



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

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



Avaliação de corpos de água superficiais ainda preservados na cidade de Manaus: fatores antropogênicos na alteração da qualidade das águas

Sávio José Filgueira Ferreira¹; Anderson da Silva Lages¹; Adriana Freitas Rosa³; Maria Terezinha Ferreira Monteiro⁴; Márcio Luiz da Silva⁵; Alexandre de Souza Bastos⁶; Didier Gastmans⁷; Adriana Castro da Conceição⁸

¹Dr. em Ciências ambientais, lotado na coordenação de Dinâmica Ambiental do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Avenida André Araújo, s/n, Aleixo, CEP 69000-000, Manaus, Amazonas, saviojferreira@gmail.com. ²Dr. Pesquisador em Química Analítica do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, aslqmc@gmail.com (autor correspondente). ³Mestranda em Clima e Ambiente da Universidade Estadual do Amazonas, adriana_freitas@live.com. ⁴Dra. em Clima e Ambiente e pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, mtmont.10@gmail.com. ⁵Dr. Em Geociências, lotado na coordenação de dinâmica ambiental do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, marciols44@gmail.com. ⁶Doutorando em Clima e Ambiente pela Universidade Estadual do Amazonas, alexandre3k39@gmail.com. ⁷Dr. Em Geociências e Meio Ambiente, UNESP, didier.gastmans@unesp.br. ⁸Mestre em Clima e Ambiente, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, dricaoran@gmail.com.

Artigo recebido em 02/04/2023 e aceito em 25/08/2023.

RESUMO

Manaus é entrecortada por corpos de água chamados igarapés (*caminho de canoa*). Esses corpos de água se encontram sob pressão poluidora. Um exemplo é o igarapé Matrinxã, situado na área de influência do aterro sanitário. O objetivo deste estudo foi avaliar as águas superficiais próximas do aterro sanitário de Manaus e comparar as condições dessas águas com as águas naturais da região. Foram realizadas coletas quinzenais e analisadas variáveis ambientais nos períodos de 2011-2015 e 2021-2022. As coletas de água foram feitas com frascos de polietileno esterilizados e as amostras eram coletadas próximo ao meio dos igarapés, com o auxílio de varas de teflon. Em seguida, as amostras eram transportadas ao laboratório de Química ambiental do INPA, onde pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e íons foram analisados. Os resultados mostraram que os valores de acidez dos igarapés Açu, Barro Branco e Sauim Castanheira ainda conservaram as características das águas ácidas de Manaus (pH inferior a 5,0). Contudo, o igarapé do Matrinxã apresentou pH acima de 6,0, com águas altamente condutivas ($\sim 200 \mu\text{S cm}^{-1}$). Os valores de nitrato nas águas do Matrinxã são dez vezes acima do natural ($7,83 \text{ mg L}^{-1}$). A ACP mostrou que os nitrogenados amônio e nitrato são inibidores de silicatos. Diante do exposto, o igarapé Açu foi o melhor marcador de condições naturais, enquanto os igarapés Barro Branco e Sauim Castanheira, com condições intermediárias, com alguns sinais de influência antropogênica, enquanto o igarapé Matrinxã é o mais impactado pela pressão urbana da cidade de Manaus.

Palavras-chaves: igarapé do Matrinxã; igarapé do Barro Branco; Igarapé Açu

Evaluation of surface water bodies still preserved in the city of Manaus: anthropogenic factors in the alteration of water quality

ABSTRACT

Manaus is intersected by bodies of water called igarapés (canoe path). These bodies of water are under polluting pressure. One example is the Matrinxã creek, located in the area of influence of the sanitary landfill. The objective of this study was to evaluate the surface waters close to the Manaus sanitary landfill and compare the conditions of these waters with the natural waters of the region. Biweekly collections were carried out and environmental variables were analyzed in the periods 2011-2015 and 2021-2022. Water collections were made with sterilized polyethylene bottles and samples were collected near the middle of streams, with the aid of Teflon sticks. Then, the samples were transported to the laboratory of Environmental Chemistry at INPA, where pH, electrical conductivity, dissolved oxygen and ions were analyzed. The results showed that the acidity values of the Açu, Barro Branco and Sauim Castanheira streams still retained the characteristics of the acidic waters of Manaus (pH less than 5.0). However, the Matrinxã stream had a pH above 6.0, with waters highly conductive ($\sim 200 \mu\text{S cm}^{-1}$). Nitrate values in the Matrinxã waters are ten times higher than the natural value (7.83 mg L^{-1}). PCA showed that ammonium and nitrate nitrogenous are silicate inhibitors. Given the above, the Açu stream was the best marker of natural conditions, while the Barro Branco and Sauim Castanheira streams, with intermediate conditions, with some signs of anthropogenic influence, while the Matrinxã stream is the most impacted by the urban pressure of the city of Manaus.

Keywords: Matrinxã streams; Barro Branco Streams; Açu Streams.

Introdução

Estima-se que o Brasil possui 12% das águas doces disponíveis em toda a terra, e a maior parte dos recursos hídricos brasileiros localiza-se na região norte. Na Amazônia Central calcula-se que cada quilômetro quadrado contenha de 2 a 4 km de igarapés, o que torna essa rede hidrográfica a mais densa do mundo (Cleto filho, 2003; Hansen *et al.*, 2013; Fearnside, 2015). Igarapés são os nomes utilizados para conceituar pequenos corpos de água amazônicos (do tupi – *caminhos de canoa*), que no geral, são os principais afluentes dos rios de pequeno e médio portes da Amazônia (Lages *et al.*, 2022). Considerando que a população da região é a menor do país, 5,1 % (IBGE, 2021), percebe-se que grande parte dos recursos hídricos brasileiros ainda não está sujeita à pressão antrópica. No entanto, em área urbana os recursos hídricos vêm sendo atingidos e alterados pelo rápido aumento populacional, que requer cada vez mais áreas de floresta e seus sistemas de drenagem: Na década de 1960 a população da região norte era composta por 1.041.213 pessoas (urbana) e 1.888.792 (rural), mas no último censo, 2010, esses valores passaram para 11.664.509 (urbano) e 4.199.945 (rural) (IBGE, 2021).

