

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO CRATO NO MUNICÍPIO DE HUMAITÁ-AM, BRASIL

USO DE LA TIERRA Y OCUPACIÓN Y CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CRATO EN EL MUNICIPIO DE HUMAITÁ-AM, BRASIL

SOIL USE AND OCCUPATION AND WATER QUALITY OF THE CRATO RIVER IN THE MUNICIPALITY OF HUMAITÁ-AM, BRAZIL

Mariano Vieira dos Santos*
mariano_vieira@hotmail.com

Jorge Almeida de Menezes**
jorgejr@ufam.edu.br

Diogo André Pinheiro da Silva***
andredioogo@hotmail.com

Miqueias Lima Duarte****
miqueiaseng@hotmail.com

Alcione Campos Floresta**
alcione_campos@hotmail.com

*Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, Araras/SP-Brasil

**Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Humaitá/AM-Brasil

***Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte/MG-Brasil

****Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, Sorocaba/SP-Brasil

Resumo

Os recursos hídricos vêm sendo degradados de forma exponencial, principalmente, em locais próximos a áreas urbanas, onde os poluentes depositados ultrapassam a capacidade de suporte dos mananciais. Esse estudo avaliou o uso do solo e a qualidade da água do Rio Crato, no sul do estado do Amazonas. A classificação do uso do solo foi realizada em 2014 e 2019, e a amostragem de água foi realizada no período seco e chuvoso em 2019. Foram realizadas análises de parâmetros físico-químicos e biológicos com intuito de aplicar o Índice de Qualidade da Água-IQA, e comparar os resultados das análises com parâmetros de qualidade estabelecidos na legislação vigente. Os resultados obtidos mostram que o avanço da área urbana sobre o corpo hídrico tem prejudicado sua qualidade, uma vez que foram observadas altas concentrações de fósforo, nitrogênio e coliformes termotolerantes no ponto de amostragem PI, que associados contribuíram negativamente para que esse local se enquadrasse com IQA “ruim”. Já os demais pontos, a dissolução e autodepuração dos poluentes contribuíram para um IQA “aceitável”. As informações levantadas podem servir de base para avaliações futuras de mudanças na qualidade da água, visto que a bacia hidrográfica é a principal área de expansão no município.

PALAVRAS-CHAVE: Uso do Solo, Índice de Qualidade da Água, Contaminação da Água, Bacia Hidrográfica.

Resumen

Los recursos hídricos se han degradado exponencialmente, especialmente en lugares cercanos a las zonas urbanas, donde los contaminantes depositados superan la capacidad de soporte de los

mananciales. Este estudio evaluó el uso de la tierra y la calidad del agua del río Crato, en el estado sureño de Amazonas. La clasificación del uso del suelo se llevó a cabo entre 2014 y 2019, y el muestreo de agua se llevó a cabo en el período seco y lluvioso en 2019. Se realizaron análisis de parámetros fisicoquímicos y biológicos con el fin de aplicar el índice de calidad del agua-AQI, y comparar los resultados de los análisis con los parámetros de calidad establecidos en la legislación vigente. Los resultados obtenidos muestran que el avance del área urbana sobre el cuerpo del agua ha deteriorado su calidad, ya que se observaron altas concentraciones de fósforo, nitrógeno y coliformes termotolerantes en el punto de muestreo PI, que contribuyó negativamente a este sitio para encajar con AQI "malo". Los otros puntos, la disolución y la auto-purificación de contaminantes contribuyeron a un IQA "aceptable". La información recopilada puede servir de base para futuras evaluaciones de los cambios en la calidad del agua, ya que la cuenca hidrográfica es la principal área de expansión en el municipio.

PALABRAS-CLAVE: Uso de la tierra, índice de calidad del agua, contaminación del agua, cuenca hidrográfica.

Abstract

Water resources have been degraded exponentially, especially in places close to urban areas, where deposited pollutants exceed the capacity to support the springs. This study evaluated the soil use and water quality of the Crato River, in the southern state of Amazonas. Soil use classification was carried in 2014 and 2019, and water sampling was carried out in the dry and rainy period in 2019. Analyses of physicochemical and biological parameters were performed in order to apply the Water Quality Index-AQI, and to compare the results of the analyses with quality parameters established in the current legislation. The results obtained show that the advance of the urban area over the water body has impaired its quality, since high concentrations of phosphorus, nitrogen and thermotolerant coliforms were observed at the sampling point PI, which associated contributed negatively to this site to fit with "bad" AQI. The other points, the dissolution and self-purification of pollutants contributed to an "acceptable" IQA. The information gathered can serve as a basis for future assessments of changes in water quality, since the hydrographic basin is the main area of expansion in the municipality.

KEYWORDS: Soil Use, Water Quality Index, Water Contamination, Watershed.

1. INTRODUÇÃO

Toda atividade desenvolvida pelo ser humano necessita de alguma forma da utilização dos recursos naturais, sendo, um exemplo disso, a água que pode ser considerada o principal recurso para manutenção do meio ambiente e desenvolvimento de atividades humanas por suprir suas necessidades econômicas e sociais (Oliveira et al., 2018). No entanto, quando o seu uso é realizado de forma desordenada acarreta alterações em sua qualidade e quantidade e, conseqüentemente, em seus usos múltiplos (Souza et al., 2014).

A demanda por espaços nos últimos anos, seja pela construção de imóveis ou obtenção de lucros, intensificou-se, resultando em ocupações desordenadas nas áreas próximas aos cursos d'água (Targa et al., 2012). Conseqüentemente, a ocupação desordenada desses espaços tem proporcionado impactos em

diversas ordens, dentre os quais mais citados são os problemas relacionados à infraestrutura urbana, ambiental e sanitários. Na maioria dos casos, a solução para problemas de infraestrutura urbana é o lançamento de resíduos sólidos e efluentes líquidos em valas a céu aberto, transformando os corpos hídricos urbanos em corpos receptores de águas pluviais e efluentes domésticos (Zanella et al., 2013).

A região Norte do país possui diversos potenciais econômicos associados aos seus recursos naturais, dentre os quais os recursos hídricos que por si só representam grande parte da riqueza da região, não somente em termos econômicos, mas também sociais e ambientais (Couceiro e Hamada, 2011). Essas informações causam na população, principalmente na região norte do país, a ilusão de uma infinita reserva hídrica e que a escassez de água é uma particularidade restrita às regiões áridas. Apesar da grande disponibilidade de recursos hídricos na região, a expansão desordenada em áreas urbanas tem causado impactos significativos na qualidade da água em seu entorno, tornando impróprias para consumo (Guedes et al., 2018; Oliveira et al., 2018; Santos et al., 2019).

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2018), cerca de 53% da população brasileira têm acesso à rede de coleta de esgoto e aproximadamente 100 milhões de brasileiros não têm acesso a este serviço no país. Na região Norte, constatou-se que apenas 57,05% dos municípios são abastecidos com água tratada e 21,70% dos habitantes são atendidos com o tratamento do esgoto sanitário.

Segundo Oliveira et al. (2018), o município de Humaitá - AM, por sua vez, não foge desta realidade, uma vez que não possui sistema de coleta e tratamento de esgotamento doméstico, além de não disponibilizar água tratada para consumo da população (Duarte et al., 2016). Estudos recentes indicam que em alguns locais no perímetro urbano do município a água subterrânea está com sua qualidade comprometida, pela possível contaminação por esgotamento doméstico (Santos et al., 2019) e o Rio Crato, por encontrar-se próximo a área urbana também apresenta traços de poluição por esgotamento doméstico e/ou fertilizantes agrícolas (Tartari et al., 2014).

Considerando que a bacia hidrográfica do Rio Crato é a região de expansão do perímetro urbano do município de Humaitá e existe uma insuficiência de informações sobre a qualidade da água desse corpo hídrico, este estudo avaliou a dinâmica de uso do solo em 2014 e 2019 na bacia hidrográfica e a qualidade da água do Rio Crato por meio de análise de parâmetros físico-químicos e biológicos que compõe o Índice de Qualidade da Água (IQA), comparando os resultados com os limites estabelecidos com a legislação vigente.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo fica localizado no município de Humaitá, região sul do Estado do Amazonas,

sob as coordenadas geográficas 7°31'00''S e 63°02'30''W. O Rio Crato é afluente do Rio Madeira e possui área aproximada de 2.644 hectares, cerca de 11 km de extensão, com vazão média anual de 0,36 m³.s⁻¹ (Carvalho et al., 2014), e está localizado na região oeste da área urbana do município (Figura 1).

