

## AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA POLUIÇÃO NAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DE UM AFLUENTE DO RIO SOLIMÕES NA AMAZÔNIA CENTRAL BRASILEIRA

**Adriano Nobre Arcos**

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS  
PPG Ecologia e Conservação, Campo Grande – MS  
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA  
Laboratório de Química Ambiental, Manaus – AM  
[adriano.bionobre@gmail.com](mailto:adriano.bionobre@gmail.com)

**Hillândia Brandão da Cunha**

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA  
Laboratório de Química Ambiental, Manaus – AM  
[hillandia@gmail.com](mailto:hillandia@gmail.com)

### RESUMO

A avaliação e monitoramento da qualidade dos recursos hídricos são essenciais para preservação do meio, pois refletem na qualidade da saúde ambiental e pública. Neste sentido, o estudo teve como objetivo principal identificar as principais fontes poluidoras e analisar a qualidade da água da orla da cidade de Anamã, Amazonas, Brasil. As coletas das fontes poluidoras e dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos foram realizadas no primeiro semestre de 2017, em áreas rurais, periurbanas e urbanas ao longo da orla. As áreas urbanas apresentaram um volume maior de resíduos sólidos, com diferença significativa entre a área rural e periurbana ( $p= 0,005$  e  $0,036$ ), indicando alto grau de poluição. Além disso, foram classificadas como impróprios para balneabilidade e contato primário. No geral, os parâmetros limnológicos se enquadraram nas resoluções ambientais do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente), e os sólidos totais em suspensão e condutividade elétrica mostraram-se significativos no eixo 1 e 2 da análise de componentes principais (ACP), com valores elevados em ambientes urbanos e periurbanos. Estas variáveis são importantes para determinar a qualidade da água, especialmente por estar associadas com ambientes alterados.

**Palavras-chave:** Qualidade da água. Coliformes. Esgoto. CONAMA.

### ASSESSMENT OF THE IMPACTS OF SURFACE WATER POLLUTION FROM A TRIBUTARY OF THE SOLIMÕES RIVER IN THE CENTRAL BRAZILIAN AMAZON

#### ABSTRACT

The assessment and monitoring of the quality of water resources is essential for preserving the environment, as they illustrate the levels of environmental and public health. Therefore, the principle objective of the current study is to identify the main polluting sources and to analyze the water quality in the vicinity of the city of Anamã, Amazonas state, Brazil. Analysis of polluting sources and collection of physical, chemical and microbiological parameters were carried out in the first half of 2017, along the riverbank in both urban and rural areas. Urban areas had a higher volume of solid waste, with a significant difference between rural and peri-urban areas ( $p = 0.005$  and  $0.036$ ), indicating a high degree of pollution. In addition, urban areas were classified as unsuitable for bathing. In general, the limnological parameters met the environmental resolutions of CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) and the total suspended solids and electrical conductivity were significant in axis 1 and 2 of the Principal Component Analysis (PCA), with high values in urban and peri-urban environments. These variables are important for determining water quality, especially as they are associated with altered environments.

**Keywords:** Water quality. Coliform. Sewage. CONAMA.

## INTRODUÇÃO

Próximo a região de Manaus, o Rio Amazonas é formado pelo encontro das águas pretas do Rio Negro e das águas brancas do Solimões. O Solimões nasce nos Andes e sua cor e o aspecto turvo da água é oriundo dos sedimentos carregados em suspensão, como argilas, siltes e areias finas (SIOLI, 1984; FRANZINELLI, 2011). Nessa região, o pulso de inundação exerce um papel importante, atuando em processos ecológicos e transformações no meio físico com o alagamento das várzeas (JUNK; BAYLEY; SPARKS, 1989; RAMALHO et al., 2010), além da influência direta na qualidade dos recursos hídricos em regiões com descarga de efluente não tratado.

No Brasil ainda existe um déficit com saneamento e tratamento de esgotos urbanos (LEONETI; PRADO; OLIVEIRA, 2011), sendo despejados sem tratamento nos rios das grandes cidades, onde estão sendo canalizados. Essas alterações físicas, químicas e biológicas nos ambientes aquáticos modificam significativamente a qualidade e disponibilidade da água (TUNDISI, 2003), além da biota aquática. Segundo Piedade et al. (2014) essas alterações antrópicas levam ao empobrecimento biológico.

De acordo com a legislação ambiental brasileira vigente, as resoluções ambientais nº 274/2000, nº 357/2005 e nº 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, enquadram os corpos de água em classes de acordo com seus usos preponderantes, condições de balneabilidade e padrões de lançamento de efluentes. E os parâmetros utilizados para mensurar os ambientes aquáticos são definidos em limites aceitáveis presentes referente ao uso da água (BRASIL, 2000, 2005, 2011).

Para Silva et al. (2008), a análise da qualidade da água com o uso de parâmetros limnológicos como o pH, temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e turbidez são importantes, pois discriminam a qualidade dos rios, refletindo na saúde dos ribeirinhos. E a qualidade ambiental dos recursos hídricos pode ser afetada por fatores naturais e atividades humanas, especialmente em regiões com impactos antrópicos.

A avaliação e o monitoramento da qualidade das águas por meio de dados quali-quantitativos se tornam um importante instrumento na gestão e tomada de decisão por parte dos órgãos ambientais (FIA et al., 2015). Portanto, o uso de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos para diagnóstico da balneabilidade e potabilidade são de extrema importância para o entendimento da influência do meio antrópico sobre os recursos hídricos.

Diante da importância da avaliação da qualidade dos recursos hídricos para diversos fins, este trabalho teve como objetivo identificar potenciais fontes poluidoras e avaliar a qualidade da água em toda extensão da orla de Anamã, afluente do rio Solimões no Amazonas. Neste sentido, esperamos classificar as áreas estudadas com a utilização da legislação ambiental vigente, e nossa hipótese principal é que áreas mais urbanizadas apresentarão qualidade da água nas categorias satisfatória e imprópria.

