



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



A influência antrópica na qualidade da água do rio Tapajós, na cidade de Santarém-PA

Christiane do Nascimento Monte¹; Ana Paula de Castro Rodrigues²; Sara Macedo³; Carolina Régis⁴; Edinelson Correa Saldanha⁵; Anne Caroline Ribeiro⁶; Wilson Machado⁷

¹Dra. em Geociências, Professora Adjunta C, Instituto de Engenharia e Geociências, Universidade Federal do Oeste do Pará, Av Vera Paz, s/n, CEP 68035-110, Santarém, Pará. (93) 2101-4985.christiane.monte@yahoo.com.br (autor correspondente). ² Dra em Geociências, Professora Adjunta, Biologia Marinha, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Avenida Carlos Chagas Filho, 373 CCS.CEP 21941-599, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. (21) 2562-6306.tantufaz17@gmail.com. ³ Bolsista de iniciação científica, Universidade Federal Fluminense, Departamento de Geoquímica, Unidade Federal Fluminense, Outeiro São João Baptista s/n, CEP 24.020-141, Niterói, Rio de Janeiro. (21) 2629-1880. saracypreste@gmail.com ⁴ Mestre em Geociências, Universidade Federal Fluminense, Departamento de Geoquímica, Unidade Federal Fluminense, Outeiro São João Baptista s/n, CEP 24.020-141, Niterói, Rio de Janeiro. (21) 2629-1880 carolinamosregis@gmail.com. ⁵ Dr em Ciências Ambientais, Professor Universidade da Amazônia, Rua Rosa Vermelha, 335. CEP 68010-200. Santarém, Pará. (93) 3523-5990. edinelson_saldanha@hotmail.com. ⁶ Graduanda em Geologia, Instituto de Engenharia e Geociências, Universidade Federal do Oeste do Pará, Av Vera Paz, s/n, CEP 68035-110, Santarém, Pará. (93) 2101-4985. anne.souri@gmail.com. ⁷ Dr. em Geociências, Professor Adjunto Departamento de Geoquímica, Unidade Federal Fluminense, Outeiro São João Baptista s/n, CEP 24.020-141, Niterói, Rio de Janeiro. (21) 2629-1880.wtvmachado@yahoo.com.br

Artigo recebido em 27/02/2021 e aceito em 20/05/2021

RESUMO

O Rio Tapajós é uma das maiores bacias hidrográficas da região Norte do país, e o crescimento populacional de algumas cidades amazônicas coloca em risco a qualidade das suas águas. A cidade de Santarém, no Oeste do Pará, é uma das maiores cidades paraenses e não tem uma rede de esgoto eficiente, logo boa parte do esgoto doméstico é lançado *in natura* em igarapés e no rio Tapajós, o que afeta diretamente a balneabilidade do rio, que é um dos destinos turísticos em ascensão no país, devido às praias de água doce, a qualidade do pescado, que é parte da dieta alimentar da região e pode ser um vetor de doenças, as quais podem aumentar os gastos com a saúde pública. Com o objetivo de avaliar a influência antrópica no rio Tapajós foi realizada uma amostragem em seis pontos do rio na região conhecida como a orla da cidade. Foram analisados parâmetros físico-químicos, biológicos e nutrientes), Apesar de boa parte dos parâmetros estarem em conformidade com a CONAMA 357/05, os parâmetros biológicos foram acima do permitido para a classe II, indicando influência antrópica. Os dados apontaram que a presença de material particulado em suspensão (MPS), coliformes totais e fósforo inorgânico dissolvido (PID), sugerem aumento da degradação da qualidade da água. O estudo da queda na qualidade de água nos rios amazônicos é importante, pois a relação socioeconômica entre a população e os recursos hídricos é muito importante para a manutenção das funções ambientais, econômicas e sociais na região.

Palavras -Chave : rio Tapajós, esgoto, fósforo inorgânico, material particulado em suspensão

The anthropic influence on the water quality of the Tapajós River, in the city of Santarém-PA

ABSTRACT

The Tapajós River is one of the largest hydrographic basins of the Northern region of the country, and the population growth of some Amazonian cities puts the quality of its waters at risk. The city of Santarém, in western Pará, is one of the largest cities in Pará and does not have an efficient sewage system, so much of the domestic sewage is released *in natura* into streams and the Tapajós River, which directly affects the balneability of the river, which is one of the tourist destinations on the rise in the country, due to its freshwater beaches, the quality of the fish, which is part of the diet of the region and can be a vector of diseases, which can increase spending on public health. To evaluate the anthropic influence on the Tapajós River, sampling was carried out at six points on the river in the region known as the city edge. Although most of the parameters complied with CONAMA 357/05, the biological parameters were above the permitted for class II, indicating anthropic influence. The data pointed out that the presence of suspended particulate matter (SPM), total coliforms, and dissolved inorganic phosphorus (DIP), suggest increased degradation of water quality. The study of the

decline in water quality in Amazonian rivers is important because the socioeconomic relationship between the population and water resources is very important for the maintenance of environmental, economic, and social functions in the region.

Keywords: Tapajós River, sewage, inorganic phosphorus, suspended particulate matter

Introdução

A degradação dos recursos hídricos superficiais ocorre, principalmente, em função das atividades antrópicas desenvolvidas no âmbito das bacias hidrográficas (Drumond et al., 2018). A água é o principal recurso relacionado à sobrevivência das espécies e o equilíbrio da biodiversidade (Costa et al., 2018), e a sua qualidade varia de acordo com o uso. A qualidade da água é definida pela sua composição e pelo conhecimento do efeito dos seus constituintes podem causar no meio ambiente e na saúde humana (Cintra et al., 2020).

A poluição das águas é fruto de atividades humanas, nas quais são lançados contaminantes que alcançam águas superficiais e subterrâneas de forma pontual e difusa. O decréscimo da qualidade da água de corpos hídricos atingidos por esses contaminantes justifica a crescente preocupação com a necessidade de se avaliar e monitorar alterações ambientais e seus efeitos no ecossistema aquático (Miranda et al., 2009, Pinheiro et al., 2019). De acordo com Costa et al. (2018), o monitoramento e o controle dos parâmetros físico-químicos da água são importantes para evitar danos à saúde humana e a restrição da oferta desse recurso, principalmente, em áreas urbanas.

A problemática ambiental dos centros urbanos é um tema bastante discutido atualmente, principalmente, porque são nestas áreas que ocorrem as maiores concentrações populacionais e estas demandam de grande quantidade de consumo, além de que há uma apropriação inadequada dos recursos ocasionando a degradação ambiental e afetando diretamente a qualidade de vida dos habitantes (Maranhão, 2011).

Assim, dentre as principais alterações introduzidas no espaço alterado por atividades antrópicas, as mais comuns são a retirada da cobertura vegetal, alteração nas formas topográficas, aumento de escoamento superficial, acúmulo de resíduos sólidos e a poluição hídrica, provocando alterações na qualidade da água (Maranhão, 2011; Wroblewski et al., 2021).

O crescimento da população urbana do Brasil, no século XX, teve um salto de 9,4% para 81,23%, conseqüentemente sem um planejamento, o crescimento desordenado das cidades, causando impactos ambientais (Finotti et al., 2009). Segundo

Mota. (2008), a urbanização gera impactos sobre os recursos hídricos e à medida que o processo se intensifica pode ocorrer inúmeros e mudanças nos parâmetros quantitativos e qualitativo, que impactam diretamente nos ecossistemas aquáticos.

Nas últimas décadas do século XX, a Amazônia é um palco do aumento da ocupação e da antropização do território, sendo chamada de a última fronteira agrícola do país (Amorim et al., 2020). O Programa de Integração Nacional (PIN), foi um dos motores para o chamado urbanismo rural, no qual dava lotes aos colonos a uma faixa de 100 km de cada lado de rodovia federal, principalmente, na BR 230 (Transamazônica), nas áreas de vazio demográfico. Posteriormente, muitas dessas áreas se transformaram em municípios da região Amazônica (Amorim et al., 2020).

A Amazônia tem um grande potencial hídrico, sendo o maior reservatório de água doce do mundo, tanto em recursos hídricos superficiais, quanto em recursos hídricos subterrâneos. A relação entre sociedade e recursos hídricos na Amazônia tem uma dinâmica singular, se comparada aos outros biomas do país, povos tradicionais e cidades inteiras utilizam a água como fonte de alimento, transporte, moradia e comunicação com outras partes do território brasileiro, sendo dependentes da disponibilidade hídrica para a sobrevivência e a manutenção das atividades cotidianas. É nesse contexto que a água para essa região se configura como um elemento essencial para a dinâmica socioeconômica na região (Lima et al., 2017).

