

Qualidade da água do rio Araguari no Amapá antes dos impactos da construção e operação de duas usinas hidrelétricas

Water quality of the Araguari river in Amapá before the impact of the construction and operation of two hydroelectric plants

Calidad del agua del río Araguari en Amapá ante los impactos de la construcción y operación de dos centrales hidroeléctricas

Daímio Chaves Brito

Universidade Federal do Amapá
daimio.brito@ueap.edu.br

Alan Cavalcanti da Cunha

Universidade Federal do Amapá
alancunha12@gmail.com

Helenilza Albuquerque da Cunha

Universidade Federal do Amapá
helenilzacunha@unifap.br

Jéssica Caroline Evangelista Vilhena

Universidade Federal do Amapá
vilhena.jessica@gmail.com

Arialdo Martins da Silveira Junior

Universidade Federal do Amapá
arialdojunior@unifap.br

Resumo

O objetivo deste estudo foi realizar uma análise da qualidade da água no médio rio Araguari antes da construção e operação das usinas hidrelétricas Ferreira Gomes e Cachoeira Caldeirão, para subsidiar estudos futuros dos impactos causados neste rio pela geração de energia. O rio Araguari é o principal e maior rio do Estado do Amapá. O monitoramento da qualidade da água foi realizado com frequência trimestral, conforme regime hidrológico nos anos de 2007 e 2008. Foram analisados 16 parâmetros da qualidade da água em cada uma das 23 seções de coleta em 160 km do rio em cinco campanhas de campo. Os parâmetros não apresentaram variabilidade espacial durante a coleta. Contudo, apresentaram variabilidade sazonal significativa. Foi observado que o rio ainda tinha uma capacidade de diluição das cargas poluidoras bastante considerável, pois a maioria dos parâmetros analisados se enquadravam em rios de classe 2 da resolução nº 357/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

Palavras-chave: Monitoramento, Hidrelétricas, Rio Araguari, Sazonalidade.

Abstract

The objective of this study was to conduct a water quality analysis in the middle Araguari river before the construction and operation of the Ferreira Gomes and Cachoeira Caldeirão hydroelectric

power plants, to support future studies of the impacts caused by this river in the generation of energy. The Araguari River is the main and largest river in the state of Amapá. The water quality monitoring was carried out quarterly, according to the hydrological regime in the years 2007 and 2008. Sixteen water quality parameters were analyzed in each of the 23 collection sections in 160 km of the river in five field campaigns. The parameters did not present spatial variability during the collection. However, they presented significant seasonal variability. It was observed that the river still had a considerable capacity to dilute polluting loads, since most of the analyzed parameters fall into class 2 rivers of resolution nº 357/05 of National Environmental Council.

Keywords: Monitoring, Hydroelectric, Araguari River, Seasonality.

Resumen

El objetivo de este estudio fue realizar un análisis de la calidad del agua en el medio río Araguari antes de la construcción y operación de las centrales hidroeléctricas Ferreira Gomes y Cachoeira Caldeirão, para apoyar futuros estudios de los impactos causados a este río por la generación de energía. El río Araguari es el principal y más grande río del Estado de Amapá. El monitoreo de la calidad del agua se realizó trimestralmente, según el régimen hidrológico de 2007 y 2008. Se analizaron 16 parámetros de calidad del agua en cada una de las 23 secciones de recolección a lo largo de 160 km del río en cinco campañas de campo. Los parámetros no mostraron variabilidad espacial durante la recolección. Sin embargo, mostraron una variabilidad estacional significativa. Se observó que el río aún tenía una capacidad considerable para diluir cargas contaminantes, ya que la mayoría de los parámetros analizados se ubicaban dentro de la clase 2 de ríos de la resolución nº 357/05 de Consejo Nacional Ambiental.

Palabras clave: Monitoreo, Centrales Hidroeléctricas, Río Araguari, Estacionalidad.

Introdução

O objetivo deste estudo foi realizar uma análise dos dados de qualidade da água coletados no médio rio Araguari antes da construção e operação das usinas hidrelétricas Ferreira Gomes e Cachoeira Caldeirão, para subsidiar estudos futuros dos impactos causados neste rio pela geração de energia desses dois grandes empreendimentos. Desta forma, foram avaliadas a dinâmica das variações espaços-temporais da qualidade da água e a influência da sazonalidade climática no alto e médio rio Araguari nos períodos de cheia, estiagem e intermediários.

O rio Araguari é um corpo hídrico com grandes dimensões e volume de água, sendo usado para os mais variados fins, por exemplo: o abastecimento de água para as cidades, fazendas, vilas e casas ribeirinhas, geração hidráulica de energia elétrica, extração de minérios e seixo do fundo do rio, balneários, pesca e despejo de variados tipos de efluentes. Embora tenha múltiplos usos, o monitoramento realizado neste estudo indica bom estado de conservação do rio para a maioria dos parâmetros monitorados.

As cidades em seu curso, segundo observações *in loco*, têm baixo índice populacional e não apresentam rede de esgotos, são utilizadas fossas rudimentares para o descarte dos efluentes. As ocupações são esparsas ao longo desse rio sendo que, quando estão presentes, ocupam pequenas

áreas, geralmente não excedendo alguns poucos hectares. Muitas dessas áreas encontram-se abandonadas, apresentando cobertura vegetal em estágio de regeneração natural, formando capoeiras ou mesmo áreas com domínio de determinadas espécies pioneiras como a imbaúba (*Cecropia pachystachya*).

A Usina Hidrelétrica de Ferreira Gomes (UHEFG Amapá/Brasil), considerada de grande porte (Potência \approx 252 MW, Área alagada \approx 17,7 km², Profundidade Média \approx 13,5 m), teve o início da operação em 2015 e está localizada na bacia hidrográfica do Rio Araguari, Município de Ferreira Gomes-AP (SILVA et al., 2017). A Usina Hidrelétrica Cachoeira Caldeirão (UHECC Amapá/Brasil), considerada de grande porte (Potência \approx 219 MW, Área alagada \approx 48 km², Profundidade Média \approx 4,8 m), iniciou a operação em 2016 e está localizada na bacia hidrográfica do Rio Araguari, Município de Porto Grande-AP (SILVA et al., 2017).

Entre estas duas hidrelétricas, na localidade do Paredão, distrito do município de Ferreira Gomes, fica localizado a Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes (UHECN), primeira edificada na Amazônia brasileira (OLIVEIRA et al., 2013; SILVA et al., 2017), sendo gerida pelas Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A (ELETRONORTE). Situada no médio curso do Rio Araguari, despendeu-se 20 anos para ser construída e funciona há 48 anos gerando, atualmente aproximadamente, 78 MW de energia, com uma área alagada \approx 48 km² e Profundidade Média \approx 15 m (OLIVEIRA et al., 2013).

Sabe-se que as hidrelétricas causam vários impactos ambientais (SOUZA et al., 2000; PORTO; FINAMORE; FERREIRA, 2013). Nas águas, o conhecimento das modificações da qualidade causadas por barragens serve para fundamentar as discussões sobre o gerenciamento dos recursos hídricos na bacia afetada. Infelizmente, não se tem conhecimentos de estudos prévios da qualidade da água para a construção da UHECN, fundamental para comparações com os dados atuais e melhor avaliação dos impactos gerados. O monitoramento que foi realizado neste estudo além de indicar o estado de conservação do rio, também, se justifica pela necessidade de verificar se os valores obtidos estão em conformidade com as legislações específicas da qualidade da água em âmbito nacional, como a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 (Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, 2005) e, no Amapá, subsidiar as discussões da regulamentação da Lei 0686/2002 pelo Governo Estadual (Secretaria de Meio Ambiente - SEMA, 2002) e suas implicações ambientais.

Outro fator que tem gerado acirramento no debate público quanto aos usos sustentáveis e múltiplos das águas naturais, inclusive a de preservação e gestão dos ambientes aquáticos, são as ameaças ecológicas que surgem com a necessidade de desenvolver a região, além das hidrelétricas (FEARNSIDE, 2015), tais como, os grandes projetos minerais, a bubalinocultura e a urbanização

(MESSIAS et al., 2012). Além disso, há o crescente aumento das pressões sociais, econômicas, ambientais, principalmente das populações ribeirinhas e sociedade civil, quanto à gestão mais sustentável dos recursos hídricos.

Além dos empreendimentos, as cidades ribeirinhas às margens do rio Araguari, assim como em todo o Amapá, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), estão em processo de expansão populacional (IBGE, 2024). Isso significa aumento na demanda de água para os mais variados usos (TUNDISI, 2008; PARDOSSI et al., 2009; ANGRILL et al., 2012). Então, um estudo sistemático da qualidade da água nesta bacia e a possibilidade de definir estratégias de gestão para os usos da água são fundamentais para a manutenção da sua qualidade nos níveis e padrões aceitáveis para atender a essa crescente demanda.

A partir desse contexto inicial esta pesquisa teve como intenção a geração de conhecimento básico sobre o corpo d'água em questão e, conseqüentemente, dar contribuição para diminuir a enorme carência de informações, em especial, no trecho do rio Araguari escolhido, e estudar o seu comportamento diante de impactos ambientais significativos, tais como a implantação das duas hidrelétricas citadas.

Material e Métodos

O Amapá, localizado no extremo norte do Brasil, tem rede hídrica bastante significativa dentro dos domínios da Amazônia. Completamente dentro dos seus limites está a bacia hidrográfica do Rio Araguari (Figura 1). Suas cabeceiras, encontram-se na Serra Lombada e Serra do Tumucumaque (CUNHA et al., 2005), onde se localiza o segundo maior parque do mundo e o maior do Brasil, o Parque Nacional das Montanhas de Tumucumaque. Recebendo como afluentes os rios Mutum, Tajaúí, Falsino e Tracajatuba. Próximo à Porto Grande ocorre a confluência com o rio Amapari.