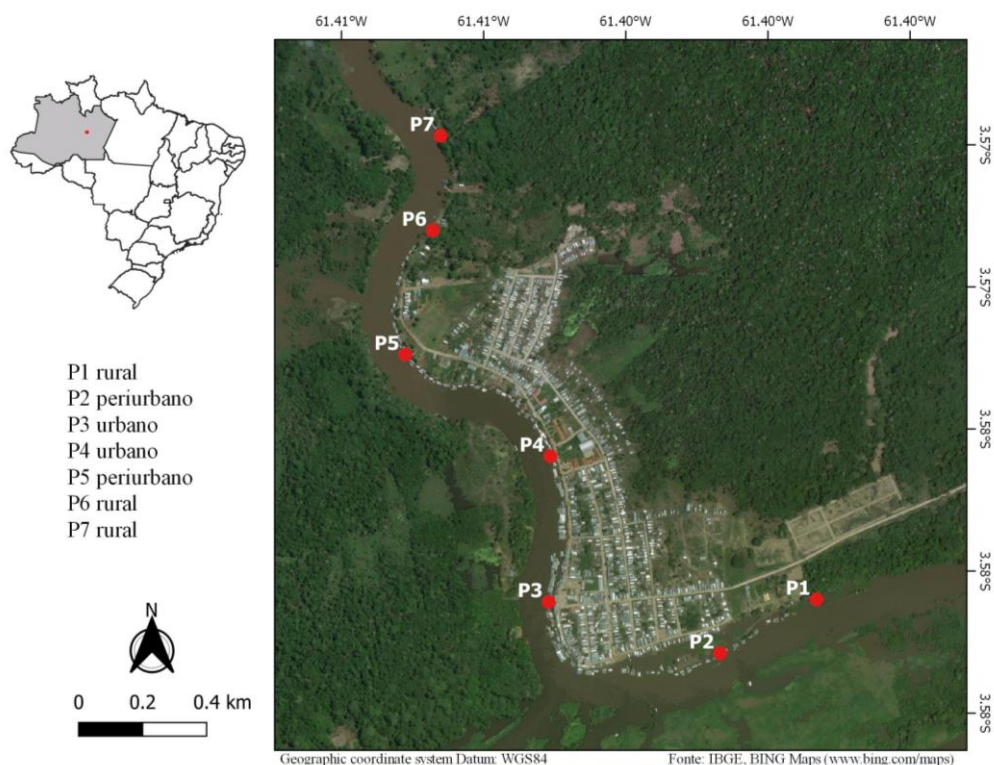
## METODOLOGIA

### ÁREA DE ESTUDO

O município de Anamã está localizado a oeste da cidade de Manaus, capital do Estado do Amazonas, cerca de 129 quilômetros de distância. Pertencente à Mesorregião do Centro Amazonense e Microrregião de Coari, ocupa uma área de 2.453,934 km<sup>2</sup> e sua população estimada é de aproximadamente 13.614 habitantes (Figura 1). A cidade apresenta 4,3% de domicílios com esgotamento sanitário adequado segundo o último censo (ALE, 2019; IBGE, 2019).

A região apresenta um clima equatorial quente e úmido, com influência direta do regime hidrológico (Enchente, Cheia, Vazante, Seca) (BITTENCOURT e AMADIO, 2007). Anamã é banhada pelo Paraná Arara, um afluente do rio Solimões e no período de cheia (maio e junho), a cidade fica totalmente submersa. Devido esse movimento das águas, a cidade é adaptada para esse período de alagao, onde a maioria das casas são suspensas e chamadas popularmente de palafitas.

Figura 1 - Área de estudo localizada na cidade de Anamá, situada em um afluente do rio Solimões no estado do Amazonas em 2017.

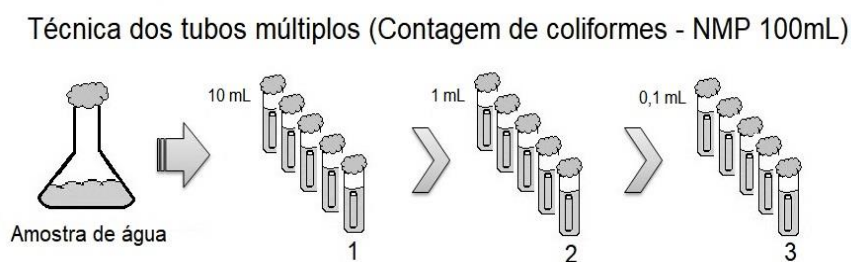


As coletas de água foram realizadas em sete pontos ao longo da orla da cidade, no período de seca conforme o regime hidrológico local (fevereiro e março de 2017). A amostragem foi feita durante cinco semanas consecutivas, conforme estipulado pela resolução ambiental nº 274/2000. As áreas foram classificadas em rural, periurbano e urbano, de acordo com suas características de urbanização (Figura 1). O material coletado foi preservado e encaminhado para as análises no Laboratório de Química Ambiental – LQA do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA.

#### INDICADORES MICROBIOLÓGICOS

Para a análise das águas da orla da cidade, foram utilizados frascos de vidro de 250 mililitros esterilizados e coletadas amostras na superfície da água. Foi utilizada a técnica dos Tubos Múltiplos que determina o Número Mais Provável (NMP) de coliformes totais e fecais presentes nas amostras de água, com o auxílio da tabela de Hoskins, recomendado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente através da resolução nº 274/2000 que é fundamentada no Standart Methods for Water and Wastwater Examination de acordo com a Figura 2 (APHA, 1985; BRASIL, 2000).

Figura 2 - Esquema da técnica dos tubos múltiplos para contagem do número mais provável de coliformes presentes na amostra de água.



Fonte - Arcos, Silva e Cunha (2020).

A técnica dos tubos múltiplos é constituída de dois testes: 1º teste presuntivo (crescimento de bactérias) e 2º teste confirmativo, dividido em dois procedimentos para crescimento, verificação e contagem do grupo coliforme total e fecal nas amostras coletadas (Figura 2). Os tubos positivos são contabilizados e os resultados comparados com a tabela de Hoskins. Estes resultados fornecem a densidade de bactérias do grupo coliforme total e fecal por meio do número mais provável de coliformes presentes na amostra (NMP/100mL), onde serão comparados com os valores estabelecidos pela resolução ambiental nº 274/2000 e nº 357/2005 de acordo com a Tabela 1 (BRASIL, 2000).

Tabela 1 - Categoria de classificação para balneabilidade conforme resolução ambiental do CONAMA nº 274/2000 e nº 357/2005.

Classificação simplificada	Categoria padrão	Limite de coliforme fecal (*NMP/100mL)
Próprio	Excelente	Máximo de 250 NMP de coliformes fecais em 80% ou mais das amostras das cinco semanas consecutivas
	Muito bom	Máximo de 500 NMP de coliformes fecais em 80% ou mais das amostras das cinco semanas consecutivas
	Satisfatório	Máximo de 1000 NMP de coliformes fecais em 80% ou mais das amostras das cinco semanas consecutivas
Impróprio	Impróprio	Superior a 1000 NMP de coliformes fecais em 20% ou mais das amostras das cinco semanas consecutivas

\*NMP (Número Mais Provável): é a estimativa da densidade de coliformes fecais em uma amostra, calculado a partir da combinação de resultados positivos e negativos.

