuri ⁽²⁾ .	Tiquié	0°12'34.00"N	69°22'41.00"O	4.198,00
14515000	Fazenda Passarão ⁽²⁾ .	Uraricoera	3°12'28.00"N	60°34'16.00"O	50.985,00
14495000	Fazenda Cajupiranga ⁽²⁾ .	Uraricoera	3°26'17.00"N	61° 2'12.00"O	37.430,00
14488000	Uaicás ⁽²⁾ .	Uraricoera	3°32'59.00"N	63°10'9.00"O	16.065,00
14280001	Taraqua ⁽²⁾ .	Uaupés	0° 7'49.00"N	68°32'19.00"O	44.732,00
14260000	Uaraçu ⁽²⁾ .	Uaupés	0°28'37.00"N	69° 7'41.00"O	40.506,00

Dentre as estações selecionadas neste estudo, a maioria estão localizadas nos afluentes da margem esquerda do Rio Negro (Figura 5).

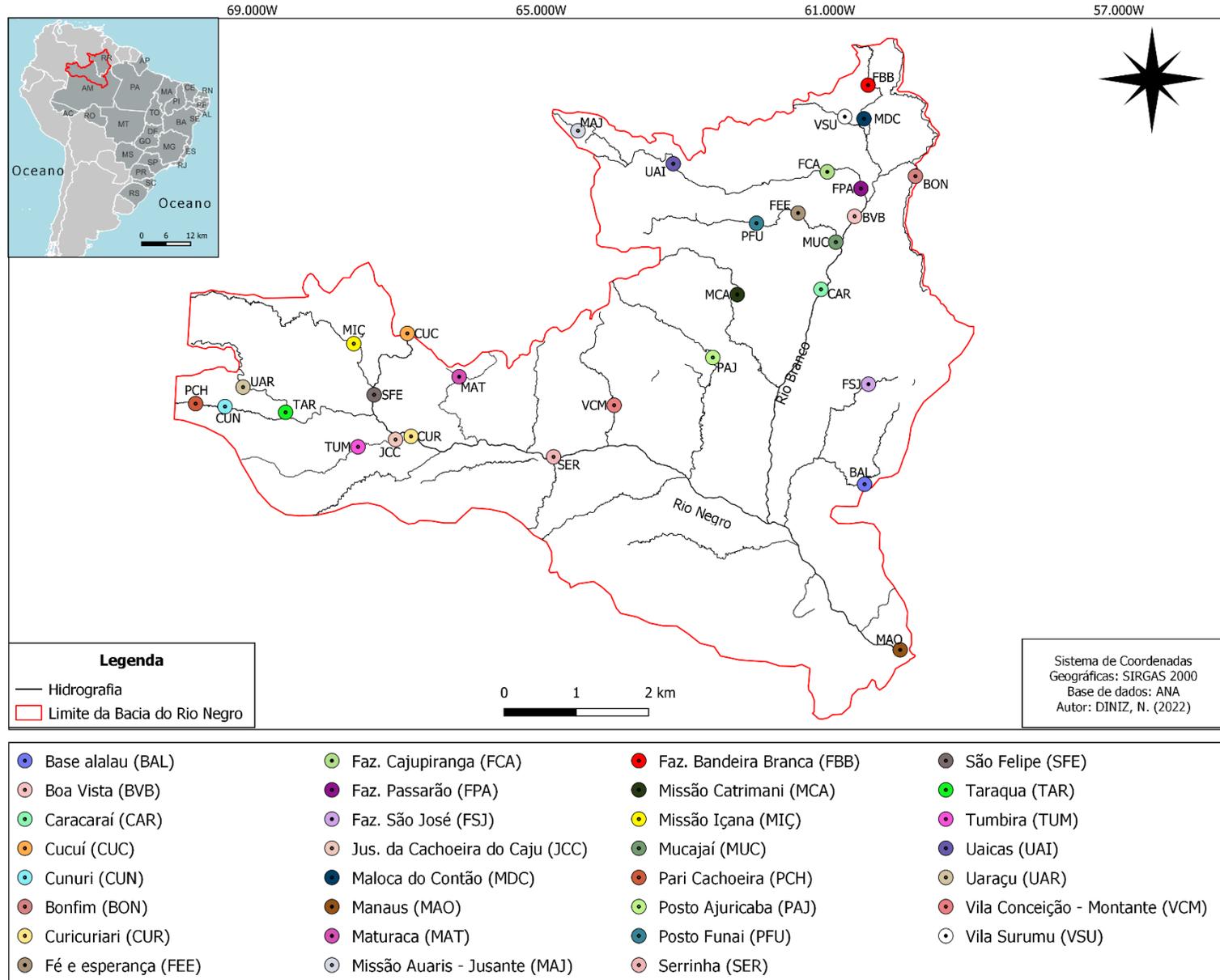


Figura 5. Mapa de Localização das Estações utilizadas no estudo.

As disponibilidades de dados da rede Ore Hybam e da ANA são diferentes. Na rede Ore Hybam os dados estão disponíveis mensalmente, com exceção a variável MES, pois a coleta é realizada dia 01, 10 e 20 de cada mês, portanto numa frequência maior. Com relação à ANA, apenas as variáveis Cota e MES são mensais, as demais variáveis não têm uma frequência de obtenção determinada (Tabela 3).

Tabela 3. Frequências de dados disponíveis.

Frequência de dados		
Variável	ANA	Ore Hybam
Cota	Mensal	Mensal
Vazão	indeterminado	Mensal
[MES]	Mensal	03 vezes por mês
pH	indeterminado	Mensal
Condutividade	indeterminado	Mensal

Já os dados de campanhas da Bacia do Rio Negro (Tabela 4) disponíveis no site do Ore Hybam, são referentes a levantamentos realizados nos anos de 1995, 1996, 1998 e 2005.

Tabela 4. Pontos com dados disponíveis das campanhas Ore Hybam.

Fonte	Rio	Local/Estação
Campanha 1995	Negro	Paricatuba
Campanha 1995	Demini	Cfl Negro
Campanha 1995	Cuiuni	Cfl Negro
Campanha 1995	Negro	Ilha Peixe-Boi
Campanha 1995	Negro	Ilha de Panacari
Campanha 1995	Branco	Ilha de Panacari
Campanha 1995	Negro	Jusante Foz do Rio Branco
Campanha 1995	Jauaperi	Lago Grande
Campanha 1995	Unini	Caco de Prata
Campanha 1995	Jaú	Jaú
Campanha 1995	Carabinani	Baruri
Campanha 1995	Camanaú	Posto Funai
Campanha 1995	Negro	Paricatuba
Campanha 1996	Negro	Cucuí
Campanha 1996	Negro	São Felipe
Campanha 1996	Içana	Missão Içana
Campanha 1996	Uaupés	Taraqua
Campanha 1996	Tiquié	Cunuri
Campanha 1996	Negro	São Gabriel da Cachoeira
Campanha 1996	Curicuriari	Cachoeira do Caju
Campanha 1996	Negro	Curicuriari
Campanha 1996	Negro	Curicuriari

Campanha 1996	Marié	Foz do Marié
Campanha 1996	Negro	Serrinha
Campanha 1996	Padauri	Tapera
Campanha 1996	Cuiuni	Punta da Terra
Campanha 1996	Demini	Jalauaca
Campanha 1996	Negro	Foz do Rio Branco
Campanha 1996	Branco	Santa Maria do Boiaçu
Campanha 1996	Negro	Moura
Campanha 1996	Jauaperi	Foz
Campanha 1996	Unini	Foz
Campanha 1996	Jaú	Foz do Carabinani
Campanha 1996	Negro	Paricatuba
Campanha 1996	Negro	Manaus
Campanha 1998	Içana	Missão Içana
Campanha 1998	Poço Missão	Missão Assunção
Campanha 1998	Negro	Cucuí
Campanha 1998	Negro	São Felipe
Campanha 1998	Negro	São Gabriel da Cachoeira
Campanha 1998	Igarapé	Taragua
Campanha 1998	Uaupés	Taragua
Campanha 1998	Tiquié	Cunuri
Campanha 1998	Negro	Curicuriari
Campanha 1998	Curicuriari	Cachoeira do Caju
Campanha 1998	Marié	Foz
Campanha 1998	Negro	Serrinha
Campanha 1998	Padauri	Tapera
Campanha 1998	Cuiuni	Ponta da Terra
Campanha 1998	Demini	Jalauaca
Campanha 1998	Branco	Na Foz
Campanha 1998	Negro	Foz do Rio Branco
Campanha 1998	Negro	Moura
Campanha 1998	Jauaperi	Na Foz
Campanha 1998	Unini	Na Foz
Campanha 1998	Jaú	Na Foz
Campanha 1998	Negro	Paricatuba
Campanha 2005	Negro	Paricatuba
Campanha 2005	Jaú	Jaú
Campanha 2005	Demini	Demini
Campanha 2005	Negro	Serrinha
Campanha 2005	Negro	Curicuriari
Campanha 2005	Uaupés	Uaupés

4.4. Processamento

Nesta etapa o Balanço da Bacia do Rio Negro, foi realizada em cinco fases descritas a seguir:

1ª Fase: Verificação da disponibilidade das estações da Bacia do Rio Negro na Base da ANA e do Ore Hybam;

2ª Fase: Organização dos dados das planilhas brutas, de modo a verificar através de todos os parâmetros qual o período comum e quantas estações estão na mesma faixa;

3ª Fase: Após definir a base de dados a serem trabalhadas no estudo, foram gerados gráficos dos parâmetros disponíveis, como séries históricas, e sazonalidade relacionando com a variável cota (H), a fim de analisá-los tendo em vista o período do ciclo hidrológico;

4ª Fase: Cálculo do Fluxo Sólido Instantâneo em ton/dia utilizando a equação:

$$QS = Q*[MES]*0,0864$$

Onde:

Qs = Descarga sólida;

Q= Vazão

[MES] = Concentração de Matéria em Suspensão;

0,0864= Constante para transformação dos valores na unidade ton./dia

5ª Fase: Cálculo do Balanço de Fluxo através da equação a seguir, que apresenta o que está na ilustração da Figura 6:

$$(QSa+Qsb+...+QSn) - QSx = \xi$$

Onde:

QSa = é o fluxo de MES medido em ponto "a" a montante do ponto "x" num determinado curso d'água A;

Qsb = é o fluxo de MES medido em ponto "b" a montante do mesmo ponto "x", porém, nesse caso, localizado em um curso d'água B;

QSn =é o fluxo do MES medido em ponto "n" a montante do mesmo "x", porém no enésimo curso d'água

QSx = é o fluxo do MES num ponto "x" num curso d'água X a jusante dos demais;

ξ = é um valor que poderá ser positivo, caso haja ocorrência de produção ou re-suspensão de sedimento no trecho estudado. Ou poderá ser negativo, que significará que o sedimento se depositou na porção intermediária entre as estações consideradas.

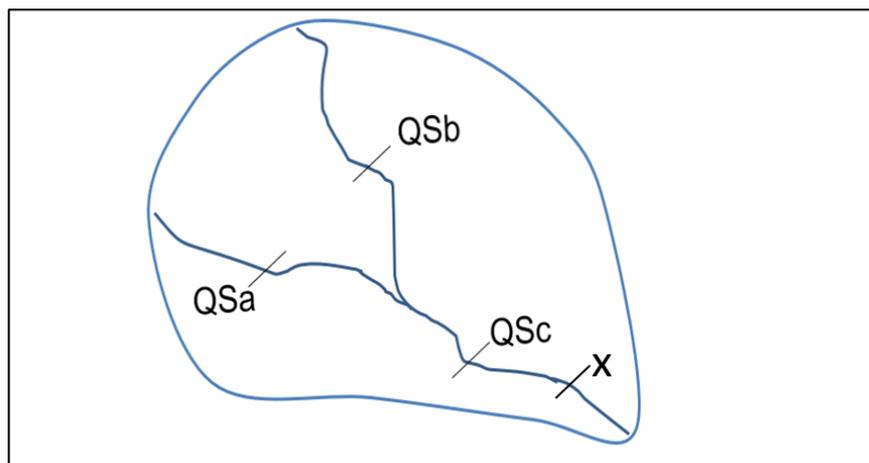


Figura 6. Ilustração de uma bacia hidrográfica dividida por canais fluviais.

4.5. Análise de Dados

Foram realizadas análises de séries históricas do regime hidrológico de cota, vazão, material em suspensão e físico-químico (pH e Condutividade), com base nos dados da Agência Nacional de Água (ANA) e Ore Hybam. As variáveis analisadas, equações e definições encontram-se na Tabela 5, a seguir:

Tabela 5. Definições das equações e variáveis

Variável	Sigla	Equação	Unidade
Vazão	Q	*	m ³ /s
Material de Sedimento em Suspensão	MES	*	mg/l
Cota	H	*	cm
pH	*	*	*
Condutividade Elétrica	*	*	μS/cm
Cálculo do MES	MES	$MES = \left(\frac{p^i - p^f}{v}\right) \times 1.000.000$	mg/L
Fluxo Sólido Instantâneo	Qs	$QS = Q * MES * 0,0864$	ton.dia ⁻¹
Cálculo de Balanço de Fluxo	*	$(QSa + QSb + \dots + QSn) - QSx = \xi$	ton.ano ⁻¹

Foram elaboradas e analisadas as séries históricas para cada estação, com gráficos relacionando os dados de cota com as demais variáveis (Vazão, [MES], pH e condutividade).

Para análise dos regimes, foram calculados valores de mínimas, médias e máximas mensais de cada variável disponíveis por estações.

Esses gráficos de sazonalidade, serão para identificar variabilidade das estações, determinando os valores de picos máximos, valores médios e mínimos anuais.

Por fim, realizou-se balanços e a variabilidade espacial dos valores, para compreender o comportamento apresentado na Bacia do Rio Negro, e se há ocorrência de trechos de sedimentação, deposição nos diferentes trechos de estudo ou se há ressuspensão ou produção de MES em outros trechos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos são apresentados da seguinte forma: i) Dinâmica Fluvial da Bacia do Rio Negro; ii) Balanço de Fluxo da Bacia do Rio Negro; iii) Parâmetros físico-químicos da Bacia do Rio Negro.

As tabelas 6 e 7 apresentam as disponibilidades de dados de cada variável utilizada neste estudo, divididas por estação e a quantidade total de dados das fontes do Observatório Hybam e ANA.

Tabela 6. Dados disponíveis do Ore Hybam

Ore Hybam		COTA			VAZÃO			[MES]			pH			Condutividade		
Estação	Rio	D.I.	D.F.	Q.T.	D.I.	D.F.	Q.T.									
Caracarái	Branco	jan-88	dez-18	370	jan-88	nov-18	370	mai-98	dez-17	603	set-03	dez-18	116	jul-99	ago-12	298
Serrinha	Negro	jan-88	dez-18	370	jan-88	dez-18	364	out-88	nov-08	235	out-05	out-18	82	out-03	mai-12	75

Tabela 7. Dados disponíveis da ANA. D.I = Data inicial; D.F. = Data Final; Q.T = Quantidade Total de dados; *** = Dados não disponíveis.

