

QUALIDADE DA ÁGUA E RESÍDUOS SÓLIDOS NAS NASCENTES URBANAS E PARTES SUPERIOR E MÉDIA DA BACIA DO IGARAPÉ QUE DRENA O POLO INDUSTRIAL DE MANAUS, ESTADO DO AMAZONAS

Nome do Autor Principal⁽¹⁾

~~Qualificação do Autor Principal em estilo normal, fonte Times New Roman, corpo 10, alinhamento de parágrafo justificado, que deverá abranger um resumo curricular que não exceda a 5 (cinco) linhas.~~

Nome do Autor⁽²⁾

~~Qualificação do Autor 2~~

Nome do Autor^(m)

~~Qualificação do Autor N, limitando-se a 5 autores.~~

~~1 linha em branco, fonte Times New Roman, corpo 10~~

~~**Endereço⁽¹⁾**: Rua/Av. Nome do Logradouro, Número do Logradouro e/ou Complemento Bairro Cidade Estado CEP: 20000-000 País Tel: +55 (xx) 4444 3333 Fax: +55 (xx) 4444 5555 e mail: exemplo@xxxxxx.com. **Informar somente o endereço do Autor Principal.**~~

~~1 linha em branco, fonte Times New Roman, corpo 10~~

Domitila Pascoaloto⁽¹⁾

Possui Doutorado em Ciências, Área de Concentração Biologia de Água Doce e Pesca Interior (INPA/FUA), Mestrado em Ciências, Área de Concentração Biologia Vegetal (UNESP) e Graduação em Ciências Biológicas (USP). Atualmente é pesquisadora no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Coordenação Dinâmica Ambiental, onde desenvolve estudos sobre indicadores ambientais e qualidade da água de recursos hídricos da Amazônia, com ênfase na bacia hidrográfica do Rio Negro.

José Sílvia Govone⁽²⁾

Possui Livre-Docência em “Probabilidade e Estatística” e “Bioestatística” (UNESP), Doutorado em Ciência da Engenharia Ambiental (USP), Mestrado em Ciências, Área de Concentração Bioestatística (USP) e Graduação em Estatística (UFSC). Atualmente é docente no Departamento de Estatística Matemática Aplicada e Computação do Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro/UNESP. Tem experiência na área de Probabilidade e Estatística, com ênfase em Estatística Aplicada ao Meio Ambiente e Bioestatística

Endereço⁽¹⁾: Av. André Araújo, 2936 - INPA/CODAM/Prédio 44 - Petrópolis - Manaus - AM - CEP: 69067-350 - Brasil - Tel: +55 (92) 3643-3107 - Fax: +55 (92) 3643-3107 - e-mail: domitila.pascoaloto@gmail.com.

RESUMO

O igarapé Quarenta é o principal formador da bacia do igarapé Educandos, a menor das bacias hidrográficas de Manaus, mas também uma das mais importantes. A maioria dos estudos desenvolvidos nessa bacia hidrográfica incluiu a nascente principal ou outra nascente da cabeceira, localizadas em área de proteção ambiental, um ou mais sítios amostrais no Distrito Industrial e a foz do igarapé Educandos. No presente estudo apresentamos as características da água e a análise qualitativa dos resíduos sólidos desde as nascentes urbanas do igarapé até o trecho de influência direta das empresas estabelecidas no Polo Industrial de Manaus. Essas nascentes urbanas não foram incluídas em estudos anteriores desenvolvidos nesta bacia, sendo algumas referidas pelos órgãos de gestão como se tratassem de um único igarapé que drena a área urbana, enquanto outras são simplesmente ignoradas. Estudos anteriores concluíram que os problemas ambientais no igarapé do Quarenta estavam relacionados ao Distrito Industrial, nossos resultados, obtidos no estudo de 32 sítios amostrais, mostraram que, em termos de contaminação orgânica e lançamento de resíduos sólidos, o problema vem desde a parte superior da bacia e mesmo algumas nascentes localizadas em região do entorno de áreas de preservação já estão comprometidas.

PALAVRAS-CHAVE: Recursos hídricos urbanos; Poluição hídrica; Zona Franca de Manaus

INTRODUÇÃO

O município de Manaus (AM) é densamente recortado por muitos rios e centenas de igarapés de diferentes portes, distribuídos em seis principais bacias hidrográficas, (Cuieiras, Tarumã-Mirim, Tarumã-Açu, São Raimundo, Educandos e Puraquequara). Embora a foz do rio Puraquequara esteja no rio Amazonas, enquanto os demais desagüam no rio Negro, todos eles são (ou eram, quando estavam em estado natural) classificados como de “rio de água preta” e em suas bacias existem (ou, existiram, no caso das bacias totalmente inseridas em área urbana) igarapés de “água preta” [águas transparentes; de coloração escura, devido ao alto teor de substâncias húmicas; ácidas (pH < 5,5), condutividade elétrica baixa (< 20 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)] ou de água clara (características químicas semelhantes aos de água preta, porém de tonalidade clara, devido à ausência ou baixo teor de substâncias húmicas) (Cunha e Pascoaloto, 2006). Portanto, quando se observa nas bacias dos rios de água preta ou de água clara igarapés com características de rios de água branca (águas turvas, condutividade elétrica > 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e pH > 6,0), principalmente em área urbana, pode-se afirmar que se trata de um igarapé poluído.

Registros antigos com imagens do igarapé do Quarenta na década de 1950 mostram balneários com águas semelhantes àquelas do rio Negro, porém atualmente sua aparência está mais associada às características do rio Solimões (rio de “água branca”, turvas e com “cor de café com leite”) (Pascoaloto, 2015) e, diferentemente dos demais igarapés localizados na área urbana de Manaus, além dos dejetos residenciais que nele são direta ou indiretamente despejados, desde 1967 recebe o aporte dos efluentes dos estabelecimentos das indústrias localizadas no Polo Industrial de Manaus – PIM (atualmente são mais de 400 empresas) e, portanto, o maior enfoque nos estudos desse igarapé tende a ser a concentração dos metais pesados na água e, principalmente nos sedimentos da área de influência do PIM (ex.: Bringel, 1986; Santos-Silva e Silva, 1993; Silva, 1996; Silva et al., 1999; Santana 2006; Silva, 2010).

Além da degradação da qualidade da água decorrente dos aportes domésticos e químicos, existem vários registros sobre a quantidade de resíduos sólidos que se acumulam em alguns dos trechos principais na bacia do Educandos, principalmente em pontes nos igarapés Petrópolis e Cachoeirinha (ex.: A Crítica, 2016, 2017; Saneamento Básico, 2017), sendo que no trecho referente especificamente ao igarapé do Quarenta os mais críticos são as pontes do Conjunto Nova República e da SEDUC (Silva, 1996; Franken, 2004; Cunha, 2006; Costa *et al.*, 2016; Pascoaloto e Soares, 2016), onde a água acaba sendo represada e os resíduos podem, em situações extremas, extrapolar as margens do igarapé e alcançar a via pública. Os igarapés na parte superior da bacia drenam vários bairros e muitas vezes a melhor opção para os moradores é atravessar o igarapé para se locomover mais rápido (mesmo porque em muitos dos locais onde ficam as casas ribeirinhas não há espaço para transitar com automóveis), de forma que são inúmeras as pontes que atravessam os canais; no entanto não existem relatos sobre as características da água ou dos resíduos sólidos nesses locais.

OBJETIVO

Conhecer a qualidade da água e verificar a presença de resíduos sólidos em recursos hídricos de superfície nas partes superior e média da bacia igarapé do Quarenta a fim de verificar a influência do polo industrial sobre a contaminação da água, excluindo metais pesados.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área de estudo

O município de Manaus é drenado por uma extensa rede de igarapés, tendo seis principais microbacias hidrográficas, cinco delas pertencentes à bacia do Rio Negro (Figura 1). Duas dessas microbacias estão totalmente inseridas na malha urbana, a do igarapé São Raimundo e a do igarapé do Educandos, quem têm como seus principais formadores os igarapés Mindu e Quarenta, respectivamente (Figura 2). A bacia do igarapé do igarapé do Educandos é a menor das bacias hidrográficas do município de Manaus, sendo o igarapé Quarenta seu principal formador (o igarapé Educandos é a continuação do igarapé Quarenta, recebendo essa denominação quando entra no bairro de mesmo nome, já quase próximo à foz, no rio Negro – aproximadamente 1,5 km). Ele nasce na zona leste da cidade, no bairro Armando Mendes, e percorre vários bairros densamente povoados, recebendo a maior parte dos esgotos domésticos das palafitas ainda existentes [a maioria foi derrubada com a implementação da primeira fase do projeto Prosamim (Garrido, 2011; PROSAMIM, 2012)] e de residências instaladas próximo às suas margens, bem como, entre outras fontes de poluição difusa, a água da lavagem de peixes em comércios não regulamentados estabelecidos próximos a algumas das pontes mais movimentadas. Somam-se aos contaminantes orgânicos os efluentes industriais (ainda que os mesmos atualmente sejam tratados, conforme legislação em vigor) das mais de 500 empresas instaladas na região, principalmente no bairro Distrito Industrial.

