

Efeito da pressão antrópica sobre igarapés na Reserva Florestal Adolpho Ducke, área de floresta na Amazônia Central

Sávio José Filgueiras FERREIRA¹, Sebastião Átila Fonseca MIRANDA¹, Ari de Oliveira MARQUES FILHO¹, Cláudia Cândida SILVA²

RESUMO

Foram investigadas variáveis físico-químicas e químicas de ambientes aquáticos, em área de floresta primária de terra firme, próxima à área urbana, no município de Manaus. Os cursos de águas superficiais investigados drenam tanto área de floresta primária como urbanizada e, na região, são chamados igarapés. Dois desses igarapés têm suas nascentes na área urbana, adentram a área de floresta e lá se juntam. Ainda dentro da mesma área o igarapé resultante encontra-se com um outro que drena apenas área de floresta primária. Neste estudo foram pesquisadas as variáveis ambientais: pH, condutividade elétrica da água, os cátions (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Fe^{2+}) e material em suspensão. Foi possível observar diferenças significativas nas médias da concentração de íons hidrogênio, na condutividade elétrica e na quantidade de material em suspensão, entre os igarapés estudados. No igarapé cuja nascente encontra-se dentro da reserva, os valores médios correspondentes ao pH, condutividade elétrica e material em suspensão foram, respectivamente, 4,47; 6,44 $\mu\text{S cm}^{-1}$ e 1,25 mg L^{-1} ; e os valores mais elevados registrados nos impactados foram 6,84, 141,50 $\mu\text{S cm}^{-1}$ e 9,50 mg L^{-1} . Os resultados mostram que o igarapé que drena área de floresta mantém suas características naturais por estar protegido das atividades antrópicas, e os que provêm da área urbana encontram-se impactados.

PALAVRAS-CHAVE: Recursos hídricos, floresta de terra firme, urbanização, hidroquímica.

Effect of the human pressure on the streams of the Adolpho Ducke Forest Reserve, a forest area in Central Amazon

ABSTRACT

Physicochemical and chemical variables from water environments were investigated in an area of upland primary forest, near an urban area, in the municipality of Manaus. The investigated surface water streams drain both primary forest and urbanized areas, and are called *igarapés* in the region. The headwaters of two of these streams are in the urban area, and they run to the forest area and join to make up another stream, and later are joined with another stream which headwaters are located inside the primary forest. This study encompassed the following environmental variables: pH, water electrical conductivity, Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} and Fe^{2+} cations and suspended material. It was possible to see significant differences in the concentration of hydrogen ions, electrical conductivity and in the suspended material content, among the studied streams. In the stream in which the headwaters are within the reserve, the mean values corresponding to pH, electrical conductivity and suspended material were 4.47; 6.44 $\mu\text{S cm}^{-1}$ and 1.25 mg L^{-1} , respectively; and the highest values found in the impacted ones were 6.84, 141.50 $\mu\text{S cm}^{-1}$ and 9.50 mg L^{-1} . The results show that the stream which drains the forest area maintains its natural characteristics as it is protected from human activities, and the ones which come from the urban area are impacted.

KEYWORDS: Water resources, upland forest, urbanization, hydrochemistry.

¹ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - Coordenação de Dinâmica Ambiental, (INPA-CDAM), Av. André Araújo, 2936, 69060-001, Manaus, AM, Brasil. E-mail: savio@inpa.gov.br.

² Universidade do Estado do Amazonas - Escola Superior de Tecnologia, (UEA – EST). Av. Darcy Vargas 1200, Manaus, AM.

INTRODUÇÃO

Nos ambientes naturais as características das águas tendem a ser bem estabelecidas, sofrendo apenas variações sazonais, que se repetem regularmente ao longo do tempo, alterando muito lentamente esta condição à medida que o sistema evolui. A Amazônia, como exemplo de sistema deste tipo, que, em macro-escala, pode ser considerada um ambiente natural e, embora bastante heterogêneo, mantém nítidas regularidades nos ambientes e nos processos. Quando começa a haver influência do homem, as alterações já não são assim tão regulares, ainda que o sistema consiga absorver certo grau de perturbação mantendo suas propriedades. Ocorre que os seres humanos raramente causam perturbações limitadas que permitam que o ambiente se recupere. Um exemplo de pressão excessiva sobre o meio ambiente é a ocupação desordenada das bacias hidrográficas, principalmente quando um grande contingente se estabelece sem o menor planejamento e sem o devido acompanhamento de infraestrutura e saneamento básico.

A expansão urbana de Manaus tem ocorrido de forma horizontal, a partir da região central metropolitana, nas direções norte, leste e oeste, e é contida apenas por barreiras naturais, no caso, os rios Negro, Amazonas e Tarumã, ou por áreas públicas de grande relevância destacadas para fins específicos, como a Reserva Florestal Adolpho Ducke e as terras do Exército brasileiro. Esta tem sido a forma de expansão urbana do município. Em espaço de tempo relativamente curto, a cidade viu seu imenso número de igarapés tornarem-se visivelmente degradados. Na sua área urbana estão localizadas quatro grandes bacias hidrográficas, sendo duas delas inteiramente urbanizadas (São Raimundo e Educandos), e as outras duas apenas parcialmente (Puraquequara e Tarumã), constituindo uma rede hidrográfica com uma malha de drenagem complexa.