No trecho de jusante deste ponto, alguns quilômetros abaixo, inicia-se seu trajeto pela Planície Costeira amapaense até o Oceano Atlântico. O rio é uma fonte importante de água para variados usos para uma população estimada de 32 mil habitantes (IBGE, 2024) e toda a biodiversidade aquática e terrestre. Tem sido umas das mais pesquisadas no estado. Porém, os estudos têm sido superficiais e básicos e com fins de geração de energia.

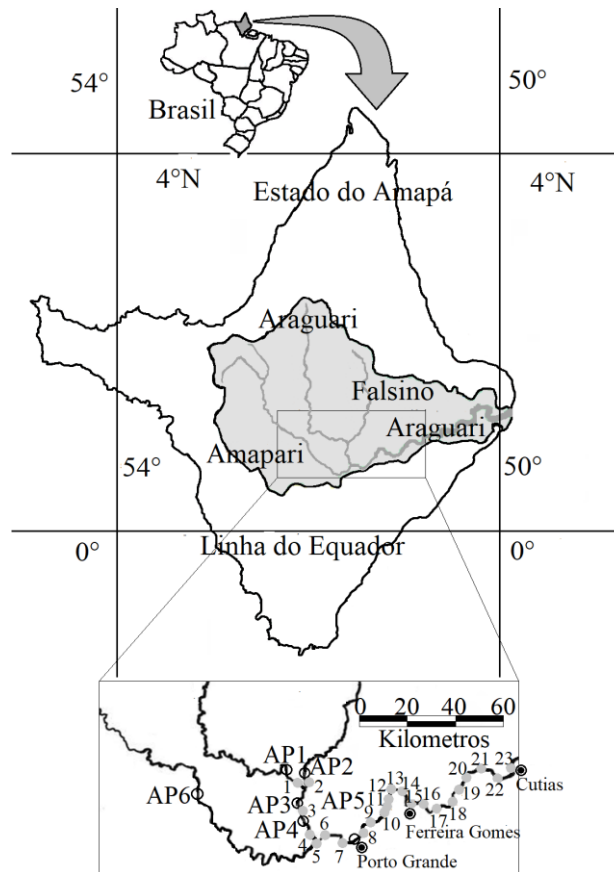


Figura 1 - Bacia do rio Araguari, Amapá
 Fonte: Organizado pelos autores (2024).

A Figura mostra a bacia do rio Araguari, com seus tributários. O detalhe expõe os 23 pontos de amostragem e os locais onde se encontram as Plataformas de Coleta de Dados Fluviométricas (PCD) existentes na bacia. O rio Araguari, que na língua indígena significa rio das onças, apresenta extensa rede hídrica, configurando-se no principal e maior rio do Estado do Amapá. A bacia hidrográfica do rio Araguari está delimitada pelas latitudes 0° 30'N e 1° 30'N e longitudes 51° 00'W e 52° 30'W, com aproximadamente 600 km de comprimento e com índice de drenagem da ordem de 0,955/km.

A área total da bacia representa aproximadamente $\frac{1}{3}$ da área total do Estado do Amapá, com aproximadamente 42.711,18 km² e o perímetro externo da bacia hidrográfica é de, aproximadamente, 1.269 km de extensão. A declividade média do canal é de 0,50 m/km e as temperaturas do ar variam entre 20,0 °C e 40,1 °C (SOUZA; KAYANO; AMBRIZZI, 2004; SOUZA; CUNHA, 2010; CUNHA et al., 2014). Os municípios contidos na área territorial da bacia hidrográfica são: Amapá, Tartarugalzinho, Serra do Navio, Ferreira Gomes, Porto Grande, Pedra Branca do Amapari e Cutias e parte norte da capital do Estado, Macapá.

O trecho escolhido para estudo estende-se por aproximadamente 160 km do canal principal do Araguari. O monitoramento da qualidade da água foi realizado com frequência trimestral,

conforme regime hidrológico e estações climáticas (Tabela 1) nos anos de 2007 e 2008. Foram escolhidos 23 pontos de amostragem (Figura 1), distantes, em média, 8,84 km. Os pontos foram distribuídos em quatorze locais à montante da UHECN, sendo sete no rio Araguari, um no rio Falsino, um no rio Amapari e cinco dentro do reservatório. Os outros nove pontos foram distribuídos à jusante da barragem da UHECN no curso do rio Araguari, sendo que a última seção é localizada em frente a cidade de Cutias.

Tabela 1 - Períodos de coleta conforme regime hidrológico e estações climáticas

Data	Regime/Estação Climática	Vazão (m ³ s ⁻¹)				
		PCD1-Capivara (1°0'12"N; 51°40'25"W)	PCD2-Ramos (0°57'37"N-51°36'22"W)	PCD3-Espírito Santo (0°52'0"N-51°37'60"W)	PCD4-Leônidas (0°47'33"N-51°36'23"W)	PCD5-Porto Platon (0°42'27"N-51°26'20"W)
jun/07	Cheia (Verão)	533,639	449,000	817,500	860,237	1.583,000
ago/07	Intermediária cheia-seca (Inverno)	219,947	86,200	296,500	340,118	787,500
nov/07	Seca (Inverno)	35,836	9,400	Sem medições	53,800	214,055
fev/08	Intermediária seca-cheia (Verão)	333,960	208,500	352,000	492,000	1.008,446
mai/08	Cheia (Verão)	749,519	545,000	971,000	1.078,944	2.032,386

Fonte: Organizada pelos autores (2024).

A vazão do rio principal e seus afluentes foram obtidos por meio de PCD, a partir das séries históricas hidrometeorológicas de cada estação. Estes dados são encontrados no Sistema de Informações Hidrológicas (HIDROWEB) da Agência Nacional de Águas (ANA) (Tabela 2). Destas, apenas quatro PCD hidrológicas estão localizadas no canal principal, a outra se localiza no rio Falsino.

Tabela 2 - Coordenadas geográficas dos locais de amostragem

Ponto de Amostragem	Distância (km)	Coordenadas geográficas	
P1	159,16	0°55'47.70"N	51°36'33.48"W
P2	157,16	0°55'54.48"N	51°35'37.20"W
P3	140,22	0°48'24.00"N	51°36'37.80"W
P4	125,86	0°43'51.96"N	51°33'21.54"W
P5	124,08	0°43'17.30"N	51°32'37.30"W
P6	120,70	0°44'12.18"N	51°31'12.48"W
P7	110,37	0°43'3.70"N	51°27'15.40"W
P8	101,73	0°44'2.88"N	51°23'7.50"W
P9	93,27	0°46'47.40"N	51°20'30.96"W
P10	82,23	0°51'11.88"N	51°17'22.92"W
P11	79,74	0°52'17.46"N	51°16'35.34"W
P12	77,97	0°53'13.20"N	51°16'21.78"W
P13	76,57	0°53'36.72"N	51°17'0.60"W

P14	75,66	0°53'53.16"N	51°16'35.94"W
P15	60,56	0°51'44.52"N	51°10'52.80"W
P16	57,94	0°51'58.92"N	51°9'29.40"W
P17	49,10	0°50'0.06"N	51°6'19.26"W
P18	39,23	0°51'45.42"N	51°2'18.60"W
P19	33,24	0°54'22.74"N	51°1'23.52"W
P20	26,54	0°57'9.42"N	50°59'18.12"W
P21	16,78	0°59'23.64"N	50°55'54.66"W
P22	7,68	0°57'32.04"N	50°52'18.66"W
P23	0,00	0°58'24.90"N	50°48'35.94"W

Fonte: Organizada pelos autores (2024).

A escolha dos métodos, materiais e reagentes necessários para a coleta, transporte, conservação e análises das amostras, bem como para selecionar os equipamentos que foram transportados para os locais de amostragem, foram consultados de manuais e materiais bibliográficos adaptados do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1999). A execução das campanhas de amostragem seguiu a sazonalidade da região (Tabela 1). As coletas no rio Araguari obedeceram a um cronograma baseado na sazonalidade local, onde existem dois períodos bem distintos, chuvoso e estiagem. Com base na sazonalidade, a amostragem variou espacial e temporalmente ao longo do rio. Este tipo de amostragem é chamado de intermitente, onde se deve escolher a distância e o tempo de coleta de acordo com a necessidade (APHA, 1999).

Os parâmetros pH, oxigênio dissolvido e temperatura da água foram obtidos no local da coleta com equipamentos de medida em campo. Para os demais parâmetros a amostragem foi manual, no centro do canal, em aproximadamente 50 cm de profundidade. Estes parâmetros foram coletados em frascos apropriados, enxaguados três vezes com a própria amostra, rotulados e acondicionados em cuba térmica com gelo para o transporte, sendo refrigerados à temperatura inferior a 4 °C para posterior análises em laboratório (APHA, 1999).

A preservação da amostra é necessária durante o intervalo que geralmente existe entre a coleta e a realização da análise (Tabela 3). Assim, adotam-se alguns métodos para retardar a ação biológica, a hidrólise, a complexação e a volatilização de certos componentes, bem como, os efeitos de absorção e preservação de organismos. Evitando-se ou minimizando-se as alterações morfológicas e fisiológicas (MACÊDO, 2003).

Tabela 3 - Prazo de validade das amostras de água

Parâmetro	Validade
Cloretos ¹	28 dias
Condutividade ²	28 dias
Cor ¹	24 horas
Demanda Bioquímica de Oxigênio ²	24 horas
Nitrato ¹	24 horas
Nitrito ¹	48 horas
Sólidos Suspensos ¹	7 dias
Sólidos Totais Dissolvidos ²	2 dias
Turbidez ²	24 horas

Fonte: ¹(HACH COMPANY, 2005); ²(BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

Neste estudo foram determinados seis parâmetros físicos: a condutividade, a cor, os sólidos suspensos, os sólidos totais dissolvidos, a temperatura da água e a turbidez. Para medir a condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos, utilizou-se o condutivímetro sension5 da HACH. Para determinar a cor das amostras, foi utilizado o método padrão de platina-cobalto, adaptado do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Para determinar a quantidade de sólidos suspensos no rio, foi utilizado o método fotométrico, adaptado das análises de efluentes de esgotos e águas residuárias industriais. Para medir a temperatura da água no rio, foi utilizado o pHmetro Orion 3 Star, introduzido na coluna d'água do rio a uma profundidade de aproximadamente 50 cm. Para determinar a turbidez nas amostras foi utilizado o método Nefelométrico, o turbidímetro utilizado foi o AP2000 da Casa Americana.