Em nosso estudo demos enfoque à área urbanizada que contém nascentes do igarapé Quarenta, de forma que nossa área de estudo inclui três braços do igarapé do Quarenta na parte superior de sua bacia de drenagem (Figura 2), além da região na porção média da bacia, sujeita a influência direta do Polo Industrial de Manaus. Ressalta-se que a nascente principal, situada no Parque Municipal Refúgio do Sauim Castanheira, não foi incluída, uma vez que não está situada em área urbanizada, além do local estar em obras no período em que este estudo foi realizado; por razões semelhantes também não foi possível visitar a nascente situada no Instituto Federal do Amazonas. Foram selecionados, no total, 32 sítios amostrais (Tabela 1, figuras 3-5). As coletas de água foram realizadas no “verão amazônico” (período de baixa precipitação), entre agosto e setembro/2018.

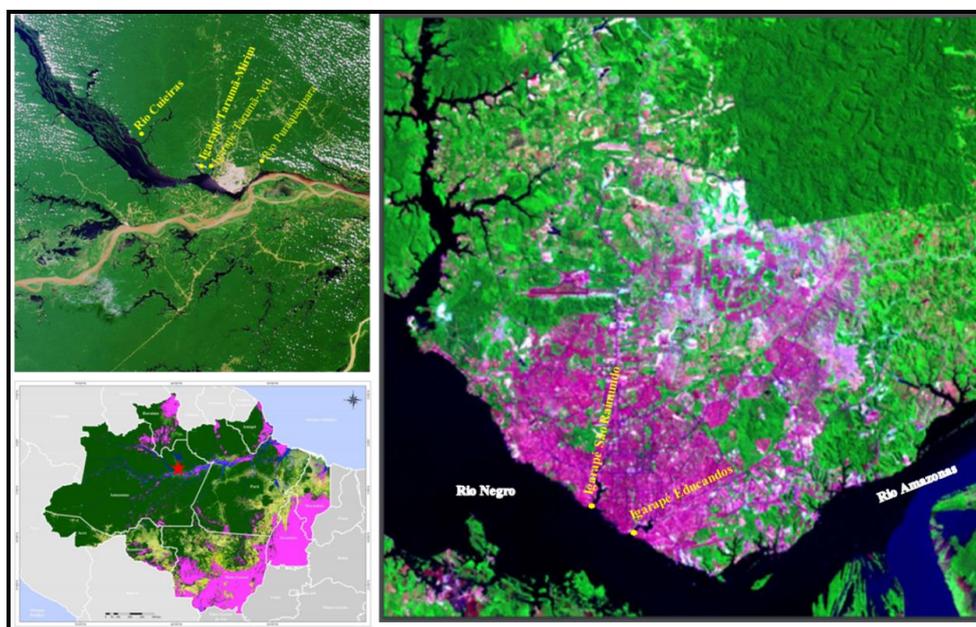


Figura 1- Bacias hidrográficas do município de Manaus (Fonte: Google Earth, adaptado pelas autoras).

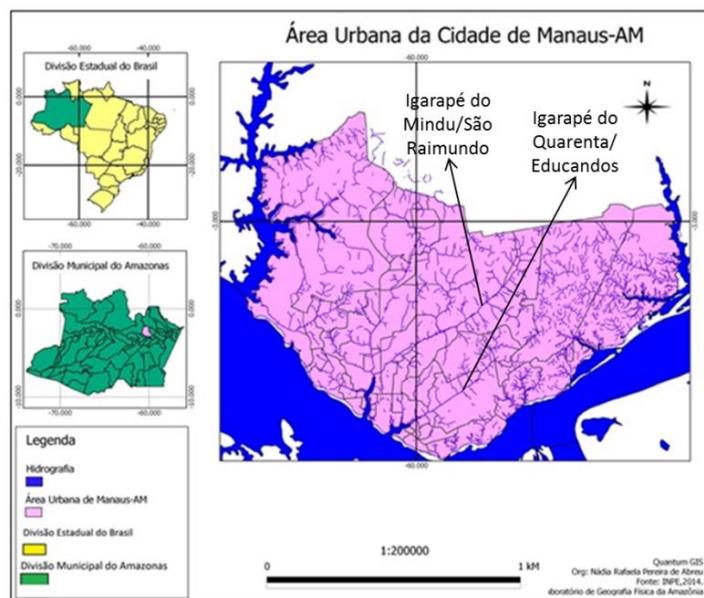


Figura 2- Localização dos igarapés inseridos na malha urbana de Manaus (adaptado de Pascoaloto, 2015).

Tabela 1: Sítios amostrais.

SÍTIO AMOSTRAL	BAIRRO	REFERÊNCIA	COORDENADAS	
			LATITUDE	LONGITUDE
Q-01	Armando Mendes	"Piscinão"	3° 5'39.23"S	59°56'8.52"O
Q-02	Armando Mendes	Itacolomy	3° 5'39.70"S	59°56'17.16"O
Q-03	Armando Mendes	Rua P (igarapé da Sharp)	3° 5'38.69"S	59°56'26.88"O
Q-04	Armando Mendes	Comunidade - próx. Autaz Mirim	3° 5'37.03"S	59°56'51.00"O
Q-05	Armando Mendes	Marcelo Santos (rua)	3° 4'51.02"S	59°56'13.96"O
Q-06	Armando Mendes	Marcelo Santos (nascente)	3° 4'51.31"S	59°56'12.52"O
Q-07	Armando Mendes	Cacimba (residência na Marcelo Santos)	3° 4'50.63"S	59°56'13.38"O
Q-08	Armando Mendes	Nestor Paes	3° 5'2.76"S	59°56'31.20"O
Q-09	Armando Mendes	Pe Ranin/Castro Alves	3° 5'0.49"S	59°56'33.61"O
Q-10	Armando Mendes	Continental	3° 4'59.20"S	59°56'34.69"O
Q-11	Zumbi dos Palmares	Tiradentes/Resende	3° 5'2.87"S	59°56'44.45"O
Q-12	Zumbi dos Palmares	Dr Daniel	3° 5'7.08"S	59°56'46.75"O
Q-13	Zumbi dos Palmares	São João	3° 4'30.43"S	59°56'36.71"O
Q-14	Zumbi dos Palmares	Rui Barbosa	3° 4'24.74"S	59°56'40.78"O
Q-15	Zumbi dos Palmares	Berimbau Baiano	3° 4'33.20"S	59°56'40.78"O
Q-16	Zumbi dos Palmares	Beco Nossa Senhora do Bonfim	3° 4'38.10"S	59°56'41.86"O
Q-17	Zumbi dos Palmares	Dr. Basílio/Dr. Daniel/Dra. Heloísa	3° 4'47.60"S	59°56'52.01"O
Q-18	Zumbi dos Palmares	Dra Telma	3° 4'51.67"S	59°56'48.73"O

Q-19	Zumbi dos Palmares	Dr Basílio/Dra. Iolanda	3° 5'0.64"S	59°56'48.44"O
Q-20	Coroado	Autaz Mirim (após Atacadão)	3° 5'10.79"S	59°57'2.84"O
Q-21	Coroado	Rua Candelária	3° 5'34.62"S	59°57'2.81"O
Q-22	Coroado	Rua Principal	3° 5'44.70"S	59°57'4.43"O
Q-23	Coroado	UFAM - igarapézinho/próx. nascente	3° 5'52.08"S	59°57'16.09"O
Q-24	Japiim	Ponte Nova República	3° 6'25.27"S	59°57'38.34"O
Q-25	Japiim	Igarapé (Conj. Acácia II/Eliza Miranda)	3° 6'27.07"S	59°57'48.96"O
Q-26	Distrito Industrial	"Varilux" - HONDA	3° 6'58.90"S	59°58'4.91"O
Q-27	Distrito Industrial	Elisa Miranda - Principal	3° 6'37.58"S	59°57'54.36"O
Q-28	Japiim	Elisa Miranda - Escuro	3° 6'37.33"S	59°57'54.61"O
Q-29	Distrito Industrial	Elisa Miranda - "Honda"	3° 6'40.97"S	59°57'52.13"O
Q-30	Distrito Industrial	Régua CPRM	3° 6'55.04"S	59°58'17.36"O
Q-31	Distrito Industrial	Ponte SEDUC	3° 7'0.62"S	59°58'28.13"O
Q-32	Japiim	DB Distrito	3° 7'9.66"S	59°58'41.66"O



Figura 3 - Localização dos sítios amostrais, com detalhe para os três braços do igarapé estudados na parte superior da bacia hidrográfica.