ANA		COTA			VAZÃO			[MES]			pH			Condutividade		
Estação	Rio	D.I.	D.F.	Q.T.	D.I.	D.F.	Q.T.									
Base Alalau	Alalau	jan-92	dez-18	276	jan-06	out-17	115	***	***	***	set-02	nov-18	24	set-02	nov-16	17
Missão Auaris Jusante	Auari	mai-95	dez-18	274	mai-95	jun-18	273	***	***	***	set-02	jul-18	20	set-02	mar-16	15
Caracarái	Branco	jan-88	dez-18	341	jan-88	mai-18	362	out-91	out-18	75	ago-98	nov-18	43	ago-98	dez-16	34
Boa Vista	Branco	mar-88	dez-18	338	jan-15	mar-18	38	jun-98	out-18	8	ago-92	out-18	16	ago-92	abr-17	10
Missão Catrimani	Catrimani	mai-88	dez-18	268	jan-88	jun-18	286	***	***	***	out-02	jul-18	16	out-02	jun-16	12
Fazenda Bandeira Branca	Cotingo	jan-88	jul-18	172	jan-88	abr-18	184	out-91	nov-97	18	out-02	ago-18	21	out-02	fev-17	14
Maloca do Contão	Cotingo	jan-88	dez-18	348	jan-88	jul-18	357	set-92	ago-18	73	ago-98	ago-18	39	ago-98	nov-16	31
Jusante da Cachoeira do Caju	Curicuriari	jan-88	dez-18	360	jan-88	mar-88	360	***	***	***	set-02	out-18	34	set-02	mar-17	26
Tumbira	Curicuriari	jan-00	dez-18	228	jan-00	dez-18	207	***	***	***	set-02	out-18	26	set-02	jun-16	19
Posto Ajuricaba	Demeni	jan-88	dez-18	372	jan-88	abr-18	351	***	***	***	jul-03	jul-18	15	jul-03	jul-16	13
Missão Içana	Içana	jan-88	dez-18	371	jan-88	dez-18	371	ago-92	dez-97	16	jun-03	abr-18	24	jun-03	abr-18	20
Fazenda São José	Jauaperi	jan-88	dez-18	292	jan-88	out-17	273	***	***	***	set-02	dez-15	22	set-02	mai-16	16
Missão Maturacá	Maturacá	jan-00	out-18	177	jan-00	abr-18	130	***	***	***	jul-03	mai-18	16	jul-03	mai-18	14
Fé e Esperança	Mucajaí	jan-88	dez-18	364	jan-88	set-17	347	set-92	jul-18	76	nov-98	nov-18	40	nov-98	fev-17	30
Posto Funai	Mucajaí	jan-88	dez-18	190	jan-88	abr-18	210	***	***	***	set-02	mar-18	16	set-02	mar-16	14

Mucajá	Mucajá	abr-95	dez-18	265	abr-95	abr-18	268	fev-17	out-18	7	out-02	out-18	32	out-02	mar-16	25
Manaus	Negro	jan-88	jun-14	318	abr-08	nov-14	78	***	***	***	mar-93	nov-18	6	abr-97	ago-97	2
Serrinha	Negro	jan-88	dez-18	361	jan-88	mar-18	363	jun-88	out-18	77	set-98	out-18	43	set-98	mar-17	36
Curicuriari	Negro	jan-88	dez-18	369	jan-88	mar-18	362	***	***	***	set-02	out-18	38	set-02	mar-17	31
São Felipe	Negro	jan-88	dez-18	370	jan-88	jun-18	365	***	***	***	jan-03	abr-18	25	jan-03	abr-18	22
Cucui	Negro	jan-88	dez-18	370	jan-88	mar-18	357	mar-88	jul-18	81	mai-01	abr-18	35	mai-01	jan-17	32
Vila Conceição Montante	Padauari	out-00	dez-18	214	out-00	mar-18	202	***	***	***	ago-02	nov-18	26	ago-02	mar-17	21
Vila Surumu	Surumu	jan-88	dez-18	350	jan-88	jan-18	310	out-91	out-18	21	out-02	out-18	23	out-02	nov-16	13
Bonfim	Tacutu	jan-88	dez-18	360	jan-88	abr-18	348	mar-98	jul-18	51	mar-93	out-18	50	mar-93	fev-17	41
Pari Cachoeira	Tiquié	jan-88	dez-18	306	jan-88	jan-18	346	jun-88	nov-18	75	mai-01	abr-18	27	mai-01	abr-18	26
Cunuri	Tiquié	jan-88	dez-18	366	jan-88	mar-18	362	***	***	***	jul-03	abr-18	23	jul-03	abr-18	21
Fazenda Passarão	Uraricoera	jan-88	dez-18	342	jan-88	mai-18	348	fev-17	out-18	7	fev-93	out-18	35	fev-93	out-16	27
Fazenda Cajupiranga	Uaicás	jan-88	dez-18	334	jan-88	mai-18	363	set-92	out-18	76	set-98	out-18	41	set-98	fev-17	31
Uaicás	Uaicás	jun-88	dez-18	305	jan-88	abr-18	345	ago-92	ago-97	15	set-02	mai-18	18	set-02	jun-16	15
Taraqua	Uaupés	jan-88	dez-18	341	jan-88	fev-18	359	ago-92	jul-18	76	mai-01	abr-18	34	mai-01	abr-18	30
Uaraçu	Uaupés	jan-88	dez-18	360	jan-88	jun-18	362	***	***	***	jul-03	mai-18	21	jul-03	mai-18	18

5.1. Dinâmica fluvial da Bacia do Rio Negro

Os dados de níveis d'água das estações da ANA localizadas nos afluentes no Alto Rio Negro indicam que as cheias ocorrem de maio até agosto (Figura 7). As estações Pari Cachoeira (PCH) e Cunuri (CUN) apresentam suas médias de forma semelhantes, devido à proximidade espacial destas estações.

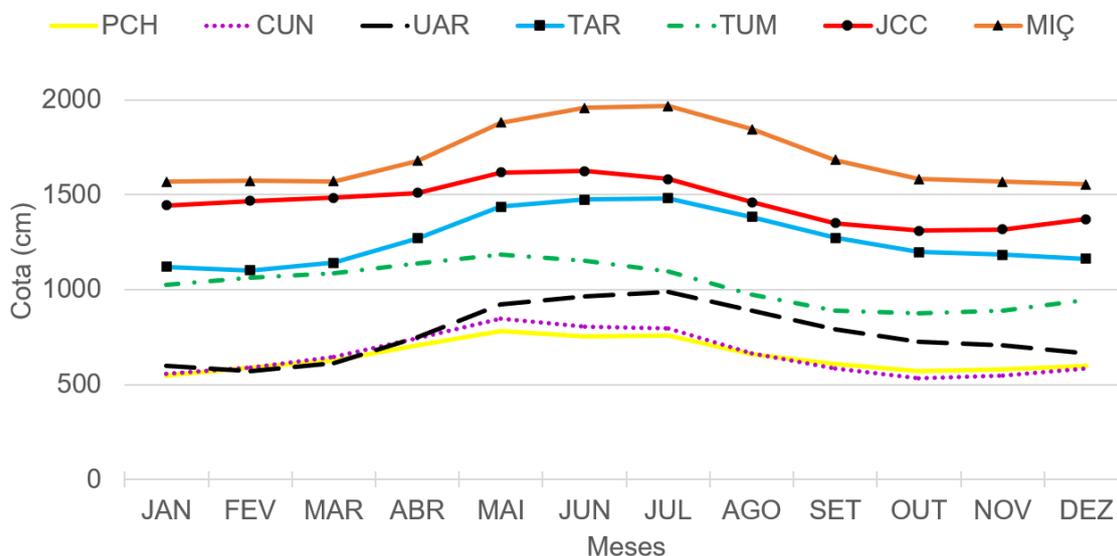


Figura 7. Cota média mensal das estações fluviométricas de afluentes do Alto Rio Negro. Legenda: PCH - Pari Cachoeira/ CUN – Cunuri/ UAR - Uaraçu, TAR - Taraçu, TUM - Tumbira, JCC – Jusante da Cachoeira do Caju/ MIÇ – Missão Içana.

A estação Missão Içana (MIÇ) destaca-se na cheia por estar localizada numa região com alto nível de precipitação, com a taxa de regularidade de 1,14 – 1,16, que é obtida pela razão entre valores máximos e mínimos da precipitação, conforme mostra a Figura 8, do estudo feito por Marinho (2016).

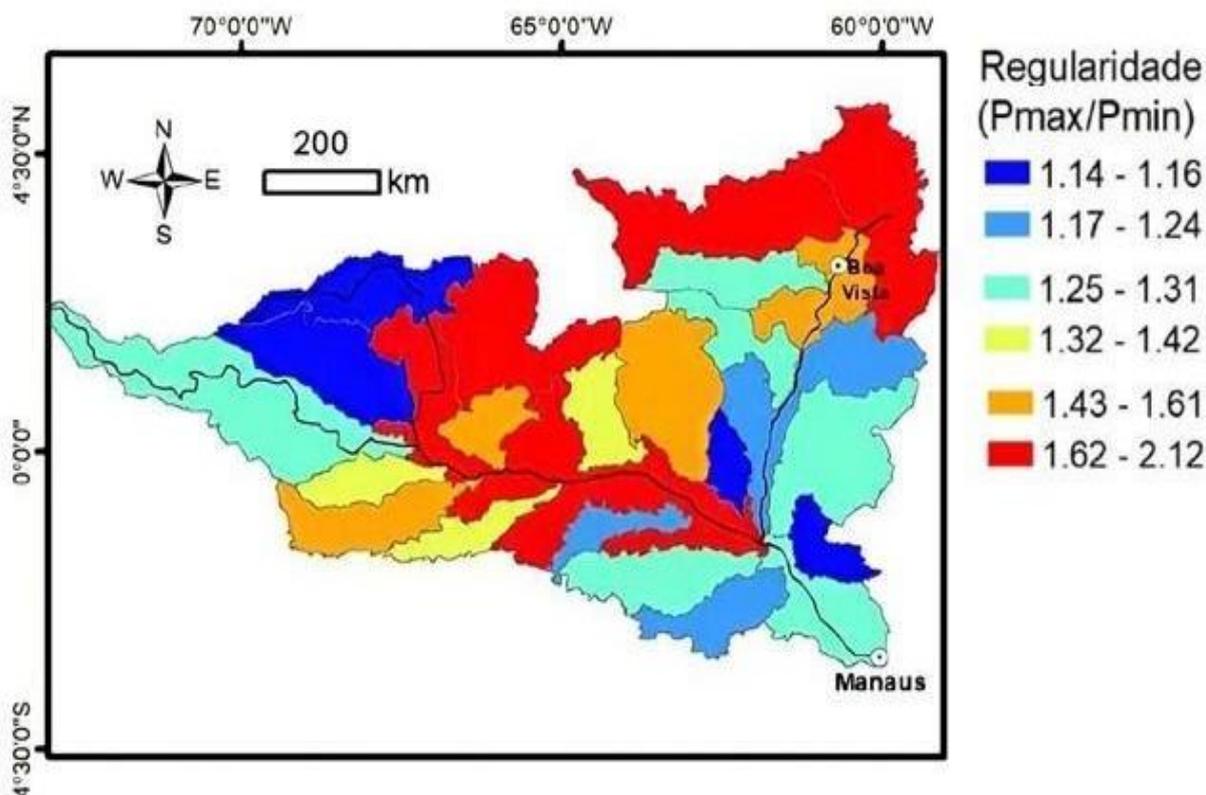


Figura 8. Espacialização dos índices de regularidade da precipitação nas sub-bacias. Fonte: Marinho 2016.

As estações no Rio Negro (Figura 9) também indicam que a cheia ocorre nos meses de maio até agosto. Destacam-se as estações de Cucuí (CUC) e Manaus (MAO), CUC por estar numa região com alto índice de precipitação e MAO que além de ser a última estação do Rio Negro, sofre influência do barramento hidráulico do Rio Solimões (Meade et al., 1991, Filizola et al., 2011). Em meados de agosto inicia-se o período de vazante até outubro, e a seca no último trimestre.

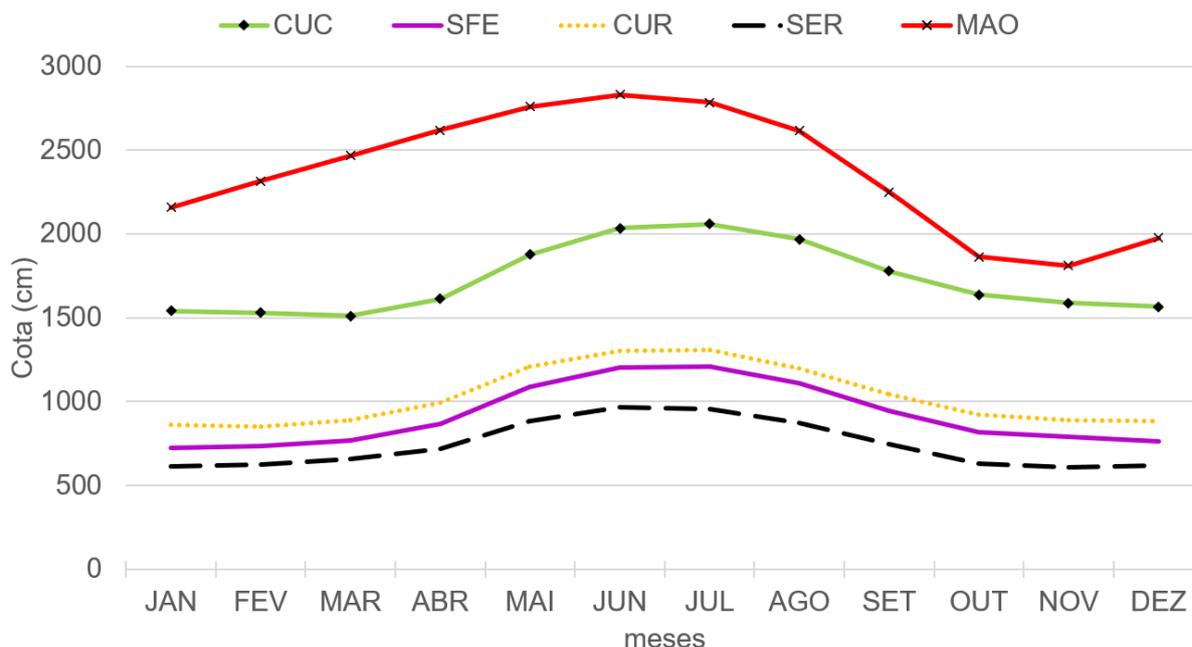


Figura 9. Cota média mensal das estações fluviométricas do Rio Negro. Legenda: CUC – Cucuí/ SFE – São Felipe/ CUR – Curicuari/ SER- Serrinha/ MAO – Manaus.

As estações do alta da Sub-Bacia do Rio Branco (Figura 10) apresentam variações diferente do Negro, com a subida das águas iniciando no mês de abril, com pico da cheia no mês de julho, e a vazante ocorrendo no mês de setembro. Destaca-se estação de Bonfim (BOM), que apresenta a média de janeiro até início de abril semelhante das estações Missão Auaris Jusante (MAJ) e Vila Surumu (VSU) e a partir de abril até setembro marca uma elevação na média, indicando médias de cheias extremas.

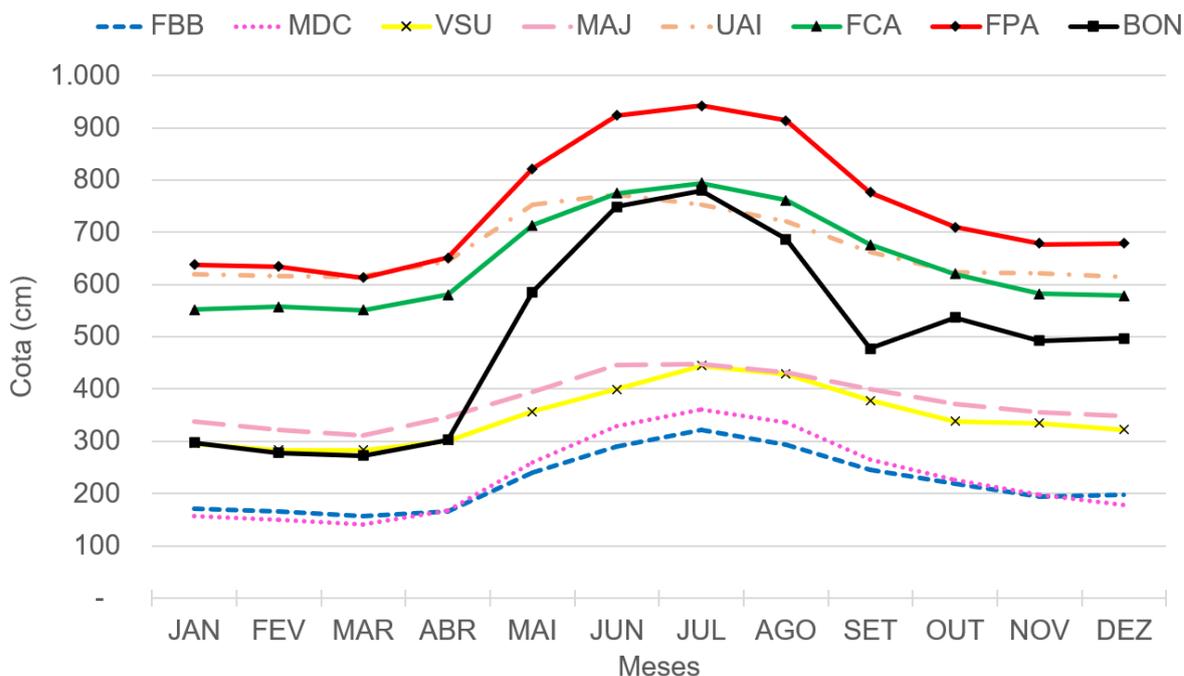


Figura 10. Cota média das estações de afluentes no Alta da sub-bacia do Rio Branco. Legenda: FBB – Faz. Bandeira Branca/ MDC – Maloca do Contão/ VSU – Vila Surumu/ MAJ – Missão Auaris Jusante / UAI – Uaicás/ FCA – Faz. Cajupiranga/ FPA – Fazenda Passarão/ BON – Bonfim.

As estações do Médio Rio Branco e seus afluentes (Figura 11) apresentam o regime hidrológico mais definido, com a seca a partir do mês de outubro até meados de março.