Mesmo cursos d'água localizados próximos da área urbana e com vegetação primária, como o rio Puraquequara e um de seus afluentes, o igarapé Água Branca, apresentam influência antrópica (Horbe *et al.* 2005). O armazenamento de lixo, principalmente na bacia hidrográfica do rio Tarumã Açu, vem causando poluição do solo e dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais (Santana e Barroncas 2007; Rocha e Horbe 2006; Santos *et al.* 2006). Assim, a maioria dos igarapés (80%) na área urbana de Manaus está impactada, com suas características abióticas modificadas pelo desmatamento e poluição da água (Couceiro *et al.* 2007).

Nos estudos que se tem realizado nos igarapés da cidade de Manaus, a preocupação maior tem sido detectar contaminações decorrentes das atividades domésticas, uma vez que a falta de estrutura de saneamento faz com que estes ambientes funcionem como receptores dos rejeitos gerados nas residências. Apenas no igarapé do Quarenta tem havido um

pouco mais de atenção para as contaminações não oriundas de atividades domésticas, o que se justifica pela presença do distrito industrial na parte superior desta bacia. Há vários trabalhos envolvendo metais pesados nesta bacia (Santana e Barroncas 2007; Rocha e Horbe 2006; Santos *et al.* 2006; Silva 1996; Do Valle 1998; Geissler 1999).

Como não se percebe a presença de qualquer tipo de indústria nas bacias destes igarapés que adentrem a Reserva Florestal Adolpho Ducke, as preocupações serão voltadas neste trabalho apenas a impactos causados por rejeitos domésticos. Portanto, o objetivo deste estudo é investigar as variáveis pH, condutividade elétrica, material em suspensão e os cátions Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Fe^{2+} , em três igarapés na Reserva Ducke, nas seguintes condições: um que mantém suas condições naturais e os outros dois que vêm sendo fortemente influenciado pela ocupação urbana

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição do local do experimento.

A Reserva Florestal Adolpho Ducke vem sendo pressionada pelo avanço da urbanização, que já chegou a ocupar alguns setores de suas bordas. Providências têm sido tomadas para evitar este avanço, dentre estas, talvez a mais eficiente até o momento, tenha sido a criação do Jardim Botânico em conjunto com a prefeitura de Manaus, utilizando para isto uma área dentro do seu território. A eficiência reside não apenas na barreira física, mas principalmente nas atividades desenvolvidas naquele local, tornando as crianças mais propícias a conviver bem com a natureza.

Embora a faixa de fronteira nestes locais esteja visivelmente afetada, as ameaças aos recursos hídricos interiores à reserva ocorrem apenas em um setor específico. Isto se deve à sua topografia que faz com que a grande maioria dos fluxos de água se dê a partir do seu interior, tanto para a bacia do Tarumã como para a bacia do Puraquequara, pois uma parte do divisor de águas destas bacias atravessa, no sentido Norte - Sul, a parte central da reserva. No entanto, existem alguns igarapés que nascem fora da reserva e escoam para o seu interior. E o mais grave é que a porção superior das bacias destes igarapés está em processo de ocupação desordenada, e os resíduos aí gerados, são arrastados para dentro da reserva. Estes igarapés pertencem à bacia do Bolívia (tributário do Tarumã), e o experimento envolveu amostragens das águas do próprio Bolívia, e também da bacia de um de seus tributários (o Sabiá). Esta parte do igarapé do Bolívia onde foram coletadas as amostras encontra-se inteiramente dentro da Reserva Florestal Adolpho Ducke, já a sub-bacia do Sabiá tem sua parte superior fora dos limites da reserva, no setor sudoeste (no Conjunto Habitacional Nova Cidade), e contribui com a drenagem para dentro da mesma através do próprio igarapé Sabiá e um de seus tributários, que deságua neste já dentro da reserva. A Reserva Florestal Adolpho Ducke tem uma área de 100 km² (10 x 10 km), e está situada

na periferia de Manaus, coordenadas 02° 53' de latitude S e 59° 58' de longitude W.

As informações climáticas de uma série de dados climatológicos (1965/1994) apontam duas estações anuais, sendo uma seca (junho a novembro) com normal mínima total mensal de 93 mm, em julho, e uma chuvosa (dezembro a maio) com normal máxima total mensal de 299 mm, em fevereiro. As temperaturas com média diária anual de 26,7 °C. A umidade relativa apresenta índices médios mensais acima dos 80%, sendo setembro a menor média (84%) e maio a maior (91%) (Marques Filho e Dallarosa 2000).

Na área deste estudo o solo que predomina é o Latossolo Amarelo distrófico, textura muito argilosa, principalmente em área de platô (Chauvel *et al.* 1987). 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 (Toledo 2009).

A vegetação principal na Reserva é mata de terra firme e são encontrados quatro tipos de ambientes, de acordo com a classificação geral de mata de terra firme e estes são definidos pelo tipo de relevo e composição do solo, que são: 1) As florestas de platô estão situadas nas áreas mais altas e planas da Reserva; 2) As florestas de baixio localizam-se nas áreas mais baixas e ao longo dos igarapés; 3) As florestas de vertente ocorrem nas inclinações dos platôs. Tanto a comunidade vegetal quanto a altura do dossel são similares aos das florestas de platô; 4) As florestas de campinarana ocorrem nas planícies próximas dos igarapés, com grande quantidade de serapilheira (Hopkins 2005).