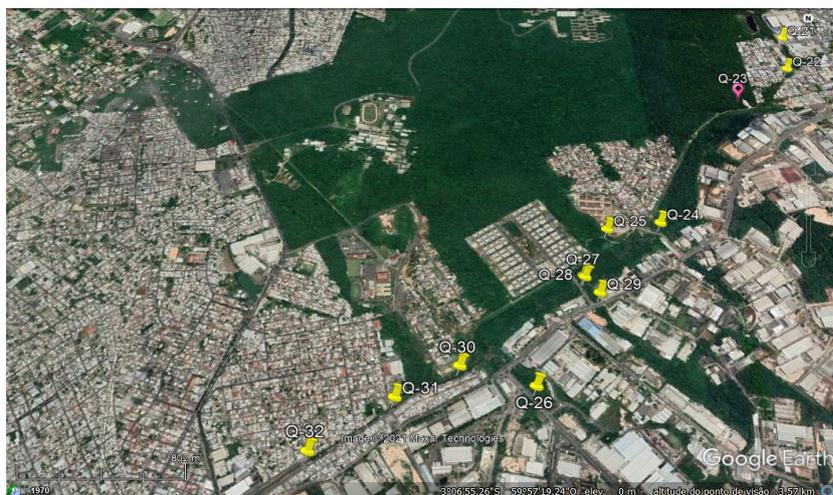


Figura 4 – Detalhamento dos sítios amostrais sob influência direta de possíveis lançamentos de efluentes por empresas localizadas no PIM.

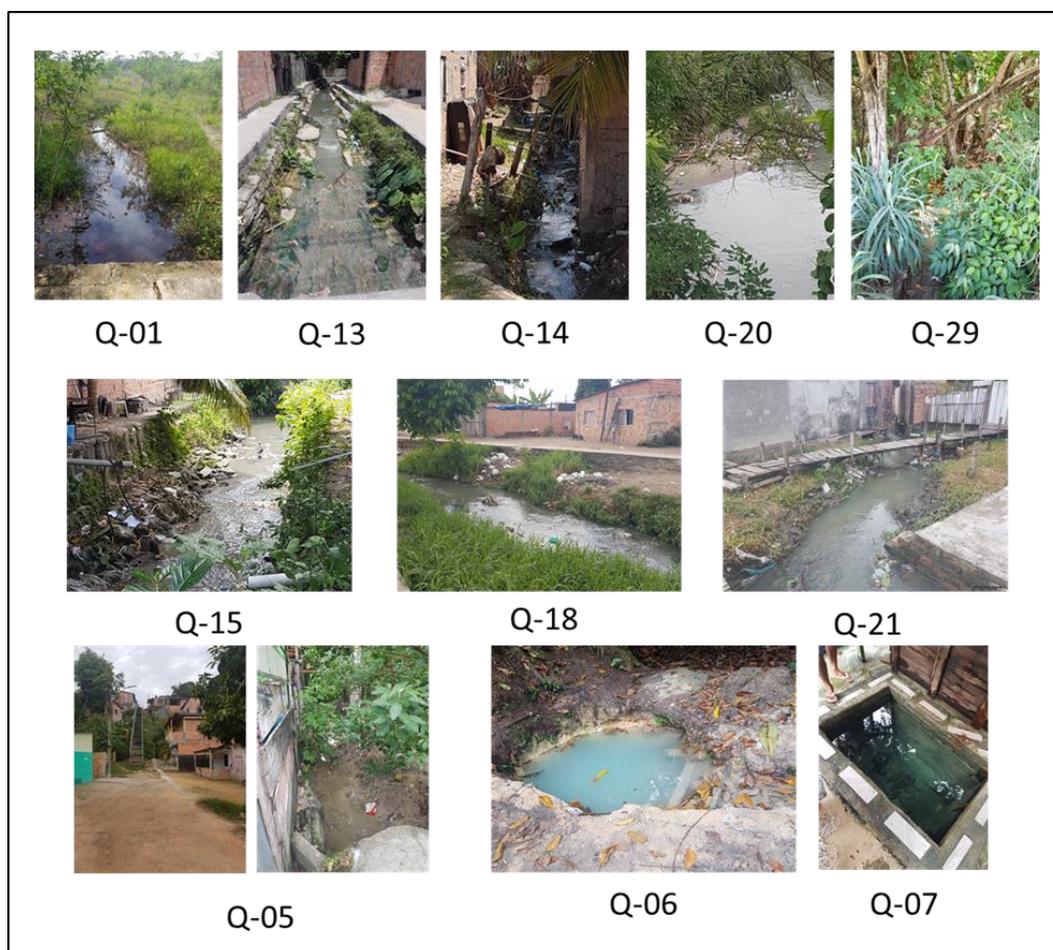


Figura 5 – Configuração de alguns dos sítios amostrais.

Coleta e análise dos dados

As amostras de água foram coletadas ou com auxílio de um coletor ou, quando a profundidade era muito baixa, diretamente do canal e acondicionadas em frascos de polipropileno (capacidade de volume: 1000 ml), previamente limpos com solução álcool-ácida e lavados com água destilada (Rice, 2012) e mantidos sob refrigeração até serem transportados para o Laboratório de Química Ambiental (LQA/CODAM/INPA). As amostras para determinação de oxigênio foram fixadas no local com os reagentes azida sódica e sulfato manganoso, conforme procedimento padrão para o método de Winkler modificado (Golterman et al., 1978). As variáveis ambientais investigadas e as técnicas analíticas utilizadas para análise podem ser observadas na Tabela 2.

Por se tratar de um logaritmo ($-\log_{10} [\text{H}_3\text{O}^+]$ – Lehninger, 1976), para o cálculo das médias os valores de pH de cada amostra foram convertidos para antilog na base 10 e o resultado (média) expresso em \log_{10} . Os resultados obtidos nas análises das variáveis ambientais foram submetidos a testes estatísticos utilizando o software livre Biostat 5.3. Devido à alta assimetria dos dados obtidos nas variáveis ambientais foi descartada a normalidade, de forma que para a comparação entre as partes superior e média do canal na bacia do igarapé do Quarenta e para a comparação entre os três braços estudados na parte superior da bacia foi utilizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. Onde as diferenças foram significativas, foi aplicado o teste Student-Newman-Keuls, para detectar quais diferenças foram significativas. Nessas análises não foi incluído o sítio amostral Q-23, pois o mesmo não está localizado no leito do igarapé; entretanto, como ele serviu de referência para as características ambientais de um local natural na bacia do igarapé, foi incluído na análise de agrupamento realizada utilizando a distância euclidiana e o método Ward. Os dados também foram submetidos a análise do Componente Principal e, considerando que não existe normalidade nos dados, para testar a igualdade entre os grupos I e II, I e III e II e III foi utilizado o teste de Hotelling.

Tabela 2 - Variáveis ambientais e técnicas analíticas utilizadas.

VARIÁVEL AMBIENTAL	TÉCNICA ANALÍTICA	UNIDADE
pH	Direto, Potenciométrico	---
Condutividade Elétrica (CE)	Direto, Potenciométrico	$\mu\text{S}/\text{cm}$
Oxigênio Dissolvido (OD)	<i>Standard Methods</i> (Rice et al., 2012), Titulométrico	mg/L
Alcalinidade	<i>Standard Methods</i> (Rice et al., 2012), Potenciométrico	mg $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{L}$
Turbidez	<i>Standard Methods</i> (Rice et al., 2012), Nefelométrico	NTU
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	<i>Standard Methods</i> (Rice et al., 2012), Refluxo Aberto	mg/L
N-total	Valderrama (1980), Espectrofotométrico	mg/L
P-total	Valderrama (1980), Espectrofotometria	mg/L

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos nas análises das variáveis ambientais podem ser observados nas figura 6-7. Por uma questão logística a análise de fósforo total não pode ser realizada em todos os sítios amostrais, faltando principalmente aqueles sítios amostrais potencialmente mais afetados pelo aporte dos recursos hídricos que drenam o PIM, todavia registra-se que essa variável ambiental apresentou valores médios de 0,06 mgFe/L no braço 1 (referentes aos sítios amostras Q-01 e Q-02), 0,60 mg/L no braço 2 (nascente, Q-05, com valor de 0,18 mgFe/L) e 0,74mg/L no braço 3 (nascentes com valores de 0,75 e 0,76 mgFe/L, referentes aos sítios amostrais Q-13 e Q-14, respectivamente).