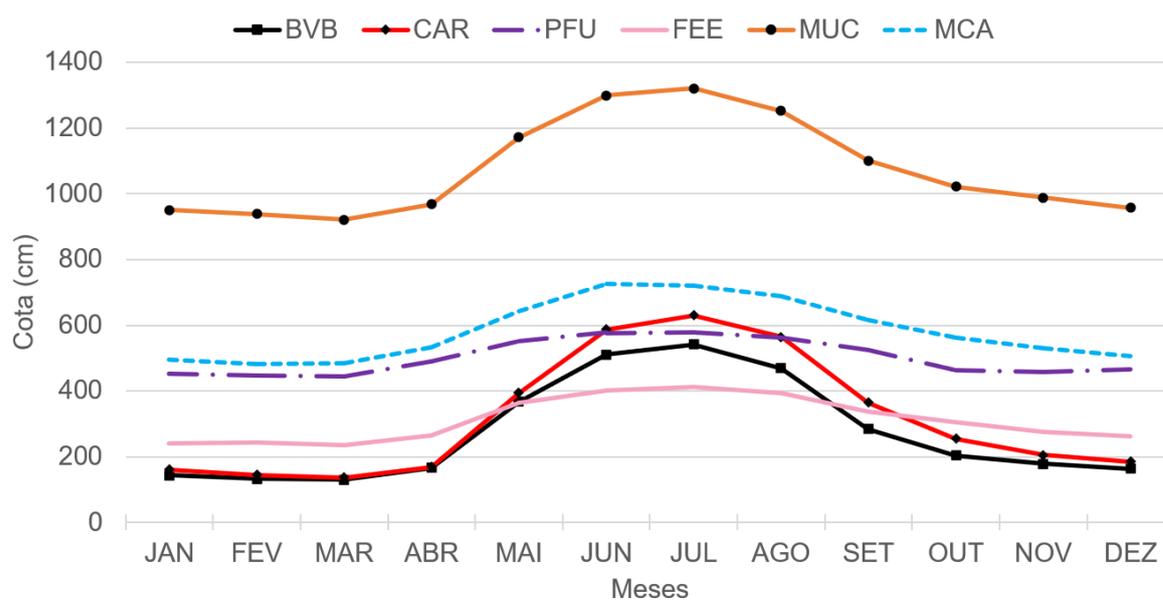


Figura 11. Cota Média mensal das estações do Médio Branco e seus afluentes. Legenda: BVB – Boa Vista/ CAR – Caracará/ PFU – Posto Funai/ FEE – Fé e Esperança/ MUC – Mucajá/ MCA – Missão Catrimani.

5.2. Balanço de Fluxo da Bacia Do Rio Negro

5.1.1 Descarga Líquida

Quanto à distribuição das médias anuais das vazões para melhor análise da Bacia do Rio Negro, foi considerado dois grupos: i) Rio Negro, que compreende o trecho do alto Negro até serrinha; ii) Rio Branco que compreende trecho do Alto Branco até Caracarái.

As demais estações (Figura 12, destaque em amarelo), não serão consideradas nesta análise, devido as suas espacialidades e a quantidade de dados disponíveis nessas estações, o trecho não seria representativo.

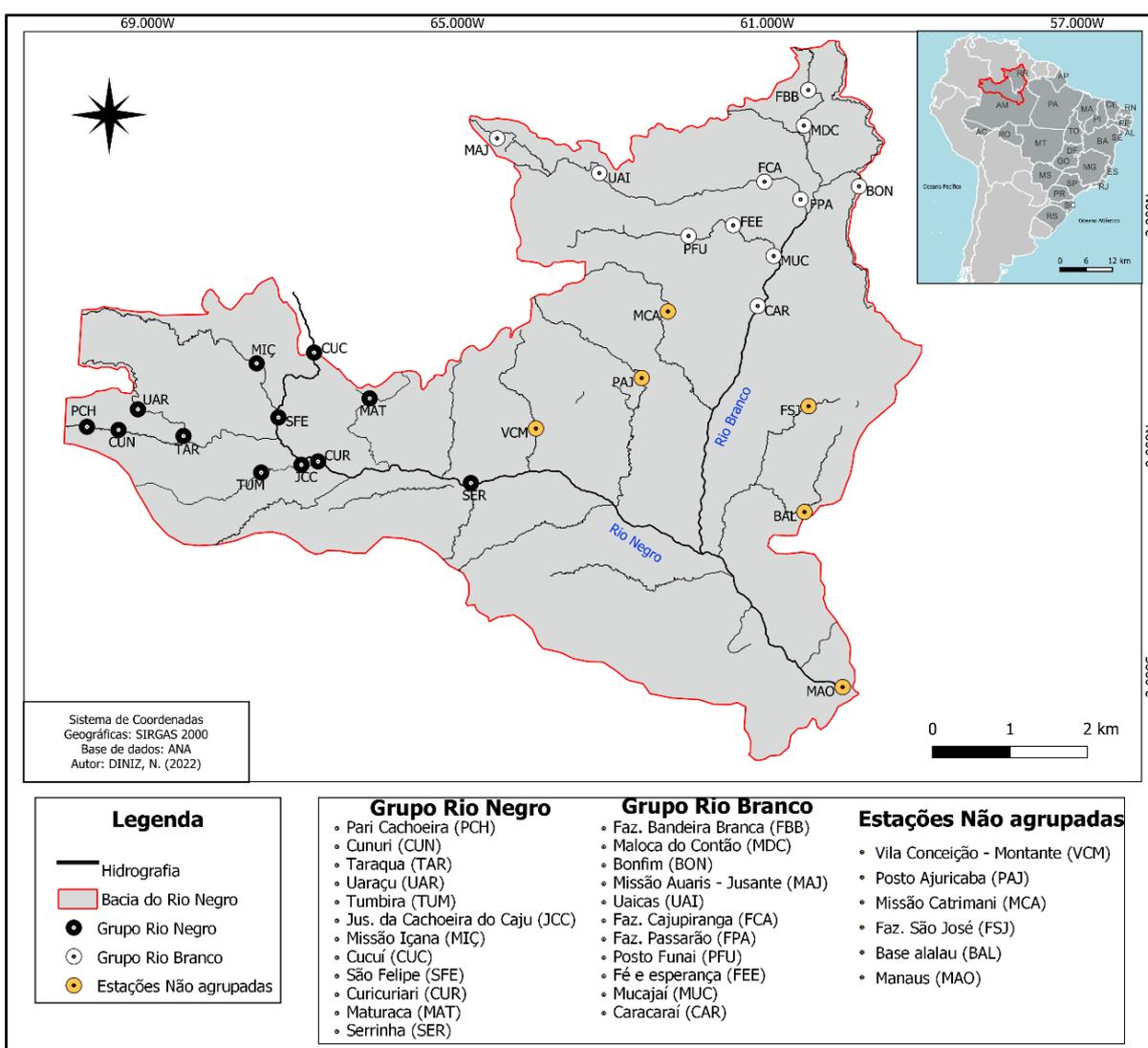


Figura 12. Relação das estações divididas em grupo.

Em algumas estações os dados de Q apresentaram valores anômalos, que neste estudo foi considerado erro, como por exemplo, a estação de Fé e Esperança (FEE), cujo dados de janeiro a julho de 2017 apresentaram valores como zero (0 m³/s). Com

isso, após verificar todas as séries históricas, optou-se pela exclusão dos dados das estações que apresentaram valores considerados errôneos.

Para o grupo Rio Negro (Tabela 8), observa-se que os menores valores são de estações que estão localizada mais nas bordas da bacia, nas chamadas “cabeceiras”. Já os maiores valores tanto de máxima, média e mínima, é da estação que estar a jusante das demais, que neste grupo é Serrinha, no Rio Negro, que recebe todo o volume d’água de seus afluentes.

Tabela 8. Valores anuais de Vazão (m^3/s), grupo Rio Negro

Estação	Máxima	Média	Mínima
Pari Cachoeira	354	128	25
Cunuri	720	329	64
Taraqua	6.961	2.863	292
Uaraçu	6.298	2.503	217
Tumbira	1.465	809	280
Jus. da Cachoeira do Caju	1.888	933	239
Missão Içana	4.271	1867	333
Cucuí	12.014	5.042	624
São Felipe	19.582	8.764	1.1314
Curicuari	27.236	12.992	2.255
Maturacá	157	66	13
Serrinha	35.998	18.231	4.448

Na Figura 13, observa-se a hierarquização na distribuição espacial das médias de Q do Grupo Rio Negro. No entanto, o valor encontrado na soma das médias de todas as estações que antecedente Serrinha é na ordem de 36.296 m^3/s , praticamente o dobro da média encontrada nesta estação, que é de 18.231 m^3/s . Essa diferença observada em Serrinha, pode ter relação com a geomorfológicas do Rio Negro, onde Marinho (2019) ressalta a forte redução da velocidade d’água, principalmente antes de Anavilhanas, devido a redução da largura e aumento da profundidade de montante para jusante.

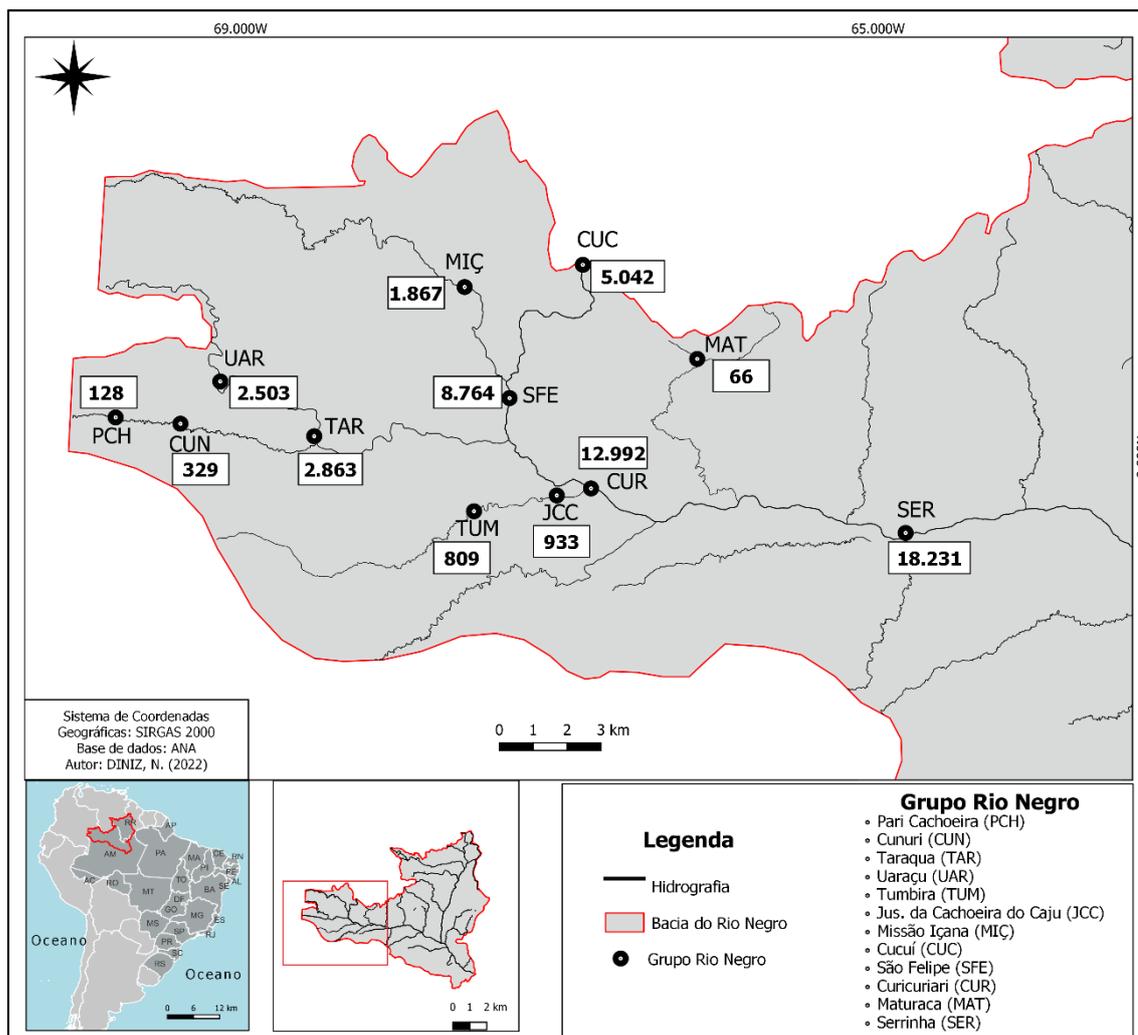


Figura 13. Distribuição do Grupo Rio Negro com as Médias de Q (m³/s).

Para o grupo Rio Branco (Tabela 9), os menores valores observados, são da Estação Missão Auaris – Jusante, no Rio Auari, localizada na porção NW da bacia. Já os maiores valores são da Estação de Caracaraí, no Rio Branco, considerada aqui neste grupo, como a “Estação de Saída”.

Tabela 9. Valores anuais de Vazão (m³/s), grupo Rio Branco

Estação	Máxima	Média	Mínima
Faz. Bandeira Branca	751	122	7
Maloca do Contão	807	155	9
Bonfim	1.450	199	1
Missão Auaris – Jusante	68	32	7
Uaicás	1.518	592	123
Faz. Cajupiranga	3.344	1.181	102
Faz. Passarão	5.124	1.467	66

Posto Funai	762	273	29
Fé e Esperança	1.043	326	21
Mucajaí	1.665	530	31
Caracaráí	12.763	3.109	216

Na Figura 14 observa-se a hierarquização na distribuição espacial das médias de Q do Grupo Rio Branco, as estações que estão mais nas bordas são as que apresentam menores valores de Q e a medida que os volumes dos afluentes chegam no Rio principal (Rio Branco) a vazão aumenta.

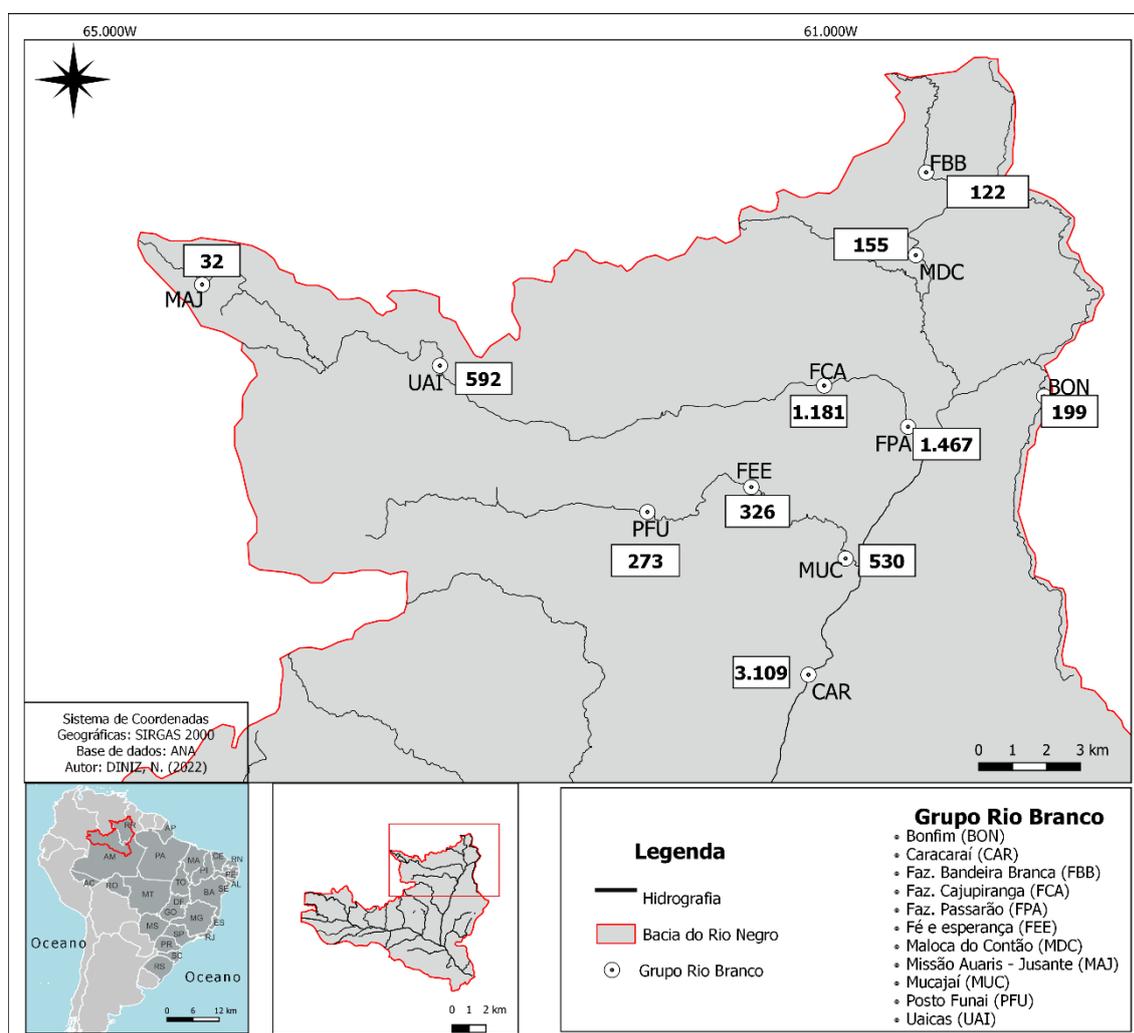


Figura 14. Distribuição do Grupo Rio Branco com as Médias de Q (m^3/s).