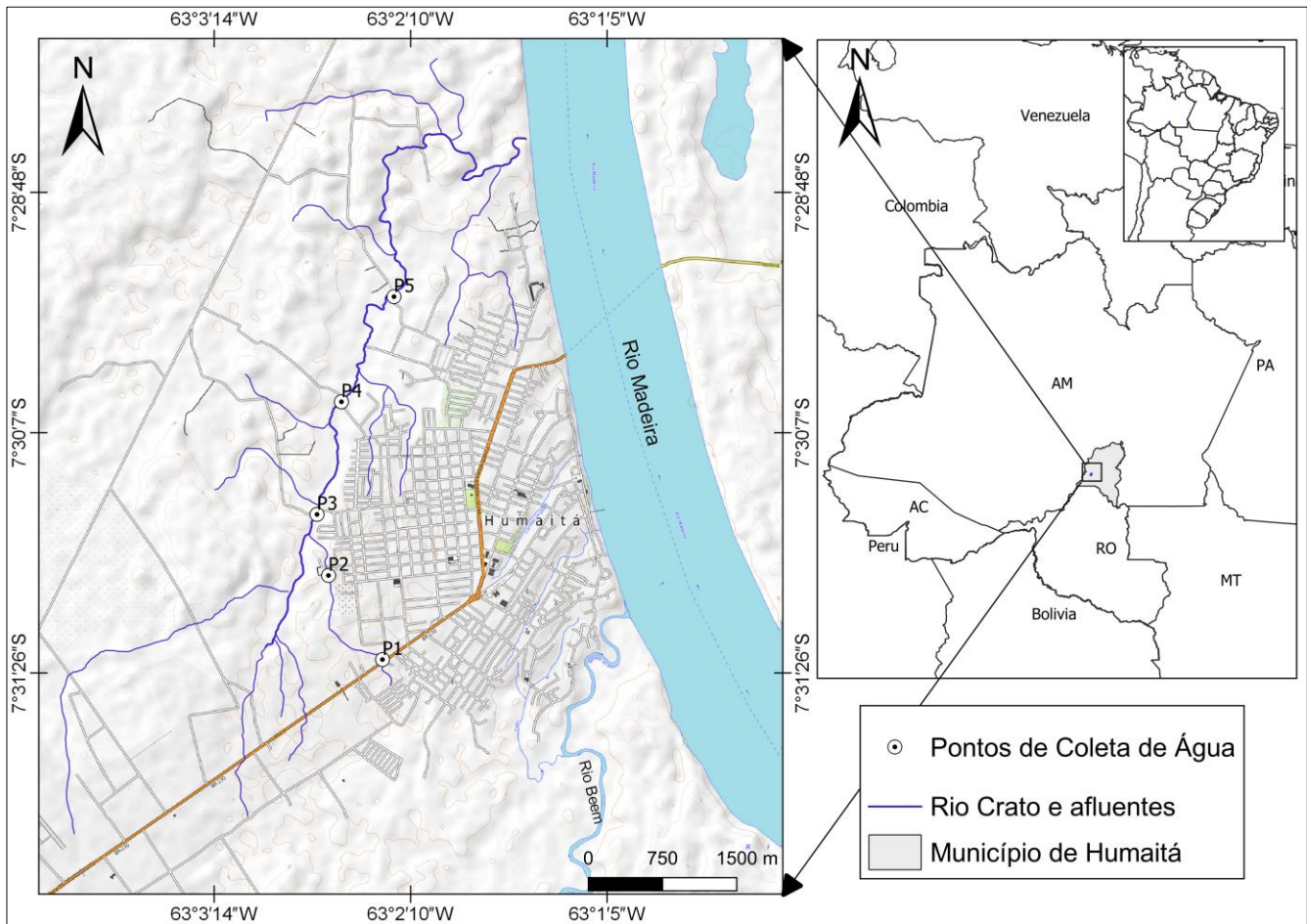


Figura 1. Localização da área de estudo e distribuição dos pontos de coletas no Rio Crato.

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima na região é do tipo Am (tropical úmido), quente e úmido com estação seca pouco pronunciada. A temperatura média anual varia entre 25°C e 27°C, sendo que a umidade relativa do ar fica em torno de 85%. A precipitação pluviométrica média anual situa-se na faixa de 2.400 mm. O período mais chuvoso vai de outubro a abril, enquanto a época mais seca ocorre de junho a agosto, considerando o restante dos meses como período de transição (Junior et al., 2018).

2.2 Análise de uso e ocupação do solo

A classificação do uso e ocupação do solo para o ano de 2014 e 2019 foi realizada no *software* QGIS (versão 3.2.3 “Bonn”), com uso de imagens do Landsat-8 (Operational Land Imager - OLI), com resolução espacial de 30 metros, obtidas no website *Earth Explorer do United States Geological Survey-USGS* (USGS, 2020), sob órbita/ponto 232/65 e retificadas com base em imagens históricas de alta resolução disponibilizadas de forma gratuitas no *Google Earth Pro*. A classificação foi realizada com

uso do *Semi Automatic Classification Plugin* (versão 6.2.2 – Greenbelt), por meio do método MaxVer (máxima verossimilhança), conforme descrito por Duarte e Silva (2019).

As classes de uso e ocupação do solo identificadas na área foram: Fragmentos Florestais: área identificada com vegetação nativa arbórea densa (Floresta Ombrófila densa); Gramíneas: área ocupada por vegetação herbácea densa ou esparsa (pastagem ou campo natural); Rios, açudes, área úmida: área ocupada por rios, açudes escavados e áreas úmidas; Terreno Baldio: área não construída no perímetro urbano; Área Construída: área construída no perímetro urbano e rural; e Solo Exposto: área mecanizada, área de empréstimo de solo com ausência de cobertura vegetal.

2.3 Coleta de amostras de água em campo

As coletas de água foram realizadas em cinco pontos amostrais ao longo do corpo hídrico. Essa amostragem foi realizada em dois períodos (seco e chuvoso) nos mesmos pontos. A primeira coleta foi realizada no mês de abril de 2019, representando o período de “cheia”, e a segunda foi realizada no mês de junho de 2019, representando o período de “seca”. A Tabela 1 apresenta a relação dos pontos amostrais e características gerais.

Tabela 1. Localização dos pontos de amostragem de água.

Pontos de Amostragem	Descrição dos pontos	Coordenadas geográficas
Ponto 1	BR-230 (Transamazônica)	7°31'19.35''S e 63°02'18.97''O
Ponto 2	Próximo ao cemitério	7°30'48.20''S e 63°02'36.04''O
Ponto 3	Estrada do Crato	7°30'28.85''S e 63°02'38.72''O
Ponto 4	Bairro Nova Esperança	7°29'52.31''S e 63°02'30.60''O
Ponto 5	Bairro São Domingo Sávio	7°29'18.63''S e 63°02'13.54''O

A Figura 2 ilustra os locais de amostragem de água ao longo do Rio Crato no perímetro urbano (P1, P2 e P3) e região de expansão do município (P4 e P5).



Figura 2. Pontos de amostragem, Rodovia BR – 230 (Transamazônica) (P1); ponto próximo ao cemitério municipal (P2); Estrada do Crato (P3), Bairro Nova Esperança (P4) e Bairro São Domingo Sávio (P5). Fonte: Elaborado pelos autores.

As amostras de água foram obtidas utilizando garrafas plásticas de 250 ml, previamente identificadas, com enxágue dos frascos para evitar aeração excessiva no momento da coleta. Em seguida, foram armazenadas em uma caixa de isopor para transporte até o laboratório para realização das análises.

2.4 Análise da qualidade da água

Nas amostras de água foi realizado as análises de temperatura, turbidez, sólidos totais dissolvidos (STD), pH, nitrogênio total (NT), fósforo total (PT), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e Coliformes Termotolerantes (CT).

As análises de pH, temperatura e OD foram realizadas *in loco* com uso de equipamentos previamente calibrados. O pH foi determinado por pHmetro portátil com eletrodo de vidro (marca Hanna instruments e modelo 98108). A temperatura foi medida utilizando um termômetro digital (marca Hanna instruments e modelo HI98304). Já as análises de OD foram realizadas com medidor óptico portátil (marca YSI Life Science e modelo PROOD).