#### PARÂMETROS LIMNOLÓGICOS

Foram utilizados equipamentos portáteis (Orion pH 290A+, YSI Dissolved oxygen e VWR "EC METER" 2052), para medição *in situ* do pH, oxigênio dissolvido, temperatura, condutividade, utilizando o método potenciométrico. O método gravimétrico foi utilizado para a análise dos sólidos totais em suspensão, com a coleta de 500 mL de água e posterior filtragem, secagem e pesagem (APHA, 1985).

Estes valores serviram para a caracterização limnológica do afluente do rio Solimões e seus valores padronizados pela resolução ambiental nº 357/2005 e nº 430/2011 (BRASIL, 2005, 2011). Os valores de pluviosidade (mm) foram adquiridos do banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2019).

#### CARACTERIZAÇÃO DA ORLA E FONTES POLUIDORAS

Durante as cinco semanas de coletas na orla, foram anotadas observações que auxiliam na caracterização de fontes poluidoras. Contabilizamos a quantidade de flutuantes comerciais e residenciais (estruturas flutuantes no rio que utilizadas como moradias e comércio pela população ribeirinha), pontos de erosão, esgoto e materiais despejados incorretamente (plástico, papel, metal, isopor e madeira). O esforço amostral de observação para cada ponto foi de 20 minutos, com o mesmo observador em toda a campanha de coleta.

#### ANÁLISE DOS DADOS

Para verificar a diferença significativa entre a quantidade de resíduos sólidos entre as áreas utilizamos ANOVA e teste Tukey. Foi realizada a análise de componentes principais com as variáveis limnológicas e as áreas estudadas, com a utilização do software estatístico PAST versão 4.0 (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade de coliformes totais variou de 36 a 11000 NMP-CT, apresentado valores elevados nos pontos P5, P6 e P7. Os pontos P3, P4 e P5 apresentaram valores elevados de coliformes fecais, ultrapassando o limite estipulado pela resolução ambiental do Conselho Nacional de Meio Ambiente n. 274/2000, e sendo classificados como impróprios para balneabilidade e contato primário. Estes pontos estão dentro da área urbana e periurbana, e apresentaram valores altos entre 1200 e 2400 NMP-CF. Os demais pontos foram classificados como próprios, variando de 0 a 1000 MPN-FC/100mL (Tabela 2).

Tabela 2 - Número mais provável de coliformes totais e fecais (NMP/100 mL) em cinco semanas consecutivas no afluente do rio Solimões, Amazonas.

Pontos	Coliforme total (NMP-CT)					Coliforme fecal (NMP-CF)				
	Semanas					Semanas				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
P1- rural	230	640	230	1500	930	210	91	36	3	0
P2- periurbano	390	750	91	210	430	430	230	150	91	3
P3- urbano*	2400	36	930	930	91	1200**	1200**	1000	930	150
P4- urbano*	2300	430	750	430	150	2400**	2100**	1500**	1000	230
P5- periurbano*	2900	1500	4600	210	750	1500**	1400**	1200**	640	200
P6- rural	1500	91	1500	750	1500	930	750	430	200	72
P7- rural	4600	36	11000	4600	2400	150	91	73	36	36

\*pontos classificados como impróprios para o banho e contato primário de acordo com a resolução Conama 274/2000.

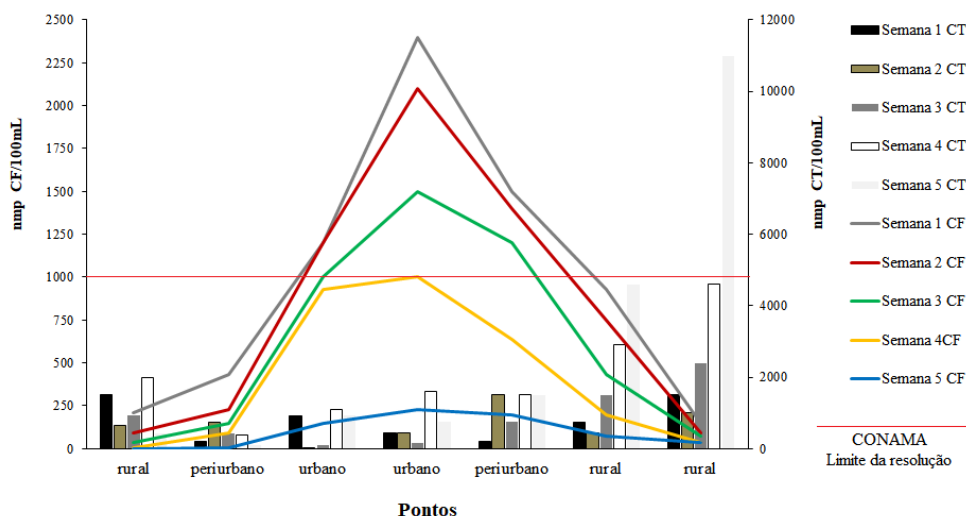
\*\*valores que ultrapassaram o limite de 1000 CF/100mL, segundo a resolução Conama 274/2000.

A distribuição de coliformes totais e fecais apresentou diferença entre as áreas coletadas, com maior densidade de coliforme total na somatória das semanas nos pontos P5 (periurbano) e P6 (rural) a jusante do afluente, que representa o final da cidade de Anamã. Entretanto, os coliformes fecais estavam concentrados na região urbana, principalmente nos pontos de maior circulação de pessoas (P3, 4, 5), presença de flutuantes, embarcações e pontos de esgoto não tratado (Figura 3). Este grupo de bactérias são definidos como termotolerantes, presentes em fezes humanas e de animais homeotérmicos, ocorrendo em diversas matrizes e também em ambientais que não tenham sido contaminados por material fecal (BRASIL, 2005).

A utilização de indicadores microbiológicos para avaliar a qualidade da água se torna uma importante ferramenta, pois alguns desses organismos são responsáveis por diversas doenças. Para Oliveira, Silva Filho e Silva (2017), a existência desse grupo de bactérias indica problemas com doenças de veiculação hídrica. E nas áreas mais urbanizadas, fontes pontuais diretas de esgotamento sanitário *in natura* contribuem para o aumento de coliformes na água (SOUZA et al., 2014; ARCOS et al., 2018a), este padrão foi observado também na orla de Anamã, com maiores concentrações de coliformes fecais em áreas urbanas (Figura 3).

De acordo com a resolução ambiental do Conama n° 274/2000 e n° 357/2005, para rios de classe 1 e 2, os pontos P3, P4 (área urbana) e P5 (periurbana) são impróprios para o banho e contato primário. Estas áreas ultrapassaram o limite de 1000 CF/100mL em mais de 20% das amostras realizadas durante cinco semanas consecutivas de coleta (BRASIL, 2000; BRASIL, 2005). Além disso, o uso da água para consumo nesses pontos se torna inviável por motivos de saúde pública, podendo causar doenças gastrointestinais, preconizado pela Portaria n° 2.914/11 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

Figura 3 - Variação de coliforme total (CT) e fecal (CF) presentes na orla durante cinco semanas consecutivas nas áreas rural, periurbana e urbana.