5.2.2. Material Em Suspensão

As séries históricas de Material Em Suspensão (MES) das estações da ANA apresentam baixas quantidades e frequências de dados, se comparado ao

Observatório Hybam (Tabela 10). Isso ocorre devido as diferentes metodologias utilizadas nas coletas e processamentos destas amostras.

O Hybam, através de um observador local, realiza coleta na superfície, no ponto pré-estabelecido, a cada 10 dias (preferencialmente 01, 10 e 20) de cada mês, com volume de 500 ml. Já a ANA, através de contrato com CPRM, que é responsável pelas estações nos Rio Negro e Branco e seus afluentes, realiza coletas trimestralmente, utilizando o método de integração da seção, com amostrador de saca modelo AMS-8, de 5 litros (FILIZOLA, 1999).

Tabela 10. Quantidade de Dados disponíveis mensalmente do Observatório Hybam, no período de 1988 a 2018.

Mês	Caracaráí	Serrinha
Janeiro	47	22
Fevereiro	53	22
Março	49	18
Abril	55	17
Maiο	58	16
Junho	52	20
Julho	51	21
Agosto	46	18
Setembro	48	14
Outubro	52	22
Novembro	47	23
Dezembro	45	22
Total	603	235

Com isso, após verificação da distribuição mensal destes dados, foram selecionadas e tratadas 09 estações da ANA. Assim como os dados de Q, os dados de MES também apresentaram valores anômalos que provavelmente são decorrentes de erros, pois apresentavam valores até 10 vezes maiores que o padrão da série, sendo assim, optou-se pela exclusão do dado, que por fim, chegou-se à quantidade de dados como mostra na Tabela 11.

Tabela 11. Quantidade de Dados disponível mensalmente da ANA, no período de 1988 a 2018.

Mês	Maloca do Contão	Bonfim	Faz. Cajupiranga	Fé e Esperança	Caracaráí	Pari Cachoeira	Taraqua	Cucuí	Serrinha
Jan	5	1	1	2	1	1	1	2	1
Fev	6	0	8	7	11	6	6	8	3
Mar	2	3	4	5	3	3	1	6	8
Abr	2	4	5	4	3	4	3	4	4
Mai	9	3	7	9	8	9	10	6	5
Jun	5	7	3	3	9	6	3	8	12
Jul	11	6	6	12	4	11	12	10	5
Ago	8	3	3	8	9	11	10	9	6
Set	5	6	6	5	10	2	4	4	11
Out	6	4	4	9	8	7	7	6	3
Nov	11	7	7	7	2	6	6	14	5
Dez	2	5	5	3	5	6	6	2	13
Total	72	49	49	74	73	72	69	79	76

A concentração média anual de Material Em Suspensão (mg/l) nas 04 estações, do Alto Negro (Tabela 12) varia de 5,6 a 7,9, essa crescente segue a lógica das estações de montante a jusante, por exemplo, Pari Cachoeira, que está na cabeceira do Rio Tiquié é a estação que apresentou menor carga sedimentar, ou seja, possivelmente não há entradas de sedimentos tão significativa nesta região. Já a estação de Serrinha é uma estação mais a jusante das demais, apresenta uma taxa maior, pois ela recebe toda a produção sedimentar neste trecho.

Tabela 12. Concentração média anual de MES e Q do Alto Rio Negro.

Estação	Concentração média anual de MÊS (mg/l)	Média anual de Q (m ³ /s)
Serrinha	7,9	18347,3
Taraqua	7,4	2884,5
Cucuí	6,1	5077,1
Pari Cachoeira	5,6	128,0

Ao relacionar $MES = f(Q)$ (Figura 15) para os dados médios mensais dessas estações do Alto Rio Negro, observa-se polos de sazonalidade, na estação de Pari Cachoeira, por exemplo, há um padrão médio de sedimento de 2 a 8 mg/l, com dois

polos, o primeiro é com a vazão em alta (de abril a julho) e o segundo e com a vazão baixa que vai de agosto a março, porém, com um pico em outubro que extrapola esse padrão. Já a estação de Cucuí (CUC) mesmo com aumento da vazão, o sedimento ficou entre 4 mg/l a 8 mg/l, porém, com pico em abril, chegando em 12 mg/l.

Portanto, conforme observado nos dados de [MES], mesmo com a variação da descarga líquida nas estações do Alto Rio Negro, não houve um padrão na dinâmica, uma vez que houve picos tanto na vazão baixa, quanto na vazão alta.

Esta região apresenta característica com dois polos de [MES]: um como extremo entre dezembro e fevereiro e o outro entre maio, junho e julho, conforme observado nos gráficos a seguir:

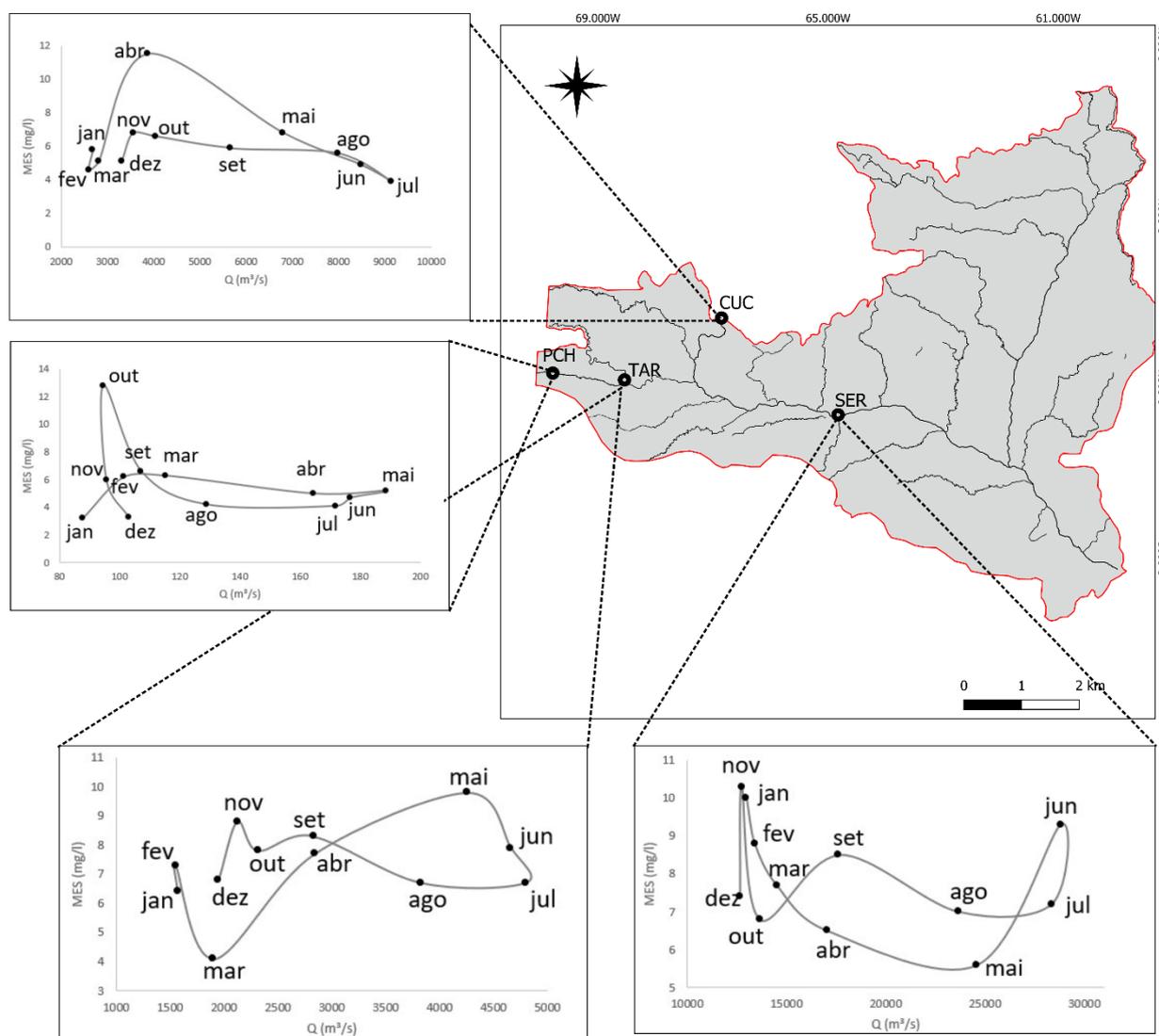


Figura 15. Média de MES versus média Vazão das estações do Alto Rio Negro (PCH) Pari Cachoeira; (TAR) Taraqua; (CUC) Cucuí; (SER) Serrinha.

A Sub-Bacia do Rio Branco apresenta características diferente das estações do Alto Negro, por exemplo, as estações que estão mais a montante apresentam concentração de [MES] superior (Maloca do Contão – 58,4 mg/l) das que estão à jusante (Caracaraí – 24,6), isso pode ser indicativo de deposição ou diluição de material, uma vez que a média anual da vazão apresentou um padrão de ordem crescente (de montante a jusante).

Tabela 13. Concentração média anual de [MES] e Q das estações da Sub-Bacia do Rio Branco

Estação	Concentração média anual de MÊS (mg/l)	Média anual de Q (m³/s)
Maloca do Contão	58,4	153,7
Fé e Esperança	39,3	303,1
Bonfim	30,2	198,7
Faz. Cajupiranga	28,9	1185,5
Caracaraí	24,6	3105,3

A relação de $MES = f(Q)$ para dos dados médios mensais, indicam polos de sazonalidades na estação de Maloca do Contão e Caracaraí, onde mais baixas vazão (Q), a concentração de materiais em suspensão [MES] também é reduzida, principalmente no primeiro trimestre e no último trimestre do ano.

Esta região também apresenta característica com dois polos de [MES]: junho, julho e agosto e o outro de janeiro, fevereiro e março em sua maioria.

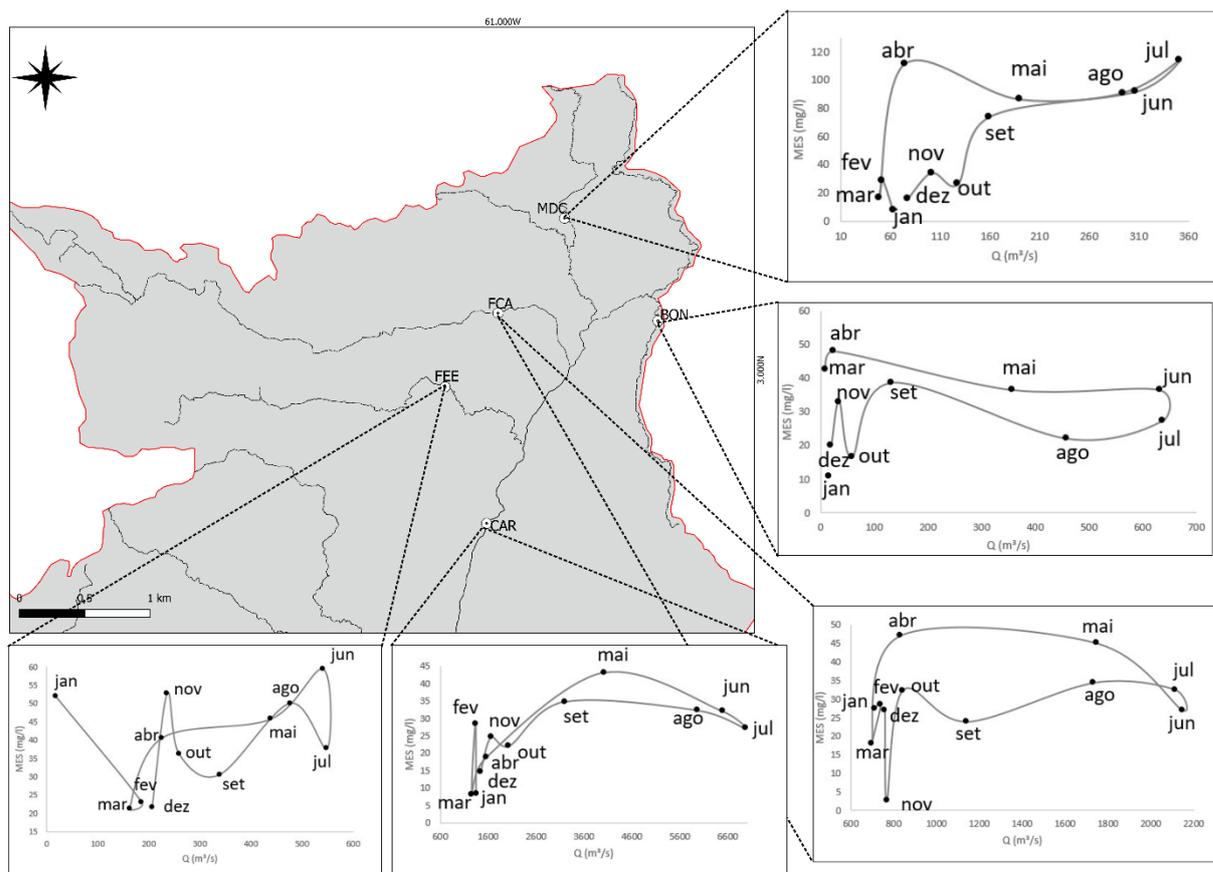


Figura 16. Média de MES versus Média de Vazão (Q) da Sub-Bacia do Rio Branco. (MDC) Maloca do Contão; (BON) Bonfim; (CAR) Caracaraí; (FCA) Fazenda Cajupiranga; (FEE) Fé e Esperança.

Já a estação de Bonfim (BON) apesar de da baixa vazão, o [MES] ficou entre 40 a 50 mg/l nos meses de março e abril. Com a vazão alta esses sedimentos ficaram dentro do padrão de 20 a 40 mg/l, esse comportamento pode estar relacionado a quantidade reduzida de dados disponível por mês, não sendo possível fazer uma análise eficiente do real comportamento das estações.

Como é o caso também da estação de Fé e Esperança, que apresentou um comportamento diferente, com janeiro e novembro marcados por picos, já em fevereiro, março e dezembro concentrados em polos.

5.2.3. Fluxo de Sólidos Em Suspensão

Os dados de fluxos de sólidos em suspensão das estações no Alto do Rio Negro (Figura 17), no trecho de Pari Cachoeira, Taraqua, Cucuí e Serrinha, mostrou um aumento gradativo de 21.942 ton/ano, 682.334 ton/ano, 934.381 ton/ano e 4.505.139 ton/ano respectivamente.

Já nas estações da Sub-Bacia do Branco (Figura 17), ocorreu a mesma dinâmica com Maloca do Contão (374.652 ton/ano), Bonfim (209.438 ton/ano), Fazenda

Cajupiranga (1.142.532 ton/ano), Fé e Esperança (397.895 ton/ano) e Caracaraí (2.816.913 ton/ano).