Em laboratório foi determinado os parâmetros: ST, NT, PT, OD, DBO e CT, no laboratório de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Campus do Instituto de Educação Agricultura e Ambiente - IEAA. A turbidez foi determinada com uso de um turbidímetro digital portátil previamente calibrado (marca MS Tecnopon e modelo TB – 1000P), com valores expressos em UNT (unidades nefelométricas de turbidez).

As análises de STD e PT foram determinadas, conforme metodologia descrita por Medeiros et al. (2006), em que os procedimentos para determinação de ST realizaram-se em triplicatas e os valores expressos em mg.L^{-1} . Já as leituras de PT ocorreram no espectrofotômetro (marca NOVA Instruments e modelo NI 1600U V) com comprimento de onda de 880nm, em seguida, obtiveram-se os valores de PT

em mg.L^{-1} por conversão (Medeiros et al., 2006).

As análises de DBO, NT e CT foram realizadas, conforme procedimentos descritos na 22ª edição do *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). A DBO foi determinada pelo método de Winkler, passando pelo processo de incubação durante 5 dias a 20°C , com valores expressos em mg.L^{-1} .

As análises de NT foram realizadas através do método de digestão por persulfato de potássio, seguido pelo método colorimétrico de nitrificação que foram lidos com o comprimento de onda de 415 nm (marca NOVA Instruments e modelo NI 1600U V), previamente feita verificação e varredura, e os valores expressos em mg.L^{-1} .

Por fim, para a determinação de CT utilizou-se 10 mL de Lactose-Bouillon em tubos de ensaio e tubos de Durhan invertidos, autoclavados a 1kgf.cm^{-2} de pressão. Esperou-se 15 minutos e após o resfriamento os mesmos foram identificados com as diluições de 10^{-1} a 10^{-4} até somar um total de 135 tubos, sendo 15 tubos para cada ponto. Incubaram-se os tubos em estufa à temperatura de $35,5^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, caso ocorresse formação de gás no tubo de Durham e se a água estivesse turva, comprova a presença do grupo de CT. Conseqüentemente, realizou-se o teste confirmativo e suas contagens.

2.5 Índice de Qualidade da Água – IQA

O Índice de Qualidade da Água (IQA) foi calculado pelo produto ponderado de nove parâmetros de água correspondentes às variáveis que integram o índice, os quais são: temperatura, turbidez, sólidos totais dissolvidos (STD), pH, nitrogênio total (NT), fósforo total (PT), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e Coliformes Termotolerantes (CT). Esses critérios foram estabelecidos pelo *National Sanitation Foudantion - NSF* (CETESB, 2015). Para tanto, traçaram-se curvas médias da variação da qualidade da água em função das suas respectivas concentrações. Para cada parâmetro foi atribuído um peso segundo a sua importância relativa no cálculo do IQA/NSF (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros e pesos do Índice de Qualidade da Água (IQA) segundo a NSF.

Parâmetros	Pesos
pH	0,12
Turbidez	0,08
Temperatura	0,10
Fósforo Total	0,10
Nitrogênio Total	0,10
Oxigênio Dissolvido	0,17
Sólidos Totais Dissolvidos	0,08
Coliformes Termotolerantes	0,15
Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,10
Total	1,00

A determinação do IQA foi realizada utilizando a Equação 1.

$$IQA = \prod_{i=0}^9 q_i^{w_i} \quad (1)$$

Onde, IQA corresponde ao índice de qualidade da água (variando entre 0 a 100), q_i a qualidade do parâmetro i obtido através da média de qualidade w_i o peso atribuído ao parâmetro, em função de sua importância na qualidade (variando entre 0 a 1).

O índice de qualidade da água varia entre 0 e 100, conforme descrição a seguir: ótima ($80 \leq IQA \leq 100$), boa ($52 \leq IQA \leq 80$), regular ($37 \leq IQA \leq 52$), ruim ($20 \leq IQA \leq 37$) e péssima ($0 \leq IQA \leq 20$) (CETESB, 2015).

2.6 Análise estatística

Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey (5%) com uso do software R (R CORE TEAM, 2020) para verificar ocorrência de alterações nas concentrações nos dois períodos avaliados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Uso e ocupação do solo

A Figura 3 apresenta um diagrama de Sankey de 2014 e 2019, na bacia do Rio Crato. As linhas destacadas mostram as principais contribuições entre as classes no período avaliado.

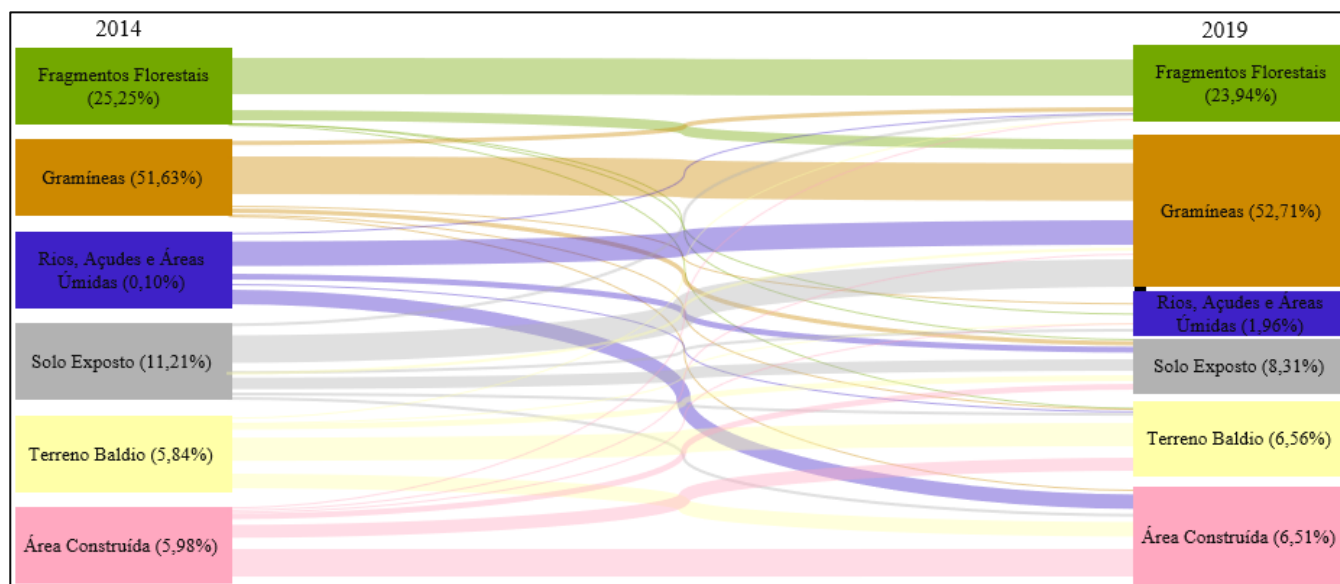


Figura 3. Diagrama de Sankey de 2014 e 2019 para a bacia do Rio Crato.

É evidente que os principais fluxos de áreas ocupadas por gramíneas de 2014 e 2019 tiveram origem em sua própria classe, indicando manutenção dessas áreas ao longo do tempo. Por outro lado, observa-se que as áreas, anteriormente ocupadas por fragmentos florestais, perderam cerca de 1,32% nesse período. Essas áreas foram convertidas, principalmente, por pastagem, áreas úmidas e solo exposto.

Em relação à área urbanizada, ocorre um aumento significativo dessa classe de uso. As classes cujas transições apresentam linhas mais espessas, ou seja, aquelas que mais contribuíram para o aumento das áreas construídas foram as áreas ocupadas por terrenos baldios e áreas úmidas, e em menor contribuição, as áreas ocupadas por gramíneas. Ressalta-se que a expansão da área urbana ocorreu, principalmente, na região oeste da bacia hidrográfica, tangenciando a proximidade do canal principal do Rio Crato (Figura 4).

No extremo oeste da área urbana do município de Humaitá existe grande quantidade de áreas não construídas (terrenos baldios). Esses locais, denominados de vazios urbanos, contribuem para uma série de problemas nas cidades, como descrito por Teixeira et al. (2013), dentre elas, a disposição irregular dos resíduos sólidos, comumente observado nessa região por Cruz et al. (2017), pois o município se mostra fragilizado devido à inexistência de um Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (PGIRS). Nesses locais, os resíduos sólidos depositados são facilmente carreados aos corpos hídricos no período chuvoso, causando poluição dos mananciais.