A qualidade da água da região Amazônica não difere muito do restante do país em áreas urbanas, pois, existem grandes e pequenas cidades que se desenvolveram ao longo dos rios de uma forma desordenada com pouca ou nenhuma estrutura de saneamento básico: coleta e tratamento de esgoto, abastecimento de água potável, manejo de água pluvial e de resíduos sólidos e limpeza urbana Aquino *et al.*, (2017).

A cidade de Santarém, localizada no Oeste do estado do Pará, atualmente, na escala de urbanização Amazônica é chamada de capital regional (Bessa et al., 2020), assim como muitos municípios do território Amazônico, teve seu crescimento impulsionado por políticas de interiorização dos grandes projetos de desenvolvimento local, incentivado pelo governo

federal em meados do século XX (CPRM., 2013). De acordo com as estimativas do IBGE. (2018), a população Santarém reside em sua maioria na área urbana, onde, 220.946 pessoas vivem na zona urbana e 81.721 na região rural, englobando um total de 302.667 habitantes com um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0.691.

O crescimento do município ocorreu de forma desordenada com expansão da malha urbana para locais sem infraestrutura, configurando um processo de periferação. No município, a expansão da fronteira agrícola e a mudança do uso e ocupação, nas últimas décadas, provocaram alterações na qualidade dos recursos hídricos (Silva et al.2019). Em 2016, a produção de soja no Pará superou a produção de mandioca, que até então era o principal cultivo agrícola do Estado (Homma et al. 2020), e Santarém é um dos municípios paraenses produtores de soja. O cultivo de soja se expande em áreas florestais e é responsável por grandes aportes de agroquímicos nos recursos hídricos no município.

Essa expansão sem planejamento provoca inúmeros problemas ambientais, inclusive de eutrofização dos sistemas aquáticos, causado, principalmente pelo despejo de esgoto sem tratamento e resíduos agrícolas nesses ambientes (Sousa et al.,2018; Pinheiro et al., 2019).

Segundo Pinheiro et al. (2019), há vários relatos sobre o despejo *in natura* de esgoto no rio Tapajós e nos seus afluentes, caracterizando o aumento da antropização na região Amazônica. De acordo com Oliveira et al. (2018), Santarém encontra-se entre os 20 piores municípios no Ranking de Saneamento Básico do Brasil e que segundo Santos et al., (2020), na área urbana do município dejetos residenciais fluem para fossas sépticas/negras ou são lançados em natura nos igarapés que fazem parte da bacia hidrográfica do Tapajós.

A influência antrópica desregula o ambiente, aumentando as concentrações de alguns elementos químicos que se tornam contaminantes no meio aquático, (Rebello, 2003). O nitrogênio e o fósforo são importantes para os organismos no meio aquático no aspecto estrutural, assim como na conversão de energia para todo o sistema biológico (Santos et al., 2020).

O incremento na concentração de alguns nutrientes, como fósforo (P) e o nitrogênio (N), provoca o declínio na qualidade de água, constituindo um dos principais fatores de estímulo para o surgimento de um ambiente eutrófico

(Santos et al., 2020), além disso, podem causar alguns problemas, como florações de algas tóxicas que liberam toxinas, e danos à saúde humana.

Essas florações foram relatadas por Sá et al. (2010), que encontraram em trechos do rio Tapajós, próximos à cidade de Santarém. As cianotoxinas podem afetar a saúde humana, tanto através da ingestão de água contaminada, como por contato direto em atividades de recreação (Silva et al., 2019). No entanto, a principal via de intoxicação é por meio do consumo oral da água (Almeida & Américo-Pinheiro, 2018).

O fósforo pode estar presente em ecossistemas de água doce em diferentes formas químicas, como a fosfina (PH₃) (Wetzel, 1993) e o fosfato, bem como formas orgânicas (ésteres). Os Fosfatos são importantes para todas as formas de vida, porém em excesso nas águas tornam-se responsáveis pela eutrofização (Costa et al., 2020). O P pode estar ligado à fase particulada (fósforo particulado orgânico, fósforo particulado inorgânico) ou estar dissolvido na água (fósforo dissolvido orgânico e fósforo dissolvido inorgânico) (Esteves, 2011). Assim como o fósforo, o nitrogênio pode apresentar diversas formas em ecossistemas aquáticos doces, como nitrito, nitrato e amônia, que podem reduzir a qualidade da água por serem assimiladas pelas algas na produção primária (Correa et al., 2020).

O esgoto doméstico também contribui para o aporte de coliformes fecais em ambientes aquáticos. Alguns micro-organismos são utilizados como indicadores de contaminação fecal, como os coliformes totais e *Escherichia coli* (*E.Coli*) (Drumond et al., 2018). A *E.Coli* é uma bactéria encontrada, principalmente no trato intestinal humano e animal, sendo associada à diarreia infantil e outros distúrbios gastrointestinais quando ingeridas por meio de águas contaminadas (Souza et al., 2016; Silva et al., 2018; Frias et al., 2020).

A qualidade da água é muito importante para o monitoramento da influência antrópica, sabendo disso, o presente estudo tem como objetivo determinar a qualidade da água do rio Tapajós numa área de influência antrópica na cidade de Santarém, no Oeste do Pará, utilizando parâmetros físico-químicos e biológicos (coliformes totais e *Ecoli*) e nutrientes, identificando os pontos com maior interferência antrópica.

Material e métodos

Área de estudo

A cidade de Santarém-PA localizada na Mesorregião do Baixo Amazonas ao oeste do Pará, nas seguintes coordenadas: Latitude: 02° 26' 35" S e a uma Longitude: 54° 42' 30" W (Figura 01), limita-se ao Norte com os municípios de Óbidos,

Alenquer, Monte Alegre e Curuá, a Leste com Prainha e Uruará, ao Sul com Rurópolis, Aveiro, Placas e Belterra e a Oeste com Juruti (FAPESPA, 2018).

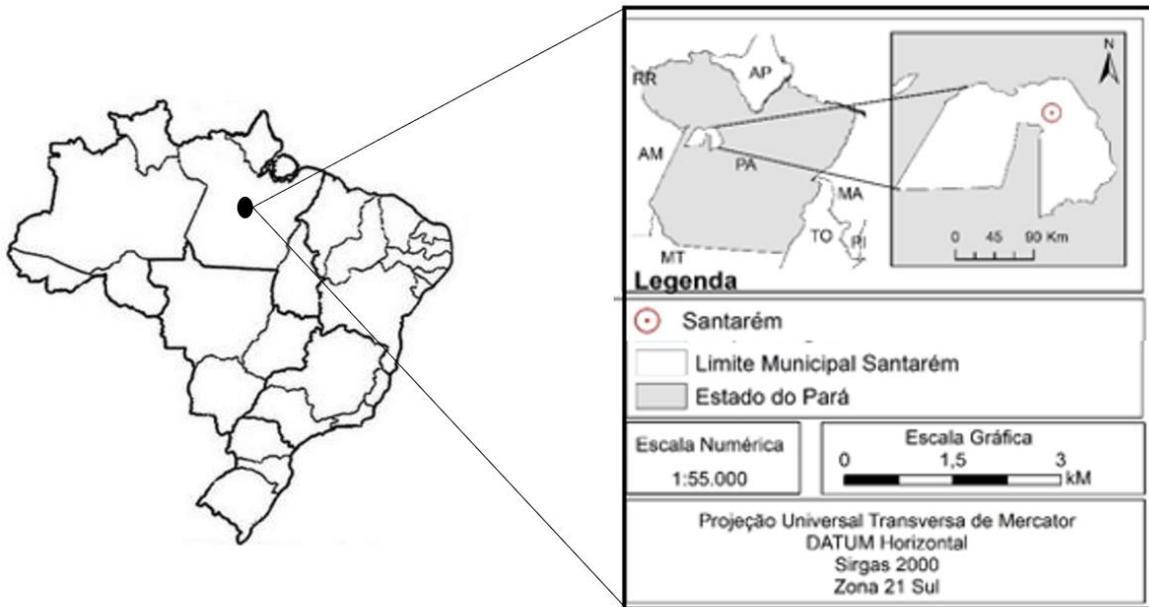


Figura 01- Município de Santarém, PA

O município é banhado pelo rio Amazonas e pelo rio Tapajós. O rio Tapajós é um tributário do rio Amazonas da margem direita. É um rio de água clara, que nasce do encontro dos rios Teles Pires e Juruena, no Brasil Central (estado do Mato Grosso) (Sousa Júnior, 2014) ainda no Cerrado brasileiro (Trancoso et al., 2007). A maior parte da bacia encontra-se sobre embasamento cristalino e drena rochas sedimentares cretáceas (Silva et al., 2013; Sousa Júnior, 2014), que influenciam no pH mais ácido do rio e das microbacias que compõem a rede de tributários, fazendo parte da Região Hidrográfica Amazônica (RHA).