Além do aumento populacional na região norte, observa-se uma grande inversão, tornando muito maior o aumento urbano. Este é um fenômeno mundial, principalmente na maioria das grandes cidades, que causa grande competição pelos mesmos recursos naturais (água, terra e ar) e onde todas as necessidades humanas de vida, produção e recreação são realizadas num pequeno espaço, podendo levar ao caos se os efeitos inter-relacionados da população com o espaço natural não sejam controlados (Ritter *et al.*, 2017). Os componentes de um ambiente urbano sustentável, que inclui a conservação do ambiental, saúde e aspectos sócios econômicos do desenvolvimento urbano, devem incluir nos serviços de águas: abastecimento de água, esgotamento e tratamento de esgoto, drenagem e resíduos sólidos.

A cidade mais populosa do norte do país é Manaus, onde está instalado o maior polo industrial da Amazônia brasileira. O processo de urbanização da cidade de Manaus causou uma forte pressão nos recursos hídricos, causando a deterioração da qualidade da água tanto subterrânea (Silva, 2001) quanto superficial (Ferreira *et al.*, 2012; Lages *et al.*, 2022). As águas dos igarapés ao serem atingidas pela expansão urbana são poluídas e contaminadas, devido à forma desordenada, principalmente por assentamentos ilegais, onde moradores ocupam as bacias dos igarapés, com a

consequente remoção rápida da vegetação. Além da remoção da vegetação (inclusive a vegetação ripária), estes assentamentos são desprovidos de infraestrutura de saneamento básico. Portanto, os igarapés, além ficarem desprotegidos pela remoção da mata ciliar, se tornaram também receptores dos resíduos sólidos e líquidos produzidos nas residências (Miranda *et al.*, 2021).

Vários destes igarapés eram locais de lazer onde a população podia se recrear, mas foram abandonados devido às alterações de suas águas. Atualmente a cidade de Manaus se recente pela falta destes ambientes nas proximidades, principalmente aqueles moradores mais antigos que testemunharam e usufruíram dos benefícios proporcionados quando ainda prevaleciam as condições naturais (Calvo e Oliveira, 2020)

O reconhecimento de que tais igarapés, caso venham a ser restaurados, poderão voltar a prestar, mesmo que parcialmente, os serviços ambientais que prestavam antes, pode ser usado como uma forma de estimular ações de proteção destes ambientes pela população. Para isto é necessário que esta população esteja devidamente informada das medidas necessárias para proteger estes ambientes e conscientes das mudanças dos paradigmas do processo de urbanização que vem se dando desde a consolidação da cidade (Arcos *et al.*, 2022). As medidas para realizar esta proteção têm como ponto inicial, o conhecimento científico, do entendimento do comportamento dos igarapés em condições naturais, bem como, a condição após serem impactados. Desse modo, o presente estudo teve por objetivo avaliar as condições ambientais do igarapé Matrinxã, localizado próximo ao aterro sanitário de Manaus e comparar as características físico-químicas dessas águas com a de outros igarapés da cidade, em áreas urbanas ou isoladas, afim de identificar fatores que representem naturalidade ou influência antropogênica nesses corpos de água.

Material e métodos

Localização e Caracterização da Área Experimental

Desde 2006 o Laboratório de Química Ambiental - LQA, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, vem estudando corpos de águas em área de floresta primária e circunvizinhança fortemente pressionadas pela expansão urbana da cidade de Manaus (Ferreira *et*

al 2012). A partir de 2019, com o projeto “Rede de Monitoramento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Educandos – IETÉ” e com o projeto “Influências Antrópicas em Compartimentos do Ciclo Hidrológico em Microbacias da Amazônia Central – Uma Análise a partir do Uso de Múltiplos Traçadores” outras áreas vem sendo estudadas. Resultados obtidos em um igarapé chamado Acará e o seu tributário, o Matrinxã, este fortemente impactado, foram comparados com igarapés estudados pelos projetos citados: em áreas de floresta primária: igarapés Barro Branco e Açu; em locais que já foram manejados em área urbana: no Instituto Federal do Amazonas Campus Manaus Zona Leste – IFAM CMZL e na reserva denominada Refúgio da Vida Silvestre Sauim Castanheiras – RVSSC.

Os resultados da rede de monitoramento foram confrontados e agrupados com dados organizados de pelo menos dez anos dos igarapés da Reserva Ducke e adjacências tomando por base parâmetros ambientais variados com o objetivo de identificar fatores de antropização nesses diferentes corpos de água que cruzam o município de Manaus. Esses corpos de água ainda representam, em sua maioria, ambientes sob proteção da grande pressão poluidora que a cidade de Manaus exerce sobre os corpos de água. Possíveis contribuições antropogênicas oriundas do aterro sanitário de Manaus também foram consideradas na avaliação dos resultados desse estudo.

Área de Estudo

As informações climáticas apontam duas estações anuais, sendo uma seca (junho a outubro) e uma chuvosa (novembro a abril) e segundo a classificação de Köppen (Correa *et al.*, 2023), o clima é equatorial caracterizado como quente e úmido, com uma temperatura média de 26 °C, alta umidade relativa (84%) e precipitação anual acima

de 2.000 mm. O domínio geológico das áreas é representado por sedimentos da Formação Terciária de Alter do Chão, formada por arenitos e pelitos avermelhados. O relevo é suavemente ondulado, apresentando nas sequências topográficas de platô, encosta e baixio, solos cujas classes são, respectivamente, o Latossolo, o Argissolo e o Espodossolo, todos ocorrem em condições de terras firmes, geologia típica da Formação Alter do Chão (Brito *et al.*, 2022).

Este estudo foi conduzido no município de Manaus, onde estão localizadas as bacias hidrográficas dos igarapés Acará e Matrinxã, do igarapé Açu e do igarapé da nascente do IFAM zona leste (Figura 1). O igarapé Acará e o Barro Branco têm suas nascentes na Reserva Florestal Adolpho Ducke, a qual pertence ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, situada no Km 26 da rodovia AM - 010. Após sair da Reserva o Acará percorre várias propriedades (sítios e balneários) e, antes da ponte da Avenida das Flores, recebe efluente do condomínio Viver Melhor. No antigo balneário “Dona Conceição” recebe o seu afluente Matrinxã. Na bacia do Matrinxã se localiza o Aterro Sanitário do Município de Manaus, no quilômetro 19 da rodovia AM-010 (Manaus-Itacoatiara). O Aterro Sanitário iniciou as suas atividades no ano de 1986 e até o momento tem se prestado à destinação final do lixo produzido na cidade de Manaus (Aniceto e Horbe, 2012). Os igarapés Acará e Matrinxã estão inseridos na bacia hidrográfica do Igarapé Tarumã-Açu, tributário do rio Negro. Para avaliar a influência do igarapé Matrinxã na qualidade da água do Acará foram coletadas amostras de água, quinzenalmente, considerando um período de sazonalidade.