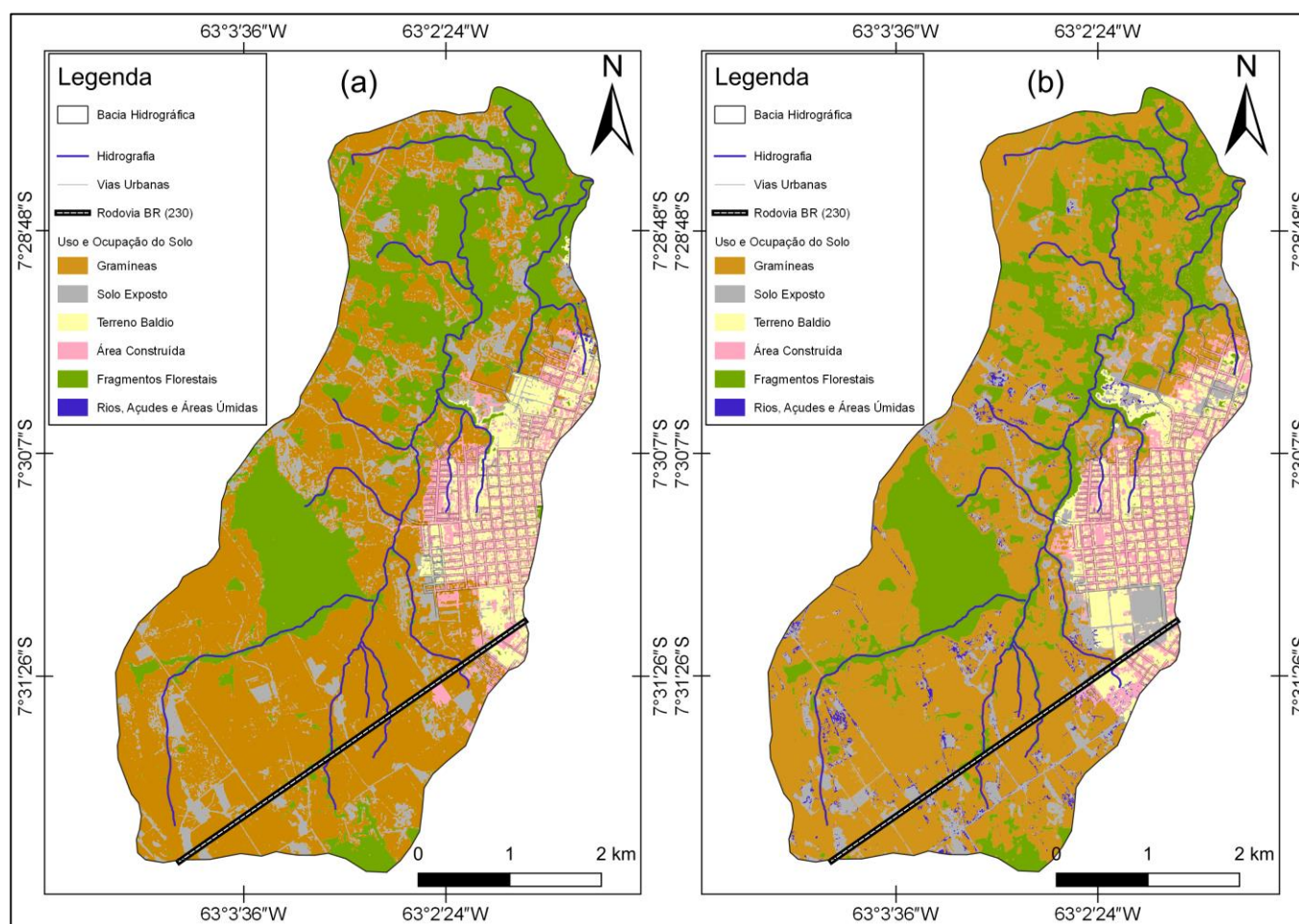


Figura 4. Uso e ocupação do solo na bacia do Rio Crato de 2014 (a) e 2019 (b).

A distribuição espacial do uso do solo apresentado na Figura 4, a montante da bacia hidrográfica toda cobertura vegetal foi removida, inexistindo Áreas de Proteção Ambiental-APP no entorno das

nascentes e ao longo do corpo hídrico, conforme exige o Código Florestal brasileiro (Brasil, 2012). Apesar da vegetação natural da região ser composta por floresta tropical densa e/ou aberta, bem como por campos naturais (gramínea lenhosa) e gramíneas (Duarte e Silva, 2019), no domínio da bacia hidrográfica essas áreas foram antropizadas, sendo substituídas por pastagem, área agrícola e tanques escavados para criação de peixe.

Por sua proximidade com o Rio Madeira e devido à baixa altitude existem áreas com afloramento do lençol freático, favorecendo o estabelecimento de tanques escavados para criação de peixes, uma vez que naturalmente essas áreas sofrem inundação, principalmente, no extremo sul e oeste da bacia hidrográfica, pois é uma região de planície e são inundadas no período de inverno Amazônico (Duarte et al., 2016).

3.2 Parâmetros de qualidade da água

A Tabela 3 apresenta o resumo da análise estatística para as amostras nos cinco pontos avaliados na bacia hidrográfica do Rio Crato.

Tabela 3. Resumo da análise estatística sobre os parâmetros de qualidade da água avaliados.

	CT	T	pH	Tu	ST	OD	DBO	NT	PT
-----Valores médios observados para o período de seca e cheia -----									
Abril	8262	29,36 a	5,94	31,78	60,00	6,62 b	6,10	3,02 b	0,18
Junho	7800	26,64 b	5,56	38,66	99,33	15,22 a	10,43	8,53 a	0,14
p-valor	0,96	0,01	0,25	0,68	0,06	< 0,01	0,08	< 0,01	0,69
-----Valores médios observados para os pontos amostrais -----									
Ponto 1	36500 a	27,55	6,30	120,50 a	184,16 a	15,06	8,55	8,00	0,56 a
Ponto 2	550 b	26,40	6,20	13,83 b	64,66b	10,13	10,50	6,48	0,05 b
Ponto 3	1555 b	28,15	5,45	17,85 b	54,83 b	10,64	4,36	4,40	0,06 b
Ponto 4	900 b	29,10	5,35	16,41 b	48,83 b	9,14	10,54	4,83	0,05 b
Ponto 5	650 b	28,80	5,45	7,51 b	45,83 b	9,62	7,38	5,17	0,07 b
p-valor	<0,01	0,72	0,08	<0,01	<0,01	0,87	0,59	0,89	<0,01

Observação: CT = Coliforme Termotolerantes; T = Temperatura; pH = Potencial Hidrogeniônico; Tu = Turbidez; ST = Sólidos Totais; OD = Oxigênio Dissolvido; DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio; NT = Nitrogênio Total; PT = Fósforo Total.

Conforme apresentado na Tabela 3 e Figura 5, os valores de pH (Figura 5a) e temperatura (Figura 5b) da água nos pontos avaliados durante os dois períodos de monitoramento (abril e junho), os maiores valores de pH se encontram nos pontos P1 e P2 a montante do corpo hídrico em ambos os períodos avaliados. Já nos demais pontos, observou-se diferença significativa (média de 6,3%) entre o período seco e chuvoso, e à medida que o volume caudal do rio aumenta, o pH diminui significativamente, principalmente, no período seco. Vale ressaltar que os valores de pH não se enquadram dentro dos limites estabelecidos pela Resolução 357 do CONAMA (com exceção aos dois primeiros pontos avaliados), uma vez que os valores devem estar entre 6 a 9. Além do mais, Tartari et al. (2014) observaram pH ligeiramente ácido em ambos os períodos avaliados no corpo hídrico. Para os autores, as peculiaridades da região (Latosolos considerados ácidos) tornam a água ligeiramente ácida, podendo

considerar os resultados dentro dos padrões de qualidade.

Em relação à temperatura, os maiores valores ocorreram no período chuvoso (média de 29,4°C), enquanto no período seco (média de 26,6°C), os valores tiveram uma diferença média entre o período seco e chuvoso de 9,5%. Essa alteração pode estar relacionada ao horário de amostragem, visto que no período seco as coletas foram realizadas das 08:00 às 10:00 horas, enquanto no período chuvoso foi das 10:00 às 12:00 horas. Nesse caso, a incidência solar sobre o corpo hídrico e a ausência de mata ciliar pode ter contribuído para tais resultados.