A RHA vem sofrendo com a pressão antrópica nos últimos anos, que ainda não compromete a grande abundância de água existente na Amazônia, no entanto, a velocidade com que estas pressões vêm afetando cada vez mais um ecossistema sensível e vulnerável, preocupa as autoridades nacionais principalmente no que diz respeito às perspectivas de desenvolvimento e sustentabilidade (Gorayeb et al. 2009).

A população total da AHR é de 9,7 milhões de habitantes, correspondendo a 5,1% da população do Brasil (IBGE, 2010), apresentando assim um crescimento de 28,8% em comparação ao estudo demográfico do governo em 2000. O maior

crescimento dá-se nas bacias da margem direita do Rio Amazonas (Xingu, Tapajós, Madeira, Purus) caracterizado por uma ocupação mais acelerada nas últimas três décadas, especialmente, pela ação de garimpeiros, madeireiros, pecuaristas e agricultores configurando assim em complexos usos da terra e de seus recursos (ANA, 2011).

Os principais fatores que remodelaram e recompuseram a rede de ocupações na região amazônica brasileira, foram as variações das atividades econômicas e as modificações populacionais, as quais, no início do século 21 geraram comportamentos e padrões urbanos complexos em meio a floresta tropical (Becker, 1995). De acordo com Becker. (2010), um dos maiores e piores problemas ambientais na Amazônia, é a condição de vida nas cidades e nos assentamentos urbanos haja vista que o crescimento da população não foi acompanhado da implementação de infraestrutura adequada para garantir condições mínimas de saúde, educação e salários aliados à falta de equipamentos urbanos.

Nos últimos anos, a urbanização da região encontra-se em fase de estruturação mostrando-se como uma região denominada de “fronteira”, em que a dinâmica das cidades é muito intensa e estável incluindo o surgimento de novos assentamentos urbanos (Becker., 2010). De acordo

com Becker. (2005) e Becker. (2010), a ocupação da Amazônia é caracterizada por processos devastadores, com sérios problemas ambientais e sociais ocasionados pela implantação de políticas de industrialização, ocupação regional e de modernização desenvolvidas pelo Estado.

De acordo com Becker. (2010) há implantação destes projetos em três fases: A primeira fase corresponde a implantação do “Estado Novo” em 1930-1960, que pautava na necessidade de unificar o mercado nacional, associada ao avanço da industrialização desencadeando assim a abertura da região. Em 1958, a implantação das rodovias Belém-Brasília e Brasília-Acre durante o governo de Juscelino Kubitschek, esses projetos rodoviários afetaram a região, acentuando a migração, que já ocorria em direção a Amazônia. A autora afirma que estes projetos ocasionaram o crescimento populacional regional, o qual, anteriormente, era de 1 milhão passando para 5 milhões entre 1950 e 1960.

Becker. (2010) afirma que em 1996, com o surgimento de imensos corredores ecológicos para proteção ambiental, uma nova concepção de Amazônia foi concebida, tornando o significado desta baseada em uma valorização estratégica de dupla face: a da sobrevivência humana e a do capital natural, sobretudo as florestas e a água.

Mesmo com a mudança desta concepção de Amazônia voltado para a preocupação da fauna, flora e recursos naturais, Lima. (2007) afirma que a maior parte dos impasses ambientais são resultantes da soma dos mais variados impactos locais em diferentes segmentos, tanto nas áreas urbanas, como nas rurais que geram a diminuição da qualidade ambiental de forma cada vez mais acelerada, de modo que o ambiente não consegue absorver esses impactos e nem se recuperar na mesma proporção. Assim, a análise da qualidade ambiental nas cidades a partir de indicadores pode contribuir na elaboração de propostas a serem incorporadas ao planejamento urbano, no que se refere à capacidade natural do ambiente urbano e os limites de ocupação do território (Lima. 2007).

Histórico da ocupação em Santarém

Santarém teve sua fundação há mais de três séculos, mas de acordo com várias evidências já apresentadas, seu sítio teria sido ocupado há mais de dez mil anos por civilizações portadoras de dinâmicas urbanas, cultura e organização social própria, sendo assim conhecida como uma das áreas de ocupação mais antiga de toda a América do Sul (Gomes, 2017). Dentre as evidências que

refutam a ocupação secular em Santarém, pode-se citar o sambaqui da Taperinha que está localizado na foz do rio Tapajós, ocupando principalmente a área onde hoje se encontra o bairro Aldeia e o porto da cidade de Santarém. Neste sambaqui, diversas amostras de carvão e conchas, assim como de cerâmica, foram datadas e alguns fragmentos de cerâmica indicaram datas entre 7600 e 7335 A.P., comprovando que aquela seria a cerâmica mais antiga das américas (Silveira e Schaen., 2005).

Segundo Pastana. (1997), o crescimento da população urbana, entre as décadas de 1970 e 1990 está relacionado aos: 1) investimentos do Governo Federal, na década de 70, em cidades que serviram de pontos de apoio ao Plano de Integração Nacional - PIN (Marabá, Altamira, Santarém, Itaituba e outras), com significativas melhorias da infraestrutura urbana, de comunicações, transportes, serviços de educação, saúde e saneamento básico; 2) corrida do ouro aos garimpos do Rio Tapajós (1980/1990), de forma acentuada, envolvendo toda a economia da Região, no abastecimento daquelas atividades cujo centro principal era Santarém e que em seguida, foi deslocado para Itaituba; 3) consolidação de Santarém como um centro de prestação de serviços na região, especialmente na educação (2º e 3º graus), saúde e entretenimento.

Na década de 2000, a população que vivia na cidade correspondia a 71% do total (186.297 habitantes), e com a intensificação da cultura da soja no final da década de 1990 esse quadro se agravou, haja vista que grandes porções de terra foram incorporadas por empresários mato-grossenses, desagregando a tradicional agricultura familiar e empurrando para a cidade uma grande quantidade de famílias (Pereira, 2004). No Censo de 2018a estimativa da população vivendo na área urbana é de 220.946 habitantes (IBGE., 2018).

Impactos nos recursos hídricos causados pelo crescimento da área urbana de Santarém

O município de Santarém passou por diversos ciclos econômicos que impulsionou o seu crescimento desordenado, o que tornou os corpos hídricos do município, vulneráveis a alterações em decorrência da urbanização conforme defende a ANA. (2012).

Santos, (2017) afirma que existem cinco microbacias urbanas e peri-urbanas cujas nascentes estão dentro do limite municipal de Santarém e, que algumas destas desaguam no rio Amazonas e outras no Rio Tapajós. Estas microbacias são

definidas como microbacia do São Brás, microbacia do Irurá, microbacia do Urumari, microbacia do Diamantino e microbacia do Mararú (Santos, 2017). Entretanto como a malha urbana de Santarém expande-se desde a década de 1980 seguindo a orientação dos eixos das rodovias Santarém-Curuá-uná, Cuiabá-Santarém e Av. Fernando Guilhon (Santarém-aeroporto).

Amostragem

As amostras de água superficial foram coletadas em seis pontos ao longo do rio Tapajós em maio de 2018, na região da orla da cidade de Santarém-PA (Figura 2). Os parâmetros físico-químicos (temperatura, condutividade, oxigênio

dissolvido, totais de sólidos dissolvidos, pH e turbidez) dos seis pontos do Rio Tapajós foram medidos a partir de uma sonda multiparamétrica. As amostras foram coletadas em duplicata, em garrafas de plástico de 330 mL descontaminadas (com solução de HCl 1M), sendo mantidas congeladas até a chegada em laboratório, no Departamento de Geoquímica da Universidade Federal Fluminense(UFF), no qual foram realizadas as análises de fósforo inorgânico dissolvido e total particulado, material particulado em suspensão e nitrogênio total. As análises microbiológicas foram realizadas em no laboratório Tapajós Ambiental na cidade de Santarém.