Foram medidos nove parâmetros químicos nesse estudo, sendo eles, o Potencial Hidrogeniônico (pH) como indicador de poluição de qualquer espécie; a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), o Oxigênio Dissolvido (OD), o Cl⁻, a Amoníaco, gás amoníaco ou amônia (NH₃), o íon nitrato (NO³⁻), o PT como indicadores de poluição orgânica. Os metais Al³⁺ e Fe³⁺ são considerados indicadores de poluição inorgânica. A contaminação bacteriana foi indicada pelos coliformes termotolerantes.

Para determinar a concentração de alumínio dissolvido nas amostras coletadas no rio Araguari, foi utilizado o método do aluminon; para encontrar a concentração de cloreto, foi utilizado o método de MOHR (titulometria); para a concentração de ferro nas amostras coletadas no rio foi utilizado o método ferover; para a concentração de fósforo na água do rio, foi utilizado o método do Ácido Ascórbico (PhosVer 3); para a concentração do nitrogênio amoniacal, foi utilizado o método de Nessler e; para a concentração do nitrogênio na forma de nitrato, foi utilizado o método de redução de cádmio. Todos os métodos acima foram adaptados do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

Para determinar o pH foi utilizado o Método Potenciométrico com pHmetro Orion 3 Star, para determinar a demanda bioquímica de oxigênio nas amostras, foi utilizado o método da incubação por cinco dias. Esse teste, baseia-se na determinação de OD. Conseqüentemente, a exatidão do resultado é influenciada grandemente pelo cuidado na medida do OD.

Para determinar a concentração de OD no rio, foram utilizados os dois métodos mais usados hoje em dia, o iodométrico ou de Winkler e o eletroquímico. Nas coletas de junho, agosto e novembro de 2007, foi utilizado o método de Winkler modificado pela Azida Sódica e nas coletas de fevereiro e junho de 2008, foi utilizado o oxímetro modelo 55 da marca YSI. Para confirmar as medidas feitas pelo oxímetro é necessário montar uma curva de calibração para o equipamento. Em alguns pontos foram realizadas, simultaneamente, medidas de OD com o oxímetro e pelo método tradicional ou de Winkler. A partir dessas medidas, plotou-se um gráfico relacionando esses dados (Figura 2).

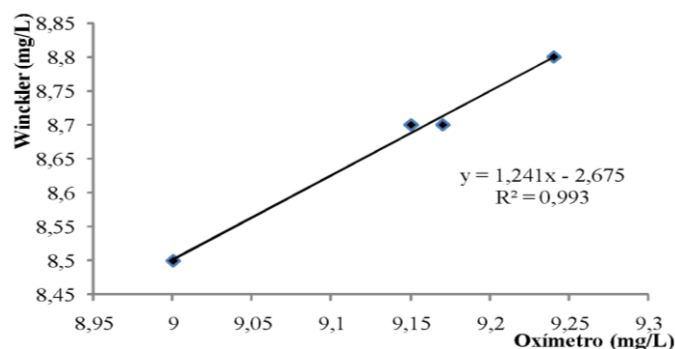


Figura 2 - Curva de calibração para o oxímetro
Fonte: Organizada pelos autores (2024).

A água contém uma série de microorganismos, alguns naturais do ecossistema aquático e outros, microorganismos transitórios, provenientes do solo e de dejetos industriais e domésticos (SILVA, 1999). Quando um rio recebe esgoto, passa a ter outros tipos de bactérias que não são naturais da água e podem causar doenças às pessoas e aos animais que a consumirem. Para determinar a concentração de coliformes termotolerantes nas amostras foi utilizado o método dos tubos múltiplos (APHA, 1999).

Para auxiliar na interpretação e discussão dos resultados foram utilizados testes estatísticos não-paramétricos, uma vez que as variáveis estudadas não apresentaram distribuição normal e, a maioria dos sítios amostrais analisados apresenta dependência entre si. A normalidade dos dados foi verificada por meio da execução do teste de normalidade de Shapiro Wilk. Como os dados não apresentaram distribuição normal, optou-se por usar testes não paramétricos, sem a transformação dos dados.

Todas as análises foram conduzidas no sistema computacional R-project (RIPLEY, 2001) sendo adotado um coeficiente de confiança de 95% ou, quando conveniente, 99%. Para avaliar a hipótese de variação significativa espaço-sazonal das variáveis ambientais utilizou-se o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Os testes foram considerados com diferença significativa para valores de $p < 0,05$ ou, quando necessário $p < 0,01$

Apresentação e Discussão dos Resultados

Para a caracterização desse trecho do corpo hídrico foram analisados, tanto em campo quanto em laboratório, 16 parâmetros da qualidade da água em cada uma das 23 seções de coleta, nos 160 km do rio em cinco campanhas de campo no período de dois anos. Todos os parâmetros foram homogêneos espacialmente no curso do rio, isto é, não sofreram variabilidade durante a coleta. Porém, todos sofreram variabilidade sazonal significativa, com exceção dos coliformes termotolerantes ($p = 0,28$).

As principais variações de condutividade foram encontradas nos afluentes do canal principal. As influências ocorreram de forma inversa. No rio Falsino a condutividade caiu nas cinco coletas de campo, no rio Amapari ela aumentou (Figura 3). Isso mostrou a influência poluidora deste afluente e o poder de diluição no rio Araguari, que voltou aos níveis normais de condutividade após a diluição realizada. Aparentemente, nas cidades ao longo do rio, a variação foi pequena, sem grandes influências na qualidade da água para este parâmetro. Após a barragem ocorreu uma pequena diminuição na condutividade, com exceção da coleta do mês de agosto de 2007.

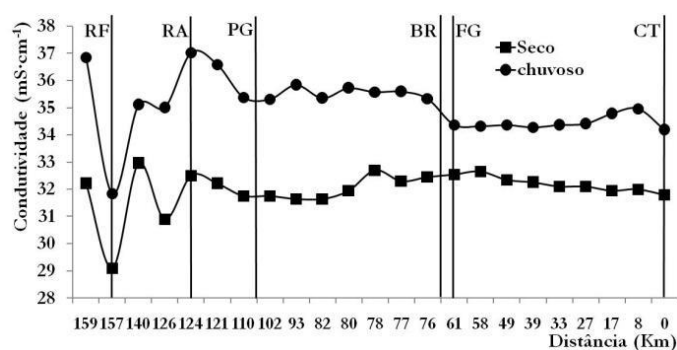


Figura 3 - Variações da condutividade da água no trecho em estudo

(As linhas verticais no corpo do gráfico indicam locais no trecho do rio e as siglas significam: RF = Rio Falsino; RA = Rio Amapari; PG = Cidade de Porto Grande; BR = Barragem da Hidrelétrica Coaracy Nunes; FG = Cidade de Ferreira Gomes e CT = Cidade de Cutias).

Fonte: Organizada pelos autores (2024).

O menor valor obtido foi de $13,70 \mu\text{Scm}^{-1}$ no início do período de seca, dentro do rio Falsino e o maior valor obtido foi de $18,88 \mu\text{Scm}^{-1}$ no início do período de cheia no começo do trecho. Isso indicou que o período chuvoso aumentou a concentração de íons em solução no rio pelo carreamento de sais do solo pelas águas da chuva. Isso pôde ser percebido na diferença dos valores

de condutividade entre o período chuvoso, fevereiro, maio e junho, com média de $17,53 \mu\text{Scm}^{-1}$ e o período seco, agosto e novembro, com média de $16,0 \mu\text{Scm}^{-1}$ ($p = 7,24 \times 10^{-15}$). Apesar de ser uma diferença pequena, indicou maior concentração do constituinte no período chuvoso.

A resolução do CONAMA nº 357/05 não estabelece padrões para a condutividade. Porém, somente valores acima de $1000 \mu\text{Scm}^{-1}$ são considerados indesejáveis para águas superficiais. Assim, o rio Araguari está bem em relação a esse parâmetro, pois sua condutividade está muito abaixo deste valor. O CONAMA, em sua resolução nº 357/05, estabelece como padrão limite para cor em rios de classe 2, o valor de $75 \text{ mg Pt-CoL}^{-1}$.

A maioria das medidas feitas nas cinco coletas está acima deste valor (Figura 4). Isso indica que os elevados valores de cor encontrados no rio Araguari são devido ao seu solo com grande concentração de minérios de ferro e manganês (ECOTUMUCUMAQUE, 2008). Assim, o rio Araguari atravessa grandes extensões de florestas nativas, onde ocorre a decomposição dos restos de vegetais que formam os ácidos húmicos ou taninos. Essas duas condições são os principais agentes que dão cor à água e seu elevado valor pode ser de origem natural.

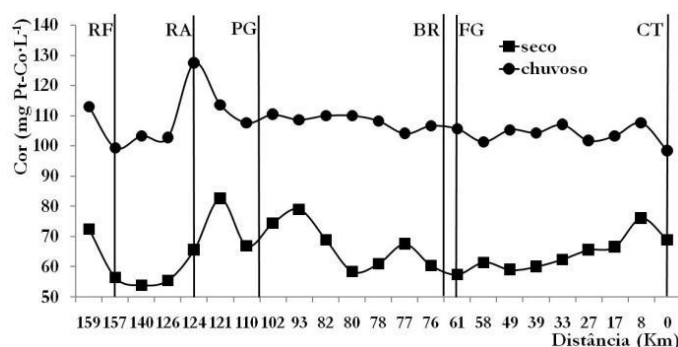


Figura 4 - Variações da cor da água no trecho em estudo

(As linhas verticais no corpo do gráfico indicam locais no trecho do rio e as siglas significam: RF = Rio Falsino; RA = Rio Amapari; PG = Cidade de Porto Grande; BR = Barragem da Hidrelétrica Coaracy Nunes; FG = Cidade de Ferreira Gomes e CT = Cidade de Cutias).