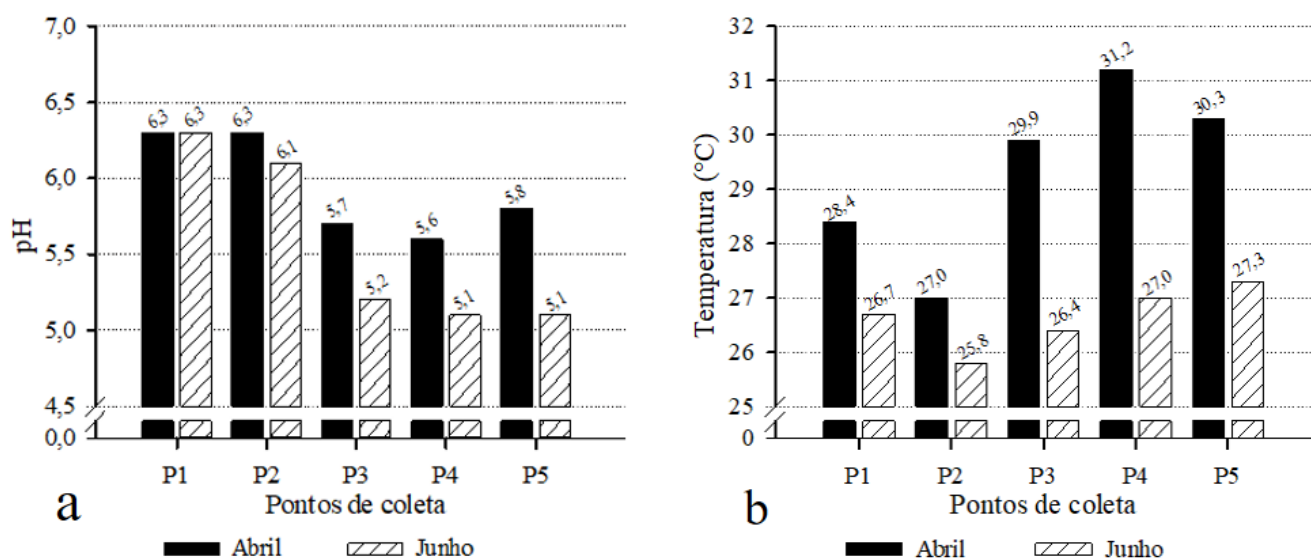


Figura 5. Valores de pH (a) e Temperatura (b) nos pontos de amostragem no período de abril e junho.

A Figura 6 apresenta os valores de turbidez (a) e STD (b). Em 2014, Tartari et al. (2014), observaram valores máximos de UNT, em conformidade com a legislação nos dois períodos avaliados (UNT inferior a 100). Neste estudo a UNT apresentou valores acima de 100 UNT no ponto P1 em ambos os períodos avaliados. Nos demais pontos, os valores variaram entre 11 a 24 UNT, com exceção para P5 no período de cheia, que por sua vez é fortemente influenciado pela proximidade do Rio Madeira, tornando o fluxo do igarapé mais lento e propiciando a decantação de sólidos em suspensão. Vale ressaltar que os valores de UNT estão em conformidade ao estabelecido pela resolução CONAMA, com exceção para o P1 que apresentou valores superiores a 100 UNT. A principal consequência da alteração da turbidez num corpo d'água é a redução da penetração de luz solar, prejudicando a oxigenação do meio (Arruda et al., 2015).

Comportamento semelhante foi observado para os STD no P1, onde os valores ultrapassam 140 mg.L⁻¹, no entanto, as concentrações nos demais pontos a jusante reduzem 29,5% em um intervalo espacial de 1,5 km nos dois períodos. Esse comportamento pode ser explicado pela ação antrópica no local (solo exposto em áreas a montante, área de pastagem com travessia de animais no corpo hídrico),

que pela ação da chuva, carrega material particulado para o corpo hídrico, aumentando os níveis de turbidez e STD, e com o aumento do volume de água a jusante, essas concentrações diminuem significativamente (observar a coloração da água nos pontos de coleta). De modo geral, os valores de STD observados são superiores no período de seca. O constante lançamento de efluentes domésticos e a menor vazão no igarapé nesse período pode ser a principal explicação.

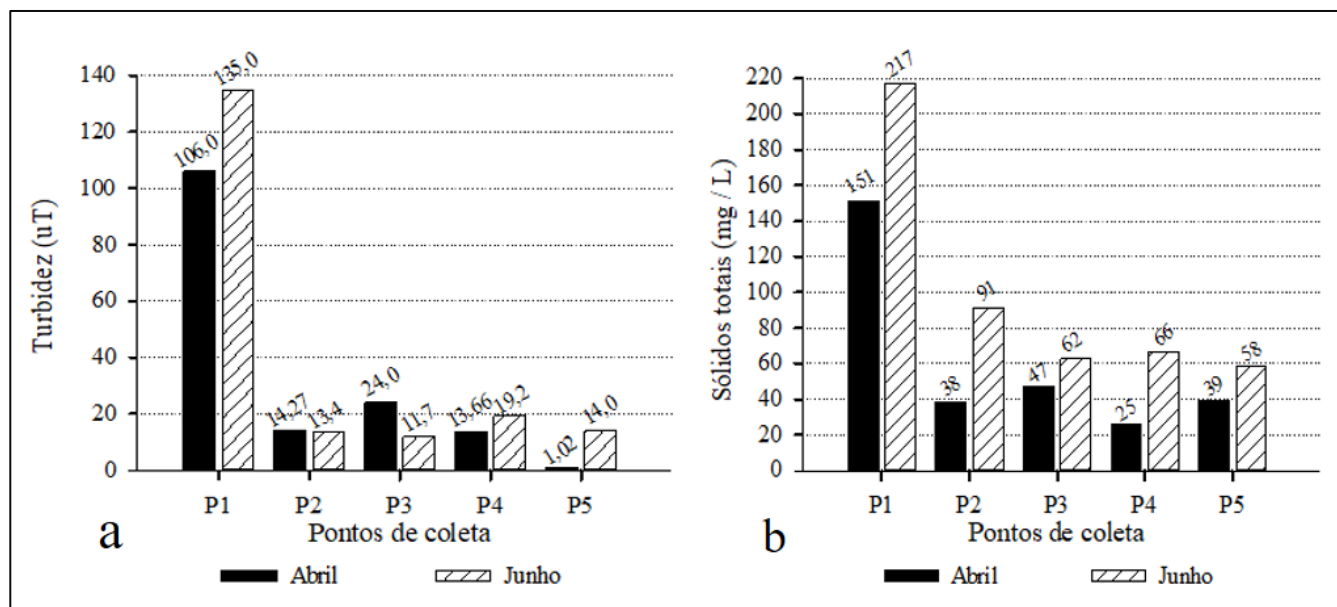


Figura 6. Valores da Turbidez (a) e Sólidos Totais Dissolvidos (b) nos pontos de amostragens no período de abril e junho.

A Figura 7 (a) apresenta os valores referentes ao oxigênio dissolvido com concentrações que variaram de 4,41 a 9,94 mg.L⁻¹, no período de cheia, e 12,63 a 20,18 mg.L⁻¹, no período de seca. Com exceção do ponto P2, que apresenta valor abaixo do permitido pela Resolução CONAMA 357 de 2005, os demais pontos se enquadram ao perfil estabelecido sendo sua concentração ≥ 5 mg.L⁻¹ para corpos de água de classe II. As concentrações de OD foram, em geral, maiores no período de seca em relação aos observados no período de cheia. Esse comportamento pode ter ocorrido em função da maior turbulência da água no canal fluvial, o que proporciona maior adição de oxigênio atmosférico na água (Buzelli e Cunha-Santino, 2013).

Por outro lado, no período de cheia, o efeito de inundação do Rio Madeira faz com que o igarapé tenha baixa velocidade de fluxo, diminuindo os movimentos turbulentos e, conseqüentemente, os níveis de oxigênio dissolvido na água, além de maior volume de esgoto doméstico que chega até o corpo hídrico. Os baixos teores de oxigênio dissolvido nesse período refletem a situação da poluição do manancial, tanto na área de nascentes quanto na área mais urbanizada da bacia, já que participa do processo de autodepuração do corpo hídrico (Oliveira et al., 2018).