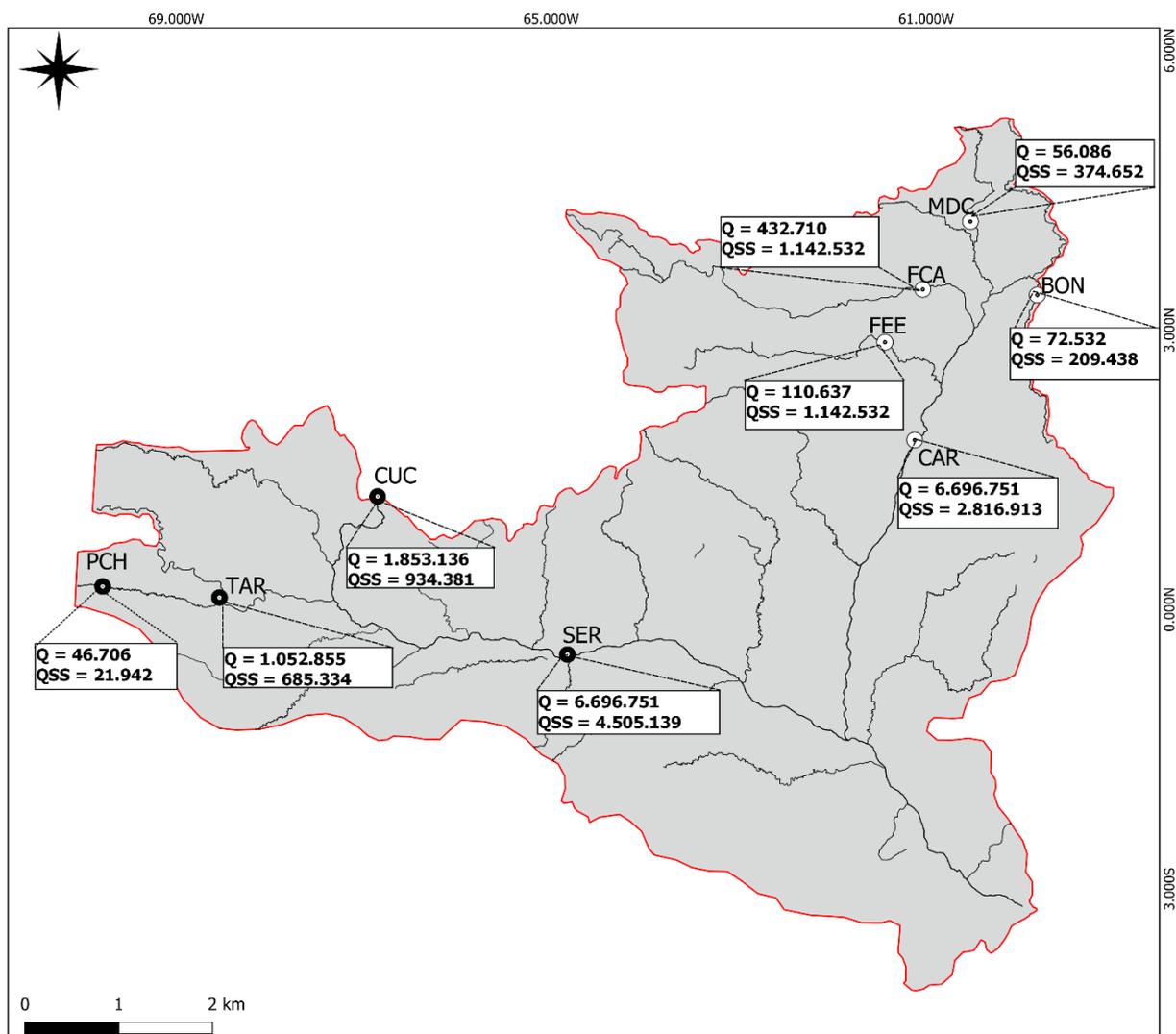


Figura 17. Balanço de Q e QSS em ton/ano.

Do ponto de vista do monitoramento sedimentométrico a distribuição das estações e a frequência de coleta de amostras da ANA não são suficientes para conhecer a contribuição no Alto Rio Negro, pois há no mínimo 06 cursos d'água como Rio Içana, que tem uma vazão média de 1.868 m³/s (Estação Missão Içana), Rio Uaupés com vazão de 2.028 m³/s (Estação Uaraçu) e ainda estações no próprio Rio Negro como estação São Felipe e Curicuriari com vazão de 8.765 m³/s e 12.992 m³/s respectivamente, que não há monitoramento de Material Em Suspensão. Além de Rios como Tiquié, Marié, Tea, Cuiuni, Urubaxi e Marauíá que não há disponibilidade de dados.

E ainda, se considerar os problemas que envolve hoje a questão do Garimpo de ouro em território Yanomami, no Alto Rio Negro, é recomendável sobretudo o monitoramento nos Rios Cauaboris e Maraujá, que possivelmente são os principais contribuintes para o aumento de sedimentos em Serrinha. Portanto, o balanço no Alto Rio Negro, de certa forma, fica prejudicado sem conhecer a contribuição destes rios.

E vale ressaltar que a Bacia do Rio Negro possui inúmeras unidades litoestratigráficas, destaca-se aqui na porção do Alto Negro, cujo as estações nessa região estão principalmente localizadas sobre Depósitos aluvionares (Areia, Argila, Cascalho e silte) que correspondem à terrenos geologicamente mais jovens do estado do Amazonas (RIKER et al., 2008).

São caracterizados por serem mutáveis e retrabalhados devido à erosão fluvial, que envolve o processo de deposição durante o período de seca ou em locais de remansos quando cai energia da corrente do rio, vão ser conseqüentemente erodidos pela força da água no período de cheia ou pela mudança do curso do rio. Na região da cabeceira devido a energia fluvial, encontra-se depósitos de grandes blocos bem arredondados (WINGE, s/d).

Já o monitoramento na Sub-Bacia do Rio Branco com base na estação da ANA corresponde 76% dos sedimentos que vem à montante da sub-bacia. A condições do arranjo em Caracarái, por exemplo, se comparada com Serrinha, está bem mais estruturada.

No entanto, apesar do resultado da equação de Cálculo do Balanço de Fluxo ter dado positivo, 52.241 ton/ano (Tabela 14) que sugere uma zona de sedimentação, não é possível afirmar categoricamente que realmente é, uma vez que o valor não foi tão expressivo para tal.

Tabela 14. Valores de cálculos de balanço Fluxo em Suspensão da Sub Bacia do Rio Branco.

	Q (m³/s)	QSS (ton/ano)
Maloca do Contão (MDC)	56.086	374.652
Fazenda Cajupiranga (FCA)	432.710	1.142.532
Bonfim (BON)	72.532	209.438
Fé e esperança (FEE)	110.637	1.142.532
MDC+FCA+BON+FEE	671.965	2.869.154
Caracarái (CAR)	6.696.751	2.816.913
Diferença Observada	-6.024.786	52.241

Além disso, após avaliar as estações a montante de Caracarái que não dispõem de dados de [MES], somente os dados de vazão, que apresentaram valores na ordem

de 122 m³/s, 70 m³/s, 32 m³/s e 273 m³/s, das estações Fazenda Bandeira Branca (Rio Contigo), Vila Surumu (Rio Surumu), Missão Auari – Jusante (Rio Auari), e Posto Funai (Mucajái), respectivamente. Isso indicaria que possivelmente não há transporte de material em grande escala, devido a vazão não ser tão expressiva. Com isso, é possível que não seja uma zona de sedimentação e sim, poderia apresentar uma zona de deposição, porém, para essa afirmação seria necessário a ampliação de monitoramento nesse trecho.

5.3. Parâmetros físico-químicos

Para melhor análise das séries históricas dos parâmetros físico-químico (pH e condutividade elétrica) das estações da ANA, realizou-se a divisão em grupos: Grupo (A) que compreende as estações do Rio Negro e seus afluentes; e Grupo (B) que compreende as estações do Rio Branco e seus afluentes.

As estações Base Alalau, no Rio Alalaú e Fazenda São José, no Rio Jauaperi, foram incluídas no Grupo B, devido as suas localidades, como observado na Figura 18 a seguir:

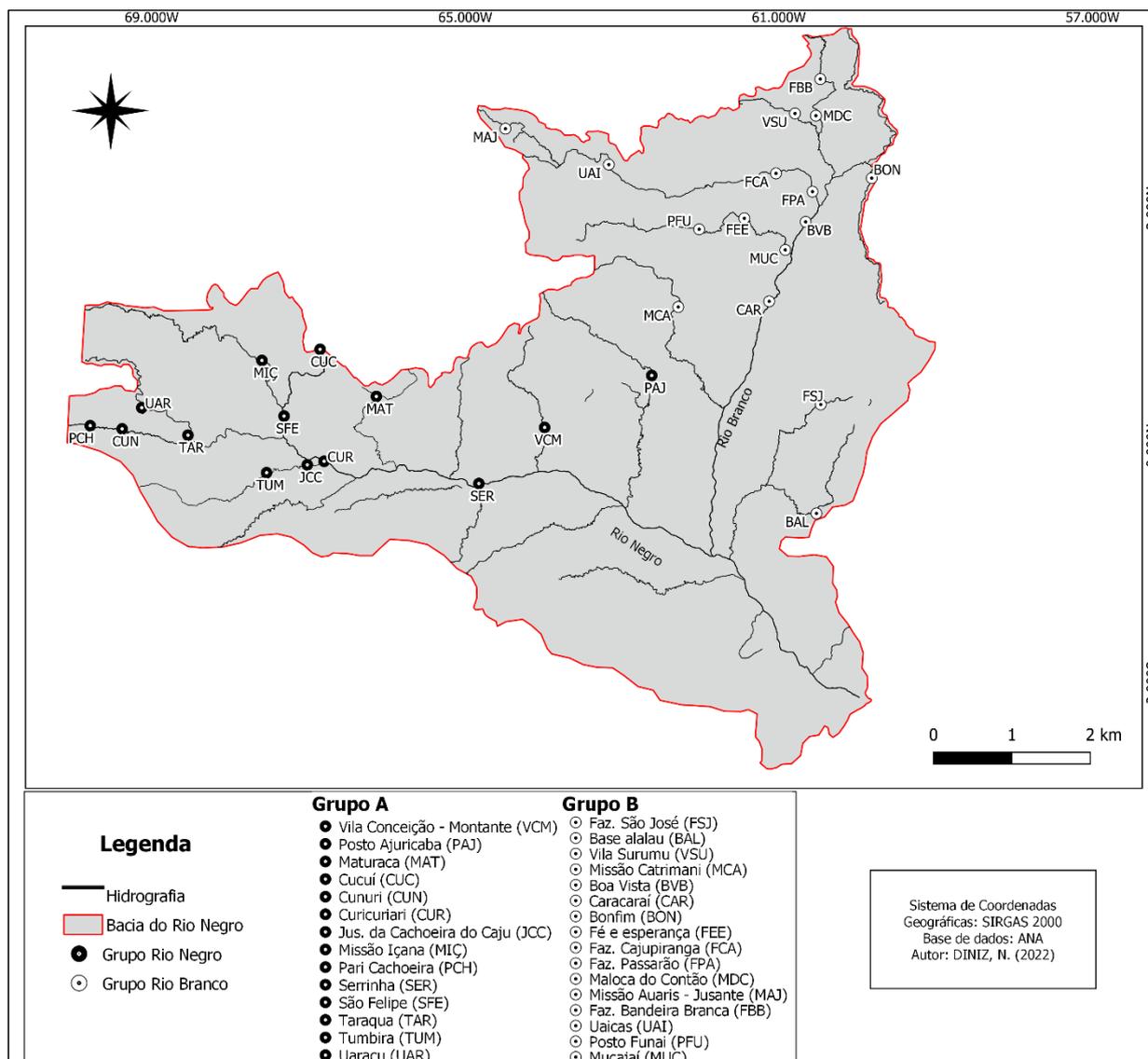


Figura 18. Relação das estações divididas em grupo A e B.

- pH (potencial hidrogeniônico)

Após avaliar a disponibilidade de cada estação da ANA, e excluir valores anômalos, chegou-se à quantidade totais disponíveis por estação (Tabela 14 e 15). Devido a variação sazonal de pH não ser tão expressiva, optou-se por considerar as estações que possuíam apenas uma (01) quantidade de dado mensal.

Tabela 15. Quantidade de dados disponíveis por estação de pH Grupo A.

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Cucuí	0	2	2	4	2	2	7	3	1	4	7	1	35
Cunuri	0	1	1	2	3	0	8	1	0	4	2	1	23
Curicuriari	0	2	3	3	3	4	3	4	4	4	6	2	38

Jusante													
Cachoeira do Caju	0	2	5	2	3	3	3	3	3	4	5	1	34
Missão Içana	0	1	1	3	1	2	6	0	1	4	4	1	24
Pari Cachoeira	0	1	0	4	4	0	8	4	1	3	2	0	27
São Felipe	1	1	1	3	2	1	6	0	1	3	5	1	25
Taraqua	1	1	1	4	4	0	9	3	1	5	4	1	34
Tumbira	0	1	3	2	3	3	3	3	2	3	3	0	26
Uaraçu	1	0	0	1	3	1	3	3	1	3	4	1	21
Posto Ajuricaba	0	0	1	2	1	1	5	2	1	2	0	0	15
Serrinha	0	2	5	2	5	6	2	5	6	4	3	3	43
Vila Conceição Montante	0	1	1	1	2	5	2	5	4	1	4	0	26
Maturacá	1	0	0	1	1	1	4	1	0	4	3	0	16

Tabela 16. Quantidade de dados disponíveis por estação de pH Grupo B

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Bonfim	1	2	6	3	3	8	5	4	5	3	6	4	50
Faz. Bandeira Branca	1	2	1	1	4	0	1	3	2	1	3	2	21
Faz. Passarão	0	5	3	2	3	7	0	3	7	3	0	2	35
Faz. Cajupiranga	1	3	4	4	3	1	6	6	2	7	3	1	41
Maloca do Contão	2	2	2	3	4	1	6	6	2	3	6	2	39
Missão Auaris Jusante	0	1	3	1	2	2	3	3	3	0	2	0	20
Uaicás	0	1	2	1	2	2	2	3	3	0	2		18
Vila Sumuru	1	1	2	2	3	1	3	1	2	2	3	2	23
Boa Vista	0	2	1	2	0	3	1	1	3	1	1	1	16
Caracarái	2	3	2	2	6	4	2	5	5	7	1	4	43
Fé e Esperança	2	4	1	4	5	0	8	4	1	5	5	1	40
Mucajá	0	2	7	2	2	5	1	2	8	2	0	1	32
Posto Funai	1	0	3	0	1	1	1	3	3	0	2	1	16
Faz. São José	0	1	4	0	2	2	2	4	2	2	2	1	22
Base Alalau	0	1	4	0	2	2	2	3	3	3	2	2	24
Missão catrimani	1	0	1	1	1	2	3	2	1	2	0	2	16

As estações do Alto Negro (Figura 19) apresentaram valores de 4,1 (Jusante Cachoeira do Caju e Tumbira) a 5,1 (Pari Cachoeira) e 5,2 (Cunuri) isso são considerada águas ácidas, que são extremamente pobres quimicamente (SIOLI, 1975). Isso ocorre devido a presença de material orgânico, proveniente da decomposição de vegetação.

A campanha Ore Hybam de 1996 registrou o pH da estação de São Felipe (3,6) Missão Içana (3,7), Cunuri (3,9), e Curicuriari (4,4) nos meses de junho e julho, no período de águas altas. Já os dados médios da ANA, no mesmo período,

respectivamente foi: 4,5, 4,6, 5,2, 4,4. São Felipe e Missão Içana apresentou uma diferença de 0,9, a diferença foi maior em Cunuri 1,3.

As estações Maturacá e Serrinha, ambas apresentaram valor de 4,4. Nas campanhas Ore Hybam a estação Serrinha apresentou 4,4 (julho/1996), 4,3 (setembro/1998) e 3,98 (maio/2005). Já estação Hybam, na série história a média anual encontrada foi de 4,8. Esses valores pH considerados extremamente baixo, reafirma a pobreza do solo em sais solúveis, especialmente em cálcio (SANTOS, et al., 1984).

Já a estação Posto Ajuricaba, apresentou valor de 6,2, o mais elevado deste grupo, devido ao Rio Demini, apresentar água clara com pH circuneuro e pouco sólido dissolvido (Konhauser et al., 1994).

