

CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS SUSPENSOS NO LAGO TEFÉ NA AMAZÔNIA CENTRAL

Fabrizio Cavalcante da Silva¹
André Zumak Azevedo Nascimento²
Débora Carolina Hymans³
Paula dos Santos Silva⁴
Priscila Camelo Alves⁵
Lady Layana Martins Custódio⁶
Tamna Gadelha da Silva⁷
Rogério Ribeiro Marinho⁸
Ayan Santos Fleischmann⁹

INTRODUÇÃO

A erosão e o transporte de sedimentos são considerados norteadores primários da transformação da paisagem, desenvolvendo papel relevante no desenvolvimento dos solos e na dinâmica da paisagem fluvial (Condé *et al.*, 2021; Marinho *et al.*, 2021). A intensidade de cargas de sedimentos transportados por corpos hídricos implica em modificações de seus ambientes (Condé *et al.*, 2021; Marinho *et al.*, 2021; Cremon *et al.*, 2020; Montanher *et al.*, 2016). A concentração de sedimentos suspensos (CSS) refere-se

¹ Graduado pelo Curso de Geografia da Universidade do Estado do Amazonas - UEA, fabrizio.silva@mamiraua.org.br;

² Mestre pelo Curso de Geografia da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, andre.nascimento@mamiraua.org.br;

³ Mestra pelo Curso de Oceanografia Química e Geológica da Universidade de São Paulo - USP, debora.hymans@gmail.com;

⁴ Graduada pelo Curso de Geografia da Universidade do Estado do Amazonas - UEA, paula.silva@mamiraua.org.br;

⁵ Graduada pelo Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, priscila.alves@mamiraua.org.br;

⁶ Doutora pelo Curso de Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, llmc.mtr@gmail.com;

⁷ Mestra pelo Curso de Geociências da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, tamna.silva@mamiraua.org.br;

⁸ Doutor pelo Curso de Clima e Ambiente do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, rogeo@ufam.edu.br;

⁹ Professor Orientador: Doutor pelo Curso de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, ayan.fleischmann@mamiraua.org.br

à quantidade de partículas sólidas que estão em suspensão na água, e a sua medição é importante para a gestão e uso adequado dos recursos hídricos (Marinho *et al.*, 2021). No contexto de mudanças ambientais e climáticas intensas na região amazônica, faz-se necessário investigar as dinâmicas dos sistemas fluviais, em especial dos amazônicos, que possuem grandes taxas de transporte de sedimentos (Condé *et al.*, 2021; Cremon *et al.*, 2020).

Assim, o objetivo geral deste trabalho é compreender a distribuição espaço-temporal de sedimentos em suspensão em corpos hídricos amazônicos. Como área de estudo tem-se o Lago Tefé, um grande lago de ria na Amazônia central, com uma área de floresta nacional (FLONA) com 5 mil habitantes, importante produtora de farinha para a região, formado na confluência do Rio Tefé com o Rio Solimões. Com grande repercussão internacional na estiagem de 2023 em decorrência dos grandes impactos ambientais e ecológicos associados à redução do nível dos rios e superaquecimento de suas águas, o que acarretou a morte de 209 botos por hipertemia em um intervalo de cerca de um mês (Fleischmann *et al.*, 2024). Pretende-se, assim, entender como a água e os sedimentos se comportam no Lago Tefé, considerando a influência da sazonalidade na região e as relações entre o lago e o Rio Solimões. As coletas têm sido realizadas de forma mensal desde maio de 2024, e serão continuadas por um período inicialmente de um ano. Esta análise será realizada utilizando dados de turbidez, concentração de sedimentos suspensos, e outras variáveis ambientais como temperatura do ar e da água, profundidade do lago, transparência, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido. Foram selecionadas 13 seções amostrais no Lago Tefé e uma no Rio Solimões. A coleta de dados apresentada neste trabalho foi realizada no mês de maio de 2024.

As amostras de água para análise de turbidez e concentração de sedimentos foram coletadas na superfície da água. Para análise de CSS, adotou-se o protocolo HYBAM com coletas de água em campo e análise laboratorial. Os resultados preliminares indicam maior CSS e turbidez no rio de água branca, o Solimões (139,11 mg/l e 113,56 NTU), com pequenas variações de ambos os dados nos pontos do lago e para os demais parâmetros usando a sonda multiparamétrica, modelo YSI ProQuatro. Os resultados mostram a variabilidade espacial de alguns parâmetros físico-químicos nos hidrossistemas da região. Também corroboram a literatura científica sobre os altos valores de CSS em rios como o Solimões, devido à origem andina dos sedimentos, bem

como à alta competência do rio, influenciada pela velocidade que transporta grandes quantidades de sedimentos ao longo de seus canais (Montanher *et al.*, 2016).