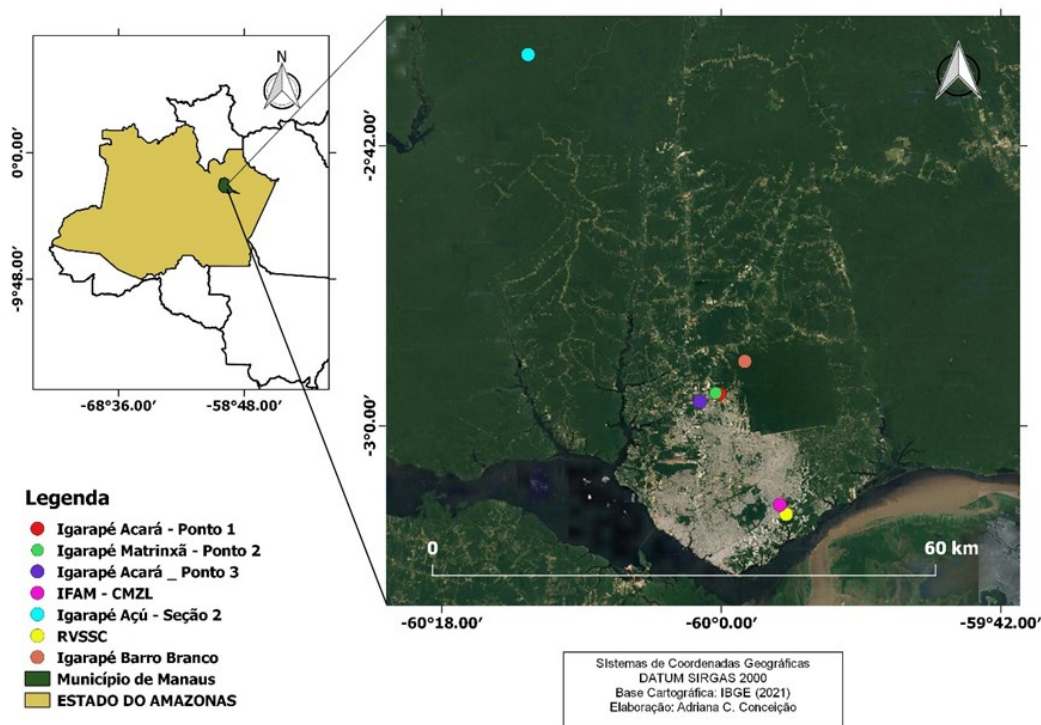


Figura 1. Mapa de localização dos pontos de monitoramento na bacia hidrográfica do Tarumã, em Manaus – AM.

No igarapé Matrinxã as amostras foram coletadas antes de sua confluência com o Acará (Ponto-1); e neste a montante (Ponto-2) e a jusante da confluência (Ponto-3), como mostra a Figura 1. Os locais de coletas situam-se na área de expansão urbana do município de Manaus.

As coletas de amostras iniciaram, de forma quinzenal, em dezembro de 2014 e prosseguiram até novembro de 2015. Em cada local foram coletadas amostras de água e armazenadas em frascos de polietileno com capacidade para 1000 mL. Em frascos de Winkler foram coletadas amostras para a determinação do Oxigênio dissolvido (em duplicata), as quais eram fixadas *in situ* com 1 mL de azida sódica, 1mL de sulfato manganoso, conforme o método Winkler modificado. Após as coletas as amostras foram transportadas para o Laboratório de Química Ambiental, da Coordenação de Dinâmica Ambiental/INPA. Assim que chegavam as amostras, determinava-se o pH, condutividade elétrica, alcalinidade, turbidez e filtravam-se as amostras (volume conhecido) com filtro de microfibras de vidro Whatman GF/F (0,7 µm de poro), previamente pesados, para a quantificação de material sólido em suspensão. O filtrado seguia para as determinações: sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloreto, ferro total, ferro dissolvido, N-amônia, N-nitrato, N-nitrito, fósforo e silicato.

O pH foi determinado com o pHmetro digital modelo SevenCompact, marca Mettler-Toledo, e calibrado com soluções tampões 6,86 e 4,01. A condutividade elétrica foi determinada com o condutivímetro digital, modelo SevenCompact, marca Mettler-Toledo. A turbidez foi medida usando turbidímetro marca Alforkit e os resultados expressos em unidade NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez). Os cátions sódio, potássio, cálcio e magnésio foram determinados por absorção atômica (EAA) marca Perkin Elmer Modelo 1100B. Os íons (cloretos, ferro total e dissolvido, nitrato, íon amônio, fosfato e silicato) foram determinados por espectrofotometria usando espectrofotômetro Shimadzu UV-1800, com auxílio do sistema FIA (Flow Injection Analysis). A matéria Orgânica, MO- foi determinada por volumetria de oxirredução, com KMnO_4 0,01 N enquanto o Material em Suspensão – MS, foi quantificado por método gravimétrico. Todos os métodos descritos foram utilizados por Lages *et al.*, (2021). Os dados obtidos neste estudo foram comparados com dados recentes de uma rede de monitoramento ambiental denominada IETÉ, entre os anos de 2019 e 2022, realizados em locais urbanos e preservados na mesma Formação geológica, em Manaus-AM.

A avaliação dos outros corpos de água ocorreu de maneira análoga com coletas entre o período de 2019 e 2022, através da rede de

monitoramento chamada IETÉ, onde as variáveis analisadas do igarapé do Matrinxã puderam ser comparadas. Os demais corpos de água a serem comparados nesse estudo foram o igarapé Barro Branco, no interior da Reserva Florestal Adolpho Ducke, igarapé do Refúgio da Vida Silvestre Sauim Castanheira (RVSSC), igarapé do IFAM Campus Manaus Zona Leste (IFAM CMZL) e o igarapé Açú, na Reserva Florestal Cuieiras (Figura 1). Os dados desses últimos igarapés citados foram apresentados como marcadores de conservação e podem servir, de futuro, como marcadores ambientais para políticas públicas de proteção e conservação ambiental.