Amostragem.

As amostras de águas coletadas foram armazenadas em frascos de polietileno de capacidade 1 L, em duplicata. Geralmente as coletas eram semanais, iniciando em agosto de 2006 e prosseguiram até novembro de 2008. No igarapé Bolívia o local de coleta é protegido da ação antrópica. Na bacia do Sabiá, foram escolhidas três estações amostrais, duas das quais no próprio igarapé Sabiá, e outra em um de seus tributários (Aliança com Deus). Uma das estações do igarapé Sabiá situava-se no ponto onde este cruza a borda da reserva, a outra estação ficava pouco antes de desaguar no igarapé Bolívia. Já no seu tributário, as coletas foram feitas apenas no ponto onde este cruza a borda da reserva. As estações de coleta são (Figura 1):

Ig. Bolívia (em área preservada) – (1)

Ig. Sabiá (dentro da reserva e antes de encontrar-se com o igarapé Bolívia) – Sabiá – (2)

Ig. Sabiá (na borda da reserva – Base de apoio Sabiá I) – Sabiá II – (3)

Aliança com Deus (na borda da reserva com o Bairro Aliança com Deus) – (4)

Determinações de pH, condutividade elétrica da água, material em suspensão e dos cátions (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Fe^{2+}). O pH foi determinado utilizando-se um potenciômetro digital Oakton, modelo pH 2500 series, com eletrodos calibrados com soluções tampões em pH 4,01 e 6,86 (APHA 1995). A condutividade elétrica foi medida com um condutivímetro digital, JENWAY, modelo 1040, calibrado pelo fabricante e aferido periodicamente a partir da solução padrão de KCL ($1412 \mu\text{S cm}^{-1}$ a 25 °C). Para a determinação do material em suspensão, foram filtrados volumes conhecidos de amostras de água com replicatas, utilizando filtros de fibra de vidro (Whatman GF/F) com porosidade de 0,7 μm . Na análise dos cátions foram utilizadas as amostras que foram filtradas e as suas concentrações foram determinados por Espectrofotometria de Absorção Atômica – EAA, de acordo com APHA (1995).

Análise estatística dos dados. Os resultados de concentração de íons hidrogênio $[\text{H}^+]$, condutividade elétrica da água e de material em suspensão foram analisados estatisticamente com o objetivo de comparar as médias entre as medidas. A análise de variância foi feita com o auxílio do software Minitab, utilizando o modelo linear geral (general linear model, GLM). Em seguida, as médias foram comparadas entre si, usando-se o teste de Tukey a 5%. Todos os valores de concentrações de íons hidrogênio foram multiplicados por 10^8 e depois se procedeu à análise. Estes valores eram obtidos dos resultados de pH através da transformação $[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}$, e após as análises terem sido feitas, o valor do pH era extraído usando a transformação inversa.

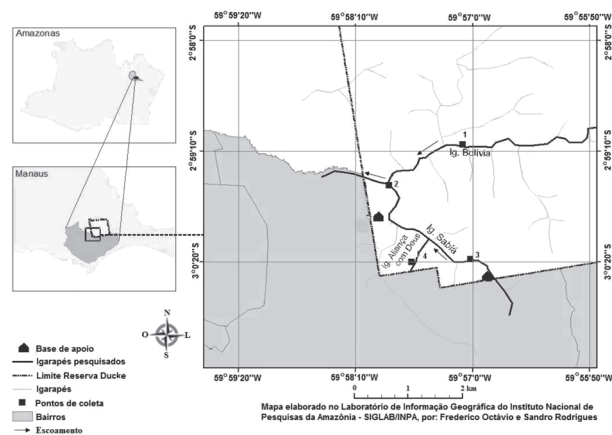


Figura 1 - Localização das estações de coleta: 1- Igarapé Bolívia (em área preservada), 2- Igarapé Sabiá (dentro da reserva e antes de encontrar-se com o igarapé Bolívia), 3 – Igarapé Sabiá (Sabiá II - na borda da reserva – Base de apoio) e 4 – Igarapé Aliança com Deus (na borda da reserva com o Bairro Aliança com Deus).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

pH, condutividade elétrica, material em suspensão e os cátions (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Fe^{2+}). Os resultados de pH registrados no igarapé Bolívia variaram entre 4,1 e 4,9 (Figura 2), confirmando a elevada acidez das águas superficiais em área de terra firme na Amazônia Central com floresta primária intacta ou com pouca ação antrópica (Campos 1994; Pascoaloto 2001; Mendonça 2002; Horbe *et al.* 2005), para ambientes da mesma formação geológica. Nos outros três locais: Sabiá, Sabiá II e Aliança com Deus, influenciados pela urbanização ao redor da reserva, os valores foram mais elevados e apresentaram oscilação entre 6,1 e 7,3 (Figura 2).

O pH de águas superficiais registrados por Campos (1994), em área de terra firme entre o município de presidente Figueiredo e o de Manaus, variou de 3,3 a 5,9. Na Reserva Ducke, Mendonça (2002) observou variação de pH entre 3,7 e 4,8, em 35 igarapés. Em outro estudo em 31 igarapés na mesma área, considerando dois períodos climáticos (dois de

seca e um chuvoso), os resultados variaram: seca/2005 (4,38-5,60), chuvoso/2006 (4,14-5,53) e seca/2006 (4,31-5,60).