Fonte: Organizada pelos autores (2024).

Percebeu-se nas variações desse parâmetro a influência expressiva da sazonalidade no trecho, no qual a média observada no período chuvoso foi de $106,94 \text{ mg Pt-CoL}^{-1}$ e no período seco foi de $65,26 \text{ mg Pt-CoL}^{-1}$ ($p = 2,2 \times 10^{-16}$). Podemos considerar que, no período chuvoso, as águas que são drenadas para os rios arrastam grandes quantidades das substâncias que dão cor à água, as quais são muito encontradas nesta região. Infere-se porque os maiores valores ocorreram no mês de fevereiro, período do início das altas precipitações na região, tendo em média $119,74 \text{ mg Pt-CoL}^{-1}$.

A sazonalidade da região influenciou diretamente os sólidos em suspensão, como indica a Figura 5. No período chuvoso, a média observada ficou em $6,57 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ e no período de estiagem

ficou em $2,48 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ($p = 4,27 \times 10^{-15}$). Novamente, temos as chuvas como responsáveis pelo carregamento dos sólidos para dentro do rio.

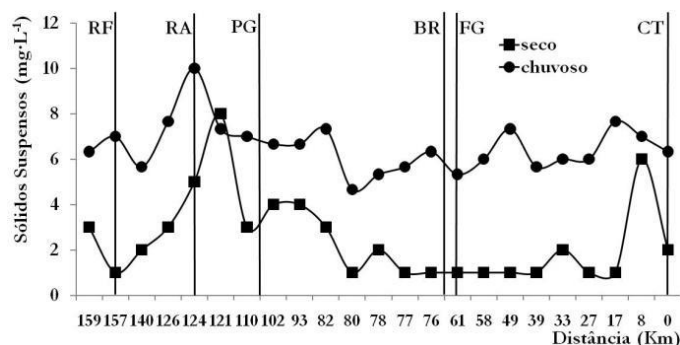


Figura 5 - Variações dos sólidos suspensos na água no trecho em estudo

(As linhas verticais no corpo do gráfico indicam locais no trecho do rio e as siglas significam: RF = Rio Falsino; RA = Rio Amapari; PG = Cidade de Porto Grande; BR = Barragem da Hidrelétrica Coaracy Nunes; FG = Cidade de Ferreira Gomes e CT = Cidade de Cutias).

Fonte: Organizada pelos autores (2024).

Duas características das medidas realizadas ficam claras na análise da figura. A primeira foi que o rio Amapari despeja quantidades consideráveis de sólidos suspensos no canal principal, confirmando sua condição de maior fonte poluidora do rio Araguari. A segunda foi que ocorreu diminuição da concentração dos sólidos suspensos dentro do reservatório e no restante do trecho após a barragem. Isso pôde ter ocorrido devido ao trecho anterior ao reservatório ser bastante turbulento, apresentando várias corredeiras, fazendo com que os sólidos permanecessem em suspensão e o trecho a partir do reservatório seja mais lântico.

Para os sólidos totais dissolvidos foi usado o mesmo equipamento de medida da condutividade. Neste foram configurados os valores dos sólidos totais dissolvidos como a metade do valor da condutividade. Então, as considerações feitas no item sobre condutividade, podem ser estendidas para este parâmetro.

A resolução nº 357/05 do CONAMA estabelece o padrão máximo para concentração de sólidos totais dissolvidos (STD) em $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para rios de classe 2. Portanto, as condições do rio Araguari para esse parâmetro estão muito boas, pois suas medidas foram muito abaixo deste valor, no qual o valor máximo encontrado foi de $9,40 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Figura 6).

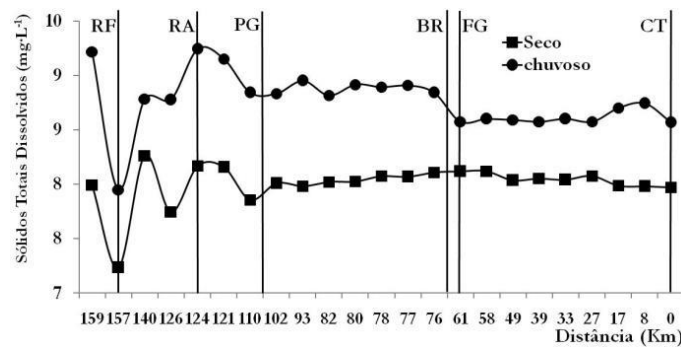


Figura 6 - Variações dos sólidos totais dissolvidos na água no trecho em estudo (As linhas verticais no corpo do gráfico indicam locais no trecho do rio e as siglas significam: RF = Rio Falsino; RA = Rio Amapari; PG = Cidade de Porto Grande; BR = Barragem da Hidrelétrica Coaracy Nunes; FG = Cidade de Ferreira Gomes e CT = Cidade de Cutias).
Fonte: Organizada pelos autores (2024).

A excelente condição dos STD indica que no trecho em estudo os problemas ambientais causados pelo desmatamento e mineração, como a erosão e o assoreamento ainda não estão refletidos neste trecho do rio. Porém, na sua foz estes problemas ambientais se apresentam de forma clara, pois já se encontra bastante assoreada. A temperatura da água é um tanto quanto difícil de analisar, pois as medidas não ocorreram simultaneamente, e sim no decorrer de dois dias consecutivos e em horários não coincidentes em cada campanha de campo. E a água, devido ao seu alto calor específico, varia sua temperatura lentamente em relação à temperatura do ar. Portanto, a sua temperatura tende a aumentar durante o dia, ainda que essas variações sejam pequenas, como ocorreu neste estudo (Figura 7).

Mesmo assim, pudemos perceber algumas características da temperatura ao longo do rio. Sazonalmente, pudemos distinguir que no período chuvoso a temperatura foi menor que no período de estiagem, tendo como média 26,2 °C e 28,6 °C, respectivamente ($p = 2,2 \times 10^{-16}$). Isso se deve ao fato de que na fase chuvosa a temperatura do ar é menor que na fase seca (ECOTUMUCUMAQUE, 2008).

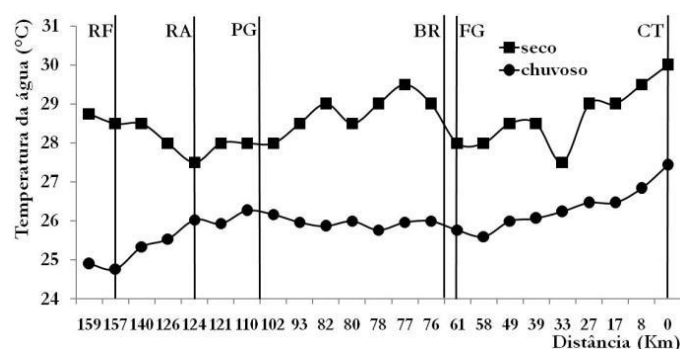


Figura 7 - Variações da temperatura da água ao longo do trecho em estudo (As linhas verticais no corpo do gráfico indicam locais no trecho do rio e as siglas significam: RF = Rio Falsino; RA = Rio Amapari; PG = Cidade de Porto Grande; BR = Barragem da Hidrelétrica Coaracy Nunes; FG = Cidade de Ferreira Gomes e CT = Cidade de Cutias).
Fonte: Organizada pelos autores (2024).

Assim, a elevação da temperatura, na direção da nascente para a foz, reflete mais os momentos da variação horária das medidas do que realmente o que ocorre no rio. Na verdade, pelo fato de o volume de água crescer na direção de montante para jusante, a tendência normal dos gráficos deveria ser de diminuição da temperatura, caso as amostras fossem todas coletadas nos mesmos horários. Um exemplo disso seria raciocinar sobre o fato de que a energia solar que aquece a superfície d'água penetra apenas poucos metros na lâmina d'água. Nos trechos de jusante, com águas mais profundas, esse aquecimento não ocorreria. Portanto, a tendência deveria ser a inversa.

A resolução nº 357/05 do CONAMA estabelece como padrão para turbidez o valor máximo de 100 UNT para rios de classe 2. As medidas realizadas no trecho em estudo variaram de 1 UNT a 30 UNT ($p = 5 \times 10^{-9}$), bem abaixo do valor máximo estipulado pela resolução (Figura 8). Mais um importante parâmetro que indicou o bom estado de conservação do rio Araguari.

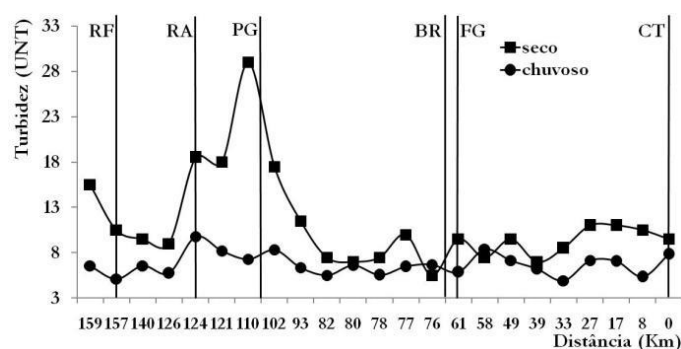


Figura 8 - Variações da turbidez na água ao longo do trecho em estudo

(As linhas verticais no corpo do gráfico indicam locais no trecho do rio e as siglas significam: RF = Rio Falsino; RA = Rio Amapari; PG = Cidade de Porto Grande; BR = Barragem da Hidrelétrica Coaracy Nunes; FG = Cidade de Ferreira Gomes e CT = Cidade de Cutias).

Fonte: Organizada pelos autores (2024).

