

ÁGUAS DA **AMAZÔNIA**

NATUREZA E DESAFIOS
CONTEMPORÂNEOS

Organizadores

Sérgio Roberto Bulcão Bringel

Denise Machado Duran Gutierrez



ÁGUAS DA **AMAZÔNIA**

NATUREZA E DESAFIOS
CONTEMPORÂNEOS

Organizadores
Sérgio Roberto Bulcão Bringel
Denise Machado Duran Gutierrez

Manaus, 2024



Copyright © 2024, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

PRESIDENTE DA REPÚBLICA

Luís Inácio Lula da Silva

MINISTRA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Luciana Barbosa de Oliveira Santos

DIRETOR DO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA

Henrique dos Santos Pereira

EDITORA INPA

Editor: Mario Cohn-Haft. Produção editorial: Rodrigo Verçosa, Shirley Ribeiro Cavalcante, Tito Fernandes.

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Adriel Albuquerque, Tito Fernandes

Catálogo na Publicação (CIP-Brasil)

S586a Águas da Amazônia: natureza e desafios contemporâneos / Organizadores
 Sérgio Roberto Bulcão Bringel, Denise Machado Duran Gutierrez. Manaus:
 Editora INPA, 2024.
 7.28 mb
 244 p. : il. color.
 ISBN: 978-65-5633-052-5
 DOI: <https://doi.org/10.61818/56330525>
 1. Águas - Amazônia. 2. Bacia amazônica. I. Bringel, Sérgio Roberto Bulcão.
 II. Gutierrez, Denise Machado Duran. II. Título

CDD 551.508 11

A editora e os organizadores não se responsabilizam pelo conteúdo dos capítulos, que pode conter afirmações, opiniões e conceitos pessoais, sendo de total responsabilidade dos autores.

Editora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

Av. André Araújo, 2936 – Caixa Postal 2223

Cep : 69067-375 Manaus – AM, Brasil

Fax : 55 (92) 3642-3438 Tel: 55 (92) 3643-3223

Rios de conhecimento pela Amazônia

Não há algo mais necessário para humanidade e para o clima do Planeta do que rios e cursos d'água da Amazônia.

O Instituto Soka Amazônia diariamente se inspira no Encontro das Águas, dos rios Negro e Solimões, que fluem para compor o Rio Amazonas em direção ao mar. Essa paisagem única nos ensina sobre a beleza do caminhar juntos, apesar das singularidades, rumo a um objetivo comum.

De maneira semelhante, e há mais de uma década, o Instituto Soka Amazônia e o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), fizeram fluir uma rica troca de conhecimento e diálogos com a sociedade, por meio das oito edições do Seminário Águas da Amazônia.

Ter construído juntos essa trajetória de encontros de mentes brilhantes, provocando uma rica troca de conhecimentos e reflexões em busca de soluções para os desafios da questão hídrica da Amazônia, é gratificante e motivo de grande honra.

Nas próximas páginas estão registradas parte do resultado desse valioso empreendimento que contribuirá para o manancial de conhecimento e análises necessárias frente aos desafios das mudanças climáticas.

Que seja incessante o fluir dos rios da sabedoria da Ciência e sociedade em prol da Amazônia. Boa leitura!

Luciano Nascimento
Presidente do Instituto Soka Amazônia

Sumário

Apresentação.....	6
Introdução.....	8

PARTE 1

GENERALIDADES DA BACIA AMAZÔNICA11

1. Origem da Bacia amazônica.....	11
Sergio Roberto Bulcão Bringel	
2. Aspectos Físicos da Bacia amazônica.....	16
Sergio Roberto Bulcão Bringel, Ana Rosa Tundis Vital Trigo, Maria do Socorro Rocha da Silva	
3. Considerações Limnológica sobre a Bacia amazônica	33
Sergio Roberto Bulcão Bringel	
4. A Bacia Hidrográfica do Rio Araguaia-Tocantins	41
Sergio Roberto Bulcão Bringel	
5. As águas e as algas do rio Negro em dois municípios do estado do Amazonas, na Amazônia central	47
Domitila Pascoaloto, Climéia Corrêa Soares, Amauri Antônio Menegário	

PARTE 2

SISTEMA RIPÁRIO E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS 67

6. Águas subterrâneas: Riquezas minerais da Amazônia.....	67
Márcio Luiz da Silva	
7. Estudo de Caso do Ecossistema Ripário Lago do Aleixo em Manaus/AM....	86
Ana Rosa Tundis Vital Trigo, Rayssa Santos da Silva, Sergio Roberto Bulcão Bringel	

PARTE 3

GESTÃO DAS ÁGUAS AMAZÔNICAS 106

8. Nova Abordagem para a Classificação dos Rios e Igarapés da Bacia amazônica	106
Eduardo Antonio Ríos-Villamizar, Maria Teresa Fernandez Piedade, Jennifer Marion Adeney, Wolfgang Johannes Junk	
9. Desafios na Gestão dos Rios da Bacia Hidrográfica do Amazonas.....	120
Maria do Socorro Rocha da Silva, Sebastião Átila Fonseca Miranda, Sergio Roberto Bulcão Bringel	
10. BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO NEGRO: O DESAFIO DA GESTÃO DE SUAS ÁGUAS	138
Sergio Roberto Bulcão Bringel, Maria do Socorro Rocha da Silva, Sebastião Átila Fonseca Miranda	
11. QUALIDADE DA ÁGUA NAS CIDADES BRASILEIRAS	158
Marco Tadeu Grassi, Emerson Luis Yoshio Hara, Rafael Garrett Dolatto, Genikelly Cavalcanti Machado, Beatriz Isabella Cestaro	

PARTE 4

**ESTUDOS INTERDISCIPLINARES ARTICULADOS COM RECURSOS
HÍDRICOS 173**

12. PROJETO TONS DA TERRA: A TINTA ECOLÓGICA E DE BAIXO CUSTO À
BASE DE SOLOS DA AMAZÔNIA 173
Fernanda Tunes Villani, Gyovanni Augusto Aguiar Ribeiro,
Guilherme Tunes Villani Mendes, Ingrid Vieira Silva, Albert Reis Furtado,
Caio Cezar Campus
13. TRABALHO E TECNOLOGIAS SOCIAIS NAS PRÁTICAS SOCIOCULTURAIS
DAS MULHERES RIBEIRINHAS EM CAAPIRANGA/AM 191
Débora Cristina Bandeira Rodrigues, Maria Isabel Barros Bellini, Thamirys Souza e Silva,
Camila Fernanda Pinheiro do Nascimento, Evelyn Barroso
14. A IMPORTÂNCIA DA FLORESTA AMAZÔNICA: UMA VISÃO SOBRE OS RIOS
VOADORES PARA ALUNOS DA EDUCAÇÃO BÁSICA 204
Anthony Lopes
15. POLÍTICA PÚBLICA DA ÁGUA: O EXEMPLO DA PESQUISA-AÇÃO SOBRE
OCUPAÇÕES IRREGULARES EM ÁREAS PROTEGIDAS NA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RESERVATÓRIO DO GUARAPIRANGA EM SÃO PAULO 217
Jacques Lolive, Cintia Okamura
- ORGANIZADORES E AUTORES 240**

Apresentação

O Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, é uma Instituição Científica e Tecnológica, nos termos da Lei no 10.973, de 2 de dezembro de 2004, regulamentada pelo Decreto No 9.283, de 07 de fevereiro de 2018, art. 2, inciso IV, e tem como principal objetivo a promoção do desenvolvimento científico e tecnológico e a integração dos polos socioeconômicos e ecossistemas estratégicos da região da amazônica brasileira, bem como realizar, executar e divulgar estudos e pesquisas na área de desenvolvimento científico e tecnológico para o fortalecimento do desenvolvimento sustentável da região. Desse modo, atendendo a missão institucional que é de “Gerar e disseminar conhecimentos, tecnologias, inovações e de capacitar pessoas para contribuir na formulação de políticas públicas e ações para o desenvolvimento sustentável da Amazônia”, o INPA lança mais uma obra ao público.