No local onde foi investigado o igarapé Bolívia a acidez de suas águas reflete a mesma característica dos solos de suas bacias de drenagem. Resultados de pH de solos da mesma formação geológica, são baixos, indicando forte acidez (Vieira e Santos 1987; Ferraz *et al.* 1998; Ferreira *et al.* 2001; Chauvel 1982).

As águas da Amazônia possuem uma divisão clássica, que as categoriza em três tipos, ou seja, águas brancas, águas pretas e águas claras (Sioli 1950). Há também variedades dentro de cada uma destas categorias. Temos, por exemplo, nos ambientes naturais da região de Manaus, sobre a formação Alter do Chão, águas que estariam incluídas na categoria de águas pretas, mas que exibem tonalidades que vão de uma condição quase cristalina a uma coloração bastante escura. Walker (1995) relaciona esta variação com a matéria orgânica drenada para os igarapés. Segundo este autor, a condição cristalina ou águas claras, se deve ao fato de que estas águas ocorrerem em terrenos argilosos nos quais o escoamento não se dá com tanta facilidade, permitindo que haja tempo suficiente para que aconteça a mineralização da matéria orgânica. Estas águas, conforme aquele autor, são ácidas tendo um pH médio de $4,27 \pm 0,52$. Já nos solos mais arenosos, o escoamento se processa com mais rapidez, arrastando, dentre outras substâncias, o material húmico contido nos solos, sem que haja tempo para sua mineralização, de maneira que esta água adquire, com isto, uma certa coloração e chega aos igarapés produzindo, não apenas uma tonalidade escura nos mesmos como também rebaixando ainda mais o pH, o qual fica em média $3,87 \pm 0,51$, uma vez que tais substâncias (ácidos húmicos e fúlvicos) têm um caráter ácido. Outro fato interessante, mencionado ainda por Walker (1995), foi verificar que, em um longo período sem chuvas (situação atípica na Amazônia), os valores de pH se elevaram acima de 6,0, fortalecendo a hipótese de que a condição ácida destas águas se deve, de fato, à alimentação por substâncias húmicas dissolvidas por ação da água da chuva. Outra explicação para que a acidez das águas superficiais de terrenos argilosos seja menos intensa do que nos arenosos, é que os solos argilosos possuem elevadas concentrações de alumínio. Este elemento químico em pH baixo tende a assumir a forma catiônica e a atuar como um tampão; ao fixar-se ao complexo adsorvente (colóide), desloca outros cátions, não permitindo que o pH fique abaixo de 4,0. Nos solos arenosos, pela pobreza em alumínio e a facilidade com que a água é drenada, a acidez é dominada pelas substâncias orgânicas dissolvidas. Diversos autores determinaram o pH dos igarapés que drenam a cidade de Manaus e observaram que em áreas protegidas os valores geralmente são menores do que 5,0 e ao adentrar a área urbana são influenciados pela ação antrópica e seus valores tendem a aumentar, chegando a serem maiores do que 6,0

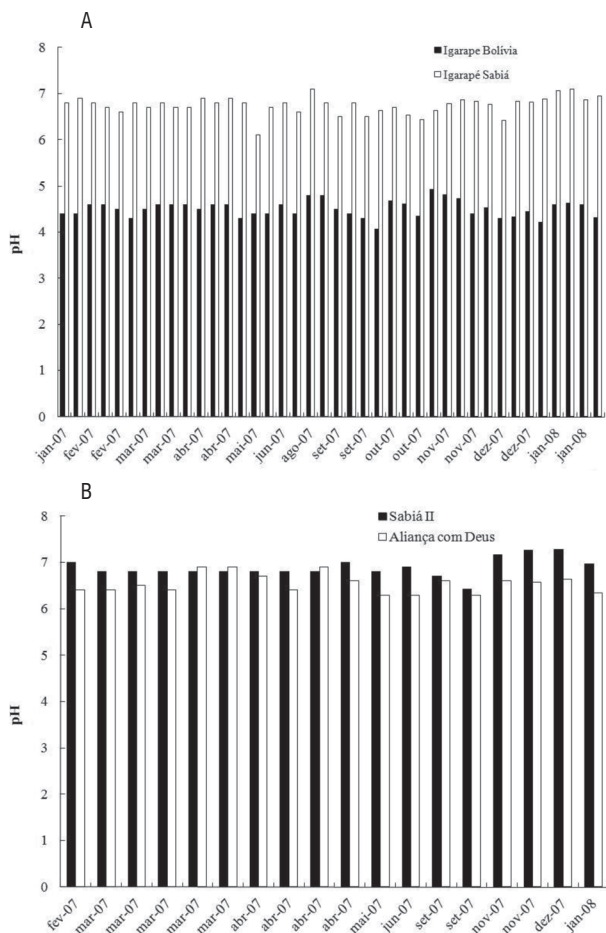


Figura 2 - Comportamento do pH nos locais (A) igarapés Bolívia e Sabiá e (B) igarapés Sabiá II e Aliança com Deus.

(Nascimento 2007; Melo 2005; Santana e Barroncas 2007; Santos *et al.* 2006). Assim, com a expansão da urbanização, a consequente retirada da matéria orgânica, a exposição do solo e o lançamento de esgotos sem tratamento, favoreceram o aumento do pH das águas superficiais.