Estatística Multivariada

A estatística multivariada versou em usar a Análise da Coordenada principal – ACP, com o objetivo de identificar padrões de naturalidade e referências para o grau de antropização dos corpos de água estudados, além de se identificar as variáveis mais importantes no conjunto de dados avaliados.

Para a formatação desses resultados, se utilizou o software livre R, versão 4,01 para a produção da Análise da Coordena Principal.

Resultados e discussão

O estudo do comportamento de variáveis físico-químicas e químicas dos corpos d'água superficiais em área de expansão urbana possibilita avaliar alterações, considerando as peculiaridades da região central da Amazônia. Os valores de pH registrados nos igarapés variaram de 4,33 no igarapé Açú a 6,78 no igarapé Matrinxã (Tabela 1). Na determinação do valor médio do pH, utilizou-se a transformação para se obter $[H^+] = 10^{-pH}$, calculou-se o valor médio de $[H^+]$ e, com este, o pH foi extraído usando a transformação inversa (Ferreira *et al.* 2012). No geral, os valores médios de pH ficaram próximos aos valores clássicos de Sioli (1958) para águas pretas amazônicas, na qual Manaus está inserida. A exceção foi o igarapé Matrinxã com valores de acidez até 100 vezes menores que os observados há quatro décadas (Bringel, 1986). Na Tabela 1 tem-se os valores médios dos parâmetros ambientais analisados neste período.

Tabela 1. Média dos parâmetros analisados no igarapé do Matrinxã e em outros corpos de água (Ig. Açú, IFAM CMZL, Sauim Castanheiras e Barro Branco), em Manaus/AM.

Variáveis	Ig Açú	IFAM CMZL	Sauim Castanheiras	Barro Branco	Matrinxã
pH	4,33	5,2	4,53	4,87	6,78
CE ($\mu S\ cm^{-1}$)	12,28	15,45	16,55	7,37	183,53
OD ($mg\ L^{-1}$)	4,37	2,57	1,66	2,13	2,56
DBO ($mg\ L^{-1}$)	1,02	0,78	0,29	0,4	...
Na ($mg\ L^{-1}$)	0,8	1,01	0,13	0,18	12,7
K ($mg\ L^{-1}$)	0,17	0,12	0,05	0,0008	11,09
NH ₄ ($mg\ L^{-1}$)	0,38	0,27	0	0	8,26
Mg ($mg\ L^{-1}$)	0,05	0,19	0,05	0,03	0,95
Ca ($mg\ L^{-1}$)	0,41	1,66	0,17	0,01	2,89
HCO ₃ ($mg\ L^{-1}$)	0,1	4,35	...	...	81,72
Cl ($mg\ L^{-1}$)	0,91	1,18	0,69	0,43	22,48
NO ₃ ($mg\ L^{-1}$)	0,06	0,01	0	0	7,83
PO ₄ ($mg\ L^{-1}$)	0	0,01	0	0	10,64
DQO ($mg\ L^{-1}$)	50,82	56,31		...	...
MO ($mg\ L^{-1}$)	46,92	37,53	...	..	45,68

Os resultados para pH e condutividade elétrica observados sugerem que as águas analisadas estão com características próximas às condições naturais (Lages *et al.*, 2021 e Arcos *et al.*, 2022). Contudo, os valores observados para as águas do igarapé Matrinxã denotam que esse corpo de água está sob severa pressão poluidora, possivelmente, em decorrência da proximidade com o aterro sanitário do município. No geral, as águas dos igarapés em área de terra firme na Amazônia central sem ou com baixa ação antrópica são pobres em nutrientes e de elevada acidez, com registros de pH abaixo de 4 (Pascoaloto, 2001; Ferreira *et al.* 2012). Os teores de substâncias alcalinas nessas águas são baixos, variam de $< 0,02$ a $5\ mgHCO_3\ L^{-1}$ (Horbe *et al.*, 2005; Pinto *et al.*, 2009). Essas características físico-químicas e químicas refletem as características dos solos de suas bacias de drenagem, que são intemperizados, pobres em nutrientes e ácidos (Calvo e Oliveira, 2020). Sobre esses solos está a floresta tropical densa de terra firme, composta pelas matas de platô, vertente, campinarana e baixio (Hopkins, 2005). O aporte de substâncias alcalinas causa modificações no pH, aumentando os seus valores. Nos locais estudados

os resultados de pH estiveram em média altos, corroborando alterações no Acará antes de receber o Matrinxã. Observou-se ainda que após receber as águas do Matrinxã as alterações tendem a aumentar, considerando o valor médio de pH (6,68). O Matrinxã e o Acará (Ponto 3), com o valor médio de pH 7,27 e 6,68, respectivamente, mostraram-se fortemente alterados, conforme o resultado da análise estatística.

No igarapé Matrinxã, Santana *et al.* (2007) registraram pH médio de 6,1 e Santos *et al.* (2006) forneceram valor um pouco acima de 6. Estes valores estão abaixo do valor médio registrado neste trabalho, indicando que vem aumentando o efeito de alteração da qualidade da água do Matrinxã. Esses valores estão bem acima dos observados por Calvo e Oliveira (2020) e Lages *et al.* (2021). Na Figura 2, a partir dos valores médios de condutividade elétrica e pH, pode-se notar que todos os locais amostrados nesse estudo se encontraram em condição de naturalidade. À exceção foi o igarapé do Matrinxã, localizado próximo ao aterro sanitário da cidade de Manaus.

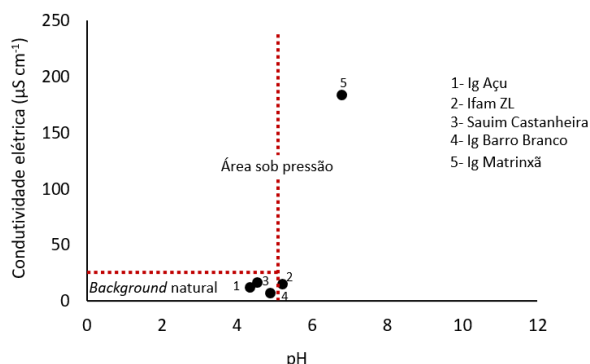


Figura 2. Valores médios da condutividade elétrica em função dos valores de pH nos locais estudados, em Manaus.