Nessa ocasião centra-se no tema dos Recursos Hídricos na região amazônica, tema de altíssima importância e relevância para diversos grupos de interesse em âmbito local, regional e nacional. É de conhecimento de todos que a conservação dos ecossistemas aquáticos da nossa Bacia amazônica tem inspirado muitas iniciativas de modo a melhor compreender esses ecossistemas e sua importância para a biodiversidade aquática e terrestre, além do quanto isso pode contribuir para a qualidade de vida da população. A exemplo, as iniciativas com manejo de peixes e outras espécies aquáticas e a contribuição desses avanços em prol das populações que dependem disso para sua subsistência. Mas nem tudo é fácil, diversos desafios devem ser lembrados, como a migração de muitas espécies ao longo de seu ciclo de vida, a necessidade de escalas múltiplas, comunitária local e mesmo global de todo esse sistema hidrológico. A convivência com as águas da Amazônia, ao mesmo tempo, nos deslumbra e desafia. Nela temos nosso meio de transporte pelos rios, recortando de forma sinuosa e demorada toda a extensão da região; temos ainda a fonte de nossa nutrição, água para consumo humano e os muitos, deliciosos e variados peixes que fazem parte da dieta regional de forma insubstituível. A água, que é nossa fonte de vida, se apresenta aqui, e ao mesmo tempo, como tema que inspira muita preocupação. Sua gestão desafia, por falta de instrumentos técnicos, políticas públicas efetivas e recursos sempre insuficientes para seu cuidado. Sua qualidade vem se degradando gradativamente na linha histórica da urbanização e ocupação humana nas grandes cidades, em forma de poluição de natureza variada,

ameaçando as fontes e comprometendo sua usabilidade. Pode, ao mesmo tempo que nos traz tantos benefícios e riquezas, por sua degradação, mal uso e preservação, se tornar uma imprestabilidade. Em vista do quadro que se apresenta esperamos que os conhecimentos aqui socializados com a sociedade brasileira possam inspirar melhorias e desenvolvimentos relevantes para nossa região, para que esse patrimônio brasileiro seja conservado, usado com racionalidade e bem gerido por todos os atores sociais envolvidos no cenário em questão, de modo que tenhamos um futuro sustentável e profícuo.

Antônia Maria Ramos Franco Pereira
Diretora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA

Introdução

O material que constitui esse livro foi composto a partir da experiência construída no contexto de um evento conjunto realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) e o Instituto Soka – Pesquisas e Estudos Ambientais da Amazônia (Instituto Soka Amazônia). Trata-se de uma coletânea interdisciplinar de textos inéditos, derivados das apresentações realizadas nos anos de 2016 a 2020 no Seminário Águas da Amazônia. A linha que conduz os conteúdos está centrada na necessidade de conhecer para preservar os recursos naturais fazendo uso racional e sustentável deles.

Existe a consciência clara dos grupos de trabalho aqui representados que a Amazônia merece atenção, em especial quanto a seus Recursos Hídricos. O potencial é tremendo, pois se trata de uma das maiores reservas de água doce do mundo. Recurso que deve ser protegido e gerido com grande responsabilidade.

Encontra-se aqui um conjunto muito variado de contribuições que recobrem uma diversidade de temas, todos eles articulados e de importância para o entendimento da região e suas águas. O conteúdo está estruturado em quatro partes.

A primeira parte traz alguns temas centrais na discussão dos Recursos Hídricos. Inicia com a exposição sobre a origem da Bacia amazônica, seus aspectos Físicos, considerações Limnológicas, aborda a Bacia Hidrográfica do Rio Araguaia-Tocantins e finaliza com resultados instigantes de uma pesquisa sobre as águas e as algas do rio Negro em dois municípios do estado do Amazonas, na Amazônia central.

A segunda parte apresenta dois textos voltados ao sistema ripário e águas subterrâneas. O primeiro, de forma muito qualificada, apresenta tecnicamente as reais potencialidades das águas subterrâneas da Amazônia, quanto ao dimensionamento de suas reservas de valor alimentar e terapêutico enquanto águas com diversas composições minerais. O segundo apresenta uma experiência de investigação sobre o importante ecossistema ripário e sua função protetora das águas.

A terceira parte nos traz um conjunto de contribuições de peso em temas polêmicos ligados à gestão das águas amazônicas. A sessão abriga inicialmente um texto sobre uma nova abordagem para a classificação dos rios e igarapés da Bacia amazônica, que nos incita à reflexão e ação para conhecer, entender e formular políticas relevantes para a região; e

dois outros textos sobre os desafios da gestão, seus impasses e contradições. O primeiro focado nas condições dos rios da Bacia Hidrográfica do Amazonas; e o segundo refletindo sobre as condições da Bacia do rio Negro. Fica claro que na Amazônia temos condições ambientais e tipos e composições de água que não se adéquam as políticas públicas e parâmetros vigentes no Brasil, demandando mais estudos e adaptação técnica para sua avaliação. A descrição apurada das condições naturais e dos limites das políticas públicas ficam no centro dessa discussão. Um último texto dessa sessão apresenta e problematiza dados de qualidade da água nas cidades brasileiras, ampliando o foco para o território nacional.

Finalmente a quarta parte apresenta diversos estudos de caráter interdisciplinar e transversal em articulação com o grande tema dos Recursos Hídricos. O projeto de Tecnologia Social, Tons da Terra: A Tinta Ecológica e de Baixo Custo à Base de Solos da Amazônia, associa conhecimento científico (química dos solos) com o saber fazer prático e mostra como o aproveitamento de recursos naturais é possível e viável em nossa região, pela utilização racional de um insumo completamente acessível, como é o caso do solo. O texto sobre Trabalho e Tecnologias Sociais nas Práticas Socioculturais das Mulheres Ribeirinhas em Caapiranga, explora diversos elementos socioculturais presentes entre populações tradicionais da região, os quais precisam ser reconhecidos para que se entendam as lógicas da relação entre o homem e o meio natural na Amazônia. Na sequência apresentamos a curiosa questão dos rios voadores, fortemente ligados ao papel da floresta amazônica, de importância nacional e mundial, para a manutenção dos regimes de chuvas e abastecimento de águas mesmo em regiões remotas a partir de uma experiência de Educação ambiental. Por último um texto que nos traz uma análise da Política Pública da Água, tomando como referência o exemplo da pesquisa-ação sobre ocupações irregulares em áreas protegidas na Bacia Hidrográfica do Reservatório do Guarapiranga em São Paulo.

Em síntese, nessa obra se procura colocar o tema dos recursos hídricos em foco abordando-o a partir de suas diversas dimensões e intersecções: história geológica, físico-química das águas, dinâmica das águas, relações com a biota aquática, impactos antrópicos, potenciais produtivos a partir do uso sustentável da água e solo, gestão hídrica, metodologias classificatórias, avaliação da qualidade da água, saberes comunitários associados e políticas públicas. Essa amplidão de dimensões nos indica a complexidade de elementos existentes e a necessária articulação entre eles, a partir da qual a questão dos recursos hídricos na região amazônica precisa ser

pensada e gerida. Esperamos com isso contribuir com a área de estudos aportando informações relevantes e atuais.

A leitura desse material se recomenda a todos que desejam conhecer mais, e se apropriar de contribuições científicas bem fundamentadas e consolidadas, sobre a região amazônica e seus recursos hídricos. Em especial a estudantes de vários níveis de formação e pesquisadores atuantes na temática dos Recursos Hídricos da Amazônia.

Denise Machado Duran Gutierrez
Sérgio Roberto Bulcão Bringel

PARTE 1

GENERALIDADES DA BACIA AMAZÔNICA

1. Origem da Bacia amazônica

Sergio Roberto Bulcão Bringel

Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e Professor da Universidade do Estado do Amazonas. E-mail: bringel@inpa.gov.br

INTRODUÇÃO

Trabalhos pioneiros de Katzer (1903); Oliveira e Leonardo (1943) e Sioli (1965), informam que as águas, tiveram um papel preponderante na formação geológica da região amazônica. Esses estudos relatam que a “Bacia amazônica”, era coberta por um golfo do mar, do oceano Pacífico, o qual era aberto para Este, e limitado ao Norte e ao Sul pelos maciços das Guianas e do Brasil Central, e fechado a Leste. Esse golfo possivelmente tenha durado todo o Paleozoico.