Os valores de pH foram convertidos em concentração de íons hidrogênio pela equação: $[H^+] = 10^{-pH}$. Com os dados obtidos, foram calculadas as médias das concentrações e, a partir desses valores, calculado o pH. Nos igarapés Bolívia, Sabiá, Sabiá II e Aliança com Deus o pH foi, respectivamente, 4,47; 6,70; 6,84 e 6,50. Estas informações mostraram que o igarapé Bolívia apresenta o pH semelhante ao de ambientes naturais, o que não foi observado nos demais. Portanto, dentro da reserva Ducke já se encontra recursos hídricos afetados pela ação do homem, uma vez que era de se esperar que todos os igarapés no interior da reserva apresentassem pH de ambiente natural, semelhante ao do Bolívia (4,47).

Os valores de condutividade elétrica da água no igarapé Bolívia variaram de 6,4 a 20,6 $\mu S\ cm^{-1}$, no Sabiá de 81,6 a 136,9 $\mu S\ cm^{-1}$, no Sabiá II de 84,7 a 190,4 $\mu S\ cm^{-1}$ e no Aliança com Deus de 72,4 a 194,5 $\mu S\ cm^{-1}$ (Figura 3). Os solos de terra firme da Amazônia, na sua maioria, são pobres em nutrientes, ácidos e com baixa capacidade de troca de cátions (Vieira e Santos 1987; Ferraz *et al.* 1998; Ferreira *et al.* 2001).

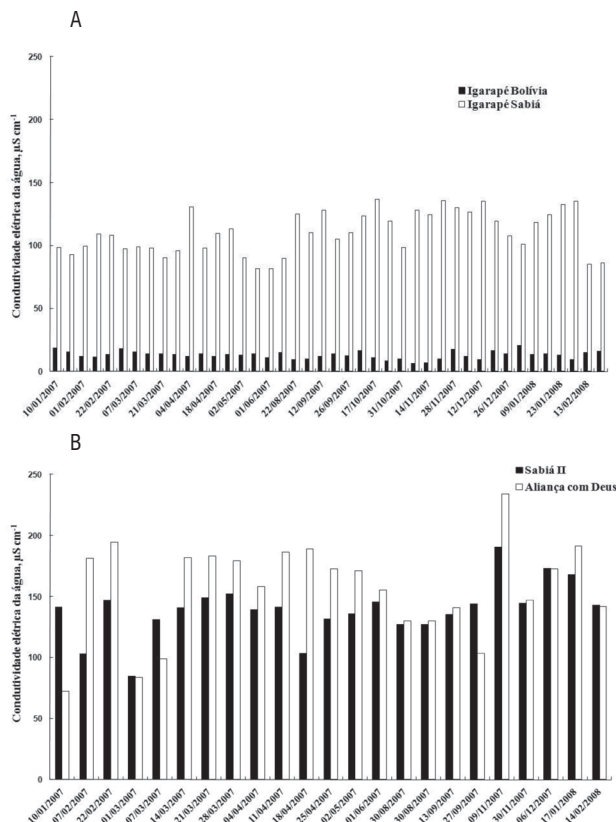


Figura 3 - Comportamento da condutividade elétrica da água nos locais (A) igarapé Bolívia, igarapé Sabiá, e (B) Sabiá II e Aliança com Deus.

Dentre os principais solos, o Latossolo atua promovendo uma resistência a lixiviação dos nutrientes suficiente para que os mesmos sejam eficientemente assimilados pela vegetação (Ferreira *et al.* 2006). Desta forma as águas superficiais que drenam essas áreas florestadas também apresentam pobreza em íons e é indicado pela baixa condutividade elétrica.

Resultados de condutividade elétrica obtidos em locais próximos e na mesma formação geológica foram baixos: a condutividade média determinada por Horbe *et al.* (2005) variou entre 5,41 a 13,3 $\mu S\ cm^{-1}$ nos igarapés Água Branca e Puraquequara; e por Pascoaloto (2001) variaram entre 5,65 a 15,90 $\mu S\ cm^{-1}$. Assim como o padrão de comportamento do pH das águas superficiais do igarapé Sabiá dentro da Reserva foi afetado pelo processo de urbanização, o da condutividade elétrica também foi alterado.

Nascimento *et al.* (2007) investigaram o igarapé Bolívia desde sua nascente (Reserva Ducke) e em diferentes pontos na área urbana; na Reserva os valores foram menores do 9 $\mu S\ cm^{-1}$ e na área urbana foram mais elevados do que 200 $\mu S\ cm^{-1}$. Melo *et al.* (2005) também registraram valores elevados, os quais variaram de 72,4 a 366,0 $\mu S\ cm^{-1}$, em locais que são influenciados pela ação antrópica.

Tanto Nascimento *et al.* (2007) quanto Horbe *et al.* (2005) observaram um discreto aumento nos valores médios de condutividade elétrica na época chuvosa. Isto foi observado neste estudo no igarapé Bolívia, pois o valor mais baixo (6,4 $\mu S\ cm^{-1}$) foi determinado na época seca (agosto de 2006) e o mais elevado (18,8 $\mu S\ cm^{-1}$) na época chuvosa (janeiro de 2007).