No igarapé Matrinxã (Ponto 2), o corpo de água tem sua concentração média elevada para 38,19 mgHCO₃/L e suas concentrações variaram de 14,03 a 55,01 mgHCO₃/L. No Matrinxã (Ponto 2) o valor médio da concentração de alcalinidade foi 190,38 mgHCO₃/L com variação de 96,38 a 333,06 mgHCO₃/L. Observou-se neste trabalho que o igarapé Acará, antes de receber as águas do Matrinxã, que forneceu valor médio muito elevado, 190,38 mgHCO₃/L, já recebe substâncias alcalinas de origem urbana, causando alterações significativas entre os locais de coletas, indicando que o Acará tem suas águas alteradas pela urbanização e com mais intensidade quando recebe as águas do igarapé Matrinxã.

Os demais locais monitorados nesse estudo apresentaram baixos valores de alcalinidade – HCO₃ o que condiz com a realidade dessas águas,

cujos valores de pH ficaram próximos de 4,3. Tais resultados só corroboram o quanto as águas do igarapé Matrinxã se encontram sob pressão antrópica, muito embora, os valores de 4,3 mg L⁻¹ de HCO₃ no Ifam ZL já sugerem pequena influência de atividades humanas.

A condutividade elétrica apresentou variação no Ponto 1 de 14,1 a 109,4 µS cm⁻¹, no Ponto 2 de 311 a 720 µS cm⁻¹ e no Ponto 3 de 67,90 a 139,80 µS cm⁻¹ (Tabela 1). A condutividade elétrica da água dos igarapés de Manaus, pela mesma Formação geológica do Acará, em condições naturais, fornece resultados abaixo de 20 µS cm⁻¹. O valor médio registrado no igarapé Acará nesse estudo foi de 454,9 µS cm⁻¹, valor elevadíssimo para a região. Silva (2001) registrou valores de condutividade elétrica, para o mesmo igarapé, variando de 104,3 a 143,8 µS cm⁻¹; e Santos *et al.* (2006) foram mais baixos, menores que 90 µS cm⁻¹. O Acará no Ponto 1 já se encontra alterado (32,21 µS cm⁻¹, valor médio) e, ao receber o Matrinxã, torna-se muito mais alterado (129,8 µS cm⁻¹, valor médio). Nos demais locais, o maior valor de condutividade elétrica foi no Sauim Castanheira que foi de 16,55 µS cm⁻¹, o que representa com fidelidade as águas naturais de Manaus, conforme a classificação de Sioli (1958), cujos valores de condutividade não são superiores a 20 µS cm⁻¹. Calvo e Oliveira (2020) confirmaram o incremento da condutividade em áreas urbana de Manaus nas últimas décadas.

Baixos valores registrados de material em suspensão na água poderiam indicar que os igarapés aqui estudados não estão alterados, contudo, foram registrados valores muito elevados, o que normalmente não se observa em ambientes naturais ou pouco impactados da região de Manaus. No igarapé Bolívia em área sem influência urbana, na mesma Reserva onde o Acará tem suas nascentes, Ferreira *et al.* (2012) observaram valor médio de MS de 2,30 ± 0,71. Neste estudo a média mais baixa foi 16,12 ± 16,58 (Ponto 1). A quantidade de material em suspensão na água (MS) mostrou grande amplitude de oscilação nos locais: No Ponto 1 variou de 0,5 a 68,75 mg L⁻¹, no Ponto 2 de 0,25 a 711,33 mg L⁻¹ e no Ponto 3 de 0,75 a 146,33 mg L⁻¹ (Tabela 1).

O oxigênio dissolvido na água (OD) é utilizado nos processos biológicos e em inúmeras reações químicas, a sua concentração é uma das variáveis mais importantes nos estudos limnológicos e de grande importância na dinâmica e na caracterização de ecossistemas aquáticos. O igarapé Matrinxã obteve resultados de concentração de OD com baixa variação: No Ponto 1 variou de 0,37 a 4,52 mg L⁻¹; no Ponto 2 de 0,19 a 4,60 mg L⁻¹ e no Ponto 3 de 1,13 a 4,74 mg L⁻¹.

Nos demais locais, o Barro Branco teve valor médio de $2,13 \text{ mg L}^{-1}$, o Sauim Castanheira de $1,66 \text{ mg L}^{-1}$, o Ifam ZL de $2,57 \text{ mg L}^{-1}$ e o igarapé Açu de $4,37 \text{ mg L}^{-1}$. Os valores tidos para o igarapé Açu são mais condizentes com a realidade de corpos de água como igarapés dessa natureza, conforme Arcos *et al.*, (2022). Os menores valores obtidos para o igarapé Barro Branco, IFAM CMZL e igarapé do Sauim Castanheiras podem ser explicados pelo baixo volume de água e também pela baixa vazão, o que impossibilita as trocas gasosas nesses meios.

Não se observou condições de anoxia nas águas dos igarapés, mas os valores foram muito baixos, em média abaixo de $3,32 \text{ mg/L}$. Cleto Filho (2003) registrou valores mais elevados em ambientes naturais. No igarapé Barro Branco, o valor médio de OD foi de $6,4 \pm 0,9 \text{ mg L}^{-1}$ (Cleto Filho, 2003). Neste estudo, antes de receber o Matrinxã, determinou-se a menor média de $1,83 \pm 1,16$. Possivelmente a quantidade de matéria orgânica lançada no Acará esteja consumindo o oxigênio com mais intensidade do que nos demais locais. Na Figura 3, a seguir, pode-se observar como o oxigênio dissolvido varia em função do pH (Figura 3-A) e em função da condutividade elétrica (Figura 3-B), onde fica evidente o grau de antropização desse corpo de água.

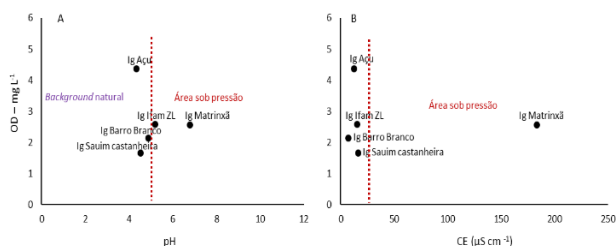


Figura 3. Variação dos teores médios de oxigênio dissolvido nas águas estudadas em função do pH (A) e em função da condutividade elétrica (B). Área sob pressão corresponde à influência antrópica.