As concentrações altas de coliformes totais encontradas nas áreas rurais no final da cidade pode ser oriunda tanto da região urbana, que é carregada com a água do rio e das chuvas, quanto da presença de animais (Ex. bois, cavalos e aves domésticas). Segundo Esteves et al. (2019), a presença de animais nas margens dos rios e o escoamento superficial são responsáveis pela presença de altas concentrações de coliformes. Souza e Gastaldini (2014) apontam altos valores de coliformes fecais em áreas mais urbanizadas, e menores em áreas mais preservadas, corroborando com os dados do nosso trabalho.

A presença de coliforme total aumentou principalmente no final das coletas, acompanhando o aumento do nível do rio e da quantidade de chuvas na região. As condições climáticas também exercem influência direta na concentração desse grupo de microrganismos (NOGUEIRA et al., 2000), onde aumento significativo de coliformes já foi observado no período chuvoso (SILVA et al., 2009), e no período seco (ARCOS; CUNHA; SILVA, 2016; ARCOS, SILVA, CUNHA, 2020).

Além do *Escherichia coli*, os coliformes totais são compostos por outras bactérias entéricas e não entéricas do gênero *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Aeromonas* dentre outras. Estes podem estar presentes em diversos substratos e a presença de coliforme total na amostra não indica a contaminação direta por fezes de animais, para isso são necessárias metodologias direcionadas para identificar a contaminação por coliformes fecais (GARCIA et al., 2011). Nesse sentido, a utilização de meios de crescimento específicos para *E. coli* são essenciais, sendo empregados neste estudo.

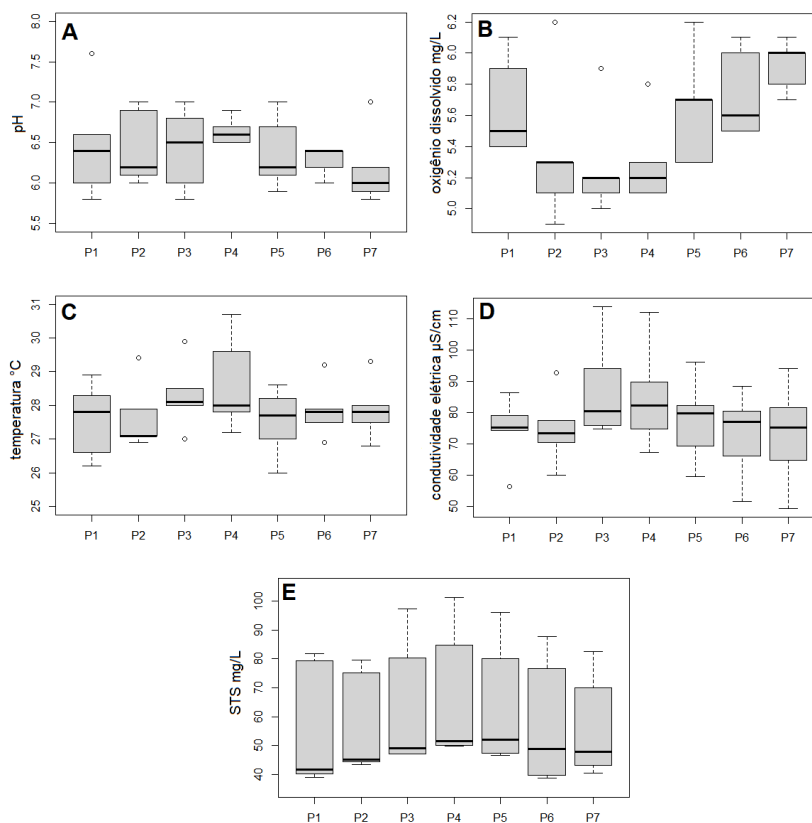
Estes indicadores microbiológicos são utilizados como um dos principais parâmetros de avaliação da qualidade da água, e na região Amazônica vem sendo direcionado para vários fins, como balneabilidade, potabilidade e manutenção da vida aquática (OLIVEIRA e CUNHA, 2014; CAMPOS e CUNHA, 2015; SOUZA; SÁ-OLIVEIRA; SILVA, 2015; QUEIROZ e RUBIM, 2016). Portanto, a presença desse grupo é indicativo de qualidade ambiental, requerendo um monitoramento eficaz por parte do poder público.

O pH ficou próximo à neutralidade, entre 5,8 a 7,6, e os menores valores foram registrados nas áreas rurais, com pH ligeiramente ácido (Figura 4). Não ocorreu oscilação significativa desta variável durante as semanas de coleta, permanecendo dentro dos padrões de qualidade para corpos d'água recomendados pelo Conama nº 357/05 (BRASIL, 2005). Estas faixas de pH para rios de água branca são comumente vistas em trabalhos na região Amazônica (QUEIROZ et al., 2009; GUIMARÃES et al., 2013; SOUTO; OLIVEIRA; SILVA, 2015).

Apenas em uma amostragem o valor de pH ficou inferior ao recomendado pela legislação (6,0 a 9,0), além disso, o Brasil possui águas doces com faixas de pH que variam de ácidas a neutras (SILVA et

al., 2008). Portanto, as peculiares de cada região devem ser levadas em consideração na hora de estudos que avaliam a qualidade da água e principalmente na formulação de legislações de enquadramento de um corpo d'água, como por exemplo a região Amazônica.

Figura 4 - Variação temporal do potencial hidrogeniônico (A), oxigênio dissolvido (B), temperatura (C) condutividade elétrica (D) e sólidos totais em suspensão (E) da água durante as cinco semanas consecutivas de coleta.



A concentração de oxigênio dissolvido variou de 4,9 a 6,2 mg/L, não apresentando altas variações entre os pontos, com valores elevados na última semana em todos as áreas (Figura 4). Esta variável é considerada uma das principais na avaliação da qualidade da água e segundo Darwich et al. (2005), o oxigênio dissolvido na água é oriundo do processo fotossintético das algas, macrófitas e da difusão do ar atmosférico. Além disso, possui fundamental importância na manutenção da vida aquática e indicativo de ambientes naturais, com boa qualidade de água (PINTO; OLIVEIRA; PEREIRA, 2010; ARCOS et al., 2018b).

Em toda extensão do rio Solimões, as concentrações de oxigênio dissolvido na água são normalmente encontradas abaixo do limite estipulado pela resolução n° 357/2005 (> 5 mg/L) (CASAGRANDE et al., 2006; SANTOS e TAVARES-DIAS, 2010), para águas de classe 2. E o aumento do material em suspensão oriundo de escoamento superficial das chuvas e drenagem e rios podem diminuir as concentrações de oxigênio no ambiente aquático (TUNDISI e TUNDISI, 2008).