As quantidades de material em suspensão determinadas no igarapé Bolívia foram baixas, o valor mais elevado foi 4 mg L^{-1} . Nos outros igarapés Sabiá, Sabiá II, e Aliança com Deus, os resultados foram mais elevados, com valor mais elevado de 125,0 mg L^{-1} , medido no Sabiá II. As médias determinadas para os igarapés Bolívia, Sabiá, Sabiá II e Aliança com Deus foram, respectivamente, 2,30; 23,45; 32,89 e 34,24 mg L^{-1} (Tabela 1). Estes dados confirmam mais uma vez a diferença entre o igarapé natural (Bolívia) e os impactados. Cabe aqui observar que o igarapé Bolívia, no local onde foram coletadas as amostras, possui coloração escura, caracterizado pela presença de substâncias húmicas e fúlvicas dissolvidas (Sioli 1984; Walker 1995), mas transparente, podendo-se visualizar o seu leito com o nível d'água acima de 1,0 m. Nos demais pontos de coletas a água apresentava-se sempre turva, o que pode ser corroborado com os valores de material em suspensão na água.

A Tabela 1 apresenta a análise de variância dos dados de concentração de íons hidrogênio $[H^+]$, condutividade elétrica da água e de material em suspensão na água entre

Tabela 1 - Médias de concentração de íons hidrogênio [H⁺], de condutividade elétrica da água e de material em suspensão na água entre os tratamentos (locais de coleta): igarapés Bolívia, Sabiá, Sabiá II e Aliança com Deus.

| Locais | Médias | Valores mínimos | Valores máximos |
|---|-------------------------------|-----------------|-----------------|
| | | | |
| Igarapé Bolívia | 3391 (± 14,40) ^a | 1202,26 | 8551,38 |
| Sabiá | 19,94(± 11,97) ^{ob} | 7,94 | 79,43 |
| Sabiá II | 14,47(± 7,06) ^c | 3,13 | 37,15 |
| Aliança com Deus | 31,66(± 13,28) ^b | 12,59 | 51,29 |
| Condutividade elétrica da água (mS cm ⁻¹) | | | |
| Igarapé Bolívia | 13,12 (± 3,07) ^c | 6,44 | 20,60 |
| Sabiá | 110,23 (± 16,84) ^b | 81,60 | 136,90 |
| Sabiá II | 139,07 (± 22,37) ^a | 141,50 | 190,40 |
| Aliança com Deus | 156,45 (± 39,51) ^a | 72,40 | 234,00 |
| Material em suspensão (mg L ⁻¹) | | | |
| Igarapé Bolívia | 2,30 (± 0,71) ^b | 1,25 | 4,00 |
| Sabiá | 23,45 (± 8,61) ^a | 9,50 | 42,50 |
| Sabiá II | 32,89 (± 24,40) ^a | 7,50 | 125,00 |
| Aliança com Deus | 34,24 (± 13,54) ^a | 7,25 | 69,50 |

Médias com mesma letra nas colunas não diferem entre si ao nível 5% de probabilidade

os tratamentos (locais de coletas): Bolívia, Sabiá, Sabiá II e Aliança com Deus. Os resultados das análises apresentaram diferenças significativas entre os locais que sofrem influência antrópica com o Bolívia em área preservada. Estas análises estatísticas indicam que o igarapé Bolívia dentro da reserva Ducke (antes de receber o igarapé Sabiá), mantém suas características naturais. Após receber este igarapé, ainda dentro da reserva, passa a ter a qualidade de suas águas alteradas, sendo talvez o único igarapé que sai da reserva com as águas já deterioradas (Vital *et al.* 2006; Barros *et al.* 2007).

A Tabela 2 apresenta as médias dos cátions (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Fe²⁺). No igarapé Bolívia os valores de todos os cátions estudados foram, em média, mais baixos do que nos outros locais de coletas, o que é normal para os igarapés não impactados desta região, fato este, confirmado também pela baixa condutividade elétrica. Os cátions apresentaram concentrações médias (mg L⁻¹) na seguinte ordem: Na⁺ (0,90 ± 0,26) > Fe²⁺ > (0,45 ± 0,21) > K⁺ (0,25 ± 0,18) > Ca²⁺ (0,16 ± 0,06) > Mg²⁺ (0,06 ± 0,03). Campos (1994), também detectou valores baixos em igarapés desta mesma região para os íons Ca²⁺ e Mg²⁺, sendo os valores máximos 2,03 mg L⁻¹ e 0,9 mg L⁻¹ respectivamente. No ponto de coleta Aliança com Deus foram registradas as concentrações médias (mg L⁻¹) mais elevadas para os íons sódio (8,39 ± 1,65), cálcio (9,16 ± 6,00) e potássio (5,65 ± 3,77); e no ponto de coleta Sabiá II para o magnésio (1,00 ± 1,13) e ferro (0,76 ± 0,37). A análise estatística revelou que as concentrações de Na⁺, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ apresentaram alterações significativas entre o igarapé Bolívia dentro da Reserva e os demais locais amostrados. No entanto,

observou-se que os teores desses cátions tendem a diminuir da borda da Reserva para o seu interior.

Este estudo revelou que recurso hídrico dentro da reserva vem sendo influenciado pela pressão urbana nos seus limites. No entanto, a reserva Ducke tem a maioria de seus corpos d'água em condições preservadas e com isso constitui-se em um importante local de referência de dados de hidrologia e hidroquímica de floresta de terra firme para outros locais na região. O estabelecimento do monitoramento do igarapé Bolívia em condições preservadas pode vir a ser uma fonte de informações para a sociedade no sentido de preservar ou ainda recuperar os sistemas aquáticos. Atualmente o que se constata é que esses recursos ainda estão sendo ameaçados pela expansão da cidade.