Os resultados obtidos nas partes superior e média da bacia (para as variáveis com no mínimo quatro amostras em cada região) podem ser observados na figura 8.

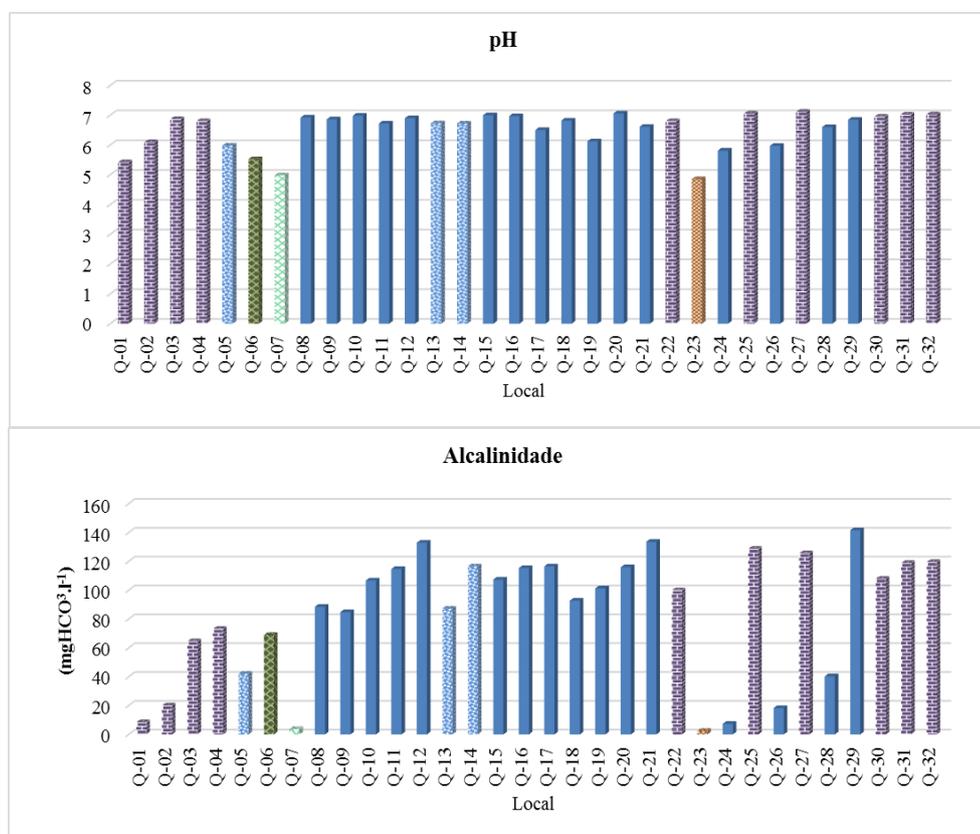
O dendrograma resultante da análise de agrupamento dos locais, considerando os valores de pH, condutividade elétrica, turbidez e DQO pode ser observado na figura 9. Nessa análise não foram incluídos os sítios amostrais Q-06 e Q-07, por não estarem ligados diretamente ao leito do igarapé (tratam de afloramento de água da subsuperfície, que

foram incluídos a fim de se verificar se a água do sítio amostral selecionado como “nascente” no local estava em estado natural ou não).

Em relação aos resíduos sólidos, foi observado que os mesmos estão presentes desde as nascentes (principalmente papel e plástico), inclusive no sítio amostral Q-05, apesar dele ter sido um dos locais com “melhor” qualidade da água (ainda que os valores de pH, alcalinidade e condutividade elétrica indiquem que já existe alteração, visto que foram bem mais elevados do que aqueles registrados para o Q-23, localizado em área natural). O local onde foi observada a maior concentração de resíduos sólidos (incluindo objetos plásticos, papel, concreto, vidro e metal) foi no sítio amostral Q-21, onde existe um desnível entre a montante e a jusante da ponte e a correnteza é visivelmente forte. Em alguns locais, na parte superior da bacia, também foram observados eletrodomésticos descartados (ex.: fogão e geladeira), além de móveis de “madeira” (camas, cadeiras, etc.), sendo que alguns sítios amostrais (Figura 10) foram observados objetos similares dispostos nas calçadas, em pontes sobre os igarapés.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Em nossos estudos o pH variou de 4,85 a 7,12 (sítios amostrais Q-23 e Q-27, respectivamente) e a condutividade elétrica (C.E.) de 2,44 a 141,52 $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Q-23 e Q-29, respectivamente). Ainda que nosso estudo tenha incluído nascentes urbanas, mas não tenha sido incluída a nascente principal do igarapé Quarenta nem a parte inferior da bacia, nossos resultados estiveram dentro dos limites observados em trabalhos anteriores (ex.: Melo et al., 2006; Costa et al., 2016; Calvo, 2018), realizados entre a nascente principal do igarapé do Quarenta/Educandos e a foz do Educandos.



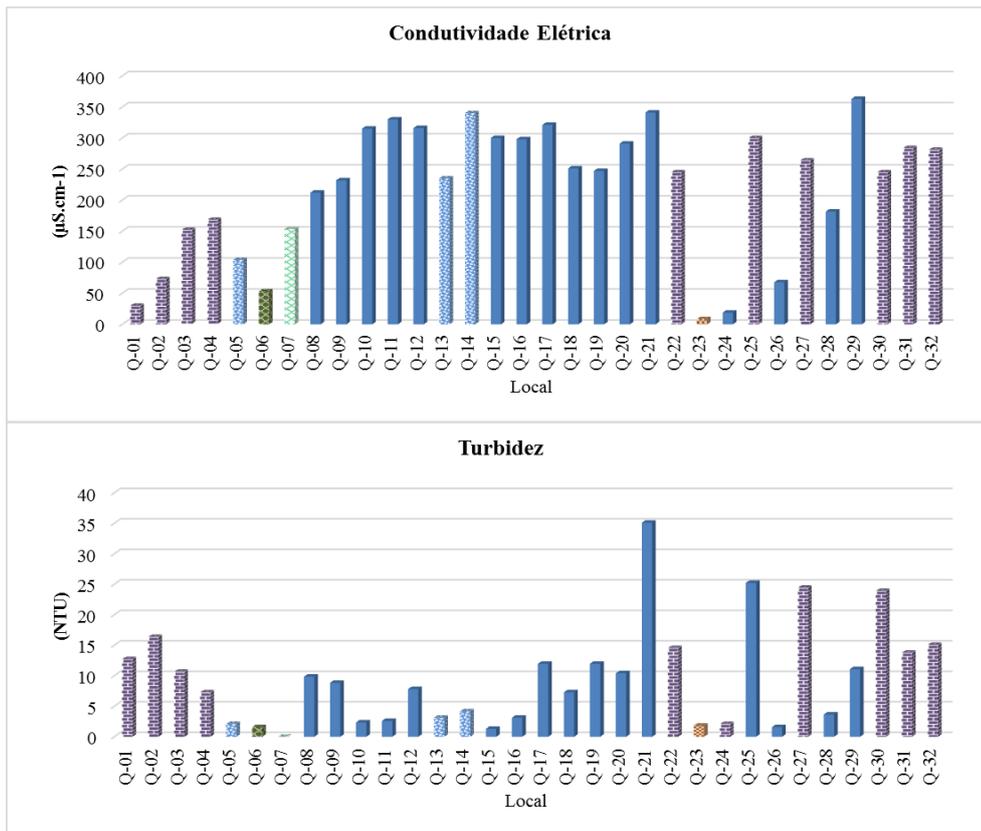


Figura 6 – Valores obtidos para as variáveis ambientais pH, alcalinidade, condutividade elétrica e turbidez.

(Legenda: ■ ponte/canal principal; ■ ponte/tributário; ■ nascente urbana; ■ lagoinha / “aflorento”; ■ Cacimba; ■ igarapé natural).