Os picos de turbidez no ponto 7 (Figura 8), nos meses de agosto e novembro de 2007, atingiram 30 e 28 UNT, respectivamente. Podem ter sido ocasionados pela extração de seixo do fundo do rio que ocorreu logo à montante deste ponto. Além disso, os valores tornaram-se ainda mais acentuados por se tratar do período de estiagem, em que o volume de água do rio diminui e os processos de difusão e advecção levam um pouco mais de tempo para dispersar essa carga ao longo do rio. Tanto que os valores só voltam ao patamar normal quase dentro do reservatório, a aproximadamente 30 km de distância.

Os parâmetros relacionados com a turbidez, tais como os sólidos e a condutividade, também sofreram aumento dos seus valores nos pontos próximos a esta região no período seco. Também, para este parâmetro, foi percebida a influência do rio Amapari contribuindo com o aumento da carga de turbidez no canal principal. No rio Falsino, a redução da turbidez foi claramente percebida.

Então, novamente, vemos as interferências antagônicas dos principais afluentes do médio rio Araguari.

A resolução nº 357/05 do CONAMA estabelece como valor máximo permitido $0,1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de alumínio dissolvido nas águas de um rio de classe 2. Esse valor máximo só está enquadrado no período de estiagem, cuja média ficou em torno de $0,063 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Figura 9). Nos demais períodos sua concentração infringe a resolução, principalmente no mês de fevereiro de 2008, em que se verificou a maior média de concentração em $0,249 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ($p = 2,62 \times 10^{-16}$).

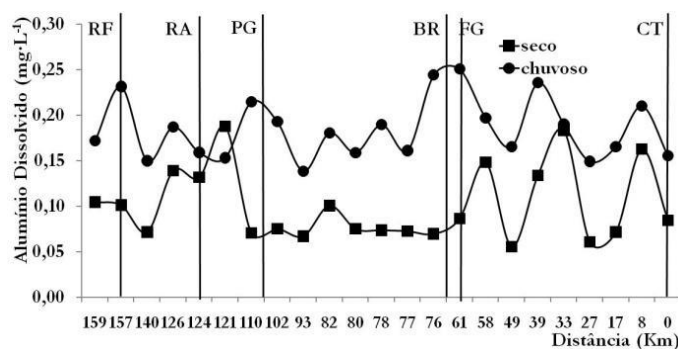


Figura 9 - Variações da concentração de alumínio dissolvido na água no trecho em estudo (As linhas verticais no corpo do gráfico indicam locais no trecho do rio e as siglas significam: RF = Rio Falsino; RA = Rio Amapari; PG = Cidade de Porto Grande; BR = Barragem da Hidrelétrica Coaracy Nunes; FG = Cidade de Ferreira Gomes e CT = Cidade de Cutias).
Fonte: Organizada pelos autores (2024).

Esse aumento de concentração no período chuvoso é justificável porque a chuva arrasta para o leito do rio os mais variados minerais, principalmente o alumínio (ECOTUMUCUMAQUE, 2008). Esse arraste ocorre com maior intensidade nos primeiros meses de chuva entre dezembro e fevereiro.

O cloreto é mais um parâmetro no qual a sazonalidade ($p = 2,4 \times 10^{-16}$) da região influenciou diretamente sua concentração (Figura 10). A média das medidas no período de estiagem ficou em $14,64 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, tendo o rio Amapari como principal colaborador desse aumento no início do trecho. Já no período chuvoso a média reduziu quase pela metade. Ficou em $7,98 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Esse aumento no período seco deve ter ocorrido devido às excretas humanas apresentarem sempre cloretos em sua composição. Nessa região todos os dejetos são lançados diretamente no rio ao longo do ano. Como no período seco diminui o volume de água, então, aumentou a concentração desse parâmetro.

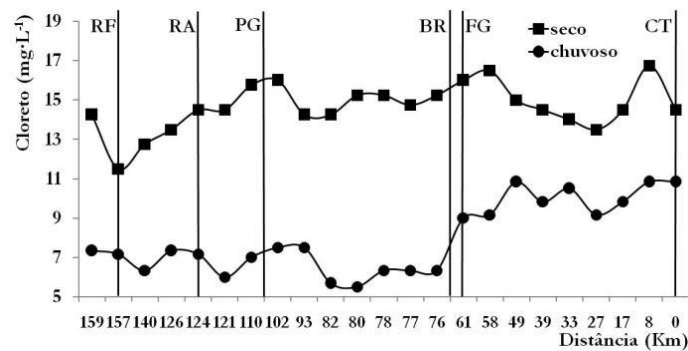


Figura 10 - Variações da concentração de cloreto na água no trecho em estudo

(As linhas verticais no corpo do gráfico indicam locais no trecho do rio e as siglas significam: RF = Rio Falsino; RA = Rio Amapari; PG = Cidade de Porto Grande; BR = Barragem da Hidrelétrica Coaracy Nunes; FG = Cidade de Ferreira Gomes e CT = Cidade de Cutias).

Fonte: Organizada pelos autores (2024).

Esse aumento no período seco deve ter ocorrido devido às excretas humanas apresentarem sempre cloretos em sua composição. Nessa região todos os dejetos são lançados diretamente no rio ao longo do ano. Como no período seco diminui o volume de água, então, aumentou a concentração desse parâmetro. Ainda assim as medidas indicaram que a qualidade das águas do rio está boa, em relação a este parâmetro, pois a resolução nº 357/05, do CONAMA estabelece como limite máximo para a concentração de cloretos nas águas o valor de $250 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, muito acima dos valores encontrados neste estudo, no rio Araguari.

A resolução nº 357/05 do CONAMA estabelece como limite máximo de concentração para DBO até $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para rios de classe 2. A DBO é um dos principais indicadores de poluição nas águas de um rio, então as medidas no rio Araguari feitas neste estudo mostraram novamente sua boa condição em relação a mais um parâmetro, visto que suas medidas variaram desde 0,4 até $3,6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ($p = 1,85 \times 10^{-7}$), bem abaixo do valor estipulado pela resolução acima citada (Figura 11).

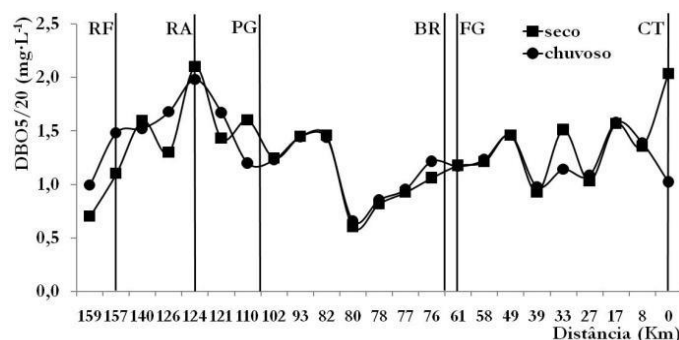


Figura 11 - Variações da concentração de DBO na água no trecho em estudo

(As linhas verticais no corpo do gráfico indicam locais no trecho do rio e as siglas significam: RF = Rio Falsino; RA = Rio Amapari; PG = Cidade de Porto Grande; BR = Barragem da Hidrelétrica Coaracy Nunes; FG = Cidade de Ferreira Gomes e CT = Cidade de Cutias).

Fonte: Organizada pelos autores (2024).

O rio Amapari novamente apareceu como principal colaborador da carga de DBO no rio principal. Porém, dessa vez, o rio Falsino, em menor proporção, também contribuiu para o aumento da concentração da DBO no rio Araguari. A região do estado que foi estudada, tem como principal empreendimento a mineração de ouro, ferro e manganês. E sabendo-se que os rios refletem as características dos solos regionais, era de se esperar uma elevada concentração de ferro nas águas do rio Araguari.

A resolução nº 357/05 do CONAMA estipula como padrão máximo a concentração de 0,3 mg·L⁻¹ de ferro dissolvido nas águas de rio. O rio Amapari contribui com significativa elevação nos níveis de ferro (Figura 12), pois nele se encontram os grandes projetos de mineração de ferro, tendo sido encontrada neste ponto a maior concentração de ferro de todas as campanhas, o valor foi de 0,85 mg·L⁻¹ de ferro dissolvido. A média de junho de 2008 (período chuvoso) ficou em 0,608 mg·L⁻¹ e a média de agosto (início do período seco) ficou em 0,097 mg·L⁻¹ (p = 2,2x10⁻¹⁶). Indicando mais uma vez a influência das chuvas nas elevações das concentrações dos constituintes da qualidade das águas.

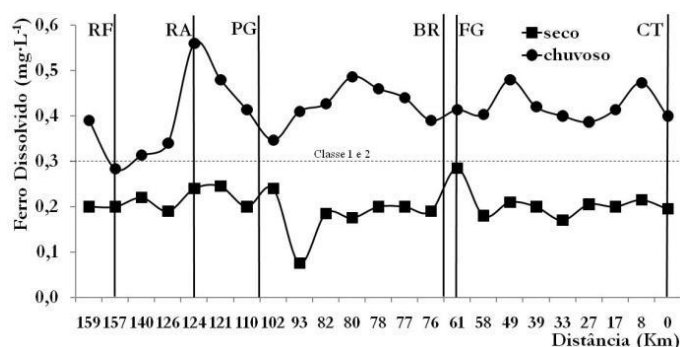


Figura 12 - Variações da concentração de Ferro dissolvido na água no trecho em estudo (As linhas verticais no corpo do gráfico indicam locais no trecho do rio e as siglas significam: RF = Rio Falsino; RA = Rio Amapari; PG = Cidade de Porto Grande; BR = Barragem da Hidrelétrica Coaracy Nunes; FG = Cidade de Ferreira Gomes e CT = Cidade de Cutias).
Fonte: Organizada pelos autores (2024).

Como era esperado, a maioria das amostras para os pontos de coleta mostrou uma concentração acima do estipulado pela resolução, com média igual a 0,33 mg·L⁻¹. Essa elevada concentração de ferro influenciou diretamente os valores da cor do rio.