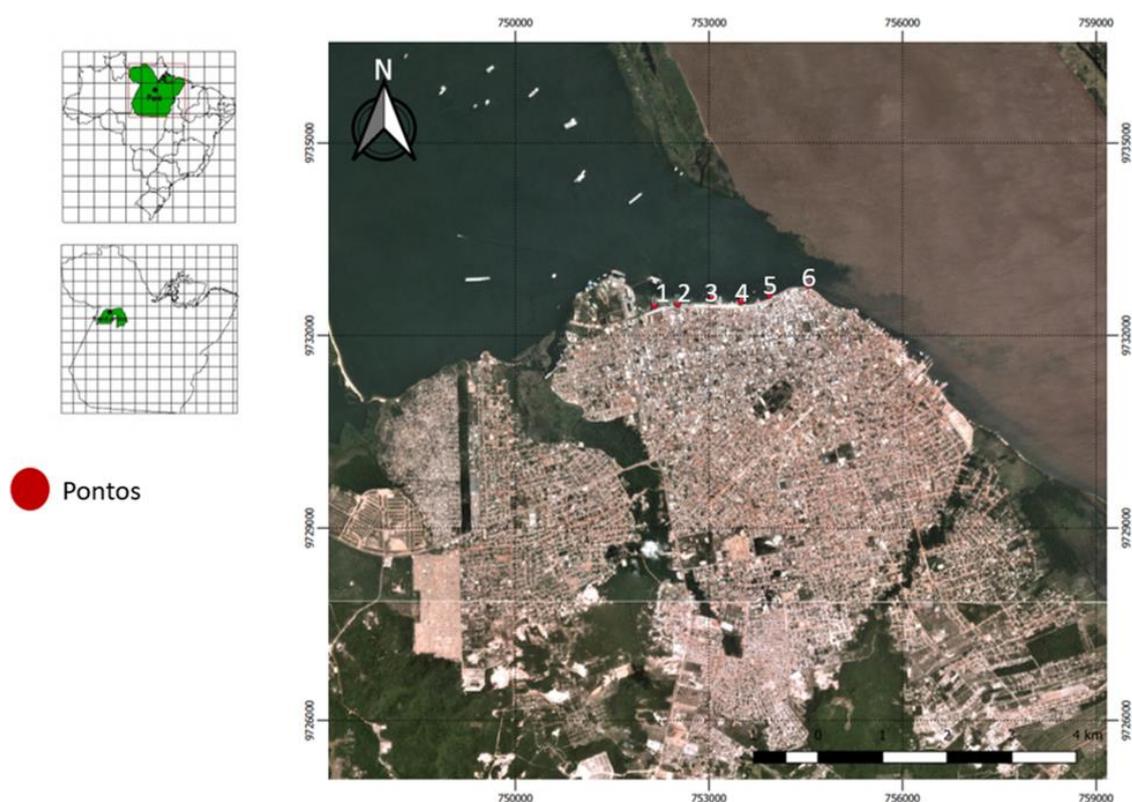


Figura 02 . Localização dos pontos de coleta no rio Tapajós

A interferência antrópica se apresenta de diferentes maneiras em cada ponto, de acordo com as atividades realizadas nas proximidades. A seguir, segue-se a tabela 1 com as informações sobre o ponto de cada coleta.

Parâmetros físico-químicos

Os parâmetros físico-químicos, como temperatura, pH, condutividade elétrica, oxigênio

dissolvido foram determinados *in situ* com o auxílio da sonda multiparamétrica AKSO AK87. Em laboratório foram realizadas análises de turbidez, utilizando turbidímetro PoliControl AP 2000 e sólidos totais dissolvidos-STD (mg/L) com a sonda multiparamêtro.

Tabela 01- Descrição das atividades antrópicas em cada ponto de coleta.

Pontos	Coordenadas (UTM)	Descrição do Ponto
1	21M 0752151	Antiga Praia da Vera Paz Problemas: esgoto sanitário e Cia Docas do Pará
	9732470	
2	21M 0752512	Mercado Municipal Problemas : Esgoto sanitário e resíduos do mercado (restos de peixes, sacos etc)
	9732490	
3	21M 0753052	Praça Tiradentes Problemas: Óleo de navios, água de lastro e esgoto
	9732585	
4	21M 0753489	Tapajós Lanchas Problemas: Óleo de navios, água de lastro e esgoto
	9732537	
5	21M 0753931	Pier Problemas: Esgoto sanitário
	9732636	
6	21M 0754529	Deck Massabor Problemas: Esgoto sanitário e hospitalar.
	9732786	

Pré-tratamento das amostras de água para determinação de fósforo inorgânico dissolvido

Previamente, os filtros de fibra de vidro (porosidade = 0,22µm) foram calcinados a 450°C e pesados após resfriamento em dessecador, para obtenção da massa do filtro antes da filtração. Diferentes volumes das amostras de água (medido em proveta) foram filtrados em sistema à vácuo utilizando um kit de filtração de vidro. A água filtrada foi armazenada em frascos previamente descontaminados em HCl 1M, sendo mantida congelada até análise.

Pré-tratamento das amostras de água para determinação de fósforo total particulado

Após a filtração, os filtros foram secos em estufa à < 40 °C até alcançar massa constante. Quando seco, o filtro foi calcinado e após o resfriamento, o filtro foi novamente pesado. Para a extração do fósforo presente nas amostras de material particulado, os filtros foram cortados em tiras e colocados em um tubo Falcon com 10 mL de HCl 1 mol/L e logo depois colocados em uma mesa agitadora por 16 horas. Em uma centrifuga, separou-se a amostra do HCl.

Determinação do fósforo

Para a determinação quantitativa do fósforo, usou-se a extração do material particulado da mesa agitadora para a análise colorimétrica no espectrofotômetro. Para este método, utilizou-se 0,5 mL do extrato, 5,0247 g de ácido ascórbico, 25 ml de água e 25 ml de H₂SO₄. Por 15 minutos deixou-se a solução em repouso para que ocorresse a reação. Após os 15 minutos as soluções preparadas foram colocadas em uma cubeta de vidro limpa, e foi usado o método colorimétrico para a análise quantitativa do fósforo no espectrofotômetro, no qual foi o comprimento de onda era de estabelecido era de 880 nm (Grashoff et al.,1999)

Material particulado em suspensão

Os filtros de fibra de vidro utilizados na filtração foram utilizados para calcular o material particulado em suspensão, a partir da diferença entre as massas do filtro seco após filtração e antes da filtração. O material orgânico particulado em suspensão foi calculado pela diferença da massa do filtro com a amostra seca, antes e depois da calcinação (à 450°C por 4 horas), já que a matéria orgânica é eliminada a temperaturas altas. O

material em suspensão particulado inorgânico é o material que após passar pela mufla permanece no filtro, ou seja, é obtido pela diferença entre o total de material em suspensão e o material orgânico.

2.9-Nitrogênio Total

A determinação de nitrogênio total na água superficial será realizada por oxidação com Persulfato e leitura em espectrofotômetro UV-1601, SHIMADZU, seguindo a metodologia descrita por Grasshoff et al. (1999).

Coliformes Fecais e E.Coli

As análises de coliformes foram realizadas de acordo com o método de membrana filtrante. Utiliza-se uma membrana filtrante, com porosidade de 0,45 µm, na qual as bactérias ficaram retidas na superfície da membrana, pois são maiores que os seus poros. Após o processo de filtração, são incubadas em estufas com temperatura controlada por 24 horas, e por fim as colônias são numeradas visualmente, com auxílio de microscópio, ou eletronicamente (CETESB, 2007).

Dados Estatísticos

Em todos os métodos aplicou-se o software estatístico Statistica versão 8. Ao utilizar o teste de normalidade Shapiro Wilk, as amostras foram classificadas como não paramétricas, sendo aplicado teste de correlação de Spearman ($p < 0,05$) entre os parâmetros. Para testar a diferença entre as amostras foi utilizado o de Wilcoxon ($p < 0,05$).

Tabela 02. Aspectos Físico-químicos das amostras de água superficial coletadas ao longo do rio Tapajós, nas proximidades da cidade de Santarém-PA.