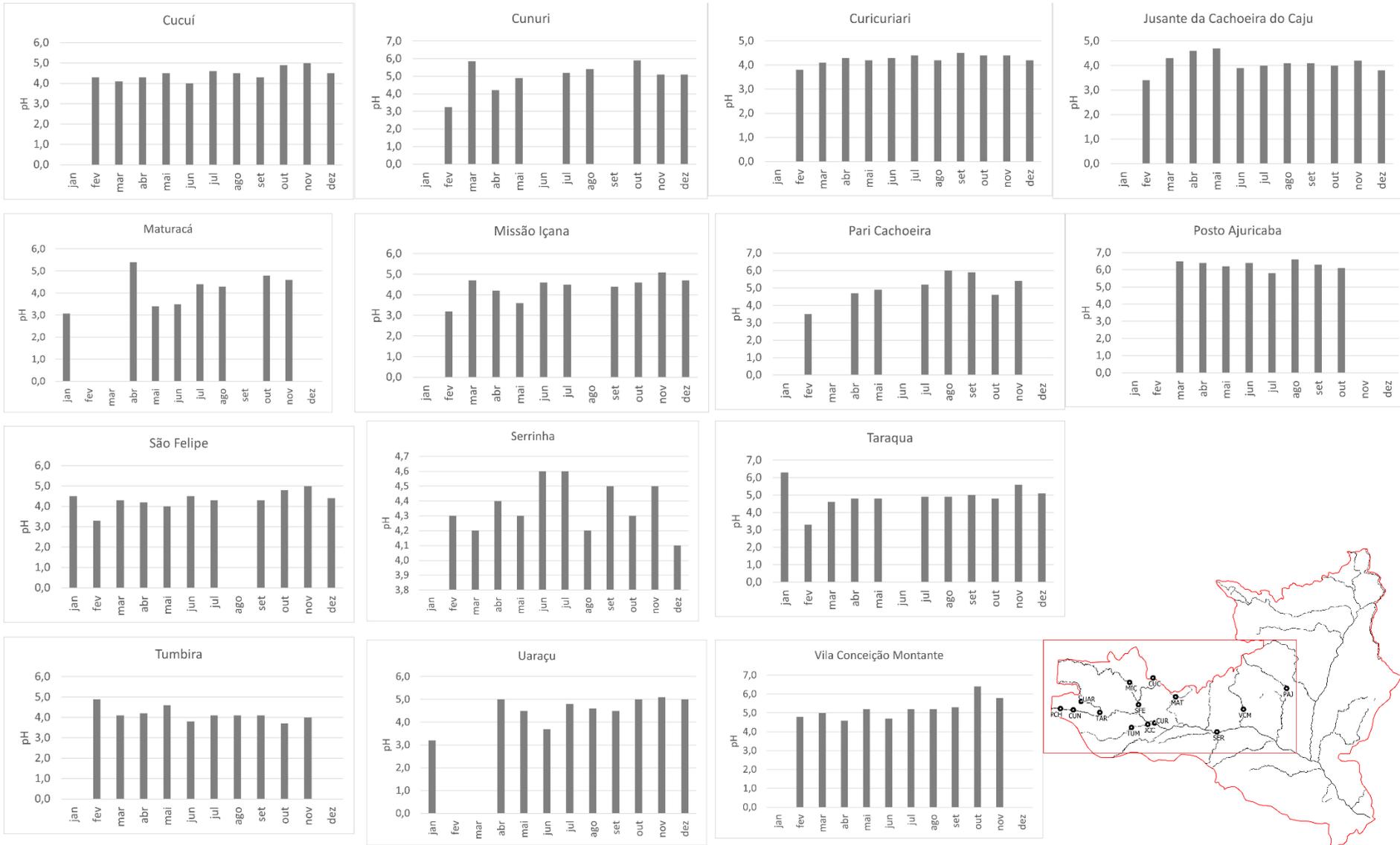


Figura 19. Gráficos sazonais de pH, Grupo A

O grupo B, que representa as estações da sub-bacias do Branco e seus afluentes apresentaram comportamento conforme já descrito na literatura, diferente dos de águas pretas que são mais ácidas, nos rios de águas brancas o pH é mais neutro. A médio anual das estações do Alto do Rio Branco (Figura 20) variou de 5,9 (Missão Auris Jusante) a 6,6 (Faz. Passarão e Faz. Cajupiranga.).

Relacionando as estações de Bonfim e Faz. Passarão com o ciclo hidrológico, observou-se que durante o período de águas altas, apresentaram valores menores de pH (6,0 – 6,2) e nas águas baixas os valores chegaram próximo de 7 (Bonfim) e Faz. Passarão 7,2.

No médio Branco ficou entre 6,4 (Caracarái) a 6,7 (Mucajaí e Posto Funai). Na campanha de 1995 do Ore Hybam, o pH registrado na Estação Posto Funai foi 6 (em março) no período de águas baixas, já o valor médio encontrado com os dados da ANA para o mesmo mês foi de 7,1. A estação de Caracarái, se comparado com os dados da série histórica ANA e de Ore Hybam, o valor médio anual foi praticamente o mesmo, 6,4 e 6,5, respectivamente.

Porém, no comparativo sazonal enquanto o pico da ANA foi de 8,7 (novembro) e sua mínima foi 5,5 (janeiro), os dados do Ore Hybam registrou seu máximo de 6,7 (janeiro, julho e outubro) e a mínima de 6,2 (fevereiro e junho). Essa diferença pode ter relação a quantidade de dados disponível, enquanto a ANA tem um total 43 dados, o Ore Hybam tem em média de 9 a 10 dados por mês, totalizando 116.

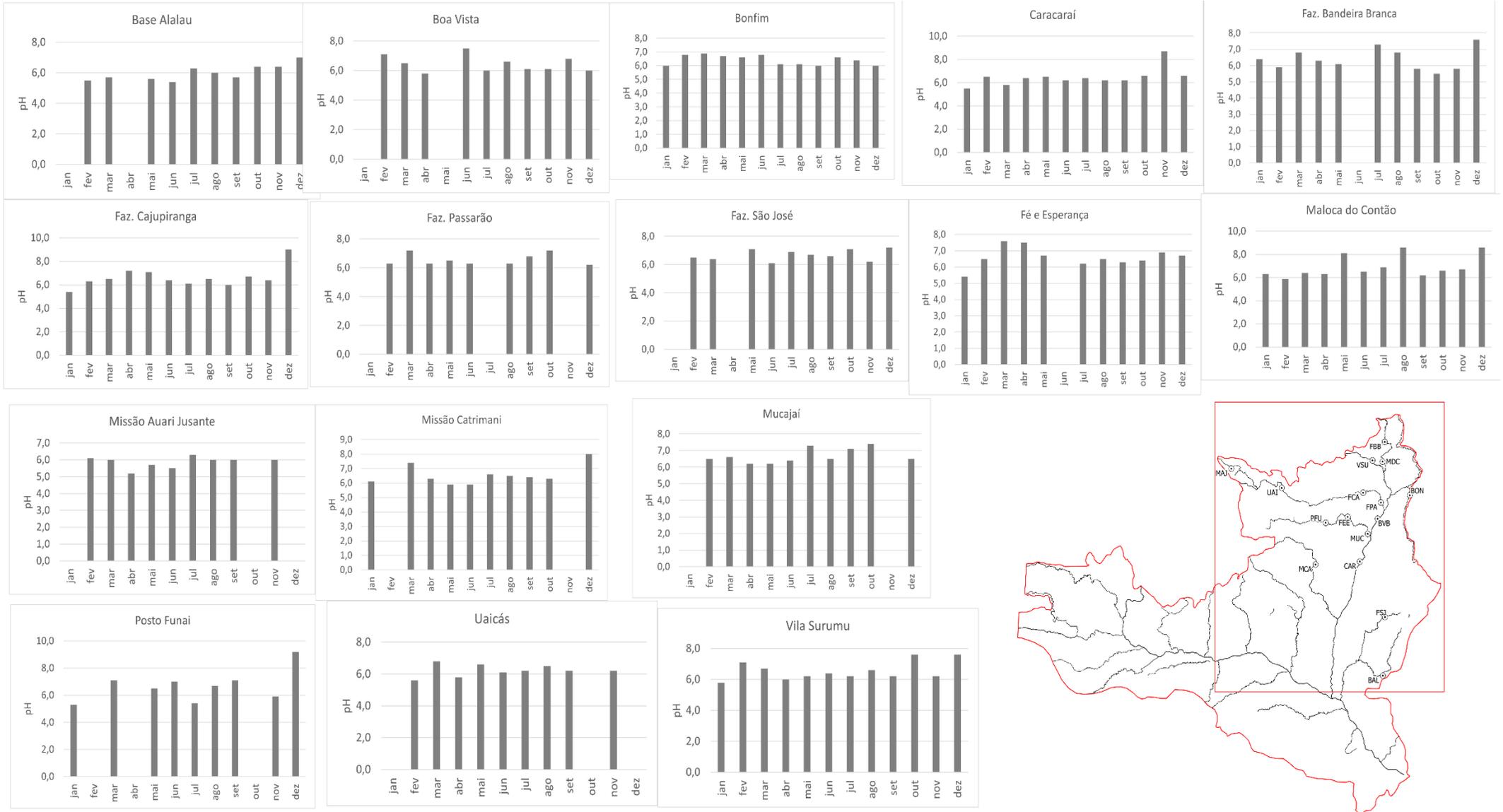


Figura 20. Gráficos sazonais de pH, Grupo B

- Condutividade Elétrica (CE)

Após avaliar a disponibilidade de condutividade das estações da ANA, houve exclusão de valores anômalos, chegou-se à quantidade totais disponíveis por estação (Tabela 16 e 17). Devido a variação sazonal da condutividade não ser tão expressiva, optou-se por considerar as estações que possuíam apenas uma (01) quantidade de dado mensal.

Tabela 17. Quantidade de dados disponíveis por estação de condutividade Grupo A

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Cucuí	1	1	2	4	2	0	6	3	1	4	6	1	31
Cunuri	0	1	1	2	2	0	7	1	0	4	2	1	21
Curicuriari	0	1	2	1	3	3	2	4	4	3	6	2	31
Jusante Cachoeira do Caju	0	1	4	0	3	2	2	3	3	3	4	1	26
Missão Içana	0	1	1	3	0	2	4	0	1	4	3	1	20
Pari Cachoeira	0	1	0	4	3	0	7	4	1	3	3	0	26
São Felipe	1	1	1	3	1	1	5	0	1	3	4	1	22
Taraqua	0	1	1	4	3	0	8	3	1	5	3	1	30
Tumbira	0	0	2	0	3	2	2	3	2	2	3	0	19
Uaraçu	1	0	0	1	3	0	3	1	1	3	4	1	18
Posto Ajuricaba	0	0	1	2	0	1	4	2	1	2	0	0	13
Serrinha	0	1	4	0	4	5	2	5	6	3	3	3	36
Vila Conceição Montante	0	0	1	0	2	4	1	5	4	1	3	0	21
Maturacá	1	0	0	1	1	0	3	1	0	4	3	0	14

Tabela 18. Quantidade de dados disponíveis por estação de condutividade Grupo B

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Bonfim	1	2	6	2	1	8	4	3	4	2	5	4	42
Faz. Bandeira Branca	1	1	1	1	1	0	1	2	1	1	2	2	14
Faz. Passarão	0	4	2	1	3	5	0	2	6	2	0	2	27
Faz. Cajupiranga	1	3	3	1	3	0	4	5	2	5	3	1	31
Maloca do Contão	2	1	2	2	2	1	5	5	1	3	5	2	31
Missão Auaris Jusante	0	1	2	1	1	1	2	2	3	0	2	0	15
Uaicás	0	1	1	1	1	2	2	2	3	0	2	0	15
Vila Sumuru	1	0	2	1	1	0	1	1	1	1	2	2	13
Boa Vista	0	0	1	1	0	2	1	1	2	0	1	1	10
Caracarái	1	2	2	1	6	2	2	3	4	6	0	4	33
Fé e Esperança	1	3	1	2	3	0	6	3	1	4	4	1	29
Mucajái	0	1	7	1	1	4	1	1	7	1	0	1	25
Posto Funai	1	0	2	0	1	1	1	1	3	0	2	1	13
Faz. São José	0	1	3	0	2	1	1	1	2	2	2	1	16
Base Alalau	0	1	3	0	2	1	1	1	2	3	1	2	17

Missão catrimani	1	0	0	1	1	1	2	1	1	2	0	2	12
-------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

A Condutividade Elétrica (CE) da água indica a capacidade de transmitir corrente elétrica devido à presença de íons. No Sistema Internacional de Unidades (S.I.) é adotada como Siemens por metro (S/m). No entanto, em medições realizadas em amostras de água a unidade utilizada é preferencialmente microSiemens ($\mu\text{S}/\text{cm}$). (PINTO, 2007).

As estações do Alto da Bacia Rio Negro apresentaram variações expressivas, os valores médios anuais encontrados na cabeceira (Pari Cachoeira, Cunuri; Taraqua e Uaraçu) não chegaram a $10 \mu\text{S}/\text{cm}$. Já as estações mais a jusante, como Jusante da Cachoeira do Caju e Curicuriari, que estão espacialmente próximas, apresentaram valores distintos, de $23,4$ e $12,3 \mu\text{S}/\text{cm}$., respectivamente. No entanto, ainda sim é considerado um valor baixo, devido a pobreza em sais minerais dissolvidos (SANTOS, et al., 1984).

A média anual de Serrinha foi de $13,9$, e nas campanhas de 1996 e 1998, foi de 12 e $14 \mu\text{S}/\text{cm}$, porém, na campanha de maio de 2005 esse valor foi de $20 \mu\text{S}/\text{cm}$, $2 \mu\text{S}/\text{cm}$ acima do maior valor médio mensal encontrado na série histórica que foi de $18 \mu\text{S}/\text{cm}$ (fevereiro), nos demais meses esse valor médio ficou entre $10,8 \mu\text{S}/\text{cm}$ a $16,1 \mu\text{S}/\text{cm}$. (Figura 21).

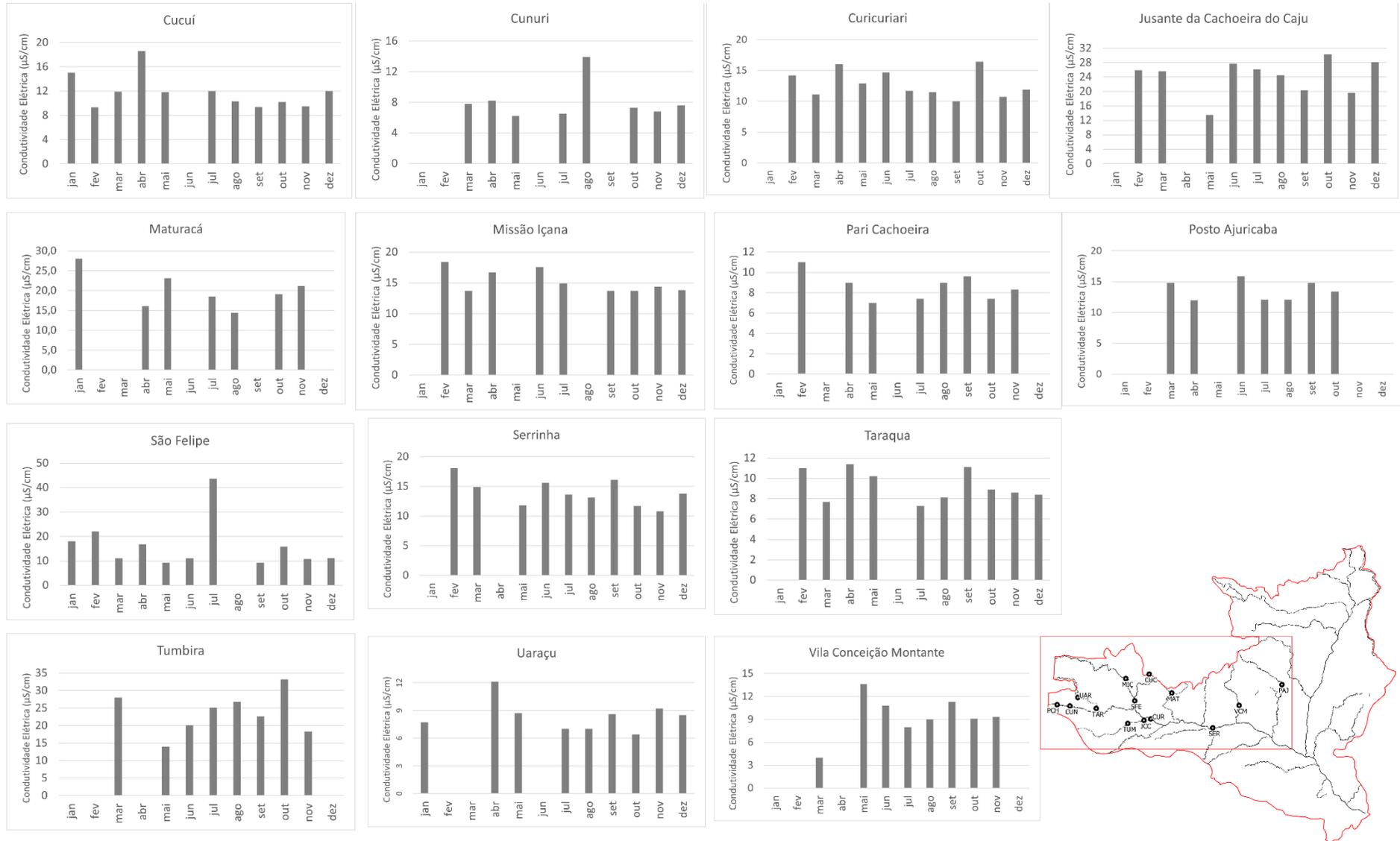


Figura 21. Gráficos sazonais de CE, Grupo A

Os valores de Condutividade elétrica apresentaram valores típicos da região conforme a literatura, com valores de comportamento mais acentuado como observado na figura 22.

Os valores de médios anuais encontrados no grupo B foram de 10,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 34,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$, essa oposição de valores está relacionada a espacialidade das estações. O maior valor foi da Estação de Bonfim, no Rio Tacutu, e ainda acima de 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ há duas estações no Rio Mucajaí, Posto Funai (31,2 e Fé e Esperança 31,5).

Já os menores valores são da estação Base Alalau (10,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$), no Rio Alalau e a Estação Maloca do Contão (16,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$) no Rio Cotingo.