A medida do fósforo é fundamental para subsidiar estudos em ecologia, principalmente sua influência sobre as algas na região. As concentrações de fósforo (Figura 13) não indicaram grande aporte desse nutriente no rio ou características de eutrofização no reservatório. Oliveira (2006) considerou que o trecho estudado por Bárbara (2006) é classificado como oligotrófico. Isto significa que o trecho contém poucos nutrientes e sustenta uma pequena quantidade de biomassa (MENZEL, 1989).

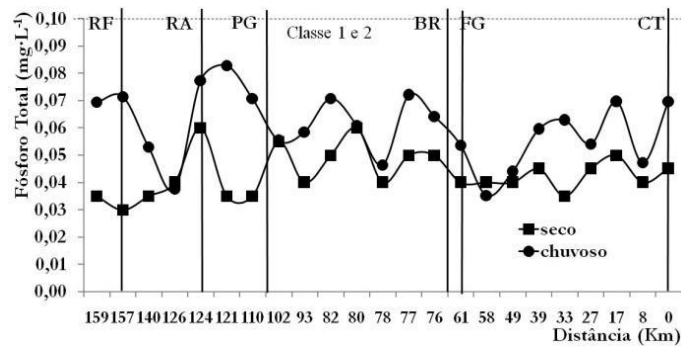


Figura 13 - Variações da concentração de Fósforo Total na água no trecho em estudo (As linhas verticais no corpo do gráfico indicam locais no trecho do rio e as siglas significam: RF = Rio Falsino; RA = Rio Amapari; PG = Cidade de Porto Grande; BR = Barragem da Hidrelétrica Coaracy Nunes; FG = Cidade de Ferreira Gomes e CT = Cidade de Cutias).
Fonte: Organizada pelos autores (2024).

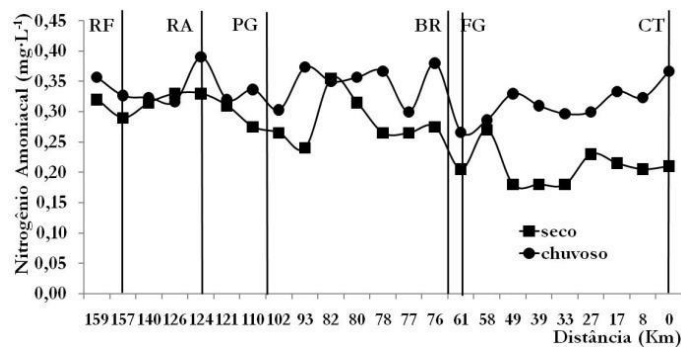


Figura 14 - Variações da concentração de nitrogênio amoniacal na água no trecho em estudo
Fonte: Organizada pelos autores (2024).

As linhas verticais no corpo do gráfico indicam locais no trecho do rio e as siglas significam: RF = Rio Falsino; RA = Rio Amapari; PG = Cidade de Porto Grande; BR = Barragem da Hidrelétrica Coaracy Nunes; FG = Cidade de Ferreira Gomes e CT = Cidade de Cutias.

Apesar de alguns picos de concentração, a maioria das medidas ficou abaixo dos padrões. Aqui novamente o rio Amapari apresentou-se como o maior contribuinte no aporte deste parâmetro, neste rio, foi encontrado o maior valor da concentração: 0,16 mg·L⁻¹ de fósforo. E o valor mínimo encontrado foi de 0,01 mg·L⁻¹ ($p = 8,62 \times 10^{-7}$), no início do reservatório. Os valores de fósforo total, encontrados no trecho em estudo, estão na maioria abaixo do padrão estabelecido pela resolução nº 357/05 do CONAMA, a qual estipula para ambientes lóticos, como é o caso do rio Araguari, o valor de 0,1 mg·L⁻¹.

Observou-se, também, que alguns valores medidos em junho de 2007 estão acima dos padrões. Eles necessitam de atenção e a explicação requer estudos especializados para encontrar a causa de tais ocorrências. Principalmente porque as medidas realizadas em junho de 2008 não repetiram valores acima dos padrões.

Os níveis de concentração de nitrogênio amoniacal no rio ficaram satisfatoriamente abaixo dos padrões estabelecidos pela resolução nº 357/05 do CONAMA, a qual estipula 3,7 mg·L⁻¹ como limite máximo. Sua maior concentração foi de apenas 0,52 mg·L⁻¹ e a mínima de 0,17 mg·L⁻¹ ($p = 1,57 \times 10^{-10}$). Observou-se também neste parâmetro, o bom estado de conservação do rio Araguari (Figura 14).

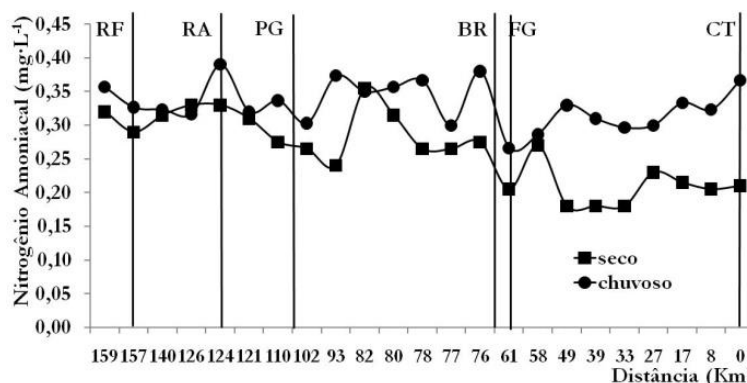


Figura 14 - Variações da concentração de nitrogênio amoniacal na água no trecho em estudo

Fonte: Organizada pelos autores (2024).

(As linhas verticais no corpo do gráfico indicam locais no trecho do rio e as siglas significam: RF = Rio Falsino; RA = Rio Amapari; PG = Cidade de Porto Grande; BR = Barragem da Hidrelétrica Coaraci Nunes; FG = Cidade de Ferreira Gomes e CT = Cidade de Cutias).

O rio Amapari, novamente, colaborou com algumas das maiores cargas encontradas no trecho, sendo a maior influência nos meses de junho e agosto de 2007. O reservatório influenciou bastante este parâmetro nos meses de junho e agosto de 2007 e fevereiro de 2008, elevou suas concentrações em relação ao restante do trecho. A jusante da represa observou-se tendência de diminuição da concentração deste parâmetro.

A concentração de nitrato, neste trecho do rio Araguari, segue a tendência do que ocorre naturalmente em águas superficiais quando há bom nível de conservação (Figura 15). Sua concentração máxima ficou em 1,4 mg·L⁻¹ e sua mínima ficou em 0 mg·L⁻¹ ($p = 1,1 \times 10^{-7}$). O valor médio das medições ficou mais próximo do valor mínimo, próximo de 0,3 mg·L⁻¹. Devido o valor máximo medido ter sido um pico de concentração em frente a cidade de Cutias no mês de junho de 2008, provavelmente, ocasionada por algum tipo de poluição.

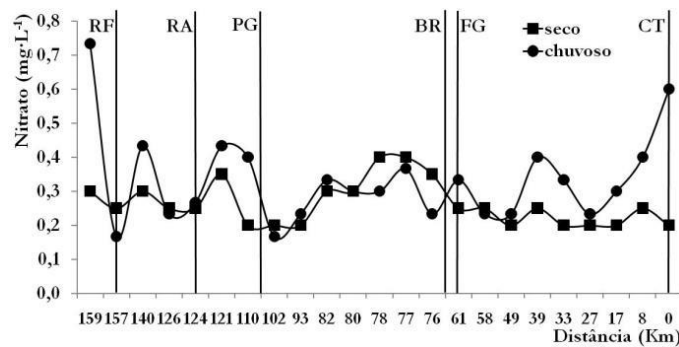


Figura 15 - Variações da concentração de nitrato na água no trecho em estudo

Fonte: Organizada pelos autores (2024).

(As linhas verticais no corpo do gráfico indicam locais no trecho do rio e as siglas significam: RF = Rio Falsino; RA = Rio Amapari; PG = Cidade de Porto Grande; BR = Barragem da Hidrelétrica Coaracy Nunes; FG = Cidade de Ferreira Gomes e CT = Cidade de Cutias).

O oxigênio dissolvido é o indicador mais importante da qualidade da água. As medidas de campo realizadas neste estudo mostraram o bom nível do oxigênio dissolvido no rio Araguari, sempre acima do padrão mínimo estabelecido pela resolução nº 357/05 do CONAMA, que é de 5 mg·L⁻¹ (Figura 16).

A média das observações ficou em torno de 7,07 mg·L⁻¹ ($p = 2,95 \times 10^{-7}$). Observou-se uma acentuada queda da concentração de OD em três pontos ao longo do trecho: no rio Amapari, com exceção de novembro de 2007; a jusante da cidade de Porto Grande, bem pronunciada no mês de novembro de 2007, período mais seco do ano e logo a montante da cidade de Cutias. Neste local, no mês de novembro de 2007, foi encontrado o valor mínimo medido nas coletas, de 5,2 mg·L⁻¹.

Essas influências indicaram potenciais fontes de poluição sendo lançadas no rio, consumindo oxigênio independentemente da sazonalidade, pois ocorre ao longo do ano todo. Pode-se inferir, que estas quedas na concentração de OD estejam relacionadas à bubalinocultura, muito comum nas margens deste rio a partir da barragem.

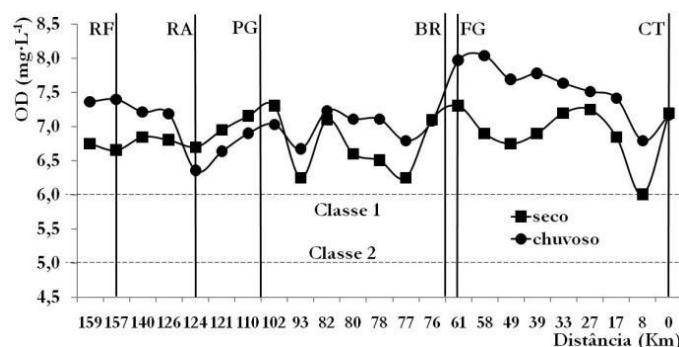


Figura 16 – Variações da concentração de oxigênio dissolvido na água no trecho em estudo

Fonte: Organizada pelos autores (2024).