Durante a campanha de coleta a temperatura da água teve como mínima de 26,2 e máxima de 30,7° C, e as áreas urbanas (P3 e 4) apresentando valores altos, em média 28,4° C (Figura 4). A temperatura da água do rio Solimões é de 29 ± 1°C durante o ano, considerada mais fria em comparação com o rio Negro que permanece entre 30° a 31° C (SIOLI, 1984). E segundo Darwich et al. (2005), a temperatura média para águas amazônicas é de 29° C. Para ambientes urbanos no Amazonas, altos valores de temperatura na água são associados com o despejo de efluentes não

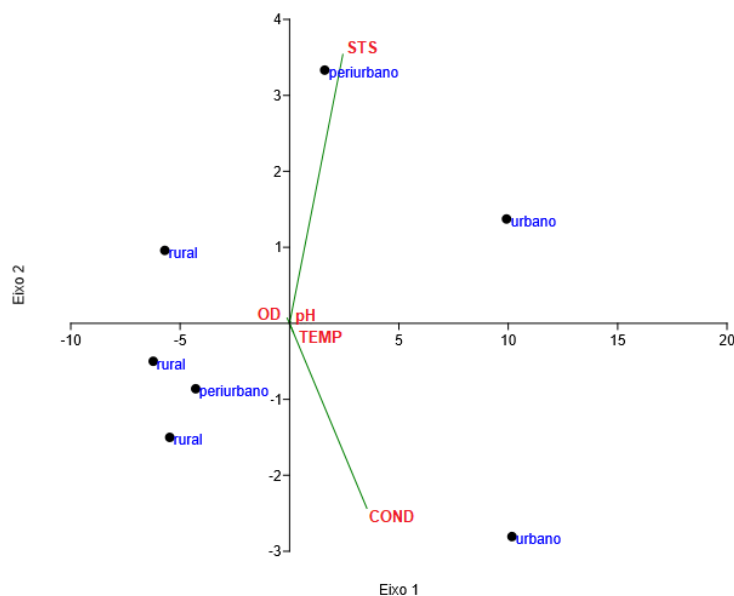
tratados, oxidação da matéria orgânica e ausência da mata ciliar (MELO; SILVA; MIRANDA, 2005). Essas causas refletiram também no resultado deste estudo, com o aumento da temperatura nas áreas mais urbanizadas.

A condutividade elétrica foi maior na área urbana, principalmente na última semana de coleta. Em todos os pontos os valores permaneceram entre 49,3 e 114,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . A relação da presença de esgoto e contaminação com o aumento nos valores de condutividade elétrica é bem clara, e já observada em estudo realizado na área urbana de Manaus (SANTOS et al., 2006). E o aumento da condutividade na orla da cidade de Anamá é explicada principalmente pelos pontos de esgoto não tratado que desaguam na área urbana. Além disso, Silva e Silva (2007) indicam as variáveis químicas como importantes elementos que alteram também a condutividade elétrica da água.

A concentração de sólidos totais em suspensão variou de 38,7 a 101,2 mg/L, com menor concentração em área rural e maior em área urbana, sendo mais nítida na última semana de coleta. E o aumento nos valores de condutividade e sólidos totais em suspensão em rios de água branca, podem ser explicadas por atividades antrópicas, como por exemplo, desmatamento, agricultura e pecuária (RÍOS-VILLAMIZAR; MARTINS JUNIOR; WAICHMAN, 2011). E este padrão foi claramente visto nas variáveis estudadas neste trabalho. No geral, a média dos resultados encontrados durante as coletas encontram-se em conformidade com a resolução ambiental vigente (Figura 4).

A análise de componentes principais mostrou que o eixo 1 explicou 92,6% da variância total e o eixo 2 7,1%, onde juntos explicaram 99,8%. Os sólidos totais em suspensão (STS) e condutividade (COND) foram mais significativos para o eixo 1 respectivamente ( $r=0,567$ ,  $r=0,822$ ), em área periurbana e urbana. No eixo 2 a variável mais significativa foi o sólido total em suspensão em área urbana ( $r=0,823$ ). A área rural ficou em uma região intermediária e não foram associadas significativamente com nenhuma variável limnológica (Figura 5).

Figura 5 - Diagrama de ordenação da análise de componentes principais (PCA): OD (oxigênio dissolvido); pH (potencial hidrogeniônico); TEMP (temperatura); COND (condutividade elétrica); STS (sólidos totais em suspensão).



Altas concentrações de sólidos totais em suspensão e condutividade foram visualizadas nas áreas periurbanas e urbanas de Anamá, e os valores elevados dessas variáveis nas áreas estudadas indicam riscos de poluição localizada, sendo por esgoto não tratado, escoamento superficial das chuvas, dentre outros. Altas concentrações de condutividade elétrica na água associada com ambientes urbanos também foi visto em estudo realizado por Girão et al. (2007), onde aponta esta

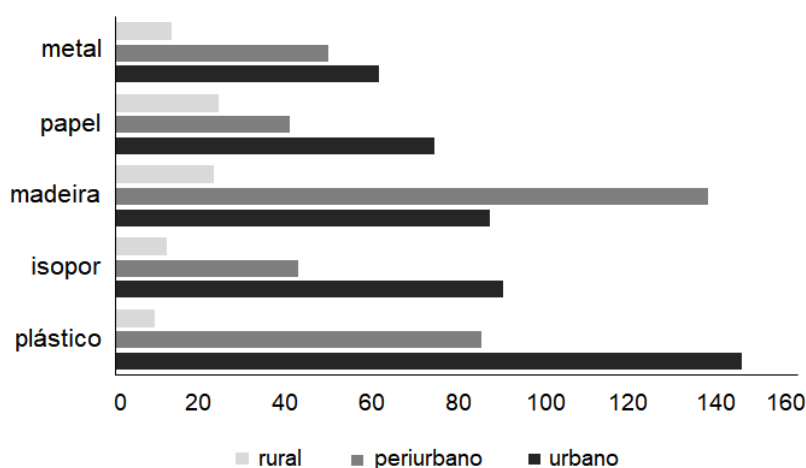


variável como relevante na avaliação da qualidade da água, por estar associada a sais dissolvidos provenientes de efluentes não tratados. Souto, Oliveira e Silva (2015) apontaram a condutividade elétrica e outros elementos como variáveis de maior importância na formação dos agrupamentos na PCA no rio Solimões.