Outro fator importante, percebido pelos dados, é certa melhoria na qualidade da água no igarapé Sabiá, já que o mesmo entra na reserva com uma carga de poluição, em seguida recebe a contribuição do igarapé Aliança com Deus

Tabela 2 - Médias das concentrações (mg L⁻¹) dos cátions (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Fe²⁺), e suas concentrações (mg L⁻¹) mínimas e máximas registradas nos tratamentos (locais de coleta): igarapés Bolívia, Sabiá, Sabiá II e Aliança com Deus.

| Locais | Médias | Valores mínimos | Valores máximos |
|------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|
| | | | |
| Igarapé Bolívia | 0,90 (± 0,26) ^b | 0,37 | 1,62 |
| Sabiá | 7,08 (± 1,42) ^a | 0,84 | 9,59 |
| Sabiá II | 8,00 (± 1,10) ^a | 4,72 | 10,08 |
| Aliança com Deus | 8,39 (± 1,65) ^a | 3,51 | 10,59 |
| K ⁺ | | | |
| Igarapé Bolívia | 0,25 (± 0,18) ^c | 0,01 | 0,80 |
| Sabiá | 2,62 (± 1,37) ^b | 0,18 | 10,85 |
| Sabiá II | 3,30 (± 1,20) ^b | 0,22 | 7,73 |
| Aliança com Deus | 5,65 (± 3,77) ^a | 0,17 | 20,11 |
| Ca ²⁺ | | | |
| Igarapé Bolívia | 0,16 (± 0,06) ^c | 0,03 | 0,33 |
| Sabiá | 5,72 (± 1,78) ^{ab} | 0,14 | 15,82 |
| Sabiá II | 6,96 (± 1,70) ^{ab} | 3,52 | 11,79 |
| Aliança com Deus | 9,16 (± 6,00) ^a | 4,39 | 22,56 |
| Mg ²⁺ | | | |
| Igarapé Bolívia | 0,06 (± 0,03) ^b | 0,02 | 0,19 |
| Sabiá | 0,68 (± 0,24) ^a | 0,04 | 1,93 |
| Sabiá II | 1,00 (± 1,13) ^a | 0,49 | 6,65 |
| Aliança com Deus | 0,99 (± 0,29) ^a | 0,49 | 1,65 |
| Fe ²⁺ | | | |
| Igarapé Bolívia | 0,45 (± 0,21) ^a | 0,16 | 0,81 |
| Sabiá | 0,72 (± 0,35) ^a | 0,23 | 1,52 |
| Sabiá II | 0,76 (± 0,37) ^a | 0,14 | 1,34 |
| Aliança com Deus | 0,61 (± 0,36) ^a | 0,14 | 1,22 |

Médias com mesma letra nas colunas não diferem entre si ao nível 5% de probabilidade

(mais impactado), e pouco antes de desaguar no Bolívia, esta carga está reduzida. Esta melhoria se deve, em parte, à entrada de pequenos tributários não impactados que ajudam a diluir a carga poluidora.