As linhas verticais no corpo do gráfico indicam locais no trecho do rio e as siglas significam: RF = Rio Falsino; RA = Rio Amapari; PG = Cidade de Porto Grande; BR = Barragem da Hidrelétrica Coaracy Nunes; FG = Cidade de Ferreira Gomes e CT = Cidade de Cutias.

No reservatório notou-se uma pequena queda na concentração de OD, mas a influência da barragem para este parâmetro é positiva, pois os valores medidos logo a jusante da barragem sofreram forte aumento, principalmente no período chuvoso, indicando a influência dos vertedouros. Nesse período, estes são abertos para controlar o nível de água no reservatório e a água precipita de uma altura aproximada de 10 metros, sendo bem misturada, inclusive com o ar atmosférico, promovendo uma super reaeração.

Observou-se, também, que no período seco este aumento é menos pronunciado, principalmente porque, pelos vertedouros, diminui o fluxo de água. A água passa apenas pelas turbinas da barragem, ocasionando uma menor reaeração.

A jusante da barragem da UHECN, foi encontrado o valor máximo medido de 8,2 mg·L⁻¹. Percebe-se que a partir desse forte aumento, o rio começa a diminuir os níveis de OD, adquirindo tendência de queda até o final do trecho, sem atingir concentrações abaixo de 5 mg·L⁻¹, alcançando o equilíbrio anterior.

As medições realizadas neste estudo, para pH, confirmaram a tendência de que os rios amazônicos são naturalmente ácidos (Figura 17). Por exemplo, o rio Falsino, um rio que só atravessa extensões de floresta, influenciou o pH do trecho para baixo. No mês de fevereiro, no início das chuvas na região, chegou ao valor de 5,88 ficando abaixo do limite mínimo estabelecido pela resolução nº 357/05 do CONAMA que é de 6,0. O valor máximo medido no trecho foi de 8,3 logo a jusante da barragem ($1,27 \times 10^{-11}$).

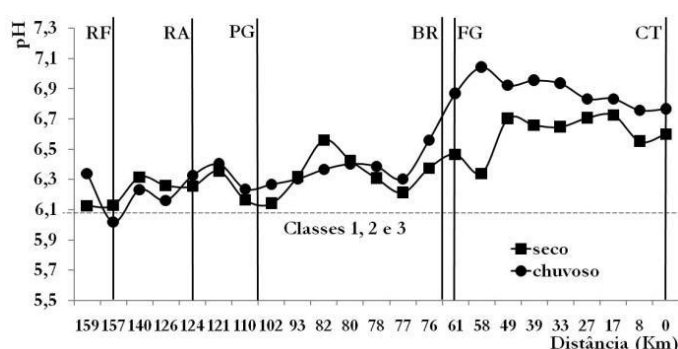


Figura 17 - Variações do potencial hidrogeniônico na água no trecho em estudo

Fonte: Organizada pelos autores (2024).

As linhas verticais no corpo do gráfico indicam locais no trecho do rio e as siglas significam: RF = Rio Falsino; RA = Rio Amapari; PG = Cidade de Porto Grande; BR = Barragem da Hidrelétrica Coaracy Nunes; FG = Cidade de Ferreira Gomes e CT = Cidade de Cutias.

Logo a jusante da barragem, percebeu-se aumento do pH. Quando a água flui pelos vertedouros sofre uma mistura intensa, modificando algumas de suas características, como foi explicado anteriormente. Fato que não ocorreu no mês de novembro de 2007 no período seco na região. Neste caso muitas vezes, devido ao menor volume de água no reservatório, os vertedouros

são totalmente fechados para controle de volume e somente escoam água pelas turbinas da barragem, tal como ocorreu também em fevereiro de 2008, no início das chuvas, em que muitas vezes ainda está sendo reabastecido o volume do reservatório.

Mesmo com a influência da barragem sobre o pH, o valor médio medido nas campanhas de campo ficou em 6,49, mostrando novamente características de boa conservação do rio. Observou-se, ainda, a perturbação nos valores do pH, desde o final do reservatório (próximo à barragem) até a última seção de coleta. Desta forma, podemos inferir com certa confiabilidade a importância dos impactos do reservatório e da barragem sobre este parâmetro.

Para melhorar a visualização gráfica dos dados de coliformes termotolerantes, já que os valores mínimos e máximos medidos nas coletas variaram de 20 até 3.000 NMP·100 mL⁻¹ respectivamente, foi relacionado o logaritmo das concentrações com a distância percorrida no trecho em estudo (Figura 18). Percebeu-se que a maioria das medidas obedeceu aos padrões estabelecidos pela resolução nº 357/05 do CONAMA, que estipula até 1.000 NMP·100 mL⁻¹ ou na base logarítmica 3,0, ficando na média em 480 NMP100 mL⁻¹ as medidas. Não houve variabilidade sazonal ($p = 0,2842$) e nem espacial ($p = 0,3172$) para este parâmetro.

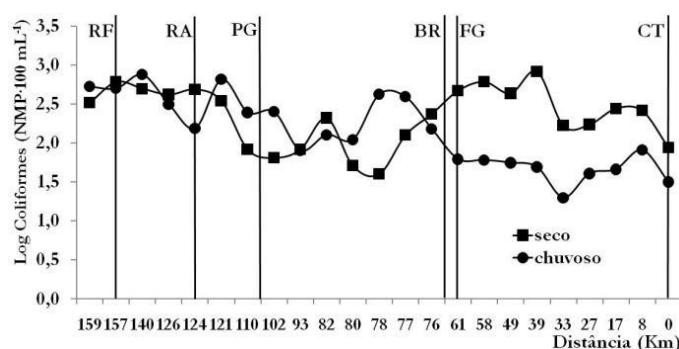


Figura 18 - Variações dos coliformes termotolerantes na água no trecho em estudo

Fonte: Organizada pelos autores (2024).

As linhas verticais no corpo do gráfico indicam locais no trecho do rio e as siglas significam: RF = Rio Falsino; RA = Rio Amapari; PG = Cidade de Porto Grande; BR = Barragem da Hidrelétrica Coaracy Nunes; FG = Cidade de Ferreira Gomes e CT = Cidade de Cutias.

A análise deste parâmetro pode ser influenciada pela presença de coliformes na água de origem natural. Porém, nestes picos de concentração não se pode descartar a influência de esgotos domésticos, principalmente no rio Amapari e a jusante das cidades de Porto Grande e Ferreira Gomes.

Considerações Finais

Foi observado que o rio tinha uma capacidade de diluição das cargas poluidoras em seu curso bastante considerável, pois a maioria das características químicas, físicas e biológicas do rio

Araguari se enquadram em rios de classe 2 da resolução nº 357/05 do CONAMA. Tomando como base o monitoramento realizado, verificou-se que o rio Amapari foi a principal influência degradativa na qualidade da água do rio Araguari. Ao longo do rio Amapari, devido à presença da BR-210 e dos projetos minerais, os índices de antropização são mais elevados. Neste rio foram encontradas as maiores variações negativas dos parâmetros analisados. Dentre elas pode-se citar: condutividade, sólidos suspensos, turbidez, fósforo, amônia, ferro e principalmente, o OD, DBO e coliformes termotolerantes.

Estes últimos são os mais importantes indicadores da qualidade da água de um corpo hídrico. Porém, pela observação dos resultados no monitoramento, notou-se a enorme capacidade autodepurativa que o rio Araguari possui, mesmo com as cargas despejadas em seu curso pelo Amapari. Verificou-se, ainda, que logo após a confluência com o rio Amapari suas características tendem a retornar aos níveis anteriores à entrada da carga, em um intenso trabalho de autodepuração.

Novamente, utilizando-se os dados do monitoramento, pode-se afirmar que o reservatório não causa interferências significativas na qualidade da água. Isto não era esperado, devido ao tempo de residência da água ser maior neste trecho. Contudo, é preciso considerar que a barragem funciona a fio d'água e foi observado que para a maioria dos parâmetros estudados, o reservatório demonstrou características similares ao restante do corpo hídrico. No trecho do reservatório, observou-se ligeiras diminuições nas quantidades de sólidos suspensos, turbidez e nas concentrações de OD. Também, notou-se leve aumento na concentração de amônia. Mas considerado normal, pois não ultrapassam os limites permitidos pela legislação.

Por sua vez, a partir do monitoramento, verificou-se que a barragem influenciou de forma considerável em dois dos parâmetros mais importantes para a caracterização do rio: o OD e o pH. Ambos refletem a influência da sazonalidade nas suas concentrações. A influência da barragem da UHECN na concentração de OD e no pH era previsível, devido à elevada turbulência que ocorre quando a água é vertida a partir do reservatório.

Neste processo ocorrem várias misturas, a principal delas é entre a água e o ar atmosférico, em um fenômeno chamado de reaeração atmosférica. Neste processo, a água absorve ou libera com mais eficiência os gases atmosféricos, dependendo do ponto de saturação dos gases dissolvidos na água, entre eles o gás oxigênio (O_2) e o gás carbônico (CO_2). O primeiro influencia a concentração de oxigênio dissolvido na água e o segundo influencia o pH. Todo esse processo descrito acima ocorre de forma mais acentuada no período chuvoso, quando o volume e as cargas de constituintes da água vertidos são maiores.