METODOLOGIA

O estudo tem como foco o Lago Tefé, que pertence à cidade de Tefé no estado do Amazonas na região norte do Brasil, caracterizado como um lago de ria a aproximadamente 522 km em linha reta de Manaus, estando a 36 horas de barco tipo recreio e 14 horas de barco tipo “ajato” da capital do estado.

O primeiro passo desse trabalho foi o levantamento bibliográfico sobre o tema em questão, relacionado ao comportamento de concentração de sedimentos em rios e lagos, fundamentando o trabalho até aqui realizado. Na fase de escolha de pontos estratégicos de coleta ambiental, foram selecionados 14 pontos de coletas amostrais sendo 13 do lago Tefé (pontos P1 a P23) e um no Rio Solimões (PSOL; latitude: -3.366078° , longitude: -64.6513678°).

Os dados coletados para análise complementar com a sonda multiparâmetro da marca YSI modelo ProQuatro incluem os parâmetros oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e temperatura da água, que foram coletados em três dias seguidos entre os horários de 10:00 e 14:00. A coleta de dados de CSS e turbidez em campo foi realizada utilizando o protocolo HYBAM, onde foram coletados amostras de águas em garrafas plásticas PET de 250 ml, uma em cada ponto da seção, sendo margem esquerda, centro e direita de cada seção, com as devidas identificações nas garrafas com data de coleta e seus respectivos pontos, armazenadas em uma caixa de plástico para a segurança no transporte das amostras. Também foi utilizado o disco de Secchi para estimativa da transparência da água, e uma corda devidamente metrificada para medição de profundidade do lago.

Com a sonda multiparamétrica devidamente calibrada, durante as coletas foi realizada a medição da temperatura do ar (com a sonda fora da água). Após, a sonda foi inserida na coluna d'água em diferentes profundidades que seguem a mesma ordem em todos os pontos: superfície, 50 cm, 1 m, 2 m, 3 m e 4 m.

As análises laboratoriais foram divididas em duas etapas. A primeira concentrou-se em obter dados de turbidez (NTU) com o equipamento turbidímetro,

modelo HI98703-02. No processo de coleta de dados de turbidez, por meio deste equipamento foram coletados três valores da mesma amostra em frasco de 10 ml. Através destes valores foi retirada a média de cada ponto, sendo o tempo médio de obtenção de dados de aproximadamente 2 min.

Em seguida foi realizado o processo de estimativa de CSS, iniciando com a filtração utilizando um kit de filtração com uma bomba à vácuo, inserindo a membrana ao kit e filtrando 250 ml de cada amostra. . Após, retira-se a umidade no dessecador e as amostras são pesadas na balança de precisão. Por meio deste processo obtemos dois valores, o primeiro das membranas somente com o seu peso e o segundo as membranas com o seu peso mais o peso dos sedimentos que ficaram retidos na membrana pela filtração, denominado peso final. Dessa maneira, com a subtração do peso final menos o peso inicial temos o valor de sedimentos que ficaram retidos no filtro. Assim, para obtenção de CSS foi usada a fórmula $(\text{peso final} - \text{peso inicial}) * 1000000 / 250$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As medições de transparência (disco de Secchi) indicam pouca variação na campanha de maio de 2024 ao longo do lago, variando de 1.20 e 1.70 metros. No Rio Solimões os valores de transparência são de 14 cm, o que demonstra diferenciação entre as águas. A profundidade nos trechos de montante do lago apresenta os menores valores, permanecendo com pouca variação na parte central do lago e no trecho de jusante se aproximando do Rio Solimões, onde as profundidades aumentam de forma gradual. As temperaturas do ar variaram ao longo do dia de forma pouco acentuada, determinadas pela meteorologia, como fatores associados à nebulosidade e ao ciclo diário de radiação solar (Tabela I).

Tabela I. Dados de transparência e profundidade da água e temperatura do ar

Ponto	Horário	Transparência (m)	Profundidade total (m)	Temperatura do ar (°C)
P23	11:50	1.45	8.28	30.8
P22	12:48	1.41	7.86	26.2
P21	13:30	1.77	9.9	26.5
P20	14:00	1.47	10.62	27.2
P19	10:26	1.42	10.5	28
P18	10:37	1.5	10.37	27.9
P17	10:59	1.42	8.61	27.4
P16	11:15	1.43	9.1	28.5
P15	11:30	1.13	9.71	27.9
P14	11:56	1.43	9.92	28.2
P13	12:49	1.34	10.71	28.4
P12	13:10	1.47	11.52	28.3
P11	13:39	1.37	9.28	28.1
P10	10:01	1.45	8.26	29.7
P09	10:15	1.47	12.67	29.1
P08	10:40	1.5	10.87	28.8
P07	11:11	1.5	10.48	29.3
P06	11:43	1.5	9.88	28.8
P05	12:08	1.5	13.82	29.1
P04	12:25	1.28	11.48	28.7
P03	12:53	1.44	14.78	30.15
P02	13:14	1.5	12.82	29
P01	13:30	1.44	9.44	29
Psol	13:56	0.18	10	27.15