Em relação à concentração de DBO (Figura 7 b), os resultados obtidos mostram altas concentrações, o que indica que o corpo hídrico está sob forte interferência antrópica e os valores

observados estão acima do indicado pela resolução CONAMA para corpos de água de classe II ($<5 \text{ mg.L}^{-1}$). Nota-se que apenas o P1 e o P5, no mês de abril, e o P3, no mês de junho, se enquadram na Resolução CONAMA. De modo geral, a menor concentração de DBO no período chuvoso deve-se, provavelmente, a maior diluição de esgoto domésticos nesse período em função dos altos índices de precipitação local. Segundo Vasco et al. (2011), as causas que podem provocar essa variação são influências do comportamento hidrológico, características do lançamento de efluentes domésticos, agrícolas e industriais no corpo hídrico.

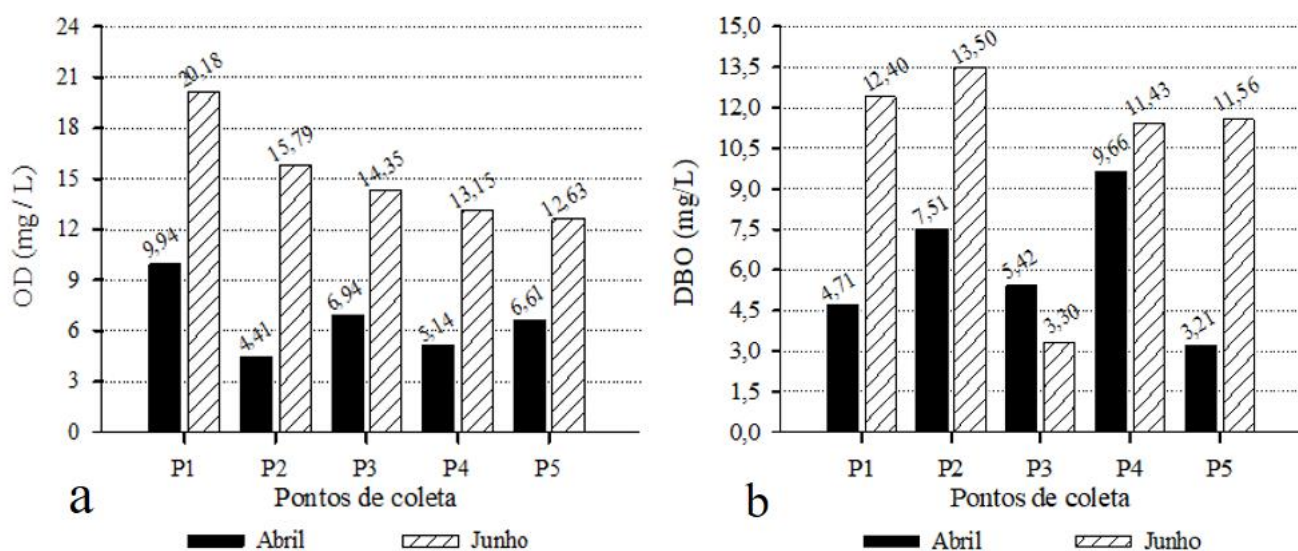


Figura 7. Valores de OD (a) e DBO (b) nos pontos de amostragens no período de abril e junho.

Em relação às concentrações de fósforo (Figura 8 a), apenas dois pontos apresentam valores aceitáveis, conforme níveis estabelecidos pela Resolução CONAMA ($<0,05 \text{ mg.L}^{-1}$) nos dois períodos analisados. Observa-se que apenas P2 e P4, referente apenas ao mês de junho, estão de acordo com o enquadramento. Nos demais pontos, este limite foi ultrapassado, provavelmente em decorrência da descarga de esgoto sanitário não tratado, cujos detergentes constituem a principal fonte, e das águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas, podendo contribuir para a proliferação de algas e para a aceleração indesejável do processo de eutrofização (Silva, 2016). Vale ressaltar que no ano de 2014, Tartari et al. (2014) indicaram a ausência desse elemento em ambos os períodos avaliados.

Para o nitrogênio total (Figura 8 b), o período de seca apresentou as maiores concentrações (com média de $8,53 \text{ kg.L}^{-1}$), ultrapassando os valores máximos pela Resolução CONAMA (valores máximos $3,7 \text{ mg.L}^{-1}$ para corpos hídricos classe I e II, com $\text{pH} \leq 7,5$). Esses dados indicam o comprometimento da qualidade da água no corpo hídrico e o efeito do lançamento de efluentes doméstico no corpo hídrico sem tratamento prévio adequado. Em 2014, Tartari et al. (2014) observaram que os limites de nitrogênio estavam dentro dos limites estabelecidos pela legislação, porém, os autores destacaram um aumento na concentração de nitrogênio no período seco, indicando a existência de poluição por esgotamento

doméstico e/ou fertilizantes agrícolas.

Segundo Santos et al. (2019), o descarte inadequado de efluentes líquidos no município já tem afetado a qualidade das águas subterrâneas e superficiais, comprometendo a qualidade da água captada para abastecimento público no município. Em corpos hídricos superficiais, apesar do fósforo e o nitrogênio serem nutrientes de grande importância à cadeia alimentar, quando descarregados em altas concentrações e associado às boas condições de luminosidade provocam o enriquecimento do meio (eutrofização), podendo levar à alteração de diversos parâmetros da água, além do comprometimento das condições mínimas para o lazer (Barreto et al., 2013).

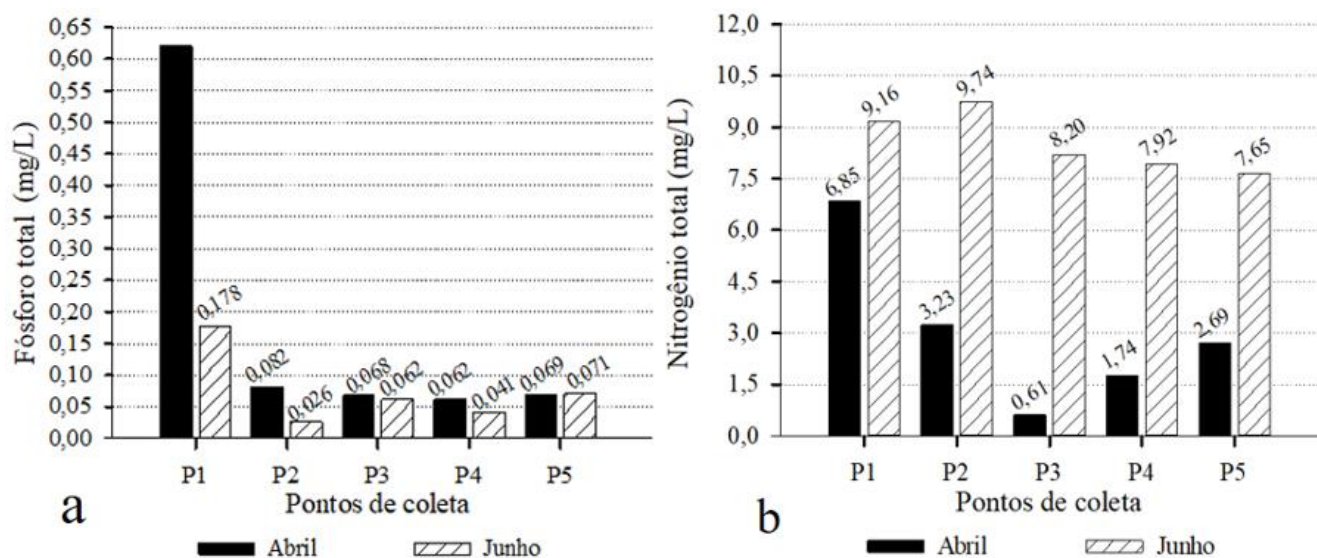


Figura 8. Valores de Fósforo total (a) e Nitrogênio Total (b) nos pontos de amostragens no período de abril e junho.

Em 2014, Taratri et al. (2014) observaram a presença de Coliformes Totais e *Escherichia coli* no corpo hídrico. Para os autores, o desenvolvimento de atividades de pecuária e os diferentes tipos de uso do solo atribuem pressão sob a bacia hidrográfica, sendo que a presença de residências nas proximidades do corpo hídrico e a ausência de sistema de tratamento de esgoto doméstico no município podem ser um dos principais responsáveis pela contaminação do corpo hídrico.