Pontos	Temperatura (°C)	pH	Turbidez (NTU)	Condutividade Elétrica µS/cm	Sólidos Totais Dissolvidos mg/L	Oxigênio Dissolvido mg/L
1	31,4	5	4	16,7	11,2	4,3
2	30,9	4,8	3,7	14,7	9,6	7,1
3	28,1	4,8	3,7	18,7	12,1	7,9
4	28	5	4,0	20,5	13,5	6
5	28,4	5	3,3	19,7	13	3,8
6	28,8	5,1	3,4	16,5	10,9	3

A norma brasileira, CONAMA 357/05

Estabelece que corpos de água doce o pH deve variar entre 6,0 e 9,0, entretanto em todos os pontos do estudo o pH foi ácido (Brasil, 2005; Malheiros et al., 2012). O pH ácido é típico dos rios amazônicos, Wasserman et al. (2019) encontraram pH abaixo de 6.0 para a maioria dos rios estudados. A relação floresta-água na Amazônia é muito

Resultados e discussão

Parâmetros físicos-químicos

Os aspectos físico-químicos medidos *in situ*, apresentaram poucas variações em relação aos pontos, destacando se o ponto 6 com a menor quantidade de oxigênio dissolvido (3 mg/L) (Tabela 2). O ponto 3 apresentou a maior concentração de oxigênio dissolvido (7,9 mg/L), o que pode ser influência do esgoto hospitalar descartado em uma área próxima a este ponto, que pode aumentar a produtividade primária. Apesar das oscilações, os resultados estão próximos ao encontrados por Miranda et al. (2009) em pontos similares ao atual estudo. Os resultados de turbidez foram baixos, o que pode indicar menor influência do rio Amazonas nesse período. O aumento da turbidez pode indicar influência antrópica, como erosão, e conseqüentemente diminui a produtividade primária, o que impacta diretamente na manutenção da biota aquática (Abreu e Cunha, 2015). O que pode causar a mortandade de peixes, assim como mascarar organismos patogênicos, e estimular o crescimento de bactérias, devido à maior disponibilidade de nutrientes, que são absorvidos nas partículas (WHO, 2011; Costa et al., 2018).

importante e relatada em diversos estudos (Rios-Villamizar et al., 2020). Essa relação influencia diretamente nas características físico-químicas dos rios. Segundo Junk et al. (2010), a biota e os materiais quem compõem o solo na Amazônia são dependentes dos movimentos e das propriedades

das águas amazônicas, que são movimentadas através dos pulsos anuais de inundação.

A acidez do pH nos pontos de amostragem neste estudo foi maior do que a encontrada por Miranda et al. (2009), os quais apresentaram resultados mais alcalinos, antes do encontro dos rios Tapajós e Amazonas. Segundo Miranda et al. (2009), após o encontro dos rios, o pH apresenta características ácidas e levemente alcalinas, devido à pouca influência dos ácidos húmicos nos rios de água branca.

Entretanto o aumento da acidez, neste estudo, pode ser explicado pelo aumento da erosão em diversos pontos das margens do rio Tapajós, havendo maior interferência da formação Alter do Chão, que é caracterizadas por rochas que contribuem para a acidez das águas subterrâneas e superficiais da região e também a influência das microbacias, cujos igarapés possuem maior concentração de ácidos húmicos e fúlvidos (Pinheiro et al., 2019). De acordo com Silva et al. (2018), as águas ácidas são comumente observadas em igarapés prístinos da Amazônia, como na bacia do rio Tapajós.

Entretanto o lançamento de esgoto também pode contribuir para o padrão mais ácido em comparação com os estudos anteriores. Outro ponto importante no estudo é o fator de diluição, devido a sua interferência nos resultados de condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos, sendo os valores obtidos considerados baixos para área de descarte de esgoto, o que também foi visto

por Pinheiro et al. (2019) em um ponto próximo ao Rio Tapajós.

Os rios de águas claras, como o Tapajós, drenam áreas de escudo Pré-Cambrianas, o que interfere diretamente na carga de material dissolvido e em suspensão, apresentando baixas taxas de erosão e altas taxas de lixiviação, logo a condutividade, o STD e o MPS para a região é esperado que seja baixo (Silva et al., 2019; Rios-Villamizar et al., 2020).

Os STD estão relacionados, principalmente, a presença de material particulado de origem orgânica ou inorgânica (Ferreira et al., 2020). O estudo sobre MPS é importante, pois não somente fornece as condições sobre a penetração de luz e a produtividade ecológica do ecossistema aquático, mas também fornece informações sobre o transporte de poluentes, como o fósforo (Silva e Silva et al., 2020)

Fernandes et al. (2010), encontraram a concentração de 0,460 g/L (460mg/L) de MPS no rio Sorocaba na estação chuvosa, enquanto Oliveira (2014), no eixo fluvial principal da Baía de Todos os Santos, encontrou valores que variaram entre, 3mg/L e 80,3 mg/L, o que se assemelha ao encontrado neste estudo, que variou de 11,8 a 16,4 mg/L (tabela 3). A diferença encontrada no Rio Sorocaba, provavelmente está ligada às rochas sedimentares, como arenitos, que fazem parte da sua bacia, aumentando a carga de material particulado e também a carga de esgoto que ele recebe ao longo do curso (Fernandes et al., 2010).

Tabela 03. Concentrações de fósforo inorgânico dissolvido (PID) e total particulado (PTP), bem como as concentrações de material particulado em suspensão (MPS) e material orgânico em suspensão (MOS) nas amostras de água superficial do rio Tapajós, Santarém-PA.

Pontos	MPS mg/L	MOS %	MOS mg/L	PID µmol/L	PTP µmol/L
1	16,0	47,9	7,7	0,14	1,3
2	15,7	57,8	9,1	0,14	2,8
3	16,4	74,4	12,2	0,12	2,5
4	15,0	2,3	0,3	0,10	2,6
5	14,5	2,8	0,4	0,10	2,3
6	11,8	38,5	4,5	0,05	2,0

Fósforo

A presença de fósforo na água pode estar associada aos processos naturais, como dissolução de rochas, carreamento de solo e através de processos antropogênicos, como o lançamento de esgotos, detergentes, fertilizantes e pesticidas (Parron et al., 2011).

De acordo com Parron et al. (2011), o fósforo pode ser encontrado nas formas de fósforo solúvel reativo (ortofosfatos disponíveis para as plantas), fósforo particulado orgânico (presente nos organismos vivos e detritos orgânicos) fósforo particulado inorgânico (fosfatos minerais (apatita), presentes em compostos argilosos e complexados à matéria orgânica (carbonato de cálcio precipitado) e fósforo não particulado inorgânico (fosfatos condensados como encontrados em detergentes).

O esgoto é composto, principalmente, por materiais inorgânicos e matéria orgânica dissolvidos ou em suspensão, e microrganismos. As partículas em suspensão são chamadas de colóides, que exercem um papel importante na dinâmica dos contaminantes no meio aquático (Tomazonni et al., 2005). Ao saber dessa importância, foram aplicados testes não paramétricos, como correlação de Spearman e o teste de Wilcoxon, nos parâmetros analisados. Foram correlacionados significativamente, o MPS e os coliformes ($r= 0,92$ e $p<0,05$); o fósforo inorgânico dissolvido (PID) e os coliformes ($r= 0,85$ e $p<0,05$); e coliformes totais e *E. Coli* ($r=0,98$ e $p<0,05$). As correlações indicam que o material particulado em suspensão (MPS) também é composto por coliformes, e em alguns casos as partículas podem ocultar os microrganismos, como foi relatado por Tomazonni et al. (2005).

O PID é a forma mais biodisponível aos organismos aquáticos e as suas concentrações estão ligadas diretamente a produção primária do meio (Paula Filho et al., 2012; Costa et al., 2020), e o resultado da correlação positiva indica que os coliformes podem ser uma fonte para o PID neste ecossistema. A correlação positiva entre coliformes totais e *E. Coli* era esperada por formarem, juntamente, com os coliformes fecais e *enterococci*, o grupo dos coliformes (APHA, 2012; Drummond et al., 2018). Ao aplicar o teste de Wilcoxon entre os coliformes totais e *E. Coli* foi visto que há diferença entre as amostras ($Z = 2,04$ e $p< 0,05$), indicando que há diferença na composição dos dois parâmetros.

As concentrações de fósforo particulado total (PTP) não apresentaram grandes variações ao longo dos pontos. Santos et al. (2007) encontraram concentrações médias na camada eufótica do rio Amazonas de $0,13 \mu\text{mol/L}$. As maiores concentrações encontradas neste estudo sugerem a influência antrópica na área do estudo, principalmente, esgoto e restos de animais, como peixes, no mercado municipal (ponto 2). Segundo Paula Filho et al. (2012), a fração particulada está ligada à produção biológica (plantas e animais), à precipitação de fósforo inorgânico, ao intemperismo de minerais primários e secundários e aos restos de organismos mortos.