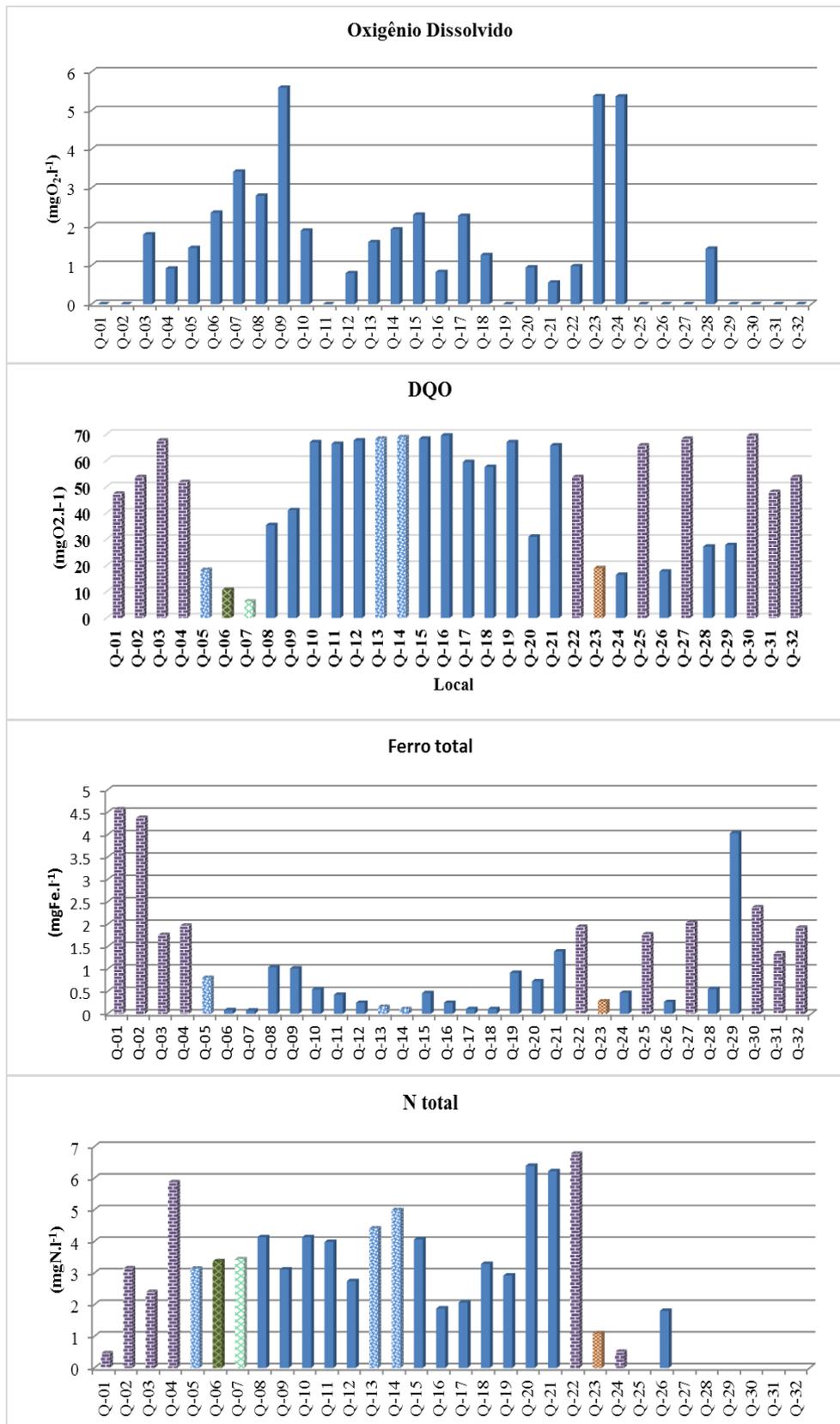


Figura 7 – Valores obtidos para as variáveis ambientais oxigênio dissolvido, DQO, Ferro total e Nitrogênio total.

(Legenda: ■ ponte/canal principal; ■ ponte/tributário; ■ nascente urbana;
■ lagoinha / "afioramento"; ■ Cacimba; ■ igarapé natural).

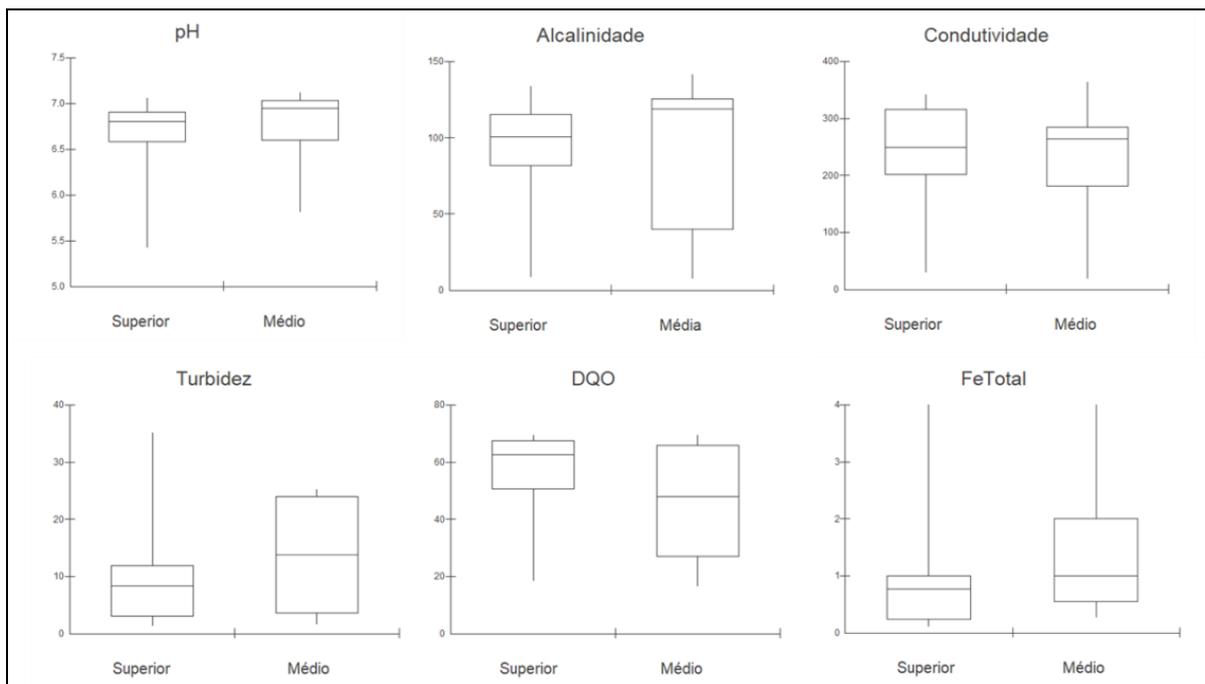


Figura 8: Gráficos Box Plot para as variáveis ambientais pH, alcalinidade (mgHCO₃/L), condutividade elétrica (μS/cm), turbidez (NTU), DQO (mgO₂/L), ferro total (mgFe/L) e oxigênio dissolvido (mgO₂/L).

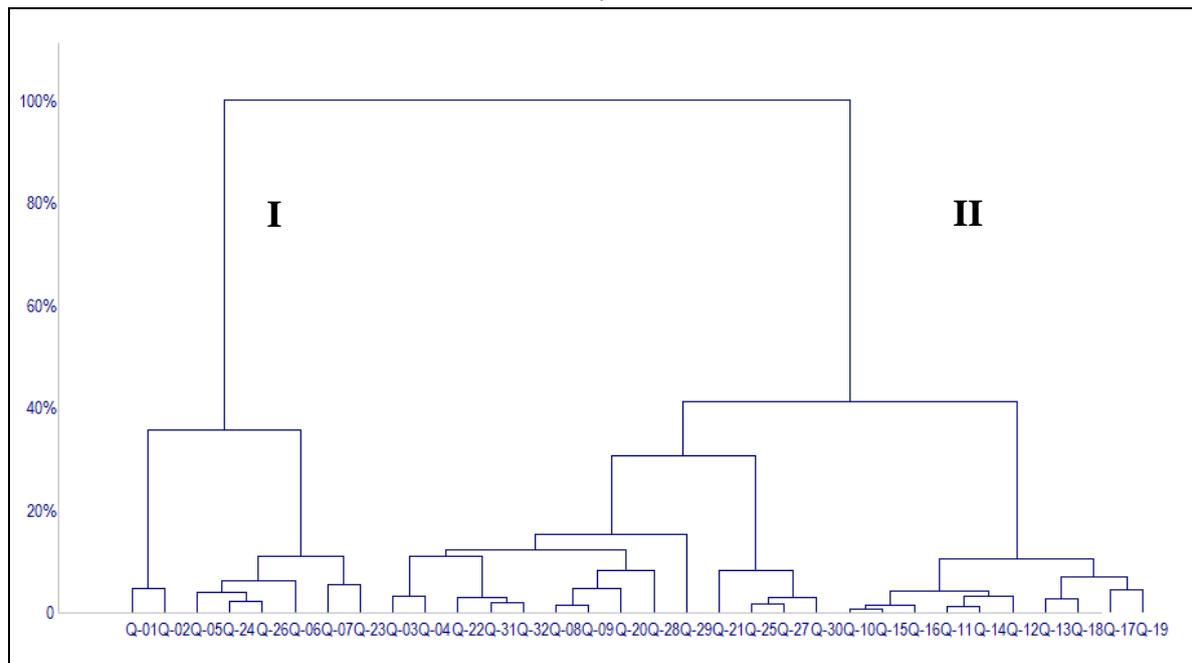


Figura 9 - Dendrograma resultante da análise de conglomerados.