Não por acaso, todas as amostras apresentaram valores elevados de Coliformes Termotolerantes nos pontos avaliados (Figura 9), em destaque para P1 por apresentar valores incontáveis (Inc*). No P1 as análises de Coliformes Termotolerantes indicaram níveis acima do valor estabelecido pela resolução CONAMA, nos meses de abril e junho, e o P3 apenas no mês de junho. Os demais pontos analisados se enquadram nas águas classificadas como classe II, que é de 1.000 coliforme termotolerantes por 100 mililitros (vale ressaltar que a resolução CONAMA estabelece a necessidade de amostragem de pelo menos 6 amostras com frequência bimestral durante um período de um ano).

O P1 fica localizado próximo a BR-230 (Transamazônica), nesse ponto é possível que exista um

constante lançamento de dejetos sem tratamento prévio, pois o município não possui sistema de tratamento de esgoto e o principal sistema de despejo de esgotamento sanitário é do tipo latrina (Duarte et al., 2016). Além do mais, a montante da bacia hidrográfica existe o desenvolvimento de atividade pecuária que também pode contribuir com a concentração de coliformes observados.

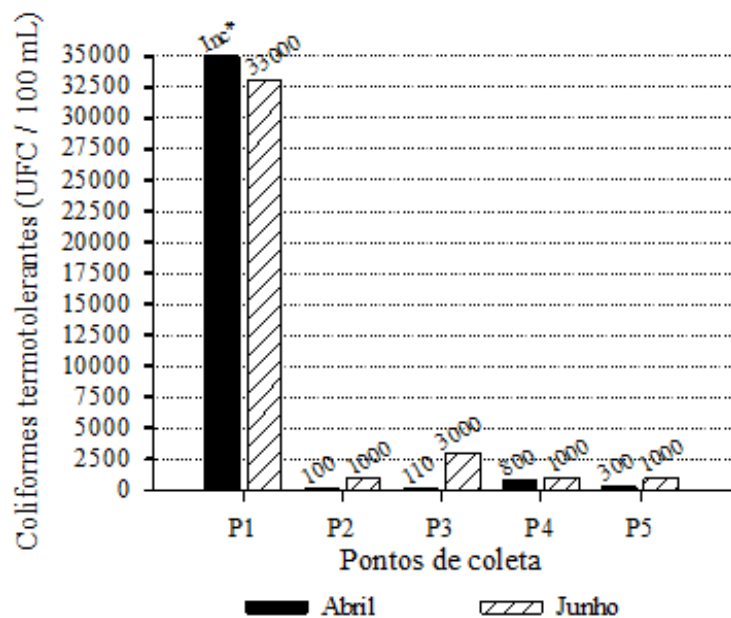


Figura 9. Valores Coliformes Termotolerantes nos pontos de amostragens no período de abril e junho.

Vale ressaltar que o grupo dos Coliformes Totais consiste em bactérias na forma de bastonetes gram-negativos, não esporulados, aeróbios ou anaeróbios facultativos com capacidade de fermentar a lactose produzindo gás, entre 24 e 48 horas a 35°C, já os Coliformes Termotolerantes restringe-se a bactéria capaz de fermentar a lactose produzindo gás, entre 24 e 44,5-45,5°C (Sales et al., 2015). A presença de Coliformes Termotolerantes serve como indicador de contaminação fecal de origem humana ou animal de sangue quente (Leão et al., 2018). As bactérias Coliformes Termotolerantes ocorrem no trato intestinal de animais de sangue quente e são indicadores de poluição por esgoto doméstico (Gloria, Horn e Hilgemann, 2017), sua presença em grande número indica a possibilidade de existência de microrganismos patogênicos que são responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica como, por exemplo, desintéria bacilar, febre tifoide e cólera (ANA, 2017).

3.3 Índice de Qualidade da Água -IQA

O Índice de Qualidade da Água – IQA foi obtido aplicando o método NSF adaptado pela CETESB (2015). A Figura 10 apresenta os resultados obtidos em cada ponto de amostragem de água para os dois períodos. Observa-se que para o primeiro e segundo período (mês de abril e junho de 2019) apenas o ponto P1 (BR – 230 Transamazônica) foi classificado como “ruim” e os demais pontos tiveram suas águas caracterizadas como “aceitáveis” (Figura 10a-b).

A descarga elevada de nutrientes (fósforo e nitrogênio) associados aos altos níveis de CT fora preponderante para atribuição do baixo nível de IQA nesse ponto de amostragem à jusante da área de estudo. Apesar de ser observada altas cargas de poluentes no P1, à medida que se aproxima da jusante, o volume de água no corpo hídrico aumenta, e, conseqüentemente, ocorre uma maior dissolução e autodepuração dos poluentes no corpo hídrico (Von Sperling, 2014). No entanto, a bacia hidrográfica do Rio Crato é a região de expansão da área urbana do município, desse modo, caso não seja implementada um sistema de coleta e tratamento de esgoto doméstico, a capacidade de autodepuração do manancial poderá ser superada.

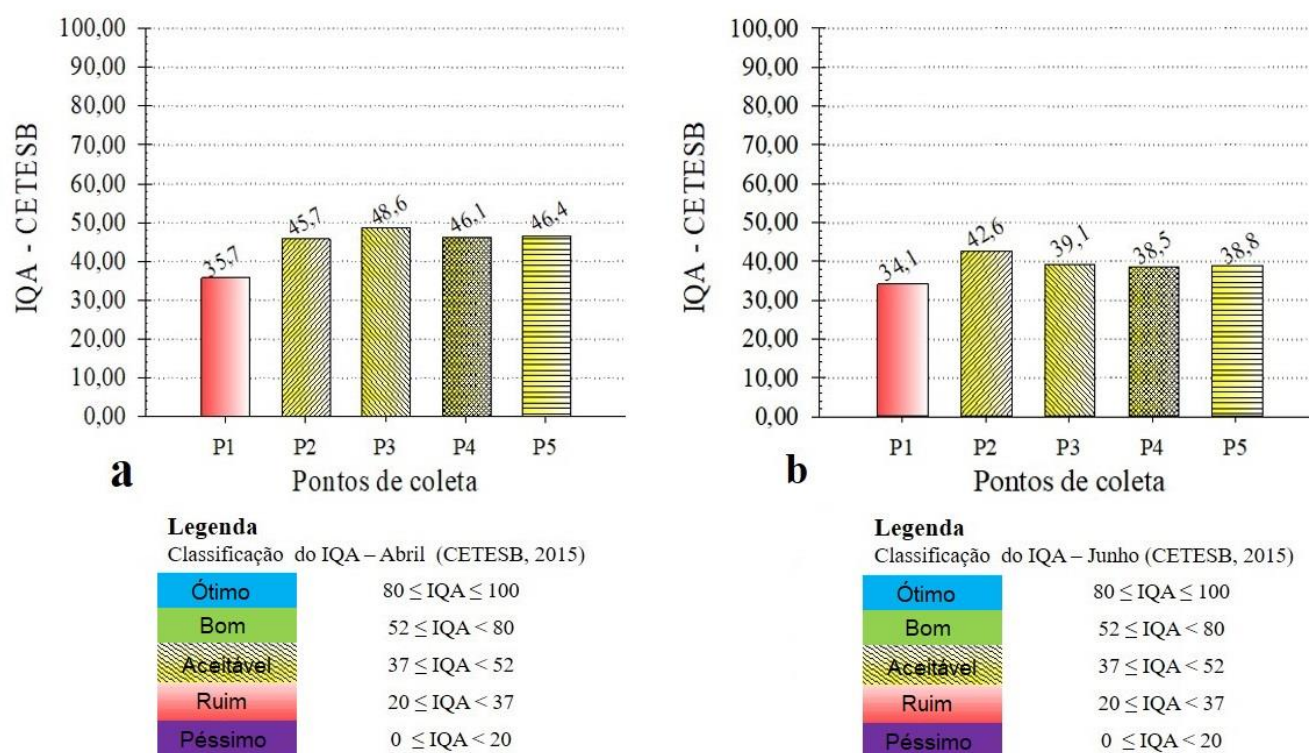


Figura 10. Classificação do IQA no rio Crato de acordo com a CETESB para os meses de abril (a) e junho (b) de 2019.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos indicaram o avanço de atividades antrópicas na bacia hidrográfica e essas atividades ocorrem de forma irregular em Áreas de Preservação Permanente (APP) com o avanço da ocupação urbana nas proximidades do manancial e o desenvolvimento de atividades agropecuárias, o que pode significar um aumento das pressões antrópicas sobre o corpo hídrico.