Maior quantidade dos resíduos sólidos encontrados estavam presentes nas áreas urbanas e periurbanas, com 463 e 359 respectivamente, e a área rural com 81. Ao longo da orla, foram contabilizadas 250 unidades de madeira, 242 plásticos, 146 isopores, 140 papéis e 125 metais (Figura 6). A área urbana apresentou diferença significativa entre a área rural e periurbana ( $p= 0,005$  e  $0,036$ ), indicando alto grau de poluição. Para Vila Nova e Tenório (2019), as produções desses resíduos com descarte incorreto geram problemas, como a contaminação dos recursos hídricos e criação de ambientes favoráveis para proliferação de mosquitos vetores de doenças.

Os resíduos presentes na pesquisa são inferiores às encontradas nos ambientes aquáticos de grandes cidades, e pode ser explicado principalmente pela demografia do município. Segundo Pinto et al. (2009), os resíduos domésticos e industriais acabam modificando características limnológicas destes ambientes, aumentando a concentração de contaminantes metálicos e sais. Entretanto, para evitar que esse quadro evolua, é necessário um sistema mais eficaz de coleta de lixo, drenagem, redirecionamento dos dutos de esgoto e ações que envolvam a educação ambiental.

Figura 6 - Distribuição da quantidade “unidades” dos resíduos sólidos encontrados ao longo da orla de Anamã.



Ao longo da orla foram contabilizados 47 pontos de esgoto não tratado que deságuam no afluente do rio Solimões. A área urbana apresentou 25 pontos, periurbana 16 e área rural 5. A presença de flutuantes residências foi elevada, com 104 unidades e 16 comerciais. Conjuntamente a presença de embarcações de pequeno, médio e grande porte ao longo da orla. Muitas cidades brasileiras não possuem um sistema de tratamento de esgoto eficaz com destinação ecologicamente correta (SILVA et al., 2010), e essa realidade é comumente observada nos municípios do Amazonas. De acordo com Alves et al. (2012), a deterioração dos recursos hídricos pode ser oriunda de ações antrópicas de maior escala e de fatores naturais. E a contaminação dos rios por meio antrópico, pode contribuir para o processo de eutrofização artificial local. Além disso, essa ação pode criar novos ambientes que acabam servindo como potenciais habitats para vetores de doenças (FERREIRA et al., 2015; ARCOS et al., 2018b).

Em toda extensão da orla foram identificados dez pontos de erosão por causa antrópica e cinco erosões de causas naturais oriundas da forte correnteza do rio (Figura 7). Além do processo natural de escoamento superficial, o desmatamento, perda da mata ciliar e ocupação urbana desordenada provocam o processo erosivo (CAMIZÃO; SILVA SOTERO; MASCARENHAS, 2019). Nos pontos com erosão acentuada, o solo estava exposto e originaram-se com a infiltração de tubulação de esgoto não tratado e escoamento superficial da cidade.

Figura 7 - Quadro de imagens dos flutuantes presentes na orla (A, B), com pontos de presença de esgoto (C), erosão (D) e resíduos sólidos (E), ao longo da orla.



A precipitação variou de 1 mm a 68,0 mm, e elevados índices pluviométricos foram observados durante a primeira, segunda, quarta e quinta semana (Tabela 3). As chuvas na região desempenham um papel importante no regime hidrológico, além de favorecer o escoamento superficial e carreamento de matéria orgânica para as coleções hídricas. Ela pode influenciar positivamente e negativamente os valores de parâmetros limnológicos (ESTEVES et al., 2019), e ser fundamental para a manutenção da qualidade da água, escassez e diluição de poluentes (LUCAS; FOLEGATTI; DUARTE, 2010). Outra característica importante observada nos ambientes aquáticos é a diluição dos coliformes com o aumento das chuvas (GARCIA et al., 2011). Vale ressaltar que o número mais provável de coliformes fecais foi diminuindo à medida que aumentava a pluviosidade local e o nível do rio.

Tabela 3 - Média de precipitação (mm) com valores mínimo e máximo das cinco semanas consecutivas de coleta.

Semanas	Mín.	Máx.	Média
1	1	55,4	25,5
2	1	68,0	17,7
3	1	20,6	5,5
4	1	38,4	21,4
5	9	55,6	21,1

O processo de degradação ambiental vem aumentando em muitas localidades no Amazonas, e esta realidade precisa ser vista com atenção pelo poder público. Segundo Arcos, Silva e Cunha (2020), as modificações antrópicas podem favorecer no surgimento de patógenos causadores de doenças. Um estudo realizado sobre a percepção ambiental de moradores em uma comunidade no Rio Amazonas, enfatiza:

“Para que a relação entre o homem e a natureza se faça de maneira equilibrada, é imprescindível que a sociedade compreenda as dimensões culturais, políticas, sociais e econômicas do problema ambiental. Nesse contexto, a percepção ambiental pode proporcionar melhor compreensão acerca do comportamento vigente e orientação para o planejamento de ações futuras do poder público que visem à inserção de meios eficazes para que a comunidade se sinta parte de um todo e repense ações nocivas ao meio ambiente. Muito da degradação ambiental do espaço urbano está ligado ao cotidiano.” (OLIVEIRA e COSTA, 2017, p.152).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As características físico-químicas e microbiológicas da água sofreram influência direta de fatores antrópicos, como a falta de planejamento urbano e as más condições de tratamento de esgoto, além da sazonalidade que contribuiu para a mudança da qualidade da água local. Ações de educação ambiental e melhoria na infraestrutura são essenciais para uma melhoria na qualidade ambiental do município, além da implantação de um sistema de monitoramento da qualidade da água local e regional.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos técnicos do laboratório de Química Ambiental pelo treinamento e análise do material coletado e ao Maxwell Oliveira pelo suporte na confecção do mapa. Agradecemos também as instituições colaboradoras do estudo: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. O estudo foi realizado com o apoio de bolsas concedidas pela Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul – FUNDECT, e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