Quatro parâmetros analisados mereceram atenção e aprofundamento dos monitoramentos e discussões. São eles: o pH, a cor, o ferro dissolvido e o alumínio dissolvido. Os três últimos apresentam suas concentrações, na maioria das vezes, acima do valor estipulado pela resolução nº 357/05 do CONAMA para rios de classe 2. Essa alteração pode ser consequência da geologia da região, pois nela existem jazidas dos mais variados minérios, como ouro, ferro e manganês. Portanto, os valores elevados de ferro dissolvido e alumínio dissolvido podem ser resultados do processo de lixiviação geológica e consequente drenagem e dissolução do solo na região. Os elevados níveis de cor podem ser resultado de dois fatores. O primeiro está relacionado à interferência mineral, os minérios de ferro e manganês são os principais constituintes que dão cor à água. Na bacia do rio Araguari, eles são os principais minerais explorados pelos grandes projetos de mineração. E isso indica sua presença na região.

O segundo fator que torna a cor intensa são as substâncias orgânicas. Essas substâncias entram na composição da água quando os rios atravessam grandes extensões de florestas. As nascentes e grande parte do curso do rio Araguari encontram-se em uma das regiões mais preservadas do planeta. Dessa forma, podemos considerar que os parâmetros alumínio, ferro e cor, estão naturalmente fora dos padrões estabelecidos pela legislação federal. Pois, no monitoramento realizado, não foram percebidos indícios de que estas alterações pudessem ser de interferência antrópica, haja vista que os quatro primeiros pontos de coleta estão dispostos antes dos projetos de mineração.

O último parâmetro que merece um estudo mais aprofundado nos rios amazônicos é o pH. Nos rios Amapari e Araguari foi observado um caráter ácido das águas dos rios, os valores de pH encontrados, neste e em outros estudos, estavam muito próximos e algumas vezes abaixo do mínimo estipulado pela legislação federal cujo valor é de 6,0.

Para finalizar, ao longo das campanhas de campo para realização do monitoramento, foram percebidos indícios de alterações ambientais significativas ao longo do rio. Apesar de que ainda não refletiram fortemente a desordem no estado do corpo hídrico, tal fato é preocupante. Isso porque a tendência da região é o crescimento populacional, a ocupação do solo de forma desordenada, o desmatamento e a implantação de novas barragens para geração de energia, aumentando a demanda pelo uso da água.

Referências

ANGRILL, S. et al. Environmental analysis of rainwater harvesting infrastructures in diffuse and compact urban models of Mediterranean climate. **International Journal of Life Cycle Assessment**, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/278669007_Environmental_Analysis_of_Rainwater_Harv

esting_Infrastructures_in_Diffuse_and_Compact_Urban_Models_of_Mediterranean_Climate. Acesso em: 10 out. 2024.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 21st Edition**, 1999.

BÁRBARA, V. F. et al. Monitoramento sazonal da qualidade da água do rio Araguari/AP. **Revista Biociências**, v. 16, p. 57–72, 2010. Disponível em: <https://periodicos.unitau.br/biociencias/article/view/1111>. Acesso em: 10 out. 2023.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. **Manual de Águas Residuárias Industriais**. 1. ed. São Paulo/SP: CETESB, 1993.

CHANG, H. Spatial and temporal variations of water quality in the han river and its tributaries, Seoul, Korea, 1993-2002. **Water, Air, and Soil Pollution**, 2005.

CHANG, H. Spatial analysis of water quality trends in the Han River basin, South Korea. **Water Research**, 2008.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n° 357, de 18 de junho de 2005**. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf%3E>>. Acesso em: 1 out. 2024.

CUNHA, A. C. da et al. Monitoramento de Águas Superficiais em Rios Estuarinos do Estado do Amapá sob Poluição Microbiológica. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG)**, v. 1, n. 1, p. 191–199, 2005. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/313427456_Monitoramento_de_aguas_superficiais_em_rios_estuarinos_do_estado_do_amapa_sob_poluicao_microbiologica_Boletim_do_Museu_Paraens_e_Emilio_Goeldi_MPEG>. Acesso em: 1 out. 2024.

CUNHA, A. C. da. Revisão descritiva sobre ecossistemas aquáticos na perspectiva da modelagem da qualidade da água. **Biota Amazônia**, v. 3, n. 1, p. 124–143, 2013. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/content/doi/21795746/2013/00000003/00000001/art00015;jsessionid=1eutluiqb5p83.x-ic-live-01>. Acesso em: 15 out. 2023.

CUNHA, A. C. da et al. Extreme precipitation-streamflow event in the river araguari basin, amapá/brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/JHsKwdLpQVhkSQtWjQFtPXk/abstract/?lang=en>. Acesso em: 15 out. 2023.

ECOTUMUCUMAQUE. **Estudo de Impacto Ambiental: Pequena Central Hidrelétrica do Rio Amapari - Capivara**. Macapá-Ap: EIA/RIMA, 2008.

FEARNSIDE, P. M. **Hidrelétricas na Amazônia: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras**. [s.l: s.n.]

GORAYEB, A.; LOMBARDO, M. A.; PEREIRA, L. C. C. Qualidade da água e abastecimento na Amazônia: o exemplo da bacia hidrográfica do rio Caeté. **Mercator**, 2010. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/359/272>. Acesso em: 15 out. 2023.

HACH COMPANY. **DR/2800 ESPECTROFOTOMETER - Procedures Manual**. [s.l: s.n.].

HORNBERGER, G. M.; KELLY, M. G. **Atmospheric reaeration in a river using productivity analysis**. 1975.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE Cidades**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: 13 maio. 2024.

MACÊDO, J. A. B. de. **Métodos Laboratoriais de Análises Físico-Químicas e Microbiológicas**. 2ª ed. [s.l: s.n.]

- MENZEL, R. G. Decaying Lakes: The Origins and Control of Cultural Eutrophication. **Journal of Environment Quality**, 1989. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rspb.2012.1032>. Acesso em: 10 out. 2023.
- MESSIAS, C. G. et al. Análise Empírica De Fragilidade Ambiental Utilizando Técnicas De Geoprocessamento : O caso da área de influência da hidrelétrica do Funil – Mg. **Revista Geonorte**, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2063/1942>. Acesso em: 10 out. 2023.
- NOGUEIRA, N. M. C. **Estrutura da comunidade fitoplanctônica em cinco lagos marginais do Rio Turiaçu (Maranhão, Brasil) e sua relação com o pulso de inundação (Tese)**. 2003. Universidade de São Carlos, 2003. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/SCAR_73fd331a21f16220cd1538a08ae31b08. 10 out. 2023.
- NOGUEIRA, V. de P. Q. Qualidade da água em Lagos e Reservatórios. In: PORTO, R. L. L. (Ed.). **Hidrologia Ambiental**. 1. ed. São Paulo/SP: EDUSP, 1991. p. 165–208.
- OLIVEIRA, J. C. S. et al. Caracterização da Pesca no Reservatório e Áreas Adjacentes da UHE Coaracy Nunes, Ferreira Gomes, Amapá – Brasil. **Biota Amazônia**, v. 3, n. 3, p. 83–96, 30 dez. 2013. Disponível em: <<http://www.bibliotekevirtual.org/index.php/2013-02-07-03-02-35/2013-02-07-03-03-11/1176-biota/v03n03/12140-caracterizacao-da-pesca-no-reservatorio-e-areas-adjacentes-da-uhe-coaracy-nunes-ferreira-gomes-amapa-brasil.html>>. Acesso em: 13 maio. 2024.
- PARDOSSI, A. et al. Root Zone Sensors for Irrigation Management in Intensive Agriculture. **Sensors**, v. 9, n. 4, p. 2809–2835, 21 abr. 2009. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1424-8220/9/4/2809>>. Acesso em: 13 maio. 2023.
- PORTO, M. F. de S.; FINAMORE, R.; FERREIRA, H. Injustiças da sustentabilidade: Conflitos ambientais relacionados à produção de energia “limpa” no Brasil. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, 2013. Disponível em: <https://journals.openedition.org/rccs/5217>. Acesso em: 13 maio. 2023.
- RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. de. **Tratamento de Água – Tecnologia Atualizada**. 1. ed. São Paulo/SP: Edgard Blucher, 1991.
- RIPLEY, B. D. The R Project in Statistical Computing. **MSOR Connections**, 2001.
- SEMA - Secretaria de Meio Ambiente. **Lei nº 686, de 7 de julho de 2002**. Disponível em: <http://www.mpap.mp.br/images/PRODEM/legislacao/Lei_nº_686_de_7_de_julho_de_2002.pdf>. Acesso em: 1 out. 2012.
- SILVA, C. H. P. de M. e. **Bacteriologia, um Texto Ilustrado**. 1ª ed. Rio de Janeiro, Brasil: Eventos, 1999.
- SILVA, C. N. et al. Uso do território e impactos das construções de hidrelétricas na bacia do rio Araguari (Amapá-Brasil). **PRACS: Revista Eletrônica de Humanidades do Curso de Ciências Sociais da UNIFAP**, 2017. Disponível em: https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/UNIFAP-1_25990632b3518402e31c30a271ae6738. Acesso em: 10 set. 2023.
- SOUZA, E. B. de et al. On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. **Acta Amazônica**, v. 30, p. 305–318, 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/T56f9k8VYK6ZV6hJFmNw8bT/?lang=en>. Acesso em: 10 set. 2023.
- SOUZA, E. B. de; CUNHA, A. C. da. Climatologia de precipitação no Amapá e mecanismos climáticos de grande escala. In: CUNHA, A. C.; SOUZA, E. B.; CUNHA, H. F. A. (Ed.). **Tempo, clima e recursos hídricos: Resultados do projeto REMETAP no Estado do Amapá**. 1. ed. Macapá-Ap: IEPA, 2010. p. 177–195.
- SOUZA, E. B. de; KAYANO, M. T.; AMBRIZZI, T. The regional precipitation over the eastern

amazon / northeast brazil modulated by tropical pacific and atlantic sst anomalies on weekly timescale. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 2, p. 113–122, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/T56f9k8VYK6ZV6hJFmNw8bT/?lang=en>. Acesso em: 10 out. 2023.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 7–16, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200002&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 10 out. 2023.