As concentrações de nitrogênio total dissolvido apresentadas neste trabalho (Tabela 04), estão de acordo com o estudo realizado por Gonsior et al. (2016) no rio Tapajós, que encontraram a concentração de $0,13 \text{ mg/L}$ no leito do rio e está em conformidade com a CONAMA 357/05. O fator de diluição pode ser um dos atenuantes dos resultados, como foi visto por Pinheiro et al. (2019).

Parâmetros microbiológicos

Os coliformes totais abrangem um grande grupo de organismos, logo uma parcela detectada nas amostras de água pode ser de origem não fecal, sendo considerado um indicador não confiável para a contaminação fecal (Alves et al., 2018).

A *E. Coli* é uma bactéria do grupo dos coliformes, encontrada nas fezes provinda do trato digestivo dos animais homeotérmicos Ceballos, 2000; Silva et al., 2018; Costa et al., 2020), que pode causar doenças, como diarreia, hepatites e outros distúrbios gastrointestinais (Meschede et al., 2018).

Ao comparar com a norma brasileira, CONAMA 357/05, todos os parâmetros estão abaixo, exceto a *E. Coli* (Tabela 04), que em quatro pontos (1,2,3 e 5) os resultados estão acima do recomendado para classe 1 e um ponto (3) acima do recomendado para a classe 2, indicando maior influência antrópica nesses pontos de amostragem, o que representa um risco à biota e à saúde humana, devido à ingestão de peixes pescados no trecho e às atividades de recreação no local.

Cintra et al. (2020), num estudo sobre a qualidade da água em um trecho do rio Paraíba do Sul, encontraram menores concentrações de *E. Coli* entre o período de 2015-2018 em relação ao período da década de 1980. Os autores atribuíram a queda à ampliação da rede sanitária nos

municípios, próximos. Entretanto as concentrações continuam acima do permitido para classe I.

Segundo Villa-Achuapas et al. (2018), as altas concentrações de coliformes fecais no rio Yacuambi, estão relacionadas ao esgoto sem tratamento, a piscicultura de tilápias e ao esterco do gado, que acessa o rio para dessedentação.

Abreu & Cunha. (2015), encontraram concentrações de *E.Coli* acima do permitido pela CONAMA357/, para rios de classe II, no rio Jari. Os autores atribuíram aos fatores naturais, como os solos carregados na estação chuvosa amazônica, mas também à ocupação antrópica próxima às margens, que podem aumentar o aporte de esgoto doméstico nos recursos hídricos, principalmente, na estação chuvosa, contribuindo para a queda na qualidade da água.

Em um estudo no rio Arari, Alves et al. (2012) encontraram concentrações de coliformes fecais entre 350 a 2400 NMP/100 ml. Apenas um dos pontos havia a influência direta de aporte de esgoto, entretanto em áreas que não haviam influência direta da ocupação antrópica, apresentaram grandes concentrações de coliformes, o que pode ser atribuído à degradação causada pelo aporte de esgoto no ponto anterior ou ao tráfego de barcos, os quais despejam esgoto *in*

natura nas águas dos rios amazônicos, atuando como fontes difusas de contaminação.

Neste estudo, os pontos 1 e 3 são áreas de atracadouros de barcos de passageiro e carga, sendo o ponto 3 um terminal não legalizado pelo governo, conhecido como Porto da Tiradentes, mas recebe um grande número de barcos durante o dia, devido à sua localização central, o que contribui para lançamento de esgoto, óleo e lixo na região.

Segundo Silva et al. (2019), a influência antrópica, como a expansão da fronteira agrícola, o crescimento demográfico e o desmatamento se acentuaram nos últimos anos na bacia do Rio Tapajós, contribuíram para o maior aporte de nutrientes, como P e N, que conseqüentemente, reduziram a qualidade da água em alguns trechos do rio.

Além disso, nos últimos anos o número de empreendimentos imobiliários e comerciais na área da Orla de Santarém e proximidades aumentou, o que impactou em ligações diretas com a tubulação de águas pluviais, que vão em direção à calha do rio, contribuindo com o aporte de esgoto sem tratamento, o que conseqüentemente, aumenta as concentrações de *E.Coli* e o risco à saúde humana na região.

Tabela 04 Nitrogênio Total (NT), Coliformes fecais e *E.Coli* nas amostras de água superficial do rio Tapajós, Santarém-PA.

NT µmol/L	Coliformes NMP/100 ml	<i>E.Coli</i> NMP/100 ml
37,7	3680	800
23	3040	720
12,2	3680	1280
21,2	560	160
20,2	1600	560
14,3	80	0

Conclusões

Apesar de parte dos resultados estarem abaixo da CONAMA 357/05, é um alerta do aumento da influência antrópica na região. As altas

concentrações de coliformes fecais, *E.Coli* e maiores concentrações de PTP indicam deterioração da qualidade da água, que está

relacionada às atividades humanas em expansão na cidade.

O aumento demográfico que a cidade passou nas últimas décadas, um fenômeno típico de algumas cidades amazônicas, levou à urbanização dos espaços amazônicos, entretanto esse crescimento não foi acompanhado da implementação de infraestrutura. Essa situação é encontrada em Santarém, que ainda não tem uma rede de tratamento de esgoto a qual atenda toda a cidade, e a região da orla ainda não estava conectada ao tronco coletor da estação de tratamento de esgoto do Mapiri na época da coleta para este estudo.

Além disso, o crescimento do fluxo de barcos oriundos do interior do estado e de outros Estados da região Norte com destino ou escala em Santarém, juntamente com a falta de fiscalização, aumenta consideravelmente o despejo de esgoto *in natura* na região da orla cidade, sendo uma fonte de contaminação na região,

A queda na qualidade de água e a consequente, contaminação, implicam diretamente na balneabilidade do rio, afetando atividades econômicas em ascensão no município, como o turismo, do mesmo modo que afeta a biota local e pode ser vetor de doenças transmitidas pelo contato com água contaminada. Outro fator importante é a contaminação dos peixes, que fazem parte da dieta alimentar da região. Neste sentido, é imprescindível o monitoramento desses pontos e novos estudos com outros parâmetros nessa área.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao laboratório de Biologia Ambiental da Universidade Federal do Oeste do Pará, coordenado pelo professor Dr. José Reinaldo Peleja e os técnicos Flávia Cristina Carvalho de Lima e Edvaldo Junior de Souza Lemos pelas análises dos parâmetros físico químicos, ao Laboratório Tapajós Ambiental pelas análises de bacteriológicas e a Marinha do Brasil pelo barco.

Referências

- Abreu, C.H.M., Cunha, A.C. 2015. Qualidade da água em ecossistemas aquáticos tropicais sob impactos ambientais no baixo Rio Jari-AP: Revisão descritiva. *Biota Amazônica*, 5, 119-131.
- Almeida, J.M., Américo-Pinheiro, J.H.P. 2018. Efeitos de cianobactérias tóxicas em ambientes aquáticos. *Periódico eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*. 14,2.
- Alves, I. C., EL-Robrini, M., Santos, M. L. S., Monteiro, S. M., Barbosa, L. P. F., Guimarães, J. T. F. 2012. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). *Acta Amazônica*, 42.
- Alves, R.I.S., Machado, C.S., Beda, C.F., Fregonesi, B.M., Nadal, M., Sierra, J., Domingo, J.L. Segura-Muñoz, S.I. 2018. Water Quality Assessment of the Pardo River Basin, Brazil: A Multivariate Approach Using Limnological Parameters, Metal Concentrations and Indicator Bacteria. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*.
- Agência Nacional de Águas (Brasil). 2012. Plano estratégico de recursos hídricos dos afluentes da margem direita do rio Amazonas: resumo executivo / Agência Nacional de Águas. – Brasília: ANA, 2012. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2013/planoEstrategicoDeRecursos.pdf>>. Acesso: 20 dez 2020.
- Agência Nacional de Águas (Brasil) II. Superintendência de Apoio à Gestão de Recursos Hídricos III. 2011. O comitê de bacia hidrográfica. o que é e o que faz? Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/CadernosDeCapacitacao1.pdf>>. Acesso: 17 dez 2020.
- American Public Health Association (APHA). (2012). *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. 22. ed. Washington, D.C.
- Amorim, E.B., Herrera, J.A., Neves, I.C. 2020. Território e conflito na Amazônia: interpretações geográficas dos conflitos pela terra em Anapu, Pará. *Campo-Território: revista de geografia agrária*, 15, 223-248.
- Aquino, R. D. G., Silva, M. A., Junior, R. L. J. S., Queiroz, V. A. V. B., Junior, J. M. O. 2017. Urbanização, Saneamento e Favelização na Amazônia Brasileira. VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Campo Grande/MS. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2017/IX-024.pdf>
- Becker, Bertha K. 1995. Undoing myths: the Amazon-an urbanized forest. *Man and the biosphere series*. 15, 53-53.