Figura 10: Registro de descarte de “lixo” eletro-eletrônico e outros materiais em lixeiras viciadas próximas a pontes sobre os igarapés na parte superior da bacia do Igarapé Quarenta. (Legenda dos locais segundo Tabela1).

O local com característica mais natural foi o sítio amostral Q-23, o qual não é um dos contribuintes direto do canal do igarapé Quarenta, e foi incluído como referência para avaliar a contaminação das nascentes avaliadas. Os valores de pH, alcalinidade e condutividade obtidos para a “lagoinha” (Q-06) indicam leve contaminação, sendo que, como os proprietários do local informaram que não adicionam produtos químicos nesse local, é possível que sua fonte esteja na percolação da água vinda do terreno adjacente, local que anteriormente era chamado de “Escola Agrícola”, visto que nele existem plantações experimentais. Os valores de pH e alcalinidade observados na cacimba (Q-07) encontram-se dentro da média observada no aquífero Alter do Chão (Silva, 2015), no entanto a condutividade elétrica esteve bem mais alta do que aquela registrada em área natural do município de Manaus. Os valores mais elevados de pH, alcalinidade e condutividade elétrica observada no sítio amostral referente à cabeceira do braço 2 (Q-05) referem-se à combinação da água de três nascentes mais a água que percolou das ruas situadas acima; entretanto ressalta-se que o valor de DQO foi baixo, de forma que novos estudos devem ser realizados para verificar a interferência geológica nesses resultados, tendo em vista a constatação de uma água azulada nos sítios amostrais vizinhos (Q-06 e Q-07). No braço três, o local referente às nascentes que foram contidas (Q-13) apresentou pior qualidade de água do que aquele onde as nascentes se encontram em meio às palafitas (Q-12), onde foram observados vários trechos com o leito coberto por larvas de insetos e a camada intersticial (superfície da água/atmosfera) com vários insetos (Chironomidae/Diptera) adultos. A abundância desses insetos se deve ao alto teor de matéria orgânica (Esteves, 2011), associado às condições físicas do local (pavimentado, ambiente ensolarado, com movimentação constante de água constante e visivelmente com baixa velocidade de corrente). As condições ambientais (tanto na qualidade da água como nas características físicas do local) no sítio amostral Q-12 foram semelhantes àquelas observadas na microbacia do igarapé do Gigante, um dos igarapés mais impactados da bacia hidrográfica do Tarumã-Açu e onde foi observada também, numa visita de reconhecimento de locais em junho/2013, grande concentração de insetos aquáticos desse mesmo grupo (Pascoaloto, 2017).

As análises estatísticas revelaram, quanto à comparação entre as partes superior e média da bacia (variáveis que tiveram no mínimo quatro amostras em cada região) que em nenhum elemento ocorreu diferença significativa ao nível de 5% de significância. Assim, concluímos pela igualdade dos locais.

Quanto às análises dos três braços do igarapé na parte superior da bacia, não foram observadas diferenças significativas entre os braços, ao nível de 0,05 de probabilidade, para as variáveis pH, Turbidez, Ca⁺⁺ e N-Total. Houve diferença significativa ($p < 0,05$) para condutividade elétrica (braço 1 difere do braço 3), alcalinidade (braço 1 difere do braço 3), DQO (braço 2 difere do braço 3) e Fe-total (braço 1 difere do braço 2; braço 1 difere braço 3). Nas três comparações entre os grupos (I e II; I e III; II e III), utilizando o teste de Hotelling (onde foram incluídos os valores de pH, alcalinidade, condutividade elétrica, turbidez, DQO e Fe-Total) foi rejeitada a igualdade entre os grupos.

A análise de conglomerados revelou a formação de dois grupos, sendo o grupo I formado por locais naturais ou levemente impactados e o grupo II formado pelos locais mais impactados. Ressalta-se que a nascente do braço dois está no grupo I, enquanto as duas nascentes do braço três estão no grupo II, o que é compatível com as características observadas nesses sítios amostrais: Q-14 já foi um local onde se observavam várias nascentes, mas devido à barreira construída para evitar o desmoronamento do barranco ter cedido, elas acabaram sendo contidas e atualmente a água está canalizada, juntamente com os efluentes originados nas residências no entorno; enquanto Q-13 está localizada no meio das palafitas e o local se encontrava cheio de larvas de insetos e mosquitos. Ressalta-se o fato de o único sítio amostral localizado dentro do PIM propriamente dito (ainda que se trate de um corpo d'água raso e estreito), Q-25, ficou no grupo I.

A análise do componente principal revelou que os dois primeiros componentes explicam 79% da variação dos dados (valor considerado razoável). O componente 1 explica 53,8% da variância e indica que pH, alcalinidade e condutividade elétrica são praticamente igualmente importantes para caracterizar os sítios amostrais, seguidas por turbidez e DQO. De menor importância e variando no sentido contrário, temos o Fe-Total. O componente 2, explica 25% da variância e mostra valores altos para pontos com alta turbidez e alta quantidade de Fe-Total. De fato, os dois sítios amostrais com maior teor de Fe-total foram Q-01 e Q-02, os quais também apresentaram os valores mais elevados de DQO para o grupo I, indicando a interferência da água do rio Negro nesses locais (enfatizando que Q-02 recebe água de Q-01, o qual provavelmente está recebendo água do rio Negro durante o tratamento da água na ETA). Os sítios amostrais com maiores valores de turbidez foram observados na parte média da bacia e foram os locais onde o leito foi mais largo e a velocidade de corrente era mais evidente.

Em geral a maioria dos trabalhos desenvolvidos na bacia do Igarapé Quarenta dá maior ênfase às interferências do Polo Industrial de Manaus e é voltada ou para a contaminação das águas subterrâneas (ex.: Aguiar, 2003; Silva et al., 2006; Silva e Silva, 2007; CPRM, 2012) ou, principalmente, para a contaminação do igarapé do Quarenta por metais pesados (ex.: Silva, 1996; Queiroz e Santana, 2000; Campos et al., 2005; Dias e Santana, 2005; Veiga et al., 2005; Santana, 2006; Calvo, 2018). Outros fatores, no entanto, interferem na qualidade da água dos recursos hídricos localizados em área de influência do PIM, somados àqueles decorrentes do lançamento de efluentes domésticos e poluição difusa no trecho a montante. Os sítios amostrais Q-26 e Q-30 foram investigados em estudos anteriores (Franken, 2004; Cunha, 2006) e em várias ocasiões apresentaram condições “nauseantes”, principalmente o Q-26 (Pascoaloto e Soares, 2016), onde, além do odor proveniente dos dejetos orgânicos predomina um odor químico, estando esse, provavelmente, relacionado ao beneficiamento de papel de alguma(s) empresa(s) localizada no PIM, pois na maioria das coletas do fitoplâncton a rede ficou impregnada pela massa desse material. De fato, Frare et al. (2018) discutiram sobre as consequências dos efluentes de indústrias de papel e celulose na bacia do rio Jaguarí (MG e SP), concluindo que o impacto ambiental causado por essas descargas líquidas (62 milhões de metros cúbicos de efluentes, volume corresponde ao consumo doméstico de água de aproximadamente 200 milhões de pessoas) é um problema de caráter grave, sobretudo no que se refere à biota aquática. Assim, tanto as características hidroquímicas da água do igarapé e percepções ambientais (principalmente o odor) quanto os resultados observados para as comunidades de algas e invertebrados bentônicos na bacia hidrográfica do igarapé Quarenta entre 2002 e 2006 (Franken, 2004; Cunha, 2006; Pascoaloto e Soares, 2016) corroboram com esses autores. Ressalta-se que os resultados observados para a qualidade da água no presente estudo mostra que não houve sensível melhoria na qualidade da água, ainda que as empresas (ou ao menos aquelas que de fato seguem a legislação em vigor) tratem seus efluentes e a prefeitura tenha realizado seu plano de obras para “revitalização do igarapé”. Nossos resultados indicam que se não houver ação por parte dos órgãos competentes na parte superior da bacia, sobretudo no braço 3 (que geralmente é ignorado pelos órgãos competentes que assumem apenas que é a área “urbana” das cabeceiras e consequentemente não interferem ou executam ações de saneamento) não será possível melhorar a qualidade de vida das pessoas que moram na parte média (e, consequentemente, também na inferior) da bacia do igarapé Quarenta.