Como consequência, observaram-se alterações significativas nos parâmetros da qualidade da água (fósforo, nitrogênio e Coliformes Termotolerantes, com valores acima dos permitidos na legislação vigente), quando comparado com resultados observados em estudos anteriores realizados no local. Essas alterações possivelmente estão associadas ao uso inadequado do solo e lançamento de efluentes sem

tratamento prévio em áreas urbanizadas.

A análise do IQA indicou que nos pontos avaliados, quatro apresentaram características aceitáveis, enquanto o P1 apresentou IQA considerado ruim, em função da associação de altas concentrações de fósforo, nitrogênio e Coliforme Termotolerantes. A análise dos atributos físico-químicos e biológicos para os pontos amostrais adotados permitiram afirmar que a bacia do Rio Crato apresenta de médio grau de degradação, com maior comprometimento no ponto amostral P1.

REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional de Águas. 2017. Indicadores de qualidade - Índice de qualidade das águas (IQA). Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indiceaguas.aspx>> Acesso em: 25 fev. 2020.

APHA - American Public Health Association; American Water Work Association – AWWA; Water Pollution Control Federation – WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22ª ed. New York, 2012. 1268p.

ARRUDA, G. B.; CORREIA, K. V.; OLIVEIRA, T. R. S.; NETO, J. E. B.; ARAÚJO, F. P. A.; CARNEIRO, K. W. F. S. Análise da Qualidade da Água do Riacho Moraes em Área Influenciada Pela Produção de Gesso no Município de Araripina, PE–Brasil. *Geologia*, v. 28, n. 1, p. 27-38, Mai. 2015.

BARRETO, L. V.; BARROS, F. M.; BONOMO, P.; ROCHA, F. A.; AMORIM, J. S. Eutrofização em rios brasileiros. *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA*, v. 9, n.16, p. 2165-2179, Jul. 2013.

BRASIL. CONAMA-Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 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 as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em 20 Fev. 2020.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnostico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. *Ambiente & Agua*. v. 8, n. 1, p. 186-205, Abr. 2013.

CARVALHO, R. R.; TARTARI, R.; RADMANN, V.; PAGANI, C. H. P. Monitoramento da vazão em rios da região sul do Amazonas. *Revista EDUCAmazônia*. v. 12, n. 1, p. 8-27, Jun/Jul. 2014.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. Índice de Qualidade da água – IQA. 2ª ed. São Paulo – São Paulo. 2015. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Cestesb_QualidadeAguasSuperficiais2014_ParteI_vers%C3%A3o2015_Web.pdf>. Acesso em: 24 de junho de 2019.

COUCEIRO, S. R. M.; HAMADA, N. Os instrumentos da política nacional de recursos hídricos na região norte do Brasil. *Oecologia Australis*, v. 15, n. 4, p. 762-774, Dez. 2011.

CRUZ, E. G.; OLIVEIRA, B. O. S.; CRUZ, M. F. G. Identificação e mapeamento de pontos de disposição irregular de resíduos sólidos no perímetro urbano do município de Humaitá-AM. *Revista*

Gestão & Sustentabilidade Ambiental. v. 6, n. 2, p. 184-201, Ju/Set. 2017.

DUARTE, M. L.; SILVA, T. A. Avaliação do desempenho de três algoritmos na classificação de uso do solo a partir de geotecnologias gratuitas. Revista de estudos Ambientais. v. 21. n. 1. p. 6-16, Jan/Jun. 2019.

DUARTE, M. L.; ZANCHI, F. B.; NEVES, J. R. D.; COSTA, H. S.; JORDÃO, W. H. C. Vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas no município de Humaitá, Amazonas, Brasil. Ambiente & Água. v. n. 11. 2, p. 402-413, Jan. 2016.

GLORIA, L. P.; HORN, B. C.; HILGEMANN, M. Avaliação da qualidade da água de bacias hidrográficas através da ferramenta do índice de qualidade da água – IQA. Caderno Pedagógico. v. 14. n. 1. p. 101- 119, Jan. 2017.

GUEDES, A. E. D. S.; SOUZA, D. N. S.; SILVA, F. K. R. NASCIMENTO, R. J. Análise da qualidade das águas do igarapé do Parque do Mindu da cidade de Manaus com base nas condições físico-químicas. Revista Científica. v. 1. p. 1-11, Nov. 2018.

JUNIOR, A. L. P.; QUERINO, C. A. S.; QUERINO, J. K. A. S.; SANTOS, L. O. F.; MOURA, A. R. M.; MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S. Variabilidade horária e intensidade sazonal da precipitação no município de Humaitá-AM. Revista brasileira de Climatologia, v. 22. p. 463 – 475, Jan/Jun. 2018.

LEÃO, R. C.; GONÇALVES, Á. C.; SANTOS, C. T. B.; ANDRADE, A. A.; SILVA, M. C. S.; SILVA, M. B. O. Ocorrência de enteroparasitos e coliformes termotolerantes nas mãos de manipuladores de alimentos de um hospital de ensino. Cadernos Saúde Coletiva, v. 26. n. 2. p. 211-215, Abr/Jun. 2018.

MEDEIROS, M. A. C.; VENDEMIATTI, J. A. S.; SOBRINHO, G. D.; ALBUQUERQUE, A. F. Química sanitária e laboratório de saneamento II. UNICAMP. Limeira. 2006. 23-40p.

OLIVEIRA, L. F.; OLIVEIRA, B. O. S.; LIMA, L. B. Avaliação da qualidade da água de três córregos na área urbana de Humaitá-AM. Revista de Ciências Ambientais. v. 12. n. 3. p. 25-33, Jul. 2018.

SALES, W. B.; TUNALA, J. F.; VASCO, J. F. M.; RAVAZZANI, E. D. A.; CAVEIÃO, C. Ocorrência de Coliformes Totais e Termotolerantes em pastéis fritos vendidos em bares no centro de Curitiba-PR. DEMETRA. v. 10. n. 1. p. 77-85, Jan. 2015.

SANTOS, M. V.; DUARTE, M. L.; SILVA, T. A.; VALENTE, K. S.; OLIVEIRA, H. M. Qualidade da água de abastecimento público em escolas da rede pública no município de Humaitá, Amazonas, Brasil. Revista Brasileira de Meio Ambiente. v.7, n.1. p. 002-012, Ago. 2019.

SILVA, J. A. Aplicação de indicadores ambientais para o cálculo do IQA (Índice de Qualidade da Água) em zona urbana de Manaus. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) Universidade Federal do Amazonas – UFAM, 2016. 1-56p.

SNIS. Diagnóstico dos serviços de águas e esgotos – 2018. Ministério das Cidades, Brasília. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em 15 Fev 2020.

SOUZA, J. R.; MORAES, M. E. B.; SONODA, S. L.; SANTOS, H. C. R. G. 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, Abr. 2014.

TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DINIZ, H. N.; DIAS, N. W.; MATOS, F. C. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. *Ambiente&Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 7, n. 2. p. 1980-993, Abr/Jun. 2012.

TARTARI, R.; ANJOS, M. R.; SILVA, K. B. Influência do uso do solo na qualidade da água do igarapé do Crato no município de Humaitá-AM. In: XI Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas. Anais...Poços de Caldas – MG. 2014. p. 1-8.

TEIXEIRA, D. R.; PAZ, F. N.; PRADO, G. L.; MARÓN, J. R. L.; MALVÁSIO, A. Caracterização da disposição dos Resíduos Sólidos gerados no município de Palmas –Tocantins: um estudo de caso em quadras selecionadas. *Espaço & Geografia*, v.16, n.1, p. 1-39, Jan. 2013.

VASCO, A. N.; BRITTO, F. B.; PEREIRA, A. P. S.; MÉLLO JÚNIOR, A. V.; GARCIA, C. A. B.; NOGUEIRA, L. C. Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do rio Poxim, Sergipe, Brasil. *Ambi-Agua, Taubaté*, v. 6, n. 1, p. 118-130, Abr. 2011.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 4. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA/UFMG, v.1, 2014. 452p.

ZANELLA, M. E.; OLÍMIO, J. L.; COSTA, M. C. L.; DANTAS, E W. C. Vulnerabilidade socioambiental do baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Cocó, Fortaleza-CE. *Sociedade & Natureza*, v. 25, n. 2. p. 317-332, Mai/Ago. 2013.

Recebido em: 28/03/2020

Aceito em: 31/07/2020

Endereço para correspondência:

Nome Miqueias Lima Duarte

Email: miqueiaseng@hotmail.com



Esta obra está licenciada sob uma [Licença Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)