- Becker, Bertha K.2005. Dinâmica urbana na Amazônia. Economia e Território. Belo Horizonte: Editora UFMG.
- Becker, Bertha K. 2010.Revisão das políticas de ocupação da Amazônia: é possível identificar modelos para projetar cenários?. Parcerias estratégicas 6,12,135-159.
- Bessa,K.2020.Processos, formas espaciais e mudanças no padrão da rede urbana na Amazônia brasileira. In:Cidades na Amazônia Legal brasileira. Org. O.A,F. Porto Nacional/TO: OPTE, – Coleção Madreplac – Educação, Território e Desenvolvimento Regional, 2, pp 199.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente.2005. Conselho nacional do meio ambiente- CONAMA Resolução N° 357, 17 de março de
- Ceballos, B. S. O.2000. Microbiología Sanitaria y Ambiental. In: MENDONÇA, S. R.. Sistemas de Lagunas de Estabilización: cómo utilizar aguas residuales tratadas em sistema de regadío. Santa Fé de Bogotá: Mc Graw-Hill, 68-106
- Cetesb.2007.ColiformesTotais: Determinação pela Técnica de Membrana Filtrante São Paulo pp 2.
- Cintra, L.S., Oliveira,C.R., Costa,B.B.P., Costa,D.A.,Oliveira,V.P.S.,Araújo,T.M.R. 2020. Monitoramento de parâmetros de qualidade da água do rio Paraíba do Sul em Campos dos Goytacazes – RJ. Holos, 36,5.
- Correa, E.S., Monte, C.N.Nascimento, T.R.S.2020. Avaliação de impacto ambiental causado por efluentes da estação de piscicultura Santa Rosa, Santarém/Pará Revista Íbero Americana de Ciências ambientais 11 .
- Costa, A.S.V., Oliveira,C.D., Bravin,T.C. 2018. Análise das alterações dos parâmetros de qualidade da água do rio do Carmo, afluente do rio Doce, após rompimento da barragem de Fundão, em Mariana-MG. Holos Environment 18, 160-176
- Costa, C.M., Santos,C.O., Silva, D.P., Freitas,L.N., Gaioso, M.V.G. 2018. Qualidade das águas superficiais no contexto da sub-bacia do rio Coxim.Revista on-line de extensão e cultura Realização 5.
- Costa, I.,Saldanha, E. C., Monte, C. N.2020. A sazonalidade de contaminantes em águas subterrâneas e superficiais entorno de um aterro sanitário na região Amazônica. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais 11, 371-382.
- CPRM – Serviço Geológico Brasileiro.2013. Geodiversidade do estado do Pará (Org: João, X.S.J., Teixeira,S.G.,Fonseca,D.. – Belém, Brasil.
- Drumond, S.N.,Santiago, A.F.,Moreira, M., Lanna, M.C.S., Roeser,H. M.P.2018 Identificação molecular de *Escherichia coli* diarrreogênica na Bacia Hidrográfica do Rio Xopotó na região do Alto Rio Doce. Engenharia Sanitária Ambiental 23, 579-590.
- Esteves, F.2011. Fundamentos de limnologia. 3 ed. Interciência Rio de Janeiro.
- FAPESPA - Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas. Estatísticas Municipais Paraenses: Santarém. Diretoria de Estatística e de Tecnologia e Gestão da Informação.2018 – Belém. Disponível em: <http://www.fapespa.pa.gov.br/upload/Arquivo/anexo/1787.pdf?id=1591786381>. Acesso em: 15/12/2020
- Fernandes, A.M.,Nolasco, M.B.,Mortatti,J.2010.Estimativa do escoamento superficial rápido e sua carga em suspensão com a aplicação do modelo de separação de hidrogramas com filtros numéricos: bacia do Rio Sorocaba – SP Geociências 29,49-57.
- Ferreira,M.S., Fontes,M.P.F., Pacheco,A.A., Lima,H.N., Santos., J.Z.L. 2020. Risk assessment of trace elements pollution of Manaus urban rivers. Science of the Total Environment 709.
- Finotti, R. F., Finkler, R., Silva, M. D´A., Cemin, G. 2009. Monitoramento de Recursos Hídricos em Áreas Urbanas. Caxias do Sul, RS:EDUCS pp 272
- Foppa, C., Kuroshima, K., Medeiros, R. P.,Borges, S. F.,Barreiros, M., Araújo, S. A.,Scherer, P. F.,Lacava, L., Bonilha, L. E. C.2004. Avaliação da qualidade da água subterrânea e mobilização social: em busca da gestão participativa do uso da água (praia de Taquaras, Balneário Camboriú/SC). In: Congresso brasileiro de Águas Subterrâneas, 13. Anais.
- Frias, D.F.R., Pinheiro,R.S.B., Américo-Pinheiro,J.H., Buosi,A.L.B.2020. Variação espaço-temporal da concentração de *Escherichia coli* em águas superficiais e a saúde pública. Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades 8.
- Gonsior, M., Valle, J.,Schmitt-Kopplin, P.,Hertkorn, N., Bastviken, D.,Luek, J.,Harir, M., Bastos, W., Enrich-Prast, A.2016.

- Chemodiversity of dissolved organic matter in the Amazon Basin. *Biogeosciences* 13, 4279–4290.
- Gorayeb, A., Lombardo, M. A., Pereira, L. C. C. 2009. Condições Ambientais em Áreas Urbanas da Bacia Hidrográfica do Rio Caeté–Amazônia Oriental-Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management* 9, 59-70,
- Grasshoff, K., Ehrhardt, M., Kremling, K. 1999. *Methods of Seawater Analysis*, 2.ed. Weinheim: Verlag Chemie.
- Homma, A.K.O., Menezes, A.J.E.A., Santana, C.A.M., Navarro, Z. 2020. O desenvolvimento mais sustentável da região amazônica: entre (muitas) controvérsias e o caminho possível. *COLÓQUIO – Revista do Desenvolvimento Regional* 17, 1-27.
- IBGE – Instituto Brasileiro Geográfico e Estatístico. População no último Censo Demográfico, Santarém, Pará. 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/santarem>>. Acesso em: 18 dez. 2018.
- IBGE – Instituto Brasileiro Geográfico e Estatístico. População Estimada em 2018 através do último Censo Demográfico, Santarém, Pará. 2018. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_media/ibge/arquivos/0ea24a6209e3a7b9ac956b645dabecf4.xls>. Acesso em: 18 dez. 2020.
- Junk, W. J., Piedade, M. T. F., D'Angelo, S.A. ; Wittmann, F., Schöngart, J., Barbosa, K.M. Do N. ;, Lopes, A. 2010. Aquatic herbaceous plants of the Amazon floodplains: state of the art and research needed. *Acta Limnológica Brasiliensia* 22, 165-178.
- Lima, W. P., Zakia, M. J. B. 2000. Hidrologia de matas ciliares In: *Matas ciliares: conservação e recuperação*—editores Ricardo Ribeiro Rodrigues, Hermógenes de Freitas Leitão Filho. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo: FAPESP.
- Lima, V. 2007. Análise da qualidade ambiental na cidade de Osvaldo Cruz/SP. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Geografia, Unesp.
- Lima, S. M. S. A., Lopes, W. G. R., Façanha, A. C. 2017. Urbanização e crescimento populacional: Reflexões sobre a cidade de Teresina, Piauí. *Gaia Scientia* 11.
- Malheiros, C.H., Hardoim, E.L., Lima, Z. M., Amorim, R.S.S. 2012. Qualidade da água de uma represa localizada em área agrícola (Campo Verde, MT, Brasil) (*Revista Ambiente & Água An Interdisciplinary Journal of Applied Science* 7.
- Maranhão, R. A. Impactos da ocupação urbana e qualidade das águas superficiais na microbacia de Val-de-cães (Belém/PA). 2011. *Caminhos de Geografia*, 12.
- Meschede, M. S. C., Figueiredo, B. R., Alves, R. I. S., Segura-Muñoz, I. S. 2018. Drinking water quality in schools of the Santarém region, Amazon, Brazil, and health implications for schoolchildren. *Ambient & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science* 13, 2218.
- Miranda, R. G., Pereira, S.F.P., Alves, D.P.V., Oliveira, G.R.F. 2009. Qualidade dos recursos hídricos da Amazônia-Rio Tapajós: avaliação de caso em relação aos elementos químicos e parâmetros físico-químicos (*Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science* 4.
- Mota, S. *Gestão ambiental de recursos hídricos*. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2008.
- Oliveira, W. P. 2014. Dinâmica do material particulado em suspensão no eixo principal da Baía de Todos os Santos. Thesis. Oceanography, Universidade Federal da Bahia, Brazil.
- Oliveira, G., Scazufca, P., Pires, R. C. 2018. *Ranking do saneamento*. São Paulo: Instituto Trata Brasil.
- Parron, L. M., Muniz, H. F., Pereira, C. M. 2011. *Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água*. Embrapa Florestas-Documents (INFOTECA-E).
- Pastana, J. M.N. Situação do espaço municipal de Santarém. 1997. Relatório Técnico. Programa de Integração Mineral em Municípios da Amazonia – PRIMAZ/ CPRM
- Paula Filho, F.J., Moura, M.C.S., Marins, R.V. 2012. Fracionamento Geoquímico do Fósforo em Água e Sedimentos do Rio Corrente, Bacia hidrográfica do Parnaíba/PI *Revista Virtual Química* 4, 623-640.
- Pereira, J.C. M. 2004. Importância e Significado das Cidades Médias na Amazônia: uma abordagem a partir de Santarém (PA). Belém: Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido/NAEA/UFPA.
- Pinheiro, D.C., Correa, E.S., Monte, C.N. 2019. Índice de estado trófico e a proveniência do fósforo e clorofila-a em diferentes estações do