Os movimentos verticais que afastaram o continente durante o Mesozoico, fizeram com que o mar se retirasse desse golfo e, conseqüentemente, houve seu secamento. Os rios que drenavam nessa zona, tiveram o seu movimento seguindo direção ao Pacífico, isto, somente com o levantamento dos Andes, isto é, no fim do Mioceno, na época do Terciário. Desse levantamento resultou um lago de água doce, pois se encontrava fechado por todos os lados, tendo somente uma pequena ligação com o mar das Antilhas.

O GRANDE LAGO AMAZÔNICO

No pleistoceno, a margem do “lago amazônico” da época do Terciário, teve início um rebaixamento, fazendo com que as águas iniciassem o seu movimento de descida, desta feita, para o lado do Atlântico. Isso ocorreu, devido ao grande peso da massa de água e de sedimento em cima do bloco continental.

Com a movimentação das águas para o Atlântico, o peso da massa de água foi diminuindo, e a crosta terrestre teve um levantamento leve, ficando acima do nível do mar, e dando origem às “terras firmes” e a floresta amazônica (KATZER, 1903; OLIVEIRA e LEONARDO, 1943; SIOLI, 1965).

ORIGEM DOS SEDIMENTOS

O sedimento tem sua origem na erosão de rochas pré-existentes que podem situar-se a longas distâncias do lugar onde ocorre a acumulação, como também da própria área de deposição.

Os sedimentos que são carregados pelo rio Solimões/Amazonas, são provenientes dos Andes, drenam vasta parte da Bolívia, Peru, Equador, Colômbia, Venezuela e Guianas (KATZER, 1903; LEINZ e AMARAL, 1978; MEADE *et al.*, 1979 e BRASIL, 1984). Sua vazão observada em Óbidos, é de aproximadamente 170 milhões de toneladas em solução e 425 milhões de toneladas em suspensão, que passam anualmente neste ponto.

O teor desse sedimento é resultado da composição das rochas que estão sofrendo erosão na fonte de produção e da natureza dos precipitados orgânicos e inorgânicos susceptíveis de se somarem no sítio de deposição. Essa composição depende, também, da relação entre o intemperismo na fonte de deposição e a deposição na Bacia sedimentar.

Se as rochas erosivas, estão profundamente intemperadas, seus constituintes minerais estão quimicamente desintegrados. Quando a velocidade de erosão é rápida, então os minerais são transportados e soterrados antes que possam ocorrer muitas alterações e desintegração (BRASIL, 1984).

A SEDIMENTAÇÃO NA BACIA AMAZÔNICA

Na Bacia amazônica, camadas denominadas Alter do Chão são atribuídas, pelo menos em parte, ao Cretáceo. As evidências paleontológicas de maior peso, são os dentes identificados como pertencentes a dinossauros terópodes. Localizam-se na Amazônia as mais importantes áreas de sedimentação Quaternária. São as argilas aflorantes nas margens do rio Juruá, com bivalves (tipo de molusco) bivalidos de água doce, folha e vertebrados, que permitem sua datação com o Quaternário. A planície de inundação do Amazonas é sede de intensa sedimentação. Nas várzeas e lagos acumula-se grande quantidade de sedimentos, depositados pelas cheias. As regiões que não sofrem influência da enchente são formadas por sedimentos Quaternários mais antigos (BRASIL, 1984).

Nas cabeceiras do rio Branco, ocorre apreciável extensão de sedimentos Quaternários denominados formação Boa Vista. Toda a sedimentação Pleistocênica, que cobre a Bacia do Amazonas extravasa-se cobrindo mesmo o embasamento a Oeste do meridiano de Manaus, é denominada Formação Iça, na qual se assinala a presença de turfa (BRASIL, 1984).

Davis (1980), estimou que a descarga do rio Amazonas era de 212.000 m³s⁻¹, entretanto Oltmann (1967), calculou em 175.000 m³s⁻¹, isto perto de Óbidos. Para esse mesmo local, Richey *et al.* (s.d.), estimaram em 177.000 m³. s⁻¹ na época do início da subida das águas e de 202.000 m³. s⁻¹, no início da descida das águas.

Gibbs (1965), calculou o total de descarga de sedimentos do rio Amazonas em 3,5.10⁸ t. ano⁻¹, representando 80 % do total que é descarregado no Oceano Atlântico na região equatorial. Enquanto Maede *et al.* (1986), estimaram que os sedimentos lançados ao Atlântico, pelo rio Amazonas, são da ordem de 1,1 a 1,3.10⁹ t.ano⁻¹.

Segundo Nordin *et al.* (1981), a distribuição de tamanho de partículas do leito do rio Amazonas, não existe nenhuma variação apreciável desde Iquitos, no Peru, até Macapá, no Brasil, isto em uma distância de 3.200 km. Entretanto, Landin *et al.* (1978), registraram que as areias do rio Amazonas próximas de Iquitos, ou seja, nos primeiros 1.300 km, são ricas em minerais instáveis, tais como “hypersthene”, augita e anfibólio; o que indica uma fonte predominantemente andina e que as areias nos 2.000 km inferiores contêm menos minerais instáveis e maior proporção de zircão e turmalina. Estudos de sedimentos em suspensão realizado por Maede *et al.* (1979), mostraram que as concentrações de sedimentos em suspensão, em secções transversais do rio Amazonas e de seus tributários, não apresentam distribuição uniforme de sedimentos em suspensão. Entretanto, os que estão entre 0,01 e 0,5 mm acham-se em maior concentração junto do fundo, e que a maior parte das variações transversais são devidas as diferenças nas concentrações de silte e argila em suspensão. Mostraram ainda, que o material do fundo, recolhido na sua maior parte por draga de sucção, é de areia fina a média em quase todas as secções transversais, desde Iquitos até à foz do rio Amazonas. E que, a distribuição granulométrica do material do fundo não varia sensivelmente em 3.300 km do curso do rio.

Em estudos sedimentológicos realizados na ilha da Marchantheria, rio Solimões/Amazonas, foi verificada a uniformidade, tanto na mineralogia, como na composição geoquímica. Sendo que as areias dessa ilha, consistem principalmente de quartzo; e o feldspato presente está em pequena proporção (IRION *et al.*, 1983). Esses autores, observaram que as frações dos grãos finos dos sedimentos consistiam principalmente de montmorilonita, illita, caulinita e clorita, isto, em adição ao quartzo e aos feldspatos. Mostraram também que a química da fração em suspensão no rio Amazonas é casualmente muito similar as frações de argilas dos sedimentos da

ilha. Esses sedimentos são ricos em nutrientes inorgânicos, e são essenciais para o bom conhecimento da fertilidade das várzeas do Amazonas.

Irion (1982), ao analisar os lagos localizados na parte Central da Amazônia Ocidental, sugeriu, que o começo da sedimentação durante o período Holocênico coincidiu com o levantamento postglacial mundial do nível do mar, devido as informações obtidas por meio do uso do carbono radioativo encontrado nesses sedimentos. Quanto à composição iônica dos minerais de argilas e a ausência de minerais autogênicos, Irion (1982) descarta a possibilidade da existência de um clima árido e que a continuidade do bosque chuvoso tropical na Amazônia Ocidental não está somente relacionada com o período Pleistocênico médio a tardio, mas também com o Holoceno. Suas conclusões não excluem a possibilidade de que nas áreas baixas mais ao Norte e Sul do rio Amazonas, as flutuações do Quaternário haviam sido suficientemente severas para modificar o caráter da vegetação.