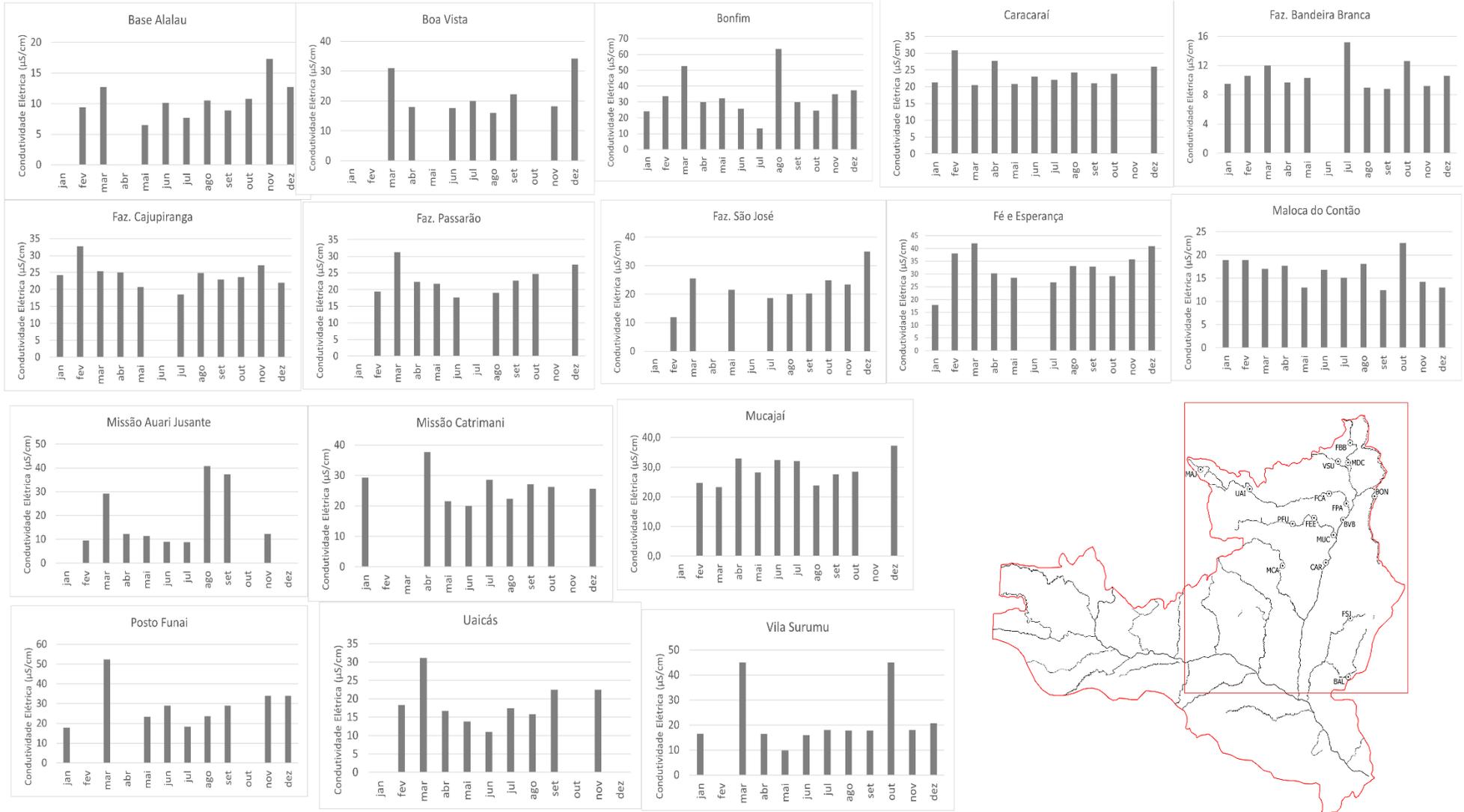


Figura 22. Gráficos sazonais de CE, Grupo B.

As regiões abordadas neste estudo, mostraram diferenças importantes entre os parâmetros. Enquanto nas regiões do Negro apresentam baixos valores de [MES] e pH relação ao Branco. Os altos valores de condutividade elétrica ocorrem concomitante ao [MES] com maiores volumes, isso indica um transporte relativo, ou seja, altos níveis de elementos dissolvidos.

Vale ressaltar também que devido ao grande volume de água do Rio Negro, embora com baixas [MES] em relação ao Branco, os valores de QSS no Negro são maiores

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa que resultou na presente dissertação permitiu identificar que:

1) A média de concentração anual de [MES] é da ordem de 36,2 mg/l na Sub-Bacia Rio Branco, sendo que as áreas que mais se destacaram com valores acima da média foram as estações de Maloca do Contão (58,4 mg/l) e Fé e Esperança (39,3 mg/l).

Como observado na Figura 23, a estação de Caracaraí recebe a menor quantidade de sedimento desta região, o que indica possivelmente zona de deposição no trecho. Já os valores da Sub-Bacia do Rio Negro a média anual é da ordem de 6,7 mg/l, típico de Rios de águas pretas, que transporta grandes quantidades de matéria orgânica e pouco material suspenso.

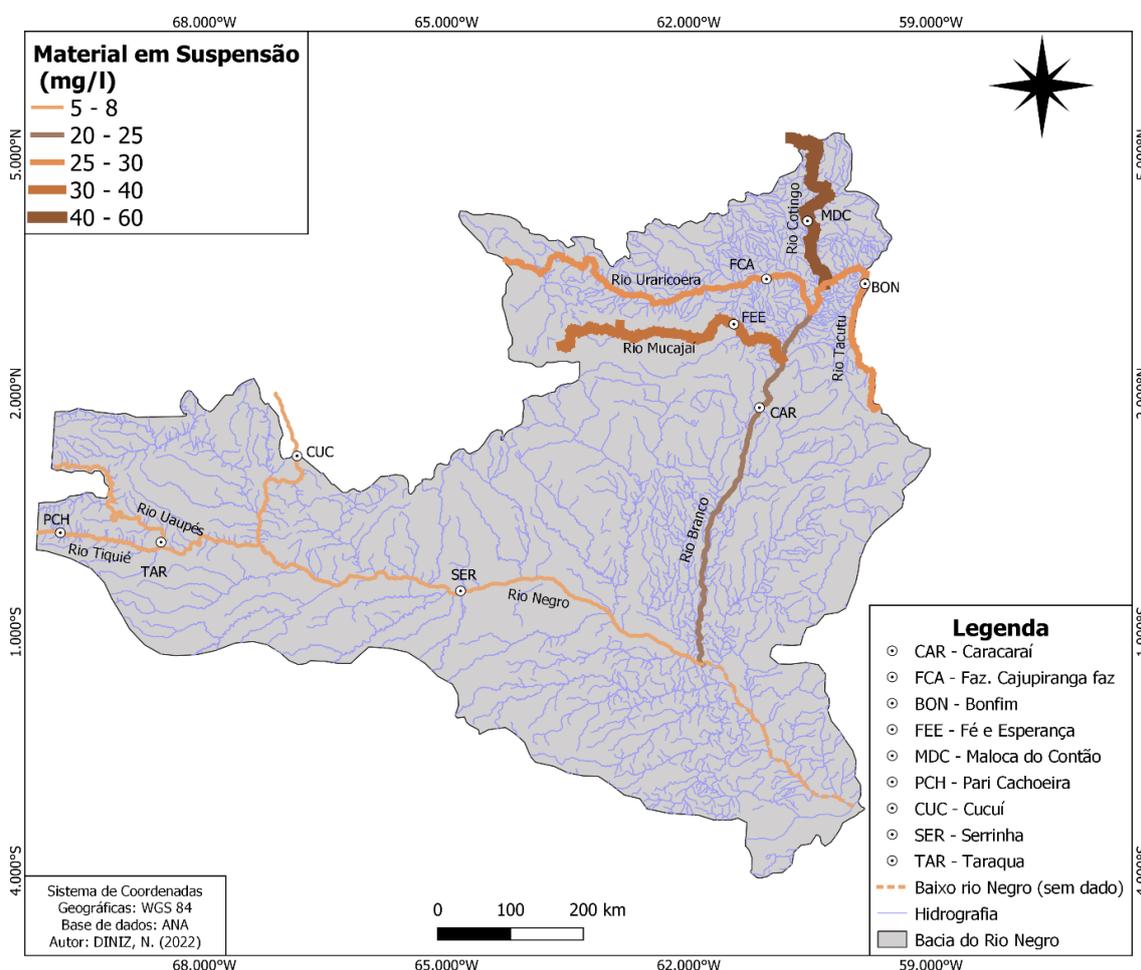


Figura 23. Mapa de Classificação da Variação média de Material em Suspensão na Bacia do Rio Negro

3) Em relação QSS, como observado na Figura 24, as contribuições dos afluentes do Negro são extremamente baixas. Porém, o valor encontrado neste estudo com os dados da ANA ($4,51 \times 10^6$) foi superior ao 3×10^6 de Filizola (1999). No entanto,

se considerar o valor do Observatório Hybam ($3,17 \times 10^6$) a diferença diminui, devido a quantidade de dados disponíveis nessas bases. O mesmo ocorre se o comparativo for com os dados de Marinho (2020), conforme a tabela a seguir:

Tabela 19. Comparativo de QSS (ton/ano) de dados deste estudo com os dados de Marinho 2020(*)

Fonte	Caracaráí	Serrinha
ANA	$2,82 \times 10^6$	$4,51 \times 10^6$
ANA*	$3,27 \times 10^6$	$3,58 \times 10^6$
Ore Hybam	$2,13 \times 10^6$	$3,17 \times 10^6$
Ore Hybam*	$2,08 \times 10^6$	$3,28 \times 10^6$

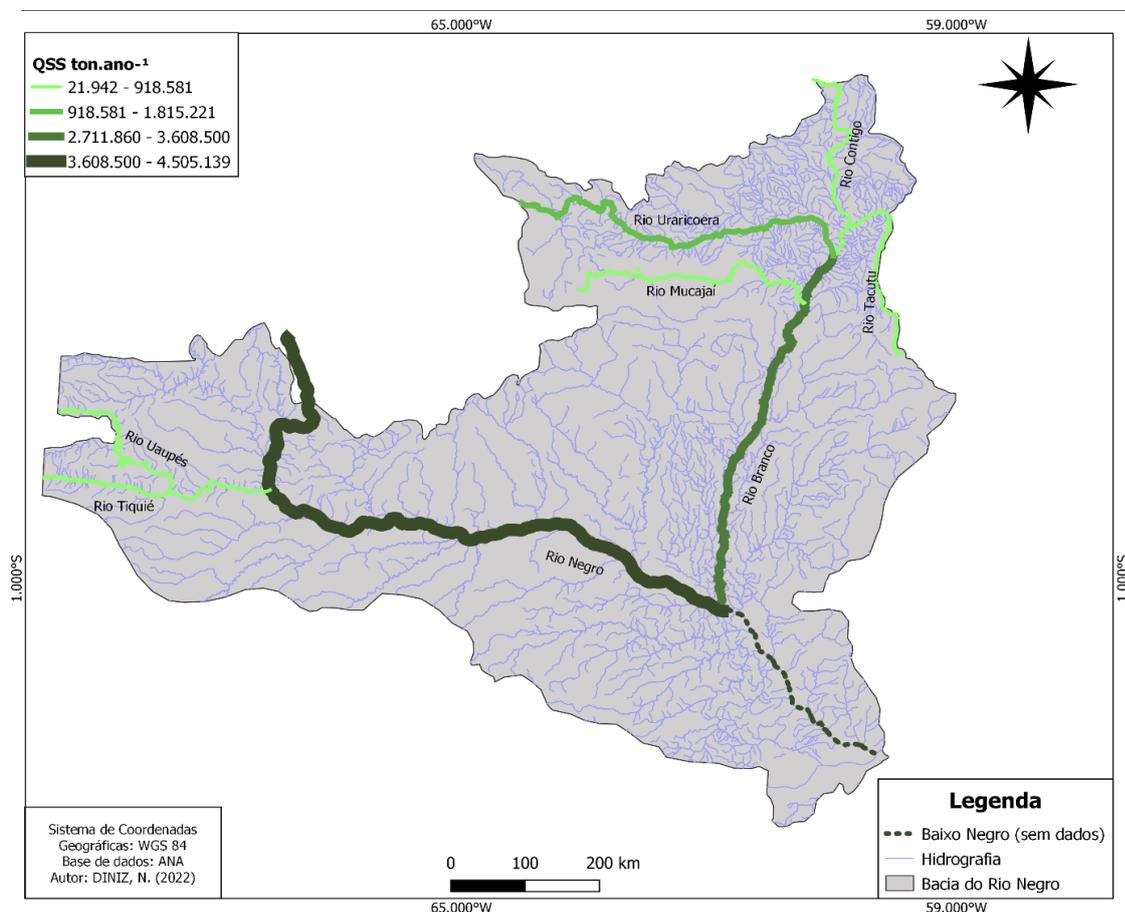


Figura 24. Mapa de Variação de QSS ton/ano na Bacia do Rio Negro

Com isso, vale ressaltar a importância de ampliar o monitoramento das estações nesta região, uma vez que o somatório das contribuições do Negro ainda é feito com base dos dados de Serrinha (Rio Negro) e Caracaráí (Branco), e não em Manaus, como seria o indicado.

4) Em relação aos parâmetros físico-químico, reafirmou o que já se sabe sobre a características típicas das águas pretas (Rio Negro) e águas brancas/claras (Rio Branco). Os valores de pH de caráter ácido encontrados neste estudo estão localizados

no Alto Negro, que variou de 4,1 (Rio Curicuari) a 5,2 (Rio Tiquié e Rio Paduari). Já os resultados da Sub Bacia do Branco, apresentou características típicas de águas brancas/claras com pH mais neutro que variou de 5,9 (Rio Auari) a 6,7 (Rio Mucajaí).

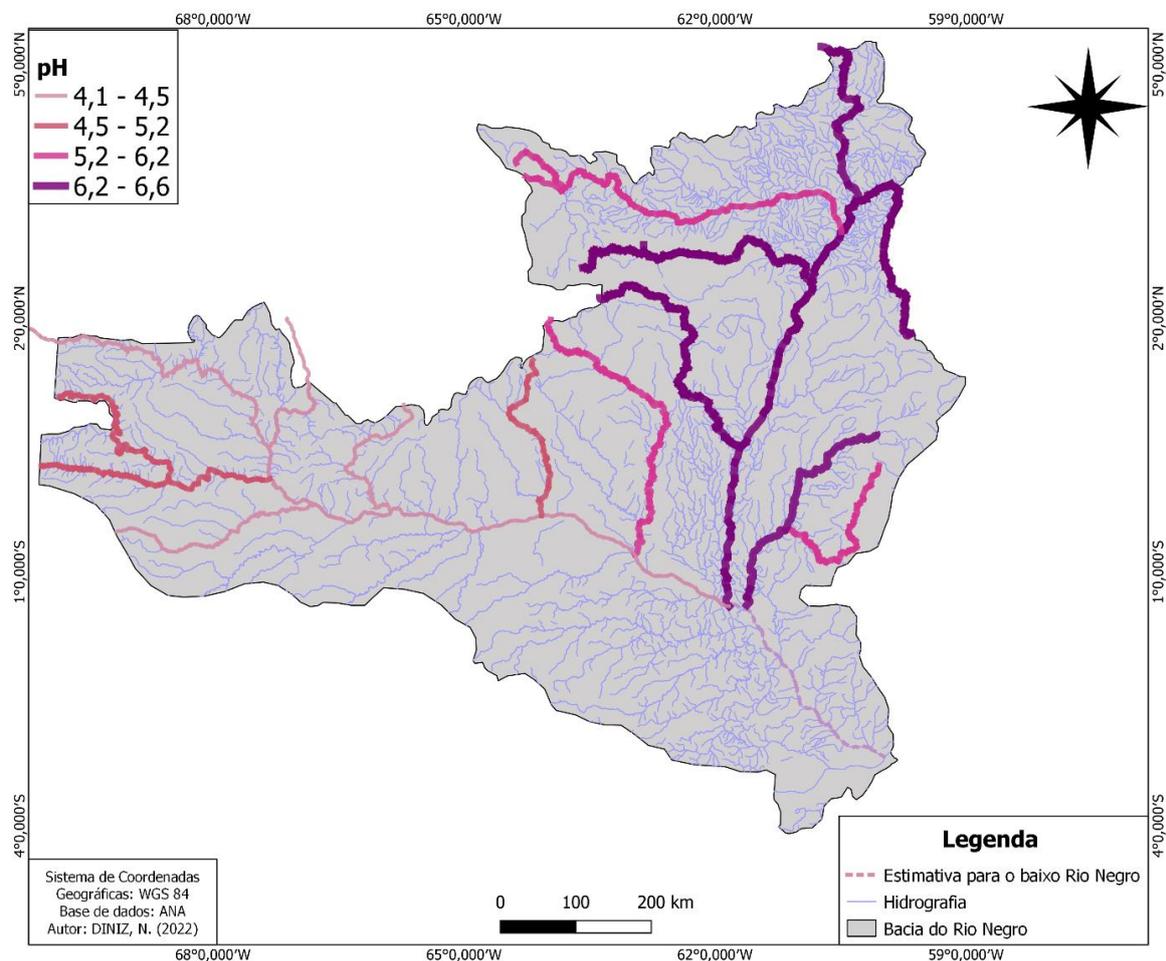


Figura 25. Mapa de Classificação da Variação média de pH na Bacia do Rio Negro

A condutividade elétrica apresentou valores típicos da região conforme a literatura, enquanto rios de águas negras exibem valores de 8 a 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$, o Rio Branco e alguns afluentes apresentaram valores de comportamento mais acentuado.