CONCLUSÕES

Os igarapés investigados que adentram a reserva são fortemente influenciados pela urbanização na parte superior de suas bacias, o que faz com que suas águas adentrem a reserva em condições já deterioradas. O igarapé Bolívia, antes de receber o Sabiá, dentro da Reserva, drena uma área integralmente com floresta nativa, portanto, mantém sua água em condições naturais o que o torna um local de referência para fazer comparações com outros recursos hídricos de floresta de terra firme na Amazônia Central. Os íons Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Fe^{2+} no igarapé Bolívia mantiveram-se dentro dos padrões da região; já os igarapés impactados apresentaram concentrações bem mais elevadas, principalmente dos quatro primeiros íons.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro (Universal: Proc. Nº 472914/2006-5), ao colega João Augusto Dantas de Oliveira pelas valiosas colaborações ao texto, ao Frederico Octávio e ao Sandro Rodrigues pela contribuição na confecção da Figura 1, ao Pedrinho de Almeida Paiva pela ajuda nas coletas de amostras.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- APHA – American Public Health Association; AWWA – American Water Work Association; WPCF – Water Pollution Control Federation. (Eds). 1995. *Standard Methods of the Experimentation of Water and Wastewater*. New York, APHA, AWWA, WPCF. 1268 pp.
- Barros, C.P.; Ferreira, S.J.F.; Marques Filho, A.O.; Fajardo, J.D.V.; Vital, A.R.T.; Miranda, S.A.F.; Franken, W.K.; Oliveira, J.A.D.; Silva, S.L. 2007. Alterações de recursos hídricos em reserva florestal sob crescente pressão urbana. p. 1-13. *Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste*. Cuiabá, MT.
- Campos, Z.E.S. 1994. *Parâmetros físico-químicos em igarapé de água clara e preta ao longo da rodovia BR-174 entre Manaus e Presidente Figueiredo - AM*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas, Manaus, Amazonas. 90 pp.
- Chauvel, A. 1982. Os latossolos amarelos, álicos, argilos dentro dos ecossistemas das bacias experimentais do INPA e da região vizinha. *Acta Amazonica*, 12(3): 47-60.
- Chauvel, A.; Lucas, Y.; Boulet, R. 1987. On the genesis of the soil mantle of the region of Manaus, Central Amazonia, Brazil. *Experientia*, 43: 234-241.
- Couceiro, S.R.M.; Hamada, N.; Luz, S.L.B.; Forsberg, B.R.; Pimentel, T.P. 2007. Deforestation and sewage effects on aquatic macroinvertebrates in urban streams in Manaus, Amazonas, Brazil. *Hydrobiologia*, 575: 271-284.
- Do Valle, C.M. 1998. *Impacto Ambiental Urbano: Avaliação Física e Química dos Solos da Bacia do Igarapé do Quarenta (Manaus-AM)*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. 89 pp.
- Ferraz, J.; Ohta, S.; Salles de P.C. 1998. Distribuição dos solos ao longo de dois transectos em floresta primária ao Norte de Manaus (AM), p.111-143. In: Higuchi, N; Campos, M.A.A.; Sampaio, P.T.B.; Santos, J. (Eds). *Pesquisas Florestais para Conservação da Floresta e Reabilitação de Áreas Degradadas da Amazônia*. INPA – CNPq.
- Ferreira, S.J.F.; Crestana, S.; Luizão, F.J.; Miranda, S.A.F. 2001. Nutrientes no solo em floresta de terra firme cortada seletivamente na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 31: 381-396.
- Ferreira, S.J.F.; Luizão, F.J.; Miranda, S.Á.F.; Silva, M.S.R.; Vital, A.R.T. 2006. Nutrientes na solução do solo em floresta de terra firme na Amazônia Central submetida à extração seletiva de madeira. *Acta Amazonica*, 36(1): 59-68.
- Geissler, R.M.O. 1999. *Geoquímica Ambiental Aplicada à Bacia do Igarapé do Quarenta, Município de Manaus-AM*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas. Manaus, AM. 127 pp.
- Hopkins, M.J.G. 2005. Flora da Reserva Ducke, Amazonas, Brasil. *Rodriguésia*, 56 (86): 9-25.
- Horbe, A.M.C.; Gomes, I.L.F.; Silva, M.S.R.; Miranda, S.A.F. 2005. Contribuição à hidroquímica de drenagens no Município de Manaus – AM. *Acta Amazonica*, 35(2): 119 – 124.
- Marques Filho, A.O.; Dallarosa, R.G. 2000. Interceptação de radiação solar e distribuição espacial de área foliar em floresta de terra firme da Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 30(3):453-470.
- Melo, E.G.F.; Silva, M.S.R.; Miranda, S.A.F. 2005. Influência antrópica sobre águas de igarapés na cidade de Manaus – Amazonas. *Caminhos de Geografia*, 5(16): 40 – 47.
- Mendonça, F.P. 2002. *Ictiofauna de igarapés de terra firme: estrutura das comunidades de duas bacias hidrográficas, Reserva Florestal Adolfo Ducke, Amazônia Central*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. 43 pp.
- Nascimento, C. R.; Silva, M.S.R.; Bringel, S.R.B.; Cunha, H.B.; Miranda, S.A.F.; Pinto, A.G.N. 2007. Hidroquímica das águas de um igarapé sob diferentes graus de impactos, Manaus/Am. p. 1-13. *Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste*. ABRH, Cuiabá, MT.
- Pascoaloto, D. 2001. Características ambientais de cinco igarapés de terra-firme em reservas florestais no estado do Amazonas e sua relação com *Batrachospermum cayennense* (Batrachospermaceae, Rhodophyta). *Acta Amazonica*, 31(4): 597-606.
- Rocha, L.C.R.; Horbe, A.M.C. 2006. Contaminação provocada por um depósito de lixo no aquífero Alter do Chão em Manaus – AM. *Acta Amazonica*, 36(3): 307 – 312.

- Santana, G.P.; Barroncas, P.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.S.R. 1996. *Metais Pesados em Sedimentos de Fundo de Igarapés (Manaus-AM)*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará. 107 pp.
- Sioli, H. 1950. Das Wasser im Amazonasgebiet. *Forschungen und Fortschritte*, 26:274-280.
- Sioli, H. 1984. The Amazon and its main affluents: Hydrography, morphology of the river courses and river types, p. 127-165. In: Sioli, H., ED. *The Amazon limnology and landscape ecology of a might tropical river and its basin*. Dordrecht, Dr. W Junk Publishers.
- Toledo, J.J. 2009. *Influência do solo e topografia sobre a mortalidade de árvores e decomposição de madeira em uma floresta de terra-firme na Amazônia Central*, Tese de Doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 84 pp.
- Vieira, L.S.; Santos, P.C.T.C. 1987. *Amazônia seus solos e outros recursos naturais*. São Paulo, Agronômica Ceres. 416 pp.
- Vital, A.R.T.; Franken, W.K.; Ferreira, S.J.F.; Marques Filho, A.O.; Fajardo, J.D.V.; Oliveira, J.A.D. 2006. Capacidade de auto-renovação da qualidade da água de igarapé degradado na Amazônia Central. p. 1-10. *Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste*. Curitiba, PR.
- Walker, I. 1995. Amazonian streams and small rivers, p. 167-193. In: Tundisi, J. G., Bicudo, C. E. M., Matsumura-Tundisi, T. (Eds). *Limnology in Brazil*. Sociedade Brasileira de Limnologia/ Academia Brasileira de Ciência.

Recebido em: 24/08/2011

Aceito em: 19/11/2011