Estimativas dos sedimentos em suspensão no rio Amazonas, foram obtidas por Meade *et al.* (1979), em Óbidos, local em que este rio apresenta uma descarga de $230.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e uma concentração de sedimentos suspensos na ordem de $235 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ e em Manacapuru, $130.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, enquanto o rio Negro apresenta uma descarga de $50.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e uma concentração de sedimentos suspensos na ordem de $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

ORIGEM DAS VÁRZEAS DO AMAZONAS

Segundo Junk (1980), as várzeas do Amazonas estendem-se dos Andes até o Oceano Atlântico com uma largura de 20 a 100 km. Sua área foi calculada por Soares (1956) em 64.000 km^2 . A explicação sugerida por Junk (1980) para a formação desta região é de que há 75.000 anos atrás, o nível do mar esteve cerca de 100 metros abaixo do nível atual, durante um período de aproximadamente 50.000 anos. Em consequência da baixada do nível do mar, o rio Amazonas e seus tributários formaram lagos de fundo de vales. A subsequente subida do mar, até o nível atual provocou um represamento dos rios nos seus próprios vales. Consequentemente, o fato de que mais de $1.000.000 \text{ km}^2$ da Bacia amazônica estão situadas abaixo da ischipse de 100 metros, este represamento teve efeito no vale do Amazonas até ao sopé dos Andes.

Depois os rios começaram a encher os seus vales afogados com sedimentos recentes, conforme sua carga sedimentaria. No caso do Amazonas, que transporta grandes quantidades de sedimentos dos Andes e da zona pre-Andina, este processo de sedimentação aparentemente, foi

completado. Foi alcançado um novo equilíbrio, que inclui amplos processos de sedimentação, e erosão nas próprias várzeas, que estão sendo modificadas permanentemente pela atividade do rio (JUNK, 1980).

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Geografia do Brasil**. Brasília, MME/DNPN, 1984, 501p.
- DAVIS, P. **The Amazon's rate of flow**. Natural History, New York, 73:14-9, 1980.
- GIBBS, J.R. **The Geochemistry of the Amazon Basin**. San Diego, 1965. 95 p. (PhD University of California).
- IRION, G. **Mineralogical and geochemical contribution to climatic history in central Amazonia during quaternary time**. Tropical Ecology, 1(2):76 - 85, 1982.
- IRION, G.; ADIS, J.; JUNK, W.J.; WUNDERLICH, F. **Sedimentological studies of "Ilha de Manchararia" in the Solimões / Amazonas River near Manaus**. Amazoniana, Kiel, 8(1):1 - 18, 1983.
- JUNK, W.J. **Áreas inundáveis: Um desafio para a limnologia**. Acta amazônica, Manaus, 10(4):775 - 815, 1980.
- KATISER, P.E. **Geologie des centeren Amazonasgebietes; des Staates Pará in Brasilien**. Leipzig, Mx. Weg, 1903.
- LANDIN, P.M.B.; BOSIO, N.J.; MEYER JUNIOR, E.A.; CASTRO, P.R.M. **Heavy minerals from Amazon riverbed**: Environmental Science, 59(4):227, 1978.
- LEINZ, V.; AMARAL, S.E. do A. **Geologia Geral**. 7. ed. São Paulo, Nacional, 1978, 397p.
- MEADE, R.H.; NORDIN JUNIOR, C.F.; CURTIS, W.F. **Sediment in rio Amazonas and some of principal tributaries during the hit-water seasons of 1976 and 1977**. In: Simpósio Brasileiro de hidrologia, 3., 1979. Doc. final. São Paulo, ABHRH, 1979. v.2, p. 472 - 85.
- MEADE, R.H.; DUNNE, T.; RICHEY, J.E.; SANTOS, U.M.; SALATI, E. **Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon River of Brazil**. Science, Washington, 228:488 - 90, 1986.
- NORDIN JUNIOR, C.F.; MEADE, R.H.; CURTIS, W.F.; BOSIO, N.J.; LANDIN, P.M.B. **Distribuição do sedimento do leito do rio Amazonas; nenhuma mudança apreciável rio abaixo**. Acta amazônica, Manaus, 11(4):769 -72, 1981.
- OLIVEIRA, A.S.; LEONARDO, O.H. **Geologia do Brasil**. Rio de Janeiro, M.A., 1943.
- OLTMANN, R.E. **Reconnaissance investigations of the discharge and water quality of the Amazon**. In: Simpósio Sobre a Biota amazônica, 3., Rio de Janeiro, 1967. Atas Rio de Janeiro, CNPq, 1967. p.163 - 86.
- RICHEY, J.E.; MAEDE, R.H.; SALATI, E.; DEVOL, A.H.; NORDIN, C.F.; SANTOS, U.de M. **Water discharge and suspended sediment concentration in the Amazon River 1982 - 1984**. Water Resource Research. (s.d.).
- SIOLI, H. **A Limnologia e a sua importância em pesquisas da Amazônia**. Amazoniana, Kiel, 1(1):11 - 35, 1965.
- SOARES, L. de C. **Excursion guidebook of the eighteenth international geographical congress**, Rio de Janeiro, s. ed., 1956. 216p.

2. Aspectos Físicos da Bacia amazônica

Sergio Roberto Bulcão Bringel¹, Ana Rosa Tundis Vital Trigo²,
Maria do Socorro Rocha da Silva³

¹ Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e Professor da Universidade do Estado do Amazonas. E-mail: bringel@inpa.gov.br

² Pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. E-mail: artvital@inpa.gov.br

³ Pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. E-mail: ssilva@inpa.gov.br

INTRODUÇÃO

Na hidrografia da maior Bacia Hidrográfica do mundo temos 6x10⁶ km², 209 000 m³ /s, correspondendo a 5% das terras emersas e aproximadamente 20% do total da água doce que aporta aos oceanos (HIBAM, 1995). Destacam-se inúmeros rios e lagos, que apresentam os cursos sensivelmente retilíneos e, não raro, com acentuado paralelismo entre si (ANDRADE e CUNHA, 1971).

O rio Amazonas nasce a 5.300 metros de altitude, na montanha Nevado Mismi, nos Andes peruanos e percorre uma extensão de 6.885 km até a sua foz recebendo águas aproximadamente de 1100 tributários. Dos afluentes da margem direita, os mais importantes são: Huallaga, Ucayali (no Peru); Javari, Jutaí, Juruá, Purus, Madeira, Tapajós e Xingu (no Brasil). Pela margem esquerda: Pastaza, Napo (no Peru); Içá, Japurá, Negro, Trombetas, Paru e Jari (no Brasil) (SILVA, 2013).

A grande diversidade de ecossistemas aquáticos existentes na Bacia amazônica, principalmente na Amazônia central, apresenta composição química que varia em função da geologia e dos constituintes químicos que compõem as águas, que dão formação a essas Bacias Hidrográficas. Um exemplo típico da divergência na composição química, pode ser observado na faixa da margem esquerda do rio Negro que sofre influência do rio Branco. Proveniente de região geológica diferente da do rio Negro e apresentando composição química e físico-química diferente, o rio Branco promove a fertilização das águas e a sedimentação no rio Negro, resultando na formação do arquipélago das Anavilhanas (LEENHER e SANTOS, 1980; BRINGEL, 1989). A região amazônica, tem sido objeto de estudos por vários pesquisadores, principalmente a Amazônia central, onde destacamos os trabalhos realizados na área da hidroquímica (SIOLI, 1950; 1956 a e b; GIBBS, 1965; SALATI e RIBEIRO, 1979; SANTOS, 1980; STALLARD e EDMOND, 1983; BRINGEL *et al.*, 1984; SANTOS *et al.*, 1984; SANTOS *et al.*, 1985 e BRINGEL, 1989). Esses autores nos dão uma visão da hidrologia, geografia, geologia, solos, clima e vegetação e

suas interações com o meio ambiente, mostrando que o quimismo dos principais ecossistemas aquáticos da região do rio Negro, apresenta um equilíbrio dinâmico, porém com uma fragilidade: quaisquer alterações nas suas características físicas, físico-químicas e químicas, pode levar à ruptura desse equilíbrio.