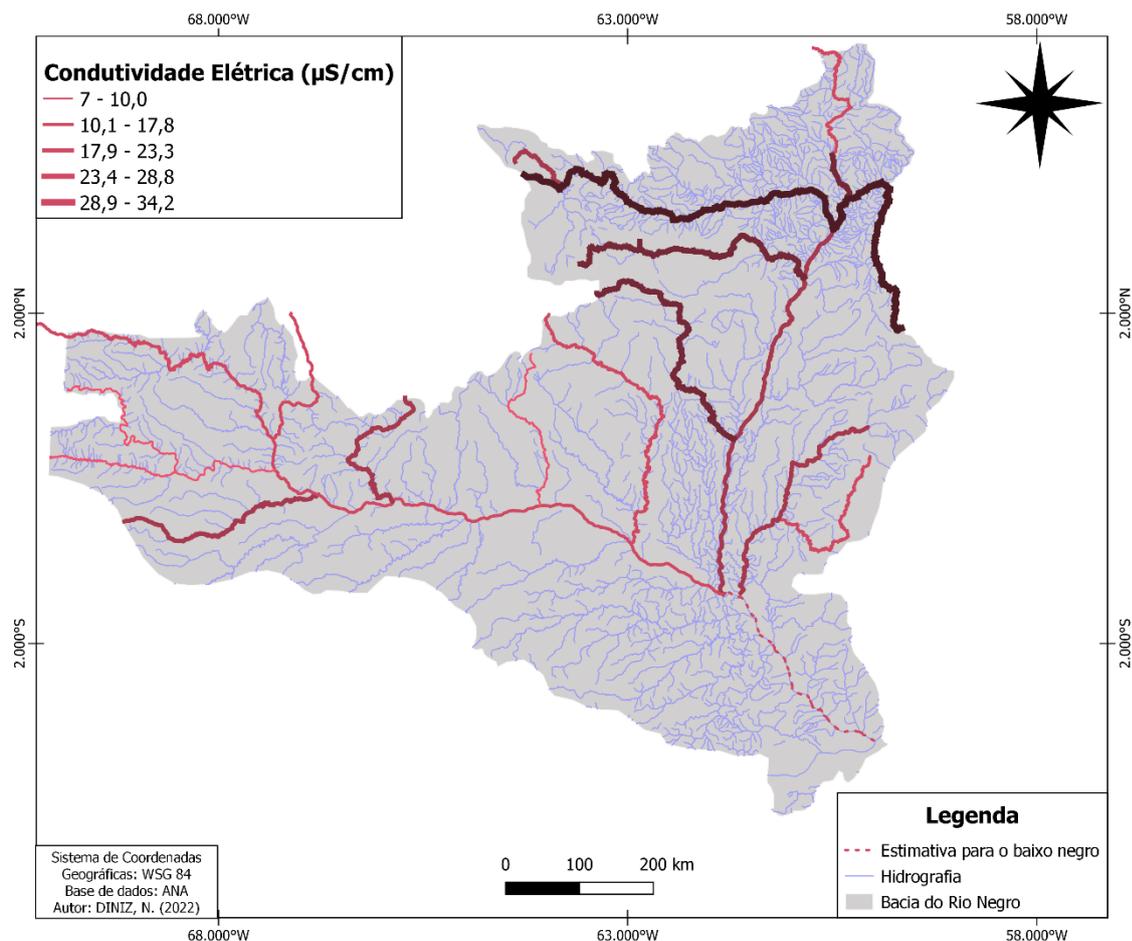


Figura 26. Mapa de Classificação da Variação média de Condutividade Elétrica na Bacia do Rio Negro

Neste estudo foi observado que as quantidades de estações que disponibilizam séries históricas contínuas são insuficientes. Com isso, o balanço sedimentométrico, principalmente no Alto Rio Negro, fica prejudicado. Portanto, é recomendável que as redes de estações fluviométricas aumentem, e que as operadoras das estações as mantenham sempre atualizadas, para contribuir com futuras pesquisas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, L. S. (2016). Desenvolvimento de medidor de condutividade elétrica da água para fins de monitoramento ambiental.
- ANA – Agência Nacional de Água (2012) Orientações para a Operação de Estações Hidrométricas / Agência Nacional de Água (ANA) Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. - Brasília: ANA, SGH, 52p.: il.
- Ayes Rivera, I., Armijos Cardenas, E., Espinoza-Villar, R., Espinoza, JC, Molina-Carpio, J., Ayala, JM, ... & Filizola, N. (2019). Declínio de sedimentos finos em suspensão na bacia do Rio Madeira (2003–2017). *Água*, 11 (3), 514.
- Braga, P. I. S. (1979). Subdivisão fitogeográfica, tipos de vegetação, conservação e inventário florístico da floresta amazônica. *Acta amazonica*, 9(4), 53-80.
- 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> > acessado em 21 de setembro de 2020
- Carneiro, A. E. V., & NASCIMENTO FILHO, V. F. (1997). Caracterização dos sedimentos depositados nas planícies de inundação do Rio Solimões/Amazonas, utilizando a técnica de fluorescência de raios X por dispersão de energia. In XI ENFIR/IV ENAN Joint Nuclear Conferences-IV Meeting on Nuclear Applications (pp. 340-345).
- Carvalho, N. D. O., FILIZOLA JÚNIOR, N. P., Santos, P. D., & Lima, J. E. F. W. (2000). Guia de práticas sedimentométricas. Brasília: Aneel.
- Cremon, É. H. (2016) evolução quaternária do Rio Branco—norte da amazônia—com base em dados orbitais e geológicos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE.
- Escarião, R. D. (2001). Modelagem hidrológica da bacia do Rio Negro na Amazônia (Doctoral dissertation, Dissertação de M. Sc., Universidade de Brasília, Brasília, Brasil).
- Esteves, F. DE A. (1998) Fundamentos de Limnologia. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência,
- Filizola, N. (1999) O Fluxo de sedimentos em suspensão nos Rios da Bacia Amazônica brasileira. – ANEEL, Brasília, DF
- Filizola, N., Guyot, J. L., Molinier, M., Guimarães, V., Oliveira, E. D., & FREITAS, M. A. D. (2002). Caracterização hidrológica da bacia Amazônica. Amazônia-uma perspectiva interdisciplinar. Manaus, Ed. EDUA, 33-54.

- Filizola, N. (2003). Transfert sédimentaire actuel par les fleuves amazoniens (Doctoral dissertation, Toulouse 3).
- Filizola, N., & Guyot, J.L. (2004). O uso da tecnologia Doppler para determinação de descargas de sedimentos em suspensão no Rio Amazonas/L'utilisation des Techniques Doppler pour la détermination du transport solide de l'Amazone. *Hydrological Sciences Journal*, 49 (1), 143-153.
- Filizola, N., & Guyot, J. L. (2009). Suspended sediment yields in the Amazon basin: an assessment using the Brazilian national data set. *Hydrological Processes: An International Journal*, 23(22), 3207-3215.
- Filizola, N., & Guyot, J. L. (2011). Fluxo de sedimentos em suspensão nos Rios da Amazônia. *Brazilian Journal of Geology*, 41(4), 566-576.
- Filizola, N., Marinho, R., Borges, S., & Estupinan, G., (2020) Estudos alertam para desastre ambiental associado à construção da barragem de Bem Querer no Rio Branco, Roraima. *Jornal da Ciência*, edição 6485.
- Franzinelli, E., & Igreja, H. (2002). Modern sedimentation in the lower Negro river, Amazonas state, Brazil. *Geomorphology*, 44(3-4), 259-271.
- Franzinelli, E. (2011). Características morfológicas da confluência dos Rios Negro e Solimões (Amazonas, Brasil). *Brazilian Journal of Geology*, 41(4), 587-596.
- Gasparotto, F. A. (2011). Avaliação Ecotoxicológica e Microbiológica da água de nascentes urbanas no município de Piracicaba-SP (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Gibbs, R. J. (1967). The geochemistry of the Amazon River system: Part I. The factors that control the salinity and the composition and concentration of the suspended solids. *Geological Society of America Bulletin*, 78(10), 1203-1232.
- Horbe, A. M. C., Queiroz, M. M. D. A., Moura, C. A. V., & Toro, M. A. G. (2013). Geoquímica das águas do médio e baixo Rio Madeira e seus principais tributários-Amazonas-Brasil. *Acta Amazonica*, 43(4), 489-504.
- International Sediment Initiative. (2011). Sediment Issues & Sediment Management in Large River Basins; Interim Case Study Synthesis Report.
- Konhauser, K.O.; FYFE, W.S.; KRONBERG, B.I.1994. Multi-element chemistry of some Amazonian water and soils. *Chemical Geology*, 111:155-175.
- Latrubesse, E. M. (2008). Patterns of anabranching channels: The ultimate end-member adjustment of mega rivers. *Geomorphology*, 101(1-2), 130-145.

- Latrubesse, E. M., & Franzinelli, E. (2005). The late Quaternary evolution of the Negro River, Amazon, Brazil: implications for island and floodplain formation in large anabranching tropical systems. *Geomorphology*, 70(3-4), 372-397.
- Latrubesse, E. M., Stevaux, J. C., & Sinha, R. (2005). Tropical rivers. *Geomorphology*, 70(3-4), 187-206.
- Leenheer, J. A., & Santos, U. D. M. (1980). Considerações sobre os processos de sedimentação na água preta ácida do Rio Negro (Amazônia Central). *Acta Amazonica*, 10(2), 343-357.
- Mafra, A. L., Miklós, A. A. W., Volkoff, B., & Melfi, A. J. (2002). Pedogênese numa seqüência Latossolo-Espodossolo na região do alto Rio Negro, Amazonas. *Revista brasileira de ciência do solo*, 26(2), 381-394.
- Marinho, R. R., Filizola Junior, N. P., & Cremon, É. H. (2020). Analysis of suspended sediment in the Anavilhanas archipelago, Rio Negro, Amazon Basin. *Water*, 12(4), 1073.
- Marinho, R. R., & Rivera, I. A. (2019) VARIABILIDADE ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO NAS SUB-BACIAS DO RIO NEGRO (AM) E RIO BRANCO (RR). *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*.
- Marinho, R. R., Moreira, W. P., Filizola, N. P., & de Oliveira, T. C. S. (2019). O PROJETO HIDROGEOS-NEGRO NO ARQUIPÉLAGO DE ANAVILHANAS, NOVO AIRÃO (AM)/The HIDROGEOS-NEGRO Project in Anavilhanas Archipelago, Novo Airão (AM): initial results. *REVISTA GEONORTE*, 10(34), 153-167.
- Marinho, R. R. (2019) Integração de dados de campo e sensoriamento remoto no estudo do fluxo de água e matéria no Arquipélago de Anavilhanas, Rio Negro-Amazonas, Brasil. Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente) - Coordenação do Programa de Pós-graduação, INPA.
- Marinho, t. P. (2014). Concentração De Sedimentos Em Suspensão Na Região De Confluência Dos Rios Negro E Solimões, Amazônia, Brasil. 75 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal do Amazonas, Manaus – AM
- Martinez, J. M., Guyot, J. L., Filizola, N., & Sondag, F. (2009). Increase in suspended sediment discharge of the Amazon River assessed by monitoring network and satellite data. *Catena*, 79(3), 257-264.

- Meade, R. H., Nordin, C. F., Curtis, W. F., RODRIGUES, F. M. C., DO VALE, C. M., & EDMOND, J. M. (1979). Sediment loads in the Amazon River. *Nature*, 278(5700), 161-163.
- Molinier, M., Guyot, J. L., Oliveira, E. D., Guimarães, V., & Chaves, A. (1994). Hidrologia da bacia do Rio Amazonas. *A Água em Revista*, 2(3):31-36. CPRM, Rio de Janeiro.
- Muniz, L. D. S. (2013). Análise dos padrões fluviométricos da Bacia do Rio Madeira-Brasil. 146 f. Dissertação (Mestre em Geografia) – Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2013.
- Oltman, R. E. (1968). *Reconnaissance investigations of the discharge and water quality of the Amazon River* (Vol. 552). US Government Printing Office
- Park, E., & Latrubesse, E. M. (2014). Modeling suspended sediment distribution patterns of the Amazon River using MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 147, 232-242.
- Piedade, M. T. F., Adis, J., Junk, W. J., Parolin, P., (2005). Ecologia, zonation e colonização da vegetação arbórea das Ilhas Anavilhanas. *Pesquisas, Botânica* N° 56: 117-144 São Leopoldo. Instituto Anchieta de Pesquisas 2005.
- Pinto, M. C., DIAS, D. L., & PEREIRA, E. J. (2007). Manual Medição in loco: Temperatura, pH, Condutividade Elétrica e Oxigênio Dissolvido. MG, CPRM-serviço geológico do Brasil, Versão maio.
- Projeto RADAMBRASIL. Folha SA.20 Manaus; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1978. 628 p ilustr., tab., 7 mapas 27,5 em (Levantamento de Recursos Naturais, 18)
- Ramalho, E. E., Macedo, J., Vieira, T. M., Valsecchi, J., Marmontel, M., & Queiroz, H. L. (2010). CICLO HIDROLÓGICO NOS AMBIENTES DE VÁRZEA DA RESERVA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL MAMIRAUÁ–MÉDIO RIO SOLIMÕES, PERÍODO DE 1990 A 2008. *Scientific Magazine UAKARI*, 5(1), 61-87.
- Reis, N.J., Faria, M.S., Maia, M.A.(2001). O Quadro Cenozóico da Porção Norte-Oriental do estado de Roraima. In: SBG/Núcleo Norte, Simpósio de Geologia da Amazônia,7, Belém, Resumos Expandidos,1 CD-ROM.
- Ribeiro Neto, A. (2006). Simulação hidrológica na Amazônia: Rio Madeira. Rio de Janeiro: UFRJ, 2006. 178p. Tese Doutorado

- Riker, S. R. L., Reis, N., & D'ANTONA, R. G. (2008). Caracterização dos depósitos holocênicos de argila da região do Médio Amazonas, Estado do Amazonas.
- Sampaio, F. P. R. (2016). Métodos de amostragens de sedimentos em suspensão no Rio Solimões: Estudo de caso na estação de Manacapuru. 53 f. Dissertação (Mestrado) INPA, Manaus.
- Santos, U. D. M., Bringel, S. R. B., Bergamin Filho, H., Ribeiro, M. D. N. G., & Bananeira, M. (1984). Rios da bacia amazônica. I. Afluentes do Rio Negro. *Acta Amazonica*, 14(1-2), 222-237.
- Sioli, H. (1950). Das Wasserim Amazonasgebiet. *ForschFortschr. Estudos Ecológicos de Comunidades de Peixes Tropicais*, 345-373.
- Sioli, H. (1957). Sedimentation im amazonasgebiet. *Geologische Rundschau*, 45(3), 608-633.
- Sioli, H. (1967) Studies in Amazonian Waters. In: LENT, H. (Ed.). Atas do Simpósio sobre a Biota Amazônica. Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Pesquisas, 1p. 9–50.
- Sioli, H. (1975) Amazon Tributaries and Drainage Basins. Coupling of land and water systems, v. 10, p. 199.
- Sioli, H., (1991). Amazônia: Fundamentos da Ecologia da Maior Região de Florestas Tropicais, 3rd edn. Ed. Vozes, Petrópolis.
- Teixeira, W. G., Pinto, W. H., Da Silva, C. B. S., Lima, H., & Macedo, R. (2009). O solo de várzea nas margens do Rio Negro-Amazonas-Brasil. In *Embrapa Amazônia Ocidental-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios. [Viçosa, MG]: SBCS; Fortaleza: UFC, 2009. 1 CD-ROM.
- Teixeira, S. G., & Maia, M. A. M. (2009). Análise da dinâmica das margens do Rio Madeira (AM) no período de 1987 a 2007 a partir de imagens de sensores remotos ópticos. *São José dos Campos, INPE: Anais do XIV Simp Bras Sens REM*, 1559-1566.
- Vauchel, P., Santini, W., Guyot, J. L., Moquet, J. S., Martinez, J. M., Espinoza, J. C., ... & Sondag, F. (2017). A reassessment of the suspended sediment load in the Madeira River basin from the Andes of Peru and Bolivia to the Amazon River in Brazil, based on 10 years of data from the HYBAM monitoring programme. *Journal of Hydrology*, 553, 35-48.

Von Sperling, M. (2005). Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, DESA-UFMG, 2ª edição, 1.

Winge, M. (2021) Glossário Geológico. Aluvião. Disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/glossaRio/verbete/aluviao.htm> Acesso em: 22 agosto. 2021.