- ALE – Assembleia Legislativa do Estado do Amazonas. **Anamã**, 2019. Disponível em: <http://www.ale.am.gov.br/anama/historia/>. Acesso em: 01 set. 2019.
- ALVES, I. C. C.; EL-ROBRINI, M.; SANTOS, M. D. L. S.; MONTEIRO, S. D. M.; BARBOSA, L. P. F.; GUIMARÃES, J. T. F. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). **Acta Amazonica**, v. 42, n. 1, p. 115-124, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672012000100014>
- APHA - American Public Health Association. **Standart Methods of the Experimination of Water and Wasterwater**. 14 ed. New York, 1985.
- ARCOS, N. A., CUNHA, H. B., SILVA, M. S. R. Avaliação do grupo coliforme fecal como indicador de balneabilidade de três praias do rio Negro, Manaus – AM. In: FERREIRA, S. J. F., SILVA, M. L., PASCOALOTO, D. (Org.). **Amazônia das águas: Qualidade, Ecologia e Educação Ambiental**. Manaus: Editora Valer, 2016. p. 69-89.
- ARCOS, A. N.; AMARAL, A. C. L.; SANTOS, M. A.; SILVA, C. M. A.; KOCHHANN, D.; TADEI, W. P. Water Quality of Urban Lakes in the Central-Southern Region of Manaus, Amazon. **Scientia Amazonia**, v. 7, n.2, p. 1-11, 2018a.
- ARCOS, A. N.; DA SILVA FERREIRA, F. A.; CUNHA, H. B.; TADEI, W. P. Characterization of artificial larval habitats of *Anopheles darlingi* (Diptera: Culicidae) in the Brazilian Central Amazon. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 62, n. 4, p. 267-274, 2018b. <https://doi.org/10.1016/j.rbe.2018.07.006>
- ARCOS, A. N., SILVA, J. S., CUNHA, H. B. Fecal coliform group as an indicator of balneability in freshwater beach in Negro river, Amazonas. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. 1-17, e238974015, 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4015>
- BITTENCOURT, M. M.; AMADIO, S. A. Proposta para identificação rápida dos períodos hidrológicos em áreas de várzea do rio Solimões-Amazonas nas proximidades de Manaus. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 2, p. 303-308, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000200019>
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução 274 de 29 de novembro de 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res00/res27400.html> . Acesso em: 12 fev. 2020.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento bem como estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes e da outras providencias**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/Conama/> . Acesso em: 12 fev. 2020.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria 2914 de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu**

**padrão de potabilidade.** Disponível em: [http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/projetos/qualidade-da-agua/legislacao/portarias/portaria-no-2914-de-12-de-dezembro-de-2011/at\\_download/file](http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/projetos/qualidade-da-agua/legislacao/portarias/portaria-no-2914-de-12-de-dezembro-de-2011/at_download/file) . Acesso em: 12 fev. 2020.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005.** Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646/> . Acesso em: 14 fev. 2020.

CAMIZAO, M. S.; SILVA SOTERO, C.; MASCARENHAS, P. S. M. A ação antrópica no ano de 2016 no entorno do Rio Brumado. **Revista Integrart**, v. 4, n. 1, p. 99-110, 2019.

CAMPOS, J. S.; CUNHA, H. F. A. Análise comparativa de parâmetros de balneabilidade em Fazendinha, Macapá-AP. **Biota Amazônia**, v. 5, n. 4, p. 110-118, 2015. <https://doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v5n4p110-118>

CASAGRANDE, C. A.; MOURA, J. M. S.; TOLEDO, A. M. A.; ANTUNES, P. M.; LUCAS, A. A. T.; PINAZZA, É.; COGO, M.; MARTINELLI, L. A. Efeitos Naturais e Antrópicos nas Alterações dos Teores de Oxigênio Dissolvido: Uma Comparação Entre as Bacias do Rio Amazonas e Piracicaba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n. 4, p.221-231, 2006. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v11n4.p221-231>

DARWICH, A. J.; APRILE, F. M.; ROBERTSON, B. A.; ALVES, L. F. Limnologia do Lago Tupé: dinâmica espaço-temporal do oxigênio dissolvido. In: SANTOS-SILVA, E. N.; APRILE, F. M.; SCUDELLER, W. V.; MELO, S. (Org.). **BioTupé: Meio Físico, Diversidade Biológica e Sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central**. INPA, Manaus, Editora INPA, 2005. p. 35-67. 2005.

ESTEVES, C. S.; GARCIA, C. A. B.; SILVA, M. G.; JUNIOR, J. A. O.; GARCIA, H. L.; COSTA, S. S. L. Uso de índices multiparamétricos para avaliação física, química e biológica da água. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 26404-26416, 2019. <https://doi.org/10.34117/bjdv5n11-274>

FERREIRA, F. A. S.; ARCOS, A. N.; SAMPAIO, R. T. M.; RODRIGUES, I. B.; TADEI, W. P. Effect of *Bacillus sphaericus* Neide on *Anopheles* (Diptera: Culicidae) and associated insect fauna in fish ponds in the Amazon. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 59, n. 3, p. 234 - 239, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.rbe.2015.03.013>

FIA, R.; TADEU, H. C.; MENEZES, J. D.; FIA, F. R. L.; OLIVEIRA, L. D. Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 2, p. 267-275, 2015. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n1.p267-275>

FRANZINELLI, E. Características morfológicas da confluência dos rios Negro e Solimões (Amazonas, Brasil). **Brazilian Journal of Geology**, v. 41, n. 4, p. 587-596, 2011. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2011414587596>

GARCIA, G. O.; SOUZA, G. B.; PORTELLA, M. B. S.; RIGO, M. M.; PAULA, H.; CARDOSO, M. S. N. Caracterização do processo de contaminação das águas do Rio Cristal no município de Jerônimo Monteiro. **Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal**, v. 8, n. 2, p. 243-251, 2011.

GIRÃO, E. G.; ANDRADE, E. M.; ROSA, M. D. F.; ARAÚJO, L. D. F. P.; MEIRELES, A. C. M. Seleção dos indicadores da qualidade de água no Rio Jaibaras pelo emprego da análise da componente principal. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 1, p. 17-24, 2007.

GUIMARÃES, S.T.; LIMA, H. N.; TEIXEIRA, W. G.; NEVES JUNIOR, A. F.; SILVA, F. W. R.; MACEDO, R. S.; SOUZA, K. W. Caracterização e classificação de gleissolos da várzea do rio Solimões (Manacapuru e Iranduba), Amazonas, Brasil. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 37, p. 317-326, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000200003>

HAMMER, Ø.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**, 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/anama/panorama>. Acesso em: 01 set. 2019.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**, 2019. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 01 set. 2019.

JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E., The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems. In: DODGE, D. P. (Org.). Proceedings of the International Large River Symposium. **Can. Spec. Public. Fish. Aquat. Sci.**, v. 106, 1989. p. 110-127 pp.

LEONETI, A. B.; PRADO, E. L.; OLIVEIRA, S. V. W. B. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. **Revista de Administração Pública**, v. 45, n. 2, p. 331-348, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0034-76122011000200003>

LUCAS, A. A.; FOLEGATTI, M. V.; DUARTE, S. N. Qualidade da água em uma microbacia hidrográfica do Rio Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 937-943, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000900005>

MELO, E. G. F.; SILVA, M. D.; MIRANDA, S. A. F. Influência antrópica sobre águas de igarapés na cidade de Manaus-Amazonas. **Caminhos de Geografia**, v. 5, n. 16, p. 40-47, 2005.