GEOGRAFIA DA BACIA AMAZÔNICA

Apresentando uma configuração clássica, a Bacia amazônica é formada de extensas planícies ladeadas de terras elevadas. Ao Leste encontra-se a cordilheira dos Andes, com altitudes de 3.000 a 7.000 m, ao Norte destaca-se o escudo das Guianas com altitudes variando de 200 a 500 m, ao Sul, o escudo Brasileiro, também com altitudes de 200 a 500 m.

A exata definição dos limites geográficos da Bacia amazônica é bastante difícil, uma vez que o termo Amazônia é empregado num sentido amplo. Assim, por vezes, o termo Amazônia é utilizado para identificar a região Norte do Brasil, muito embora, como região natural, ela estenda-se por vários outros países da América do Sul: ao Norte pelas duas Guianas e o Suriname, a Leste pela Venezuela, Colômbia, Equador, Peru e Bolívia. Por outro lado, a Amazônia também é identificada como uma área que compreende a Bacia de drenagem do rio Amazonas. No entanto, em algumas regiões, a Amazônia ultrapassa os divisores de água desta Bacia e dos seus principais tributários (Xingu, Tapajós e Tocantins), os quais tem suas cabeceiras situadas no cerrado brasileiro.

A Bacia amazônica tem o rio Amazonas como o principal rio de descarga, com seus principais formadores os rios Ucayali e Marañon, no Peru. Existem divergências quanto aos seus limites. Gibbs (1965), não considera o rio Tocantins como tributário do Amazonas. O autor informa que a Amazônia tem uma área de 6.300.000 km² e seus principais rios são: Amazonas, Solimões, Negro, Branco, Madeira, Purus, Juruá e Japurá. Stallard e Edmond (1983) atribuem como seus principais tributários no lado brasileiro, os rios Juruá, Purus, Madeira, Tapajós, Xingu, pela margem direita enquanto os da margem esquerda, são os rios Iça, Japurá, Negro e Trombetas. Tem um sentido direcional Oeste - Leste totalizando 6.771 km, paralela à linha do Equador, desaguardo no Oceano Atlântico (Figura 1).

Por outro lado, Sioli (1984), considera o rio Tocantins como afluente do rio Amazonas. E assim, a Amazônia, como unidade paisagística natural, compreende uma área de 7.050.000 km². Esta pequena diferença, mostra que Sioli, considera que o rio Tocantins faz parte da Amazônia

como um todo, estendendo-se do meridiano 79° W Gr., abrangendo o rio Chamaya, no Peru, até o de 46° Gr., no rio Palma, Goiás, no Brasil e o paralelo de 5° N Gr, no rio Cotingo, em Roraima, Brasil, até 17° S Gr., situado no Alto Araguaia em Mato Grosso, Brasil (Figura 2).

Devemos lembrar que os rios Solimões e Amazonas, são nomenclaturas, e devem ser considerados como um único rio, cuja nascente encontra-se nos Andes e antes de chegar ao Oceano Atlântico, recebe as descargas do rio Tocantins, perfazendo 7.100 km de sua nascente até a foz.

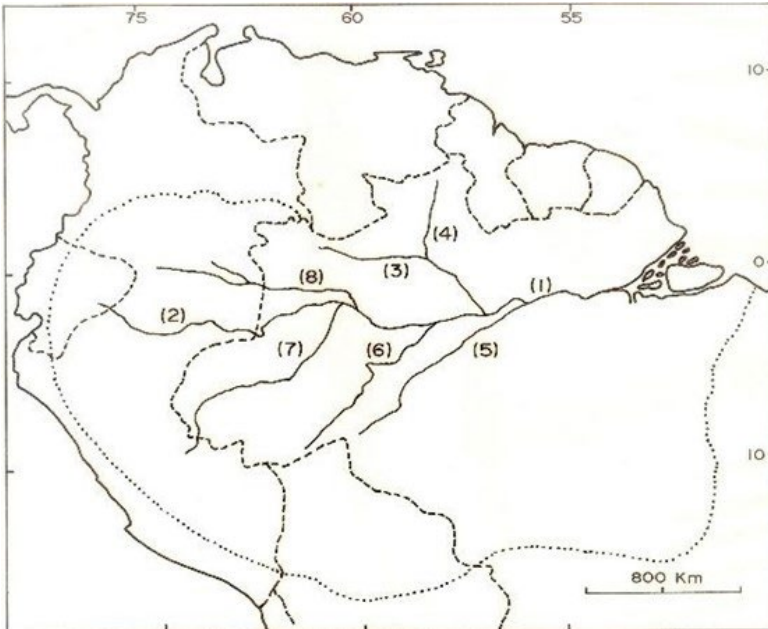


Figura 1. Bacia amazônica: (1) Rio Amazonas; (2) Rio Solimões; (3) Rio Negro; (4) Rio Branco; (5) Rio Madeira; (6) Rio Purus; (7) Rio Juruá e (8) Rio Japurá. A Linha Pontilhada Representa os Limites da Bacia amazônica. Fonte: Gibbs (1965).

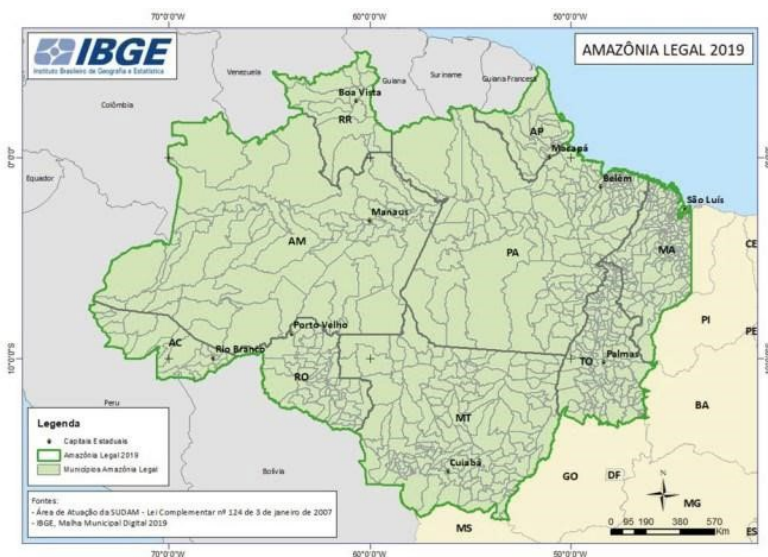


Figura 2. Amazônia Legal. Fonte: Área de Atuação da Sudam. IBGE, Malha municipal Digital, 2019. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html?e=et=0-que-e>. Consulta em 20 de agosto de 2021.

RELEVO DA BACIA AMAZÔNICA

O relevo atual da Bacia amazônica acha-se intimamente relacionado a processos geológicos na era quaternária, principalmente as variações no nível do oceano devido às glaciações (IRION, 1984a). Porém, Klammer (1984), classifica as principais unidades de relevo da Bacia amazônica em ordem decrescente de suas idades:

- O “plateau” de deposição conhecido como argila Belterra;
- Um relevo de suave erosão descendo o platô até uma altitude de aproximadamente 80 m, acima do nível atual dos rios e;
- Um grupo de 9 a 10 várzeas fosseis estendendo-se da altura de 80 m até o presente nível do mar (Figura 3).

A argila Belterra tem altitudes aproximadas de 100 m a 250 m acima do nível do mar na região central da Amazônia. Ao se distanciar do rio Amazonas este platô pode atingir 300 m de altitude. Sombroek (1966), ao estudar essas argilas, atribuiu a origem marinha-lacustre, sendo depositadas durante a formação de um grande lago, originado pelo represamento dos rios devido à subida do nível do mar durante o período de transição entre a Era Terciária e a Quaternária. Já Irion (1984a), atribui a formação da argila Belterra, aos produtos de intemperismo da formação Barreiras, cujos sedimentos foram depositados durante o Terciário.

Grande parte dos terrenos, que na Amazonia são conhecidos porterra-firme, constituem, segundo Klammer (1984), as várzeas fosseis, que atualmente se encontram modeladas em função de sua litologia e estrutura e que o grau de dissecação é um reflexo de sua idade.