Como se nota na Figura 3, é possível identificar como o igarapé Matrinxã, antes preservado, se encontra em uma área de forte pressão poluidora. Enquanto os igarapés de referência se apresentaram dentro da normalidade para valores de pH e condutividade elétrica, nota-se que o igarapé Matrinxã se encontra sob alteração dos valores naturais.

A dinâmica de íons nos pontos estudados também caracteriza o quanto esse ambiente está sujeito à pressão urbana. As concentrações médias dos cátions apresentaram a seguinte ordem nos locais, conforme a Tabela 2. Nessa tabela, é possível identificar o íon amônio como o mais

representativo para o igarapé Matrinxã – Ponto 2, entre os cátions, sendo que essa espécie química não deriva de Formação geológica, mas sim, da ação antropogênica e de bactérias oportunistas de ambientes com baixo teor de oxigênio (Jung *et al.*, 2023).

Tabela 2: Ordem de predominância dos cátions observados nos igarapés estudados em Manaus, Amazonas

Locais estudados	Ordem de predominância
Matrinxã – P1	Na>NH ₄ >K>Ca>Mg
Matrinxã – P2	NH ₄ >Na>K>Ca>Mg
Matrinxã – P3	Na>NH ₄ >K>Ca>Mg
Igarapé Açu	Na>Ca>NH ₄ >K>Mg
IFAM CMZL	Ca<Na>NH ₄ >Mg>K
Sauim Castanheiras	Ca>Na>K>Mg>NH ₄
Barro Branco	Na>Mg>Ca>K>NH ₄

No local de coleta do igarapé Acará, Ponto 1, as concentrações dos cátions (Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺) foram menores do que os outros locais. O Na⁺ foi o de maior concentração ($3,05 \text{ mg L}^{-1}$, valor médio). Este valor chega a ser três vezes mais elevado do que os determinados por Horbe *et al.* (2005) no igarapé Água Branca (igarapé próximo à Reserva Ducke (área rural) e Ferreira *et al.* (2012) no igarapé Bolívia (Reserva Ducke - área de floresta). Em verdade, os dados da Tabela 2 demonstraram que os igarapés Sauim Castanheira e Barro Branco representaram melhor a litologia da área de estudo, em função dos baixos teores de amônio. Dessa forma, esse íon é um ótimo indicador de influência antropogênica.

Por fim, os resultados sugerem que o ponto 1 conserva algumas características de ambiente natural para águas pretas amazônicas. Essas características são perdidas no ponto 2, onde as águas apresentaram uma elevada carga de eletrólitos o que caracteriza esse ponto como de alta pressão poluidora. Contudo, embora já com indícios de contaminação, o ponto 3 apresentou características de diluição desses contaminantes, sem, contudo, restabelecer as condições naturais do igarapé Matrinxã (Figura 4). De fato, em comparação com os outros corpos de água, há uma evidente alteração química nas águas do igarapé Matrinxã.

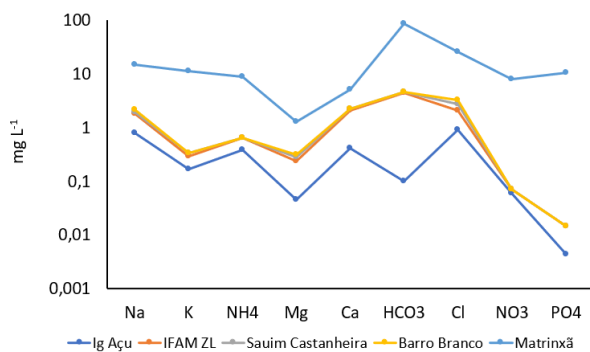


Figura 4. Disposição das espécies químicas analisadas nos corpos de água da Bacia do Tarumã, em Manaus-AM.

A Figura 4 também indica que dos cinco corpos de águas avaliados nesse trabalho, três apresentaram comportamentos análogos, como se representassem o mesmo ambiente do ponto de vista iônico: IFAM CMZL, Sauim Castanheiras e Barro Branco. Contudo, se notam dois pontos totalmente antagônicos: o igarapé Açú e o igarapé do Matrinxã. Desse resultado, pode-se deduzir que o igarapé Açú é o corpo de água mais fiel às condições naturais das águas de Manaus, enquanto o igarapé Matrinxã é o que reúne as características de maior pressão poluidora. De fato, os três corpos de água que estão em condição intermediária sugerem que esses ambientes já apresentam uma pequena influência de ordem antropogênica.

Estatística Multivariada

A técnica estatística utilizada nesse trabalho foi a Análise da Componente Principal – ACP, com o objetivo de identificar a variável mais sensível nesse conjunto de dados dos igarapés Açú, do IFAM CMZL, do Barro Branco, do Sauim Castanheiras e do Matrinxã. Os resultados apontaram para quatro dimensões ou *PCs loads* que podem ser observadas na Tabela 3. A ACP também permitiu avaliar alguns padrões nos comportamentos das variáveis analisadas nesse estudo.

Tabela 3. Resultados sobre as dimensões apontadas pela Análise da Componente Principal

Eigenvalues	PC1	PC2	PC3	PC4
Variance	11,661	1,029	0,283	0,027
% of var.	89,699	7,914	2,179	0,209
Cumulative % of var	89,699	97,612	99,791	100,00

Os resultados apresentados pela ACP indicaram 4 componentes, de onde se pode sugerir que um componente deve estar associado ao igarapé Açú, um segundo ao igarapé do Matrinxã e os demais

aos igarapés do Barro Branco, Sauim Castanheiras e IFAM CMZL. Essa distinção apontada pelo número de componentes pode ser em decorrência das fontes distintas de lançamento de material nesses corpos de água. De toda forma, as duas primeiras componentes, PC1 e PC2, trouxeram 97,612% das informações do conjunto de dados, o que confere bastante precisão à interpretação desses resultados.

O dendrograma construído para essa ACP demonstrou que todas as variáveis analisadas se sobrepuseram, como se houvesse comportamento análogo entre elas nesses ambientes (Figura 5). A única variável que se destaca nessa ACP é o oxigênio dissolvido, possivelmente em função de uma outra fonte/ambiente, distinta das representadas pelos demais parâmetros analisados.