A temperatura da água apresenta maior variação nas diferentes profundidades na área central do lago até a proximidade com o Rio Solimões, onde permanece com pouca variação. O mesmo se repete a montante, com menos variação do que na parte central do lago. As medições de condutividade elétrica na maioria dos pontos apresentaram pouca variação, com exceção do ponto P3, que está localizado próximo à confluência do Lago Tefé com o Igarapé Xidarini, próximo à área urbana do município de Tefé. Em todos os pontos o oxigênio dissolvido apresentou comportamento parecido, variando de forma decrescente nas diferentes profundidades, com exceção no trecho de jusante próximo à confluência com o Rio Solimões, onde apresentou variações maiores (Tabela II).

Tabela II. Dados da temperatura da água, condutividade e oxigênio dissolvido

Ponto	Horário	Temperatura da água (°C)	Condutividade (µS/cm)	Oxigênio dissolvido (mg/L)
P23	11:50	28.4	7.4	1.82
		28.2	7.7	1.96
		28.3	7.7	1.56
		28	7.7	1.54
		27.9	7.7	1.52
		27.9	7.7	1.45
P22	12:48	28.5	7.9	1.18
		28.5	7.9	1.09
		28.5	7.9	0.98
		28.3	7.9	0.75
		28.4	7.9	0.81
		28.3	7.9	0.68
P11	13:39	34.7	7.4	4.83
		31.6	7.1	4.83
		30.5	7.05	4.45
		30.2	7	4.38
		30.2	7.1	4.14
		30.1	7.2	4.09
P10	10:01	31.2	7	5.16
		30.8	7	4.96
		30.5	6.9	4.91
		30.2	6.9	4.82
		30.1	7	4.58
		30.1	7	4.52
P02	13:14	32.4	7.25	5.18
		31.9	7.25	5.21
		31.8	7.3	4.83
		31	7.3	4.54
		30.2	7.8	3.93
		29.9	8.3	3.34
P01	13:30	30.6	7.55	4.46
		30.1	12	3.92
Psol	13:56	29.2	94.2	2.96
		29.2	94.2	2.89

Os resultados preliminares disponíveis na tabela III e IV indicam maior CSS e turbidez no rio de água branca, o Solimões (139,11 mg/l e 113,56 NTU), com pequenas variações de ambos os dados nos pontos do lago. No entanto, a montante os valores são maiores em relação à parte central do lago, voltando a aumentar ao passo que se aproxima de sua confluência com o Rio Solimões. Nas 13 seções do lago, os valores de CSS variam de ~ 4 a 6 mg/l e os de turbidez de ~0.9 a 3 NTU. Os resultados mostram a variabilidade espacial de alguns parâmetros físico-químicos nos hidrossistemas da região. Também corroboram a literatura científica sobre os altos valores de CSS em rios como o Solimões, devido à origem andina dos sedimentos, bem como à alta

competência do rio, influenciada pela velocidade que transporta grandes quantidades de sedimentos ao longo de seus canais.

Tabela III. Dados de concentração de sedimentos suspensos (CSS)

Pontos	Horário	CSS (mg/l)	Pontos	Horário	CSS (mg/l)
P23	11:50	6.49	P9	10:15	5.29
P22	12:48	6.04	P8	10:40	4.58
P21	13:30	6.09	P7	11:11	5.07
P20	14:00	5.56	P6	11:43	4.80
P19	10:26	5.24	P5	12:08	5.11
P18	10:37	4.27	P4	12:25	4.44
P17	10:59	4.62	P3	12:53	6.40
P13	12:49	4.76	P2	13:14	5.16
P12	13:10	4.80	P1	13:30	6.98
P11	13:39	4.44	PSOL	13:56	139.11
P10	10:01	5.29			

Os pontos P4, P5, P6 e P7 são os que ficam em frente à cidade e apresentam valores médios em relação aos demais pontos. No entanto, o P21, P22 e P23 são os que apresentam maior CSS, caracterizados por afunilamento do canal fluvial do Rio Tefé na sua entrada no trecho de montante do lago. A jusante, próximo ao rio Solimões, os valores retornam a aumentar como, por exemplo o P3, P2 e P1, devido à influência do rio Solimões em relação à água que adentra o lago.