As várzeas mais jovens da Amazônia, que se situam próximas aos canais dos grandes rios, tem sua origem no Holoceno (JUNK, 1984 e IRION, 1984a e b). Durante a glaciação de Wurmian (18.000 anos), houve consequentemente um abaixamento do nível do mar de cerca de 130 m. Desta forma os vales do canal principal e o baixo curso de seus tributários foram intensivamente erodidos, e os sedimentos depositados durante o final do Terciário e durante o Pleistoceno. Com o fim dessa glaciação houve

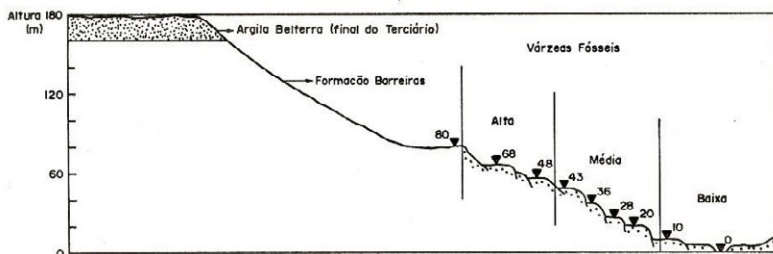


Figura 3. Eventos de Deposição e Erosão na Bacia amazônica e Formação do Relevo Atual. Fonte: Klammer (1984).

um rápido aumento no nível do mar até 125 m, havendo a formação de um grande lago devido ao represamento dos rios onde estão localizadas as várzeas atuais (SIOLI, 1975; IRION, 1984a e KLAMMER, 1984).

CLIMA E HIDROLOGIA NA REGIÃO AMAZÔNICA

Estudos realizados por Salati *et al.* (1984), indicam que a Amazônia recebe no limite superior da atmosfera um máximo de $875 \text{ cal.cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, entre janeiro e dezembro e um mínimo de $730 \text{ cal.cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ em junho e julho, sendo que 50 % dessa quantidade chega à superfície.

Quanto ao regime de temperatura, toda a região Norte do Brasil, na qual está contida 70 % da Bacia amazônica, possui domínio climático quente, sendo os principais subdomínios climáticos, o super úmido e o úmido. O super úmido domina a porção Oeste da Bacia, grosseiramente a parte de Manaus, onde o tipo climático é o equatorial, já na posição Leste da Bacia a partir de Manaus, domina o úmido, com tipo climático tropical.

A distribuição de precipitação na Bacia é, sensivelmente, menos uniforme (Figura 4). O movimento meridional do Sol entre os paralelos $23^{\circ}27'$, cruzando a linha do Equador duas vezes por ano em intervalos de seis meses conjuntamente com a fonte de água e ar quente que é o Oceano Atlântico, são os principais fatores que determinam os padrões de clima e conseqüentemente a pluviosidade da região amazônica (SALATI *et al.*, 1984; SALATI, 1987).

Estima-se que a quantidade média de vapor de água armazenado na atmosfera (água precipitável) é da ordem de 35 mm, enquanto a média mundial é de 28 mm, conferindo à região condições isotérmicas, com alta pluviosidade. Estudos relatam, que a pluviosidade anual, é maior na costa Norte com valores acima de 3.250 mm, sendo que esse valor decresce em direção a Amazônia central atingindo um mínimo de 1.750 mm, e que a partir da Amazônia central, a quantidade anual de precipitação começa a aumentar, desta feita em direções Nordeste e Sudeste. Na direção Nordeste, encontraram-se os maiores índices, ficando em torno de 3.500 mm, e a Sudeste esses valores são menores alcançando 2.250 a 2.500 mm. Porém, esses índices podem chegar à $5.000 \text{ mm.ano}^{-1}$, na região Andina (SALATI, 1987).

Trabalho realizado numa reserva florestal a 26 km de Manaus (Reserva Florestal Adolfo Ducke), durante o período de 1965 a 1973, apresentou um valor médio da precipitação de 2.478 mm e de 1.536 mm para a evapotranspiração. Sugere que 62 % da água precipitada voltam à atmosfera e 38 % ficam no sistema e/ou saem do mesmo por escoamento

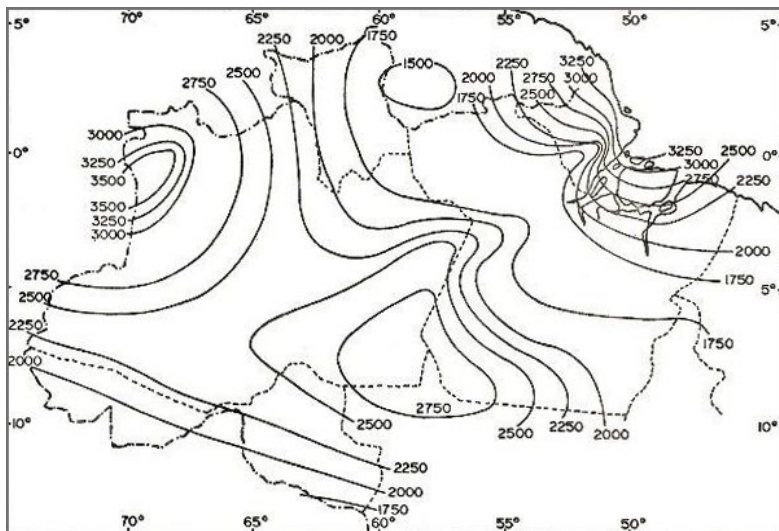


Figura 4. Distribuição Anual da Precipitação na Região amazônica. Fonte: Salati *et al.* (1984).

superficial. Leopoldo *et al.* (1982), informam que 74 % da precipitação que atinge o dossel da floresta, é evapotranspirado, e o restante 26 %, é perdido por escoamento. O valor absoluto da precipitação observada foi de 2.088,9 mm e da evapotranspiração de 1.548,2 mm. No Alto Rio Negro, foi observado que 52% da precipitação é evapotranspirada e 48% deixam a Bacia pelo escoamento superficial. Nessa região, na localidade de São Carlos do Rio Negro, a precipitação apresenta-se como a mais elevada na ordem de 3.664 mm.ano⁻¹, enquanto nas áreas da Amazônia central, observam-se precipitações na ordem de 2,214 mm.ano⁻¹ (JORDAN e HEUVELDOP, 1981).

Considerando-se a Bacia como um todo, verifica-se que 48 % da precipitação (2.379 mm.ano⁻¹) é evapotranspirada e 52 % é escoada pelo rio Amazonas (MOLION e MORAES, 1987; MOLION, 1993). Resultados semelhantes (MARQUES *et al.*, 1981), mostram uma precipitação na ordem de 2.328 mm.ano⁻¹, contribuindo para uma evapotranspiração de 54 %. E que através da precipitação, a Bacia recebe 11,87.10¹² m³.ano⁻¹ e, através da descarga do rio Amazonas, deixam o sistema 5,44.10¹² m³.ano⁻¹.

Pelos trabalhos climatológicos até agora realizados na região amazônica, podemos caracterizá-la, por altas temperaturas com baixa amplitude térmica, onde predomina o clima quente e úmido. Apresenta uma precipitação bastante elevada durante o ano, em média 2.200 mm (SALATI, 1987), com uma ciclagem interna de vapor de água bastante intensa, sendo a massa total desse vapor constituída de 50 % de origem marinha (Oceano Atlântico) e 50 % de origem da própria Bacia, através da evapotranspiração.

A GRANDE FLORESTA AMAZÔNICA

Apesar da Região amazônica constituir-se na mais vasta região de floresta tropical, sua flora é pouca conhecida. Destacam-se os trabalhos de Spruce (1908), Gates (1927), Gunther (1931), Ule (1947), Soares (1948), Kuhlmann (1957), Veloso (1962 e 1966), Pires (1957, 1966 e 1973), Rizzini (1967) e Sioli (1967). Foi Sioli (1968a e b), quem caracterizou ecologicamente essa região.

TIPOS FISIONÔMICOS DA FLORESTA AMAZÔNICA

Grande parte de área coberta pela floresta amazônica tem uma fisionomia extremamente uniforme, mas no seu interior há uma riqueza de diversificação botânica que varia com as condições locais, como as precipitações pluviométricas, as alterações anuais nos níveis dos rios e outros fatores ecológicos.