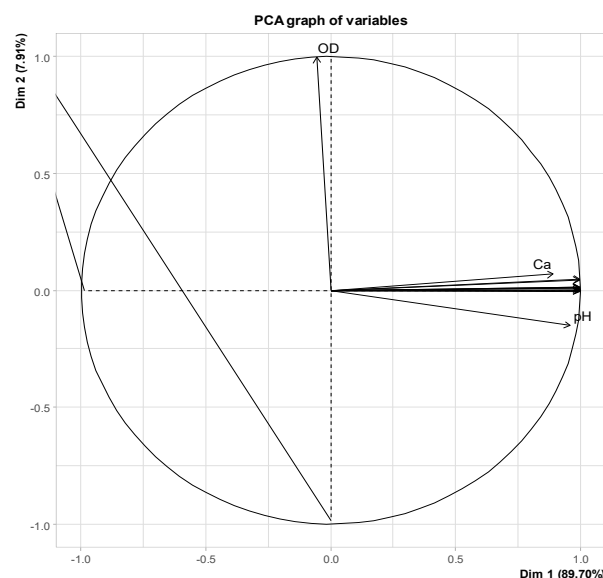


Figura 5. Análise da Coordenada Principal para os igarapés estudados em Manaus, AM.

A Figura 5 sugere que o pH é maior em baixas taxas de oxigênio dissolvido, o que se confirmou nos resultados analíticos. Em verdade, isso foi uma tendência no monitoramento dessas variáveis. Quanto maiores os valores das variáveis analisadas, como os íons, menores as taxas de oxigênio dissolvido. Na Tabela 4, é possível identificar os valores das PCs para esse estudo, onde se comprova que o íon bicarbonato é o mais representativo nesse conjunto de dados. Lages *et al* (2021) já haviam observado essa tendência em corpos de água da região de Manaus.

Tabela 4: Resultado analítico da Análise da Coordenada Principal para os igarapés estudados

	PC1		PC2
HCO ₃	0,9991	OD	0,998
Na	0,9981	Ca	0,069
Cl	0,9975	Na	0,047
Mg	0,9972	NH ₄	0,044
CE	0,9965	K	0,014
NH ₄	0,9964	Cl	0,014
K	0,9961	DBO	0,011
DBO	0,996	NO ₃	0,01
PO ₄	0,9959	PO ₄	0,003
NO ₃	0,9957	HCO ₃	-0,00007

O que vale destacar é que todas as variáveis representativas da PC1 trouxeram carregamento superior a 0,9, o que demonstra o quão impactante são essas variáveis nos corpos de água. Entretanto, a PC2 só trouxe o oxigênio dissolvido como variável representativa. Esse resultado não está associado aos demais pontos de coleta, porque é característico do igarapé Açu, conforme Figura 6.

Conclusões

A acidez das águas estudadas está de 10 a 100 vezes menor. Somente o igarapé Açu ainda conserva essa característica. Os valores de condutividade elétrica estão próximos do natural, contudo, o Matrinxã apresentou valores 10 vezes acima do *background* de Manaus;

Entre os eletrólitos, o P2 do igarapé Matrinxã é o mais impactado, embora se observe uma pequena diluição dos eletrólitos no P3;

Os maiores valores de oxigênio dissolvido foram observados no igarapé Açu e valores menores nos demais locais amostrados. No Barro Branco, Sauim Castanheira e IFAM CMZL, pode ser em função do baixo volume e da baixa vazão de água. Entretanto, no igarapé Matrinxã, isso se dá em função da carga de esgotos;

A predominância de íons entre os locais o que é normal para as águas ao entorno de Manaus. A exceção foi o P2 do igarapé Matrinxã que trouxe o íon amônio como o mais predominante – resultado do intenso aporte de matéria orgânica nesse ponto;

A carga iônica mostrou comportamento análogo para os igarapés Sauim Castanheiras, Barro Branco e IFAM CMZL. Igarapé Açu representou bem os valores de *background* da

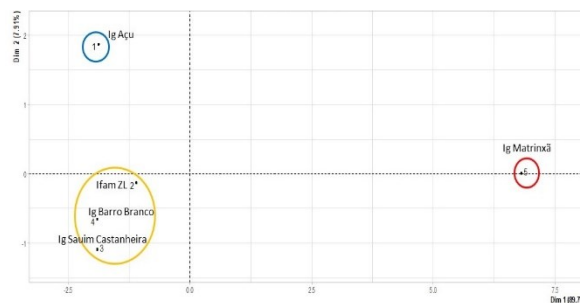


Figura 6. Distribuição dos locais amostrados em função da Análise da Componente Principal.

A análise estatística multivariada demonstrou o que os resultados de íons já haviam assinalado. Entre os cinco pontos monitorados, o igarapé Açu é o que representa o ambiente natural; os igarapés IFAM CMZL, Barro Branco e Sauim Castanheiras, representaram locais de transição, ou seja, são ambiente já sujeitos à alteração e; o igarapé Matrinxã é o corpo de água mais alterado pela pressão poluidora nas suas margens, possivelmente, em decorrência de influência das proximidades com o aterro sanitário de Manaus.

região e o igarapé Matrinxã sinalizou um ambiente já impactado;

A Análise da Coordenada Principal revelou que o bicarbonato foi a variável mais sensível, e, isso se deve à severa alteração nos valores de pH dessas águas. Na segunda PC, o oxigênio foi a variável mais representativa e isso ocorreu em função de um local amostral diferente – igarapé Açu, onde os valores de oxigênio dissolvido são mais elevados;

Por fim, a PCA destacou a mesma tendência iônica: igarapés do Barro Branco, Sauim Castanheiras e IFAM CMZL representam hoje locais intermediários de conservação ambiental, e, portanto, já sujeitos à pressão urbana; o igarapé Açu se revelou um ótimo marcador de *background* para a região e o igarapé Matrinxã um corpo de água já severamente impactado.

Políticas de proteção ambiental e um monitoramento maior nesses corpos de água se faz necessário, haja vista, a perceptível pressão poluidora que a cidade de Manaus exerce sobre seus recursos hídricos.

Agradecimentos

O presente artigo é decorrente do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&DI) "IETÉ", que conta com financiamento da Samsung, usando recursos da Lei de Informática para a Amazônia Ocidental (Lei Federal nº 8.387/1991), estando sua divulgação de acordo com o previsto no artigo 39.º do Decreto nº 10.521/2020". Sendo este financiamento uma parceria INPA/SAMSUNG."

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM pela oportunidade na qualificação científica, apoio logístico, material técnico e de consumo para o desenvolvimento das pesquisas. A Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMMAS), por permitir a entrada no Refúgio da Vida Silvestre Sauim Castanheiras para coleta de amostras de água.