Tabela IV. Dados de turbidez

Pontos	Horário	Turbidez (NTU)	Pontos	Horário	Turbidez (NTU)
P23	11:50	2.28	P11	13:39	1.99
P22	12:48	1.95	P10	10:01	1.76
P21	13:30	1.72	P9	10:15	1.93
P20	14:00	1.61	P8	10:40	1.56
P19	10:26	1.43	P7	11:11	1.59
P18	10:37	0.91	P6	11:43	1.64
P17	10:59	1.66	P5	12:08	1.73
P16	11:15	1.60	P4	12:25	3.08
P15	11:30	1.84	P3	12:53	1.80
P14	11:56	1.91	P2	13:14	1.80
P13	12:49	1.96	P1	13:30	2.56
P12	13:10	1.90	PSOL	13:56	113.56

Dessa forma, nossas análises fornecem informações relevantes sobre a variação espacial dos parâmetros físico-químicos da água, desde os trechos de montante até a confluência do Lago Tefé com o rio Solimões, o qual possui características próprias distintas do lago. Assim, com esses dados temos uma breve noção de características e comportamentos desse corpo hídrico em comparação com o rio Solimões. Espera-se com as coletas ambientais seguintes trazer mais conclusões sobre a dinâmica espaço-temporal da qualidade das águas deste importante lago da Amazônia Central.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apresenta resultados preliminares do monitoramento ambiental do Lago Tefé, um importante lago de ria da Amazônia Central, habitado por milhares de ribeirinhos e garantido a sua segurança alimentar por meio da pesca e outros usos de seus recursos. Avaliou-se a concentração de sedimentos suspensos ao longo de 13 seções amostrais do lago, mostrando as variações espaciais deste parâmetro físico ao longo do lago, em uma campanha no mês de maio de 2024. Com o progresso da pesquisa, espera-se obter uma série temporal completa de um ciclo anual (enchente, cheia, vazante, seca), fornecendo dados tanto para as comunidades que vivem ali quanto para os gestores públicos em relação aos processos hidrossedimentológicos. A maioria dos estudos na região sobre concentração de sedimentos suspensos e turbidez se baseia em imagens de satélite, o que limita análises detalhadas e comparações nas seções amostradas neste trabalho. No entanto, para futuras pesquisas, recomendamos a comparação com métodos que utilizam imagens de satélite, o que pode facilitar o desenvolvimento de modelos para estimar CSS e turbidez na região estudada.

Palavras-chave: Sedimentos; Lago, Solimões, CSS, Rio.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa faz parte do projeto “Monitoramento do clima e recursos hídricos da Reserva Mamirauá”, financiado pelo EDITAL 003/2023 - PAINTER INFRA CT&I, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), Secretaria de

Estado de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia e Inovação (SEDECTI) e Governo do Estado do Amazonas.

REFERÊNCIAS

CONDÉ, Rita de Cássia Cerqueira. **Análise da integração das ferramentas de hidrologia espacial “cor das águas” para o monitoramento e a modelagem swat dos processos hidrosedimentológicos na bacia do Rio São Francisco - Brasil** / Rita de Cássia Cerqueira Condé; orientador Jean Michel Martinez; co-orientador Henrique Llacer Roig. -- Brasília, 2021.

CREMON, É. H.; SILVA, Ana Maria S. Da & MONTANHER, Otávio C.(2020). **Estimating the suspense sediment concentration from TM/Lnadsat-5 images for the Araguaia River - Brazil, Remmote Sensing Letters**, 11:1, 47-56, DOI: 101080/2150704X.2019.1681597.

FAGUNDES, Hugo & FASSONI-ANDRADE, Alice & CAUDURO, Rodrigo Dias de Paiva (2017). **Análise dos sedimentos em suspensão na bacia hidrográfica do rio Doce com imagens de satélite**. Conference: II Congresso Internacional de Hidrossedimetologia At: Foz do Iguaçu - PR junho de 2017.

FLEISCHMANN, Ayan Santos *et al.*: **Aquecimento extremo das águas amazônicas em um clima em mudança**. Publicado em: 2024-07-22, DOI: <https://doi.org/10.31223/X56D9T>.

MARINHO, R. R.; VIEIRA, A. F. S. G.; MACIEL, F. S. **Análise Montante-Jusante da Granulometria dos Sedimentos de Fundo e Suspenso do Rio Negro e Tributários (Bacia Amazônica, Brasil)** Revista Brasileira de Geografia Física v.14, n.02 (2021) 997-.1008.

MONTANHER O. C. et al. **Padrões Espaciais do Transporte, Produção e Variabilidade de Sedimentos Suspensos dos Rios Amazônicos**. Rev. Bras. Geomorfol. (Online), São Paulo, v.17, n.2, (Abr-Jun) p.347-368, 2016.