- ano em uma microbacia Amazônica. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais* 10.
- Ramos, J. R. B. 2004. A Urbanização de Santarém e a Preservação Ambiental do Lago Mapiri: Um Estudo de Caso. Tese de Doutorado. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Rebello, F. 2003. Riscos naturais e ação antrópica. Estudos e Reflexões .2º Edição revista e aumentada, Imprensa da Universidade, Coimbra, Portugal.
- Ríos-Villamizar, E.A., Adeney, J.M., Piedade, M.T.F., Junk, W.F. 2020b. New insights on the classification of major Amazonian river water types. *Sustainable Water Resources Management* 6.
- Sá, L.L.C., Vieira, J.M.S., Mendes, R.A., Pinheiro, S.C.C., Vale, E.R., Alves, F.A.S., Santos, E.C.O., Costa, V.B. 2010. Ocorrência de uma floração de cianobactérias tóxicas na margem direita do rio Tapajós, no Município de Santarém (Pará, Brasil). *Revista Pan Amazonica Saúde* 1, 159-166.
- Santos, M.L., Muniz, K., Feitosa, F.A.N., Neto, B.B. 2007. Estudo das diferentes formas de fósforo nas águas da plataforma continental do Amazonas. *Química Nova* 3, 569-573.
- Santos, B.A. 2017. As políticas de habitação e urbanização diante da mudança do clima: estudo da vulnerabilidade e da adaptação em Santarém-Pará. Trabalho de Conclusão do Curso - Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia das Águas Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém.
- Santos, G. P. 2017. Avaliação hidroambiental de seis igarapés no município de Santarém- PA. 2017. Trabalho de Conclusão do Curso - Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia das Águas. Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém.
- Santos, A.S., Sousa, P.H.C., Melo, N.F.A.C., Castro, K.F., Pereira, J.A.R., Santos, M.L.S. 2020. Distribuição espaçotemporal dos parâmetros abióticos e bióticos em um estuário amazônico (Brasil). *Arquivos de Ciência do Mar* 53, 82-97.
- Santos, G. P., Oliveira, L. L., Fernandes, G. S. T.; Santos, I. I., Almeida, R. M., Moura, E. R. S. 2020. Qualidade hidrológica e ambiental de uma microbacia urbana de abastecimento público de água na Amazônia Brasileira. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, 11, 154-168.
- Silva, M.S.R., Miranda, S.A.F., Domingos, R.N., Silva, S.L.R.S., Santana, G.P. 2013. Classificação dos rios da Amazônia: uma estratégia para preservação desses recursos. *Holos Environment* 13, 163-174.
- Silva, B. B., Rocha, L. G., Silveira, L. P. O., Carvalho, A. V., Guimarães, A. P. M. 2018. Análise de qualidade da água do Ribeirão Tranqueira. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais* 9, 11-25.
- Silva, I. B. B., Pinto, A. P. A., Mortati, A. F., Oliveira, L. L. 2018. Caracterização hidrológica e ambiental de uma pequena bacia do baixo Rio Tapajós (AM). *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais* 9, 14-27.
- Silva, M.S.R., Ríos-Villamizar, E.A., Miranda, S.A.F., Ferreira, S.F., Bringel, S. R.B.; Gomes, N.A., Silva, L.M., Pascoaloto, D., Cunha, H.B. 2019. Contribution to the hydrochemistry and water typology of the Amazon river and its tributaries. *Caminhos da Geografia* 20, 360-374.
- Silva, S.C.F., Peleja, J.R.P., Melo, S. 2019. Flutuação temporal de cianotoxinas (Microcistina-LR) no rio Tapajós (Santarém, Amazônia-Brasil). *Scientia Plena* 15, 1-13.
- Silva e Silva, R., Blanco, C.J.C., Cavalcante, I.C.S., Teixeira, L.C.G.M., Fernandes, L.L., Pessoa, F.C.L. 2020. Relationship between water quality parameters and land use of a small Amazonian catchment. *Sustainable Water Resources Management*, 6.
- Silveira, M. I., Schaan, D.P. 2005. Onde a Amazônia encontra o mar: estudando os sambaquis do Pará. *Revista de Arqueologia*, 18.
- Sousa, B. L. M., Peleja, J. R. P., Sousa, B. L. M., Goch, Y. G. F., Ribeiro, J. S., Pereira, B. S., Lima, F. C. C., Lemos, E. J. S. 2018. Índice de Estado Trófico de Lagos de Águas Claras Associados ao Baixo Rio Tapajós, Amazônia, Brasil. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais* 9, 76-89.
- Souza, C.O., Melo, T.R.B., Melo, C.S.B., Menezes, E.M., Carvalho, A.C., Monteiro, L.C.R. 2016. *Escherichia coli* enteropatogênica: uma categoria diarreio gênica versátil. *Revista Pan Amazonica Saúde* 7, 79-91.
- Sousa Júnior, W, C org. 2014. Tapajós Hidrelétricas, infraestrutura e caos- Elementos para a governança da sustentabilidade em uma região singular. ITA/CTA, 192p

- Tomazoni, J.C., Mantovani, L.E., Bittencourt, A.V.L., Rosa Filho, E.F. 2005. Utilização de medidas de turbidez na quantificação da movimentação de sólidos por veiculação hídrica nas bacias dos rios Anta Gorda, Brinco, Coxilha Rica e Jirau – sudoeste do estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências* 57, 49-56.
- Trancoso, R., Tomasella, J., Carneiro, A. 2007. Amazônia, desflorestamento e água: interação entre a floresta tropical e a maior bacia hidrográfica do planeta. *Revista Ciência Hoje* 40.
- Villa-Achupallas, M., Rosado, D., Aguilr, S., Galindo-Riaño, M.D. 2018. Water quality in the tropical Andes hotspot: The Yacuambi river (southeastern Ecuador). *Science Total Environment* 633, 50-58.
- Wasserman, J.C., Damaceno, V.M., Lima, G.B.A., Wasserman, M.A. 2019. Spatial distribution of water quality in the Amazonian region: implications for drinking water treatment procedures. *Journal of Water and Health* 17, 749-761.
- Wetzel, R. G. 1993. *Limnologia*. 2 ed. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, Portugal.
- World Health Organization (WHO). 2011. *Lead in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality*. World Health Organization, 4nd. Ed., Geneva. 564p.
- Wroblewski, F.A., Bertol, I., Wolschick, N.H., Bagio, B., Santos, V.P., Bernardi, L., Biasiolo, L.A. Impacto da antropização na qualidade da água e no solo de áreas ciliares avaliado em uma bacia hidrográfica na região Sul do Brasil. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 20 (1)