A presença de móveis e eletrodomésticos em lixeiras viciadas (ou mesmo que fossem esses locais de acúmulo de “entulhos” para serem recolhidos pelo serviço regular de coleta de “lixo”) em pontes sobre os igarapés poderia até ser visto como um “atenuante” para os objetos semelhantes observados nos igarapés, pois esses podem ter caído dessas lixeiras irregulares ou terem sido arrastados para dentro do corpo do igarapé em período de cheia. No entanto, destaca-se que o descarte de móveis e eletrodomésticos aparentemente é um “costume” de parte da população, pois esses objetos também foram observados em outros estudos desenvolvidos nas bacias do Mindu/São Raimundo e Gigante/Tarumã (Pascoaloto et al., 2012; Pascoaloto, 2017). Em um estudo realizado na microbacia do igarapé Santa Etelvina (bacia hidrográfica do Tarumã-Açu) alguns moradores informaram que existem pessoas que descartam seu lixo diário e, principalmente, objetos mais volumosos no igarapé devido à impossibilidade do caminhão que faz a coleta pública acessar as ruas do local (Pascoaloto e Oliveira, 2005; Oliveira et al, 2006), todavia essa não é a realidade nos locais visitados na bacia do igarapé do Quarenta.

Nosso estudo foi realizado no período de menor precipitação, observando-se maior concentração de resíduos nas pontes situadas na região superior e, principalmente, naquelas que conectam os braços do igarapé na parte superior com o canal da parte média da bacia (ressalta-se que foi possível observar, visualmente, que nesses locais o fluxo é mais rápido, pois se encontram em desnível). Seria aconselhável realizar novo estudo no período de maior precipitação, de caráter qualitativo e quantitativo, a fim de verificar se a parte média fica com maior acúmulo do que a superior, uma vez que, via de regra, a população que habita as margens dos igarapés em Manaus, grande parte do “lixo” acumulado nos trechos médios e inferiores dos igarapés vêm das residências situadas a montante (Pascoaloto et al., 2005, 2006), além do registro em estudos anteriores (Franken, 2004; Cunha, 2006; Pascoaloto, 2015) de acúmulo de resíduos sólidos (principalmente garrafas PET) nos locais correspondentes aos sítios amostrais Q-24 e Q-31.

CONCLUSÃO

Na bacia hidrográfica do igarapé do Quarenta os resíduos sólidos estão presentes desde as cabeceiras, concentrando-se principalmente nas imediações das pontes onde o igarapé apresenta correnteza mais pronunciada. Esses dejetos (“lixo”) se misturam com a matéria orgânica dejetos orgânicos, causando poluição visual e, principalmente, nichos para a proliferação de agentes patogênicos à saúde humana (e/ou da fauna aquática), principalmente larvas dos mosquitos transmissores da dengue, da malária e outras doenças.

O estudo foi realizado no período de menor precipitação, registrando-se maior concentração de resíduos nas pontes situadas na porção superior e, principalmente, naquelas que conectam as partes superior e média da bacia. Seria aconselhável realizar novo estudo no período de maior precipitação, de caráter qualitativo e quantitativo, a fim de verificar se a parte média fica com maior acúmulo do que a superior, uma vez que, via de regra, a população que habita as margens dos igarapés em Manaus, grande parte do “lixo” acumulado nos trechos médios e inferiores dos igarapés vêm das residências situadas a montante, além do fato de que foi observado pouco material em dois locais na parte média da bacia, onde em algumas ocasiões foi registrada a presença de resíduos sólidos em quantidade que permitiu que os mesmos ultrapassassem a altura da ponte.

Todas as nascentes avaliadas neste estudo que estiveram situadas na parte superior da bacia apresentaram alteração na qualidade da água, principalmente as duas que estão localizadas no braço três do igarapé; resultado plausível com o fato das nascentes originais terem sido contidas e os locais atualmente se encontrarem em meio às residências. Uma vez que a região superior do braço dois ainda consiste em uma área rica em nascentes, faz-se necessário que os órgãos de gestão tomem providências imediatas para tentar recuperar a qualidade da água nessa região, através de ações de educação ambiental para com os moradores da comunidade e de ações de saneamento a fim de evitar o carreamento dos resíduos sólidos e efluentes domésticos que possam estar sendo gerados nas ruas localizadas acima desse local. Também no braço dois a tonalidade azulada da água na cacimba e nos afloramentos observados no terreno que faz fronteira com o IFAM Manaus – Zona Leste deverá ser investigada em estudos futuros, a fim de verificar se é decorrente de processos geológicos naturais ou se a região está contaminada por atividades agrícolas desenvolvidas no terreno adjacente.

Uma vez que não houve diferença significativa entre os valores obtidos na superior com aqueles da parte média, conclui-se que contaminação orgânica e a entrada do elemento ferro não estão relacionadas às empresas localizadas no polo industrial de Manaus.

A presença de resíduos sólidos nos cursos d’água foi uma constante em todos os locais onde havia residências no entorno, indicando que a poluição hídrica é uma constante e somente poderá ser minimizada através de conscientização ambiental para com os moradores e ações de educação ambiental para com a população local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. A CRÍTICA. *População que mora próxima a igarapés sofre com o lixo trazido pelas chuvas, em Manaus. Portal Acritica, em 06 de jan. 2016.* Disponível em <<https://www.acritica.com/channels/manaus/news/populacao-que-mora-proxima-a-igarapes-sofre-com-o-lixo-trazido-pelas-chuvas>>, acessado em 31 agosto de 2020.
2. A CRÍTICA. *Lixeiras viciadas tomam conta das margens do igarapé de Petrópolis. Portal Acritica, em 28 de julho de 2017.* Disponível em <<https://www.acritica.com/channels/manaus/news/lixearas-viciadas-tomam-conta-das-margens-do-igarape-de-petropolis#:~:text=Lixeiras%20viciadas%20tomam%20conta%20das%20margens%20do%20igarape%20de%20Petro%20polis,-Os%20moradores%20afirmam&text=O%20despejo%20irregular%20de%20restos,%20bairro%20Petro%20polis%20zona%20Sul>>, acessado em 31 agosto de 2020.