Ao apoio recebido no âmbito do projeto "Influências Antrópicas em Compartimentos do Ciclo Hidrológico em Microbacias da Amazônia Central – Uma Análise a partir do Uso de Múltiplos Traçadores", Programa FAPESP-FAPEAM, Edital: CHAMADA PÚBLICA N. 001/2020. Por fim, os autores agradecem à FAPESP pela concessão do auxílio 2020/08971-9.

Ao Programa de Grande Escala Biosfera-Atmosfera (LBA), coordenado pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), pela utilização e disponibilização de dados, apoio logístico e infraestrutura durante as atividades de campo.

Referências

Aniceto, K. C. P.; Horbe, M. A. C. 2012. Solos Urbanos Formados pelo Acúmulo de Resíduos em Manaus, Amazonas, Brasil. Química, Alimentos, Microbiologia. *Acta Amazônica* 42 (1).

Arcos, A. N., & da Cunha, H. B. (2022). Índice de qualidade de água (IQA) e balneabilidade em praias de água doce no rio Negro, Manaus (Amazonas). *Revista Espinhaço*

Bringel, S.R.B. 1986. *Estudo do nível de poluição dos igarapés do Quarenta e do Parque Dez de Novembro*. Manaus: CODEAMA/UTAM 61P. Relatório Técnico.

Brito, A. P. D., Silva, N. C. D., Tomasella, J., Ferreira, S. J. F., & Monteiro, M. T. F. (2022). Análise do índice de Anomalia de Chuva e Tendência de Precipitação para Estações Pluviométricas na Amazônia Central. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 37, 19-30.

Calvo, B. D. R., & Oliveira, T. C. S. D. (2020). Hydrochemical analysis of a basin under

anthropogenic influence and effects in Manaus' shoreline, Central Amazonia.

Cleto Filho, S.E.N. 2003. Urbanização, poluição e biodiversidade na Amazônia. *Ciência Hoje*, 33(193): 72-75.

Corrêa, W., Carvalho, M. W. L., & Mendes, T. J. (2023). Atualização da classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado do Maranhão. *Revista Brasileira de Climatologia*, 32, 517-543.

Fearnside, P. (2015). Rios voadores e a água de São Paulo 1: a questão levantada. *Amazônia Real*, 9.

Ferreira, S.J.F; Miranda, S.A.F; Marques Filho, A.O. 2012. Efeito da pressão antrópica sobre igarapés na Reserva Florestal Adolpho Ducke, área de floresta na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 42(4): 533 - 540.

Hansen, J., Kharecha, P., Sato, M., Masson-Delmotte, V., Ackerman, F., Beerling, D. J., & Zachos, J. C. (2013). Assessing "dangerous climate change": Required reduction of carbon emissions to protect young people, future generations and nature. *PloS one*, 8(12), e 81648.

Horbe, M.A.C.; Gomes, I.L.F.; Miranda, S.A.F. e Silva, M.S.R. 2005. Contribuição à Caracterização da Qualidade das Águas Superficiais da Bacia do Rio Tarumã-Am. *Acta Amazonica*, 35(2): 119-124.

Hopkins, M. J. G. 2005. Flora da Reserva Ducke, Amazonas, Brasil. *Rodriguésia*, 56(86): 9–25.

IBGE, da população do Brasil, I. P. (2021). das Unidades da Federação. *Projeções e*.

Jung, H., Kim, Y. S., Yoo, J., Han, S. J., & Lee, J. (2023). Identification of nitrate sources in tap water sources across South Korea using multiple stable isotopes: Implications for land use and water management. *Science of The Total Environment*, 864, 161026.

Lages, A. S., Miranda, S. Á. F., Ferreira, S. J. F., de Albuquerque, S. D., & de Albuquerque, A. C. (2022). Dynamics of heavy metals in the waters of Igarapé do Quarenta: The water body that crosses the industrial hub in the Brazilian Amazon. *Open Science Journal*, 7(2).

Lages, A, S, Miranda, S. Á. F., de Albuquerque, S. D., de Abreu, A. C., Bringel, S. R. B., Ferreira, S. J. F., & da Silva, M. L. (2021). Quimiometria aplicada à avaliação química do igarapé que cruza o polo industrial de Manaus/AM. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12(10), 328-338.

Miranda, I. P. D. A., Barbosa, E. M., Conceição, A. C., Lima, E. B., Monteiro, M. T. F., & Silva, M. L. D. (2020). Mapeamento da cobertura vegetal e geoprocessamento como categoria de análise

- de nascentes na bacia hidrográfica do Educandos-Manaus (AM). *Volume. 1, p. 6-30*.
- Pascoaloto, D. 2001. Características físicas e químicas de sete igarapés de terra-firme no Estado do Amazonas e sua relação com *Batrachospermum* spp. (Batrachospermaceae, Rhodophyta). *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi*, 17 (1): 3-19.
- Pinto, A.G.N.; Horbe, A.M.C.; Silva, M.S.R.; Miranda, S.A.F.; Pascoaloto, D.; Santos, H.M.C. 2009. Efeitos da ação antrópica sobre a hidrogeoquímica do rio Negro na orla de Manaus/AM. *Acta Amazonica*, 39(3): 627–638.
- Ritter, C.D., Mccrate, G., Nilsson, R.H., Fearnside, P.M., Palme, U., Antonelli, A. 2017. Environmental impact assessment in Brazilian Amazonia: challenges and prospects to assess biodiversity. *Biol. Conserv.*, v. 206, p. 161 e 168.
- Santana, G. P., & Barroncas, P. D. S. R. (2007). Estudo de metais pesados (Co, Cu, Fe, Cr, Ni, Mn, Pb e Zn) na Bacia do Tarumã-Açu Manaus (AM). *Acta Amazonica*, 37, 111-118.
- Santos, I.N.; Horbe, A.M.C.; Silva, M.S.R.; Miranda, S.A. F. 2006. Influência de um aterro sanitário e de efluentes domésticos nas águas superficiais do rio Tarumã e afluentes-AM. *Acta Amazonica*, 36(2): 229-236.
- Silva, M.L. 2001. Características das águas subterrâneas numa faixa norte-sul na cidade de Manaus (AM). *Rev. Esc. De Minas*, 54: 115-20.
- Sioli, H. 1958. *Valores de pH de águas da Amazonia*. Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi, 1: 1-18, Belem/PA.