Segundo Pires (1966 e 1973), a floresta amazônica é coberta por 90% de floresta de terra-firme (terras não inundadas), de determinados tipos, não tendo uma distribuição uniforme. Essa diferença é devida em parte, à grande variedade de espécies de árvores, e mais ainda à diversidade das características de solo, de profundidade e facilidade de drenagem, de profundidade e flutuação do lençol freático e dos microclimas. Na Figura 5, mostram-se os vários tipos de vegetação existentes na região Norte do Brasil.

A FLORESTA DE TERRA FIRME

Cobrindo 90 % da floresta amazônica, situa-se nas terras altas e não alagadas. Fisionomicamente é uniforme em toda a sua extensão, mas há uma grande variedade na composição das espécies de uma área para outra, constituindo diferentes tipos de florestas. Essas florestas podem ser subdivididas em:

- a. Floresta elevada com grande biomassa, cobertura relativamente esparsa do terreno. Árvores altas, copas fechadas, lianas grossas, lenhosas e pouco numerosas;
- b. Floresta baixa com biomassa reduzida, relacionada com a altura, solo, declividade do terreno, cobertura espessa, árvores baixas e um maior número de plantas endêmicas;
- c. Floresta de cipó, com biomassa média e totalmente entrelaçada de lianas, situada entre os rios Xingu e Tocantins; tende à formação de bambuzais e possui muito pouco epífitas;

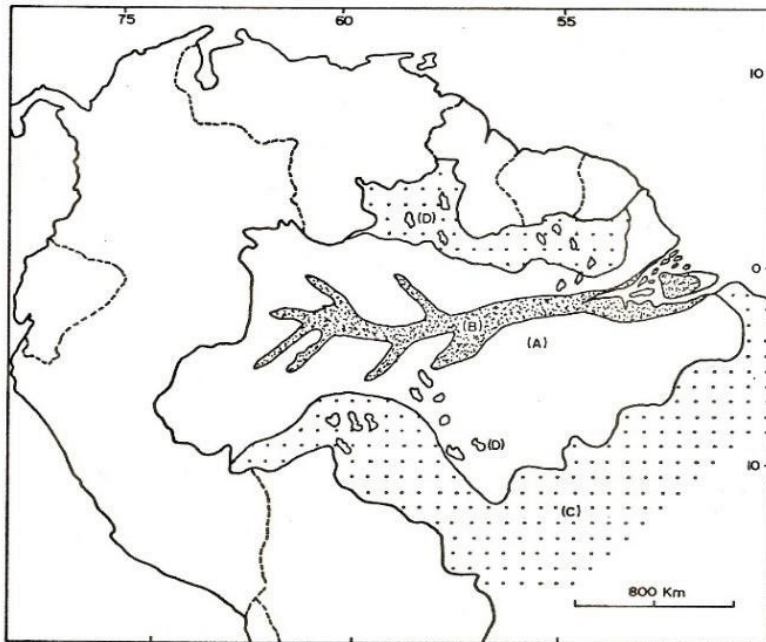


Figura 5. Tipo de Vegetação na Região Norte (Amazônia). (A) Floresta de Terra Firme; (B) Floresta de Várzeas; (C) Floresta Subcaducifolia e (D) Campo. Fonte: Kuhlmann (1977).

- d. Floresta de campina (caatinga amazônica), um tipo de floresta baixa e cerrada, um solo de areia branca, intermediário entre a floresta alta e a campina. Possui uma flora característica, na qual se incluem muitas plantas endêmicas. A floresta de campina (caatinga) do alto rio Negro tem um endemismo e uma diversificação vegetal muito superior aos de outras do mesmo tipo situadas no Baixo rio Negro, próximo de Manaus;
- e. Floresta seca, com biomassa média, alta penetração de luz no terreno, abundância de cipós e grande número de árvores cuja folhagem cai periodicamente. Esse tipo de vegetação representa uma transição entre a floresta alta e as variações de cerrados, cerradão do Brasil Central, sendo comum no Mato Grosso (SOARES, 1948c; PIRES, 1957; 1966 e 1973; RIZZINI, 1967; SIOLI, 1967 e 1968a; KUHLMANN, 1977).

FLORESTA DE VÁRZEAS

Esse tipo de vegetação é encontrado em solos periodicamente alagados. A duração do período de alagamento varia de acordo com a altura em que a floresta se situa acima do nível do rio. A floresta, que é alagada anualmente, apresenta uma considerável diferença na composição das espécies em comparação com a de terra-firme, achando-se a maioria de suas espécies adaptadas tanto a um tipo quanto ao outro de floresta. A

floresta de várzeas apresenta menor diversidade de espécies do que a de terra-firme (PIRES, 1966 e 1973; SIOLI, 1968a).

Nas florestas de várzeas altas o terreno tem cobertura esparsa, sendo comum a presença de raízes respiratórias (pneumatoforos). Esse tipo de floresta é, geralmente, mais baixa do que a de terra-firme, apresentando algumas árvores gigantescas como a sumaúma (*Ceiba pentandra*) (PIRES, 1966 e 1973; SIOLI, 1968a).

Nas florestas inundáveis de várzeas (Tabela 1), o teor do conteúdo dos elementos nutritivos N, P, Ca, Mg e K é mais alto que os verificados na floresta de igapó (KLINGE *et al.*, 1983). Sendo que suas concentrações são variáveis de acordo com as espécies que constituem essa vegetação. Um exemplo: é o caso da ilha da Marchanteria, em que, na floresta de várzea existente, encontra-se várias espécies, com composição química diferente.

Tabela 1. Conteúdo de Ca, Mg, Na, K, N e P, nas Florestas Inundáveis de Várzeas. Fonte: Klinge *et al.* (1983).

ESPÉCIES	ELEMENTOS NUTRITIVOS (ppm)					
	Ca	Mg	Na	K	N	P
<i>Boraginaceae</i> (Munguba)	15.887	3.992	156	31.286	35.000	2.260
<i>Boraginaceae</i> (Munguba)	23.702	2.876	107	8.463	35.500	1.60
<i>Meliaceae</i> <i>Pichilia</i> sp	26.417	6.716	35	6.683	17.800	1.72
<i>Guttiferae brasiliense</i> (Mart.) Pl.et.Tr)	13.930	2.433	58	13.732	14.600	1.510

FLORESTA DE IGAPÓ

É o tipo de vegetação que ocorre em solo permanentemente alagado, ou com água estagnada durante pelo menos uma parte do ano. Geralmente o solo e a água são bastante ácidos (SIOLI, 1956b; SIOLI e KLINGE, 1962). Sua vegetação é altamente específica e apresenta menor diversidade de espécies, ocorrendo, porém, endemismo em muitos igapós isolados (PIRES, 1966 e 1973).

As raízes de escoras e as respiratórias são mais numerosas. Alguns igapós tornam-se secos e se transformam em praias durante uma pequena parte do ano, mas, o terreno não é adequado para sustentar uma floresta de várzeas (PIRES, 1966 e 1973; SIOLI, 1968a).

Nas florestas inundáveis de igapó, o conteúdo de elementos nutritivos, tais como, Ca; Mg; Na e K, são mais baixos que os das florestas de várzeas (KLINGE *et al.*, 1983). Sendo que as concentrações são variáveis e dependem das espécies existentes nessas áreas (Tabela 2).

Tabela 2. Conteúdo de Ca, Mg, Na, K, N e P, nas Florestas Inundáveis de Igapó. Fonte: Klinge *et al.* (1983).