NOGUEIRA, G.; SANTANA, R. G.; NAKAMURA, C. V.; TOGNIM, M. C. B.; ABREU FILHO, B. A.; DIAS FILHO, B. P. Análise bacteriológica da água de Maringá e região entre 1996 e 1999. **Acta Scientiarum, Technology**, v. 22, p. 1207-1211, 2000.

OLIVEIRA, B. S. S. D.; CUNHA, A. C. D. Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 2, p. 261-275, 2014. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1287>

OLIVEIRA, I. G.; COSTA, S. M. F. Análise da percepção ambiental dos moradores de área de várzea urbana de uma pequena cidade do estuário do Rio Amazonas. **Paisagem e Ambiente**, v.40, p. 151-167, 2017. <https://doi.org/10.11606/issn.2359-5361.v0i40p151-167>

OLIVEIRA, J. D.; SILVA FILHO, A. C.; SILVA, J. B. A água e suas correlações com doenças na cidade de Campina Grande-PB. **Hygeia**, v. 13, n. 24, p. 92-109, 2017.

PIEPADE, M. T. F.; VAL, V.M.F.A.; LOPES, A.; HENRIQUE, H. S.; FÉ, L. M. L.; WITTMANN, F. Organismos aquáticos e de áreas úmidas em uma Amazônia em transição. **Ciência e Cultura**, v. 66, n. 3, p. 34-40, 2014. <https://doi.org/10.21800/S0009-67252014000300013>

PINTO, A. G. N.; HORBE, A. M. C.; SILVA, M. D. S. R. D.; MIRANDA, S. A. F.; PASCOALOTO, D.; SANTOS, H. M. D. C. Efeitos da ação antrópica sobre a hidrogeoquímica do rio Negro na orla de Manaus/AM. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 3, p. 627-638, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672009000300018>

PINTO, A. L.; OLIVEIRA, G. H. D.; PEREIRA, G. A. Avaliação da eficiência da utilização do oxigênio dissolvido como principal indicador da qualidade das águas superficiais da bacia do córrego Bom Jardim, Brasilândia/MS. **Revista de Geografia, Meio Ambiente e Ensino**, v. 1, n. 1, p. 69-82, 2010. <https://doi.org/10.4136/serhidro.72>

QUEIROZ, M. M. A.; HORBE, A. M. C.; SEYLER, P.; MOURA, C. A. V. Hidroquímica do rio Solimões na região entre Manacapuru e Alvarães: Amazonas-Brasil. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 4, p. 943-952, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672009000400022>

QUEIROZ, C. P. S.; RUBIM, M. A. L. Avaliação da condição de balneabilidade na orla urbana de Manaus/AM/Brasil. **Scientia Amazonica**, v. 5, n.2, 24-33, 2016.

RAMALHO, E. E.; MACEDO, J.; VIEIRA, T. M.; VALSECCHI, J.; MARMONTEL, M.; QUEIROZ, H. L. Ciclo hidrológico nos ambientes de várzea da reserva de desenvolvimento sustentável Mamirauá-Médio rio Solimões, período de 1990 a 2008. **Scientific Magazine UAKARI**, v. 5, n. 1, p. 61-87, 2010.

RÍOS-VILLAMIZAR, E. A.; JUNIOR, A. F. M.; WAICHMAN, A. V. Caracterização físico-química das águas e desmatamento na bacia do rio Purus, Amazônia Brasileira Ocidental. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 5, n. 2, p. 54-65, 2011.

SANTOS, I. N. D.; HORBE, A. M. C.; SILVA, M. D. S. R. D.; MIRANDA, S. Á. F. Influência de um aterro sanitário e de efluentes domésticos nas águas superficiais do Rio Tarumã e afluentes-AM. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 2, p. 229-235, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672006000200013>

SANTOS, R. B. S.; TAVARES-DIAS, M. Células sanguíneas e resposta hematológica de *Oxydoras niger* (Pisces, Doradidae) oriundos da bacia do médio Rio Solimões, estado do Amazonas (Brasil), naturalmente parasitados. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 36, n. 4, p. 283-292, 2010.

SILVA, M. L.; SILVA, M. D. S. R. Perfil da qualidade das águas subterrâneas de Manaus. **Holos Environment**, v. 7, n. 1, p. 01-15, 2007. <https://doi.org/10.14295/holos.v7i1.969>

SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, A. V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 4, p. 733-742, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000400017>

SILVA, A. C.; PINHEIRO, L. S.; MAIA, L. P.; MORAIS, J. O.; PINHEIRO, L. Estudo hidrodinâmico, climático e bacteriológico associado às fontes pontuais de poluição ao longo do litoral de Fortaleza. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n. 2, p. 83-90, 2009. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v14n2.p83-90>

SILVA, A. C.; DOURADO, J. C.; KRUSCHE, A. V.; GOMES, B. M. Impacto físico-químico da deposição de esgotos em fossas sobre as águas de aquífero freático em Ji-Paraná-RO. **Revista de estudos ambientais**, v. 11, n. 2, p. 101-112, 2010.

SIOLI, H., The Amazon and its main effluents: Hydrography, morphology of the river courses, and river types. In: SIOLI, H. (Org.). **The Amazon—Limnology and Landscape Ecology of a Mighty Tropical River and its Basin**. Junk, Dordrecht: 1984. p.127–166. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-6542-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-94-009-6542-3_5)

SOUTO, L. F. L.; OLIVEIRA, T. C. D. S.; SILVA, M. D. S. R. D. Variação espacial de cátions, ânions e variáveis físico-químicas no rio Solimões-Amazonas entre Manaus e Jutai, bacia amazônica. **Acta Amazonica**, v. 45, n. 4, p. 415-424, 2015. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201500722>

SOUZA, M. M.; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 263-274, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019000001097>

SOUZA, J. R.; MORAES, M. E. B.; SONODA, S. L.; SANTOS, H. C. R. G. A importância da qualidade da água e os seus múltiplos usos: caso Rio Almada, sul da Bahia, Brasil. **REDE-Revista Eletrônica do Prodepa**, v. 8, n. 1, p. 26-45, 2014.

SOUZA, N. S.; SÁ-OLIVEIRA, J. C.; SILVA, E. S. Avaliação da qualidade da água do Alto Rio Pedreira, Macapá, Amapá. **Biota Amazônia**, v. 5, n. 2, p. 107-118, 2015. <https://doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v5n2p107-118>

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: Rima, 2003. p. 247.

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

VILA NOVA, F. V. P.; TENORIO, N. B. Doenças de veiculação hídrica associadas à degradação dos recursos hídricos, município de Caruaru-PE. **Caminhos da Geografia**, v. 20, n. 71, p. 250-264, 2019.

---

Recebido em: 09/03/2020

Aceito para publicação em: 16/03/2021