3. AGUIAR, C. J. B. *A Vulnerabilidade do Aquífero Alter do Chão na Cidade de Manaus - Um caso de Contaminação por Amônia e Nitrato. 1º Simpósio Sobre Recursos Hídricos da Amazonia, 2003. SBRH, Manaus.*
4. BRINGEL, S.R.B. *Estudo do nível de poluição nos igarapés do Quarenta e Parque Dez de Novembro. Relatório Técnico-UTAM, Manaus, 1986.*
5. CALVO, B.D.R. (2018). *Avaliação da influência antrópica na drenagem do igarapé do Quarenta e orla de Manaus.* Dissertação de mestrado-Faculdade de Química-Universidade Federal do Amazonas, 2018.
6. CAMPOS, P.S.; WAICHMAN, A. V. ; VEIGA, RS.S. 2005. *Fontes pontuais de poluição da bacia do igarapé do Quarenta, Manaus. In: X Congresso Brasileiro de Limnologia. SRL, Ilhéus, 2005.*
7. COSTA, S.S. ; SILVA, M. S. R. ; ALVES, A. K. ; PINTO, A. G. N. ; PASCOALOTO, D. (2016). *“Análise estatística dos níveis de poluição em bacias hidrográficas de Manaus”*, in *Amazônia das Águas: qualidade, ecologia e educação ambiental.* Org. por Ferreira, S.J.F.; Silva, M.L.; Pascoaloto, D.P., ed. VALER, Manaus AM, pp.161-173.
8. CUNHA, H. *Elaboração de índices de qualidade da água no município de Manaus (AM).* Relatório Final de Projeto/PIPT-FAPEAM/INPA, 2006.
9. CUNHA, H. B.; PASCOALOTO, D. (2006). *Hidroquímica dos rios da Amazônia.* Governo do Estado do Amazonas/Secretaria de Estado da Cultura/Centro Cultural dos Povos Amazônidas-CCPA, 2006.
10. DIAS, C. M. ; SANTANA, G. P. *Estudo de metais pesados em água de três igarapés da região do Distrito Industrial de Manaus. In: XIX Semana de Química. UFAM, Manaus, 2005.*
11. ESTEVES, F. A.. *Fundamentos de limnologia.* 2ª ed. Interciência, Rio de Janeiro, 1988.
12. FRANKEN, W.K. *Recursos Hídricos de Manaus: identificação e controle da poluição.* Relatório Final de Projeto/PNOPG-CNPq/INPA, Manaus, 2004.
13. FRARE, V.M.; LIMA, A.A.;ARÇARI, D.P.; ZANIN, C.I.C.B. *Contaminação do rio Jaguarí por efluentes industriais. Revista Eletrônica Unisepe*, p. 1-15, jun. 2018.
14. GARRIDO, A.L. *A cidade de Manaus e o projeto PROSAMIM. O Programa Social e Ambiental dos Igarapés de Manaus – PROSAMIM – e seus impactos socioambientais sobre a qualidade de vida da comunidade do Parque Residencial Manaus.* 2011. Disponível em: << http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/18120/18120_3.PDF>> Acesso em: 20 de maio de 2021.
15. GOLTERMAN, H.L., CLYMO, R.S., OHSNTAD, M.A.M. *Methods for chemical analysis of fresh waters.* Blackwell-Boston (IBP handbook, 8), 1978.
16. LEHNINGER, A.L. *Água. In: LEHNINGER, A.L. Bioquímica;* tradução da 2ª edição americana, supervisão: José Reinaldo Magalhães. Vol. 1. São Paulo, Edgard Blücher-São Paulo, 1976.
17. MELO, E.G.F.; SILVA, M.S.R.; 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, 2006.
18. OLIVEIRA, T.S.; PASCOALOTO, D.; NEVES, C.L.; LINS. V.K.C.; LINS, J.F.; TAKANO, E.; SOUZA, K.T.; DANTAS. I.S.; SOUZA, R.M; REIS, M.A.G. 2005. *Alunos do ensino médio como agentes disseminadores em programa de educação ambiental (recursos hídricos) na bacia do Tarumã. In: Iniciação Científica em Escolas Municipais e Estaduais do estado do Amazonas. SEMED/SEDUC, Manaus, 2005.*
19. PASCOALOTO, D. *Igarapé do Quarenta: um exemplo negativo de gestão na cidade de Manaus.* In: Semana do Meio Ambiente do CMT. Palestra apresentada no Rotary Club em 28 ago. 2015, Confort Hotel, Manaus - AM.
20. PASCOALOTO, D. *Igarapés da bacia do Tarumã: entre o social e o ambiental.* In: I Pixirum das Águas. Palestra apresentada em 22 março de 2017. AAPBio AM, Manaus.
21. PASCOALOTO, D.; OLIVEIRA, T.S. 2005. *Alunos do ensino médio como agentes disseminadores em programa de educação ambiental (recursos hídricos) na bacia do Tarumã. XIV Jornada de Iniciação Científica do PIBIC/CNPq/FAPEAM/INPA; II Encontro de Iniciação Científica PIBIC-JR.* INPA, Manaus, 2005.

22. PASCOALOTO, D.; SILVA, M. L. ; MIRANDA, S. A. F. *Tópicos em Recursos Hídricos: uma abordagem para professores dos ensinos fundamental e médio na Amazônia*. INPA-Manaus, 2012.
23. PASCOALOTO, D.; SOARES, C. C. (2016). “Comunidades de algas, configuração física e qualidade da água de igarapés das bacias urbanas no município de Manaus”, in *Amazônia das Águas: qualidade, ecologia e educação ambiental*. Org. por Ferreira, S.J.F.; Silva, M.L.; Pascoaloto, D.P. , ed. VALER, Manaus AM, pp. 52-70.
24. PASCOALOTO, D.; SOARES, C.C.; GOMES, N.A. (2018), “Qualidade da água e macroalgas em recursos hídricos na área urbana de Manaus/AM”. *XII Encontro Nacional de Águas Urbanas*, SBRHidro, Maceió-AL, pp.1-10, nov. 2018.
25. PASCOALOTO, D.; SOARES, C. C. ; SILVA, M. S. R. *Oficina “Águas da Amazônia”: levando aos estudantes dos ensinos fundamental e médio informações sobre os ecossistemas aquáticos da região amazônica. Anais do I Workshop Ocas do Conhecimento Ambiental*. SEMED, Manaus, p. 39-43, nov. 2014.
26. PROSAMIM – Programa Social e Ambiental dos Igarapés de Manaus. *PROSAMIM I*. 2012. Disponível em <<http://www.prosamim.am.gov.br/0-prosamim/prossamim-i/>>. Acesso em 21 mai. 2021.
27. QUEIROZ, A. S. ; SANTANA, G. P. 2000 . *Estudo de alguns metais pesados no Distrito Industrial de Manaus (AM)*. 23a. Reunião Anual de Sociedade brasileira de Química. SBQ, Poços de Caldas-MG, Maio 2000.
28. RICE, E.W.; BAIRD, R.B.; EATON, A.D., CLESCERI, L.S. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (org). 22a ed. APHA/AWWA/WEF-Maryland, 2012.
29. SANEAMENTO BÁSICO. *Manaus gera 72 mil toneladas de lixo por mês e realidade segue como ameaça a recursos naturais*. Portal do Saneamento Básico. 2017. Disponível em <<https://www.saneamentobasico.com.br/manaus-gera-72-mil-toneladas-de-lixo/#:~:text=a%20recursos%20naturais-,Manaus%20gera%2072%20mil%20toneladas%20de%20lixo%20por%20m%C3%AAs%20e,como%20amea%C3%A7a%20a%20recursos%20naturais&text=Manaus%20completa%20348%20anos%20e,ultrapassou%202%20mil%20C3%B5es%20de%20pessoas.>>, acessado em 31 agosto de 2020.
30. SANTANA, G. *Estudo de metais pesados na região do Distrito Industrial de Manaus (AM)*. 29a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, Águas de Lindóia-SP, Maio 2006.
31. SANTOS SILVA, E. N.; SILVA, C. P. D. A Expansão de Manaus como Exemplo do Processo de Extinção dos Igarapés, v. 2, p. 25–42, 1993.
32. SILVA, M. L. *Água Mineral: Região Metropolitana de Manaus*. VALER, Manaus, 2015.
33. SILVA, M. L.; CERDEIRA, J.F.S.; SILVA, M.S.R. *Potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Alter do Chão utilizadas para consumo humano na área da bacia hidrográfica do Quarenta, Manaus - AM*. I Simpósio da SBPC do Amazonas, 2006.
34. SILVA, M. L.; SILVA, MS.R. Perfil da qualidade das águas subterrâneas de Manaus. *Holos Environment* (Online), v. 7, p. 1-15, 2007.
35. SILVA, M.B. *Análise dos níveis de metais potencialmente tóxicos e análise microbiológica nas águas da bacia do Educandos (Manaus - AM)*. Dissertação de Mestrado-Faculdade de Biotecnologia-Universidade Federal do Amazonas, 2010.
36. SILVA, M.S.R. *Distribuição e partição geoquímica de metais pesados em igarapés da cidade de Manaus*. Dissertação de Mestrado-Faculdade de Química-Universidade Federal do Pará, 1996.
37. SILVA, M. S. R. ; RAMOS, J. F. ; PINTO, A. G. N. (1999). *Metais de Transição nos sedimentos de igarapés de Manaus-AM*. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 11, n. 2, p. 89-100, 1999.
38. VEIGA, R.S.S.; WAICHMAN, A. V. ; CAMPOS, P.S. *Caracterização e monitoramento da qualidade da água no Igarapé do Quarenta, Manaus, Amazonas*. VI Encontro Nacional de Águas Urbanas. Belo Horizonte, Maio 2005.
39. VALDERRAMA, J.C. “The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters”. *Mar. Chem.* V. 10, p. 109-122, 1980.