ESPÉCIES	ELEMENTOS NUTRITIVOS (ppm)					
	Ca	Mg	Na	K	N	P
<i>Leguminosae Macrolobium</i> (DC). Benth.	5.497	2.009	105	9.943	25.500	1.100
<i>Leguminosae Aldina latifolia</i> var. <i>latifolia</i> Spruce ex Benth.	1.330	1.236	20	3.565	24.300	400
<i>Sapotaceae Franchetella crassifolia wawra</i> (Radik) J.M.Pires	660	372	41	5.794	12.700	360
<i>Theaceae Ternstroemia</i> Andolliana	1.583	1.310	65	13.120	12.200	160

CONSIDERAÇÕES GEOLÓGICAS SOBRE A AMAZÔNIA

Com base nos estudos realizados por Putzer (1984); Schubart (1983) e Sioli (1975), podemos definir geologicamente a Bacia amazônica, como uma Bacia sedimentar intercratonica formada entre os escudos Brasileiro e das Guianas. Já Stallard e Edmond (1983), sugerem quatro zonas morfoestruturais bem definidas: escudo Pré-cambriano (Brasileiro e das Guianas); Bacia amazônica; a Cordilheira dos Andes e a depressão Sub-Andina (Figura 6).

A base de toda Bacia é formada por rochas cristalinas da era pré-cambriana. Essas rochas, encontram-se nos limites Norte e Sul da Bacia, sendo que ao Norte, formam o escudo das Guianas, constituídos de rochas ígneas e metamórficas de composição ácida à intermediária (PUTZER,

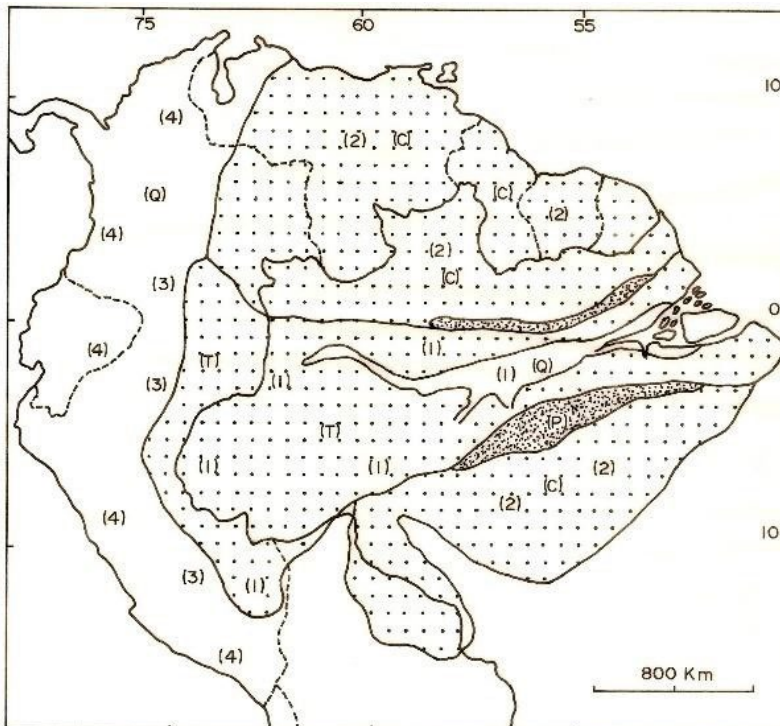


Figura 6. Principais Unidades Geológicas e Geomorfológicas da Bacia amazônica: (T). Terciário; (Q). Quaternário; (C). Pré-cambriano e (P). Paleozoico. Unidades Geomorfológicas: (1) Bacia amazônica; (2) Escudo Cristalino; (3) Depressão Sub-andina e (4) Cordilheira dos Andes. Fonte: Stallard e Edmond (1983).

1984; STALLARD e EDMOND, 1983). Ao Sul, está o escudo Brasileiro, que é bastante similar ao das Guianas. Estas plataformas cristalinas avançam do Norte e do Sul em direção à depressão amazônica, cobertas de sedimentos recentes (KLAMMER, 1984). O limite Oeste da Bacia, está na Cordilheira dos Andes, que surgiu na era cenozoica. Sendo mais recente que os escudos cristalinos, apresenta uma litologia bastante complexa, composta por argilitos, carbonatos, arenitos e sedimentos fúlvio-lacustres (STALLARD e EDMOND, 1983).

Historicamente, a formação da Bacia amazônica é bastante antiga, data da era paleozoica (420 milhões de anos), quando não havia ainda surgido a cordilheira dos Andes, a África e a América do Sul formavam um único continente. A depressão situada entre os dois escudos cristalinos foi invadida pelo mar através de transgressões no sentido Oeste para Leste, pelo menos três vezes durante os 2300 milhões de anos de duração dessa era. Desta forma alternaram-se períodos de sedimentação e erosão (PUTZER, 1984; SIOLI, 1975). Atualmente, estes sedimentos só não foram cobertos em duas estreitas faixas que margeiam os escudos cristalinos na região do Baixo Amazonas. A era mesozoica foi um período de desnudação, tendo no Cretáceo, ocorrido intrusões de diabásico através de fraturas da crosta, quando da formação do Oceano Atlântico. Schubart (1983) afirma que nessa era houve deposição de sedimentos fúlvio-lacustres.

Nesta fase, havia duas Bacias distintas; uma onde o padrão de drenagem era semelhante ao que ocorre atualmente, ou seja, os rios percorriam predominantemente o sentido Oeste-Leste (SCHUBART, 1983); na segunda Bacia situada na região de Iquitos (Peru), os rios drenavam para o Pacífico, no sentido Leste-Oeste. No final da era terciária, no período Mioceño, houve a elevação dos Andes; conseqüentemente, os rios que corriam em sua direção foram bloqueados, passando a fluir em sentido contrário, ou seja, de Leste para Oeste (GIBBS, 1965; SIOLI, 1975; PUTZER, 1984).

Seguiu-se um período de deposição de sedimentos de origem Fúlvio-lacustre, constituído principalmente de silte-argila, originando a formação Barreiras (Alter do Chão). Durante o período Plioceno e toda a era quaternária, devido a oscilações do nível do mar ocasionadas pelas glaciações, os rios da Bacia amazônica alternaram períodos de deposição com períodos de erosão, formando extensas planícies de inundação e estabelecendo o atual padrão de drenagem (JUNK, 1984; SIOLI, 1975; KLAMMER, 1983).

OS SOLOS DA REGIÃO AMAZÔNICA

Sanchez *et al.* (1982), atribuem que 75 % dos solos da Amazônia são ácidos e inférteis, principalmente os Oxisols e Ultisols segundo a classificação americana ou Podzolicos e Latossolos, pela classificação brasileira; 15 % da área é dominada por solos aluviais pouco drenados, que pela classificação americana, são os Aquepts, Aquepts e Gleysols. Os solos moderadamente férteis e bem drenados, constituem 8 % da área e são classificados como Alfisois, Molisois, Vertisois, Tropopst e Fluvents, e os 3 % restantes são arenosos de baixíssima fertilidade, classificados como Spodosols, Psamments e Podsols.

Devido aos diversos tipos de solos existentes na Bacia amazônica e com base nos estudos de Sanchez *et al.* (1982), tem-se que 90 % são deficientes em fósforo; 73 % apresentam toxicidade de alumínio; 56 % sofrem inundações periódicas e drenagem deficiente; 16 % apresentam baixa Capacidade de Troca de Cátions; 15 % evidenciam alta erodibilidade; 67 % têm capacidade de formação de laterita, caso haja exposição do subsolo. Com isso, evidencia-se que as maiores limitações dos solos da Amazônia, são de origem química e física, deve-se ressaltar que somente 6 % da área (32 milhões de ha), é constituída de solos sem maiores limitações para a agricultura.

Stallard e Edmond (1983), relacionam os três maiores tipos de solos, com áreas de diferentes climas e vegetação: As Savanas que ocorrem na região Nordeste e Sul, onde os solos tendem a ser cauliniticos com níveis variáveis de sesquióxidos de alumínio, e apresentam um maior período seco em relação às outras regiões; na parte Central da Bacia, estão localizados os solos predominantemente cauliniticos com médios teores de quartzo; e a região de Campina-Caatinga, com um menor período seco, onde os solos são bastante ricos em quartzo, com ocorrência de caulinita e sesquióxidos de alumínio.

Com base nos estudos realizados nas formações geológicas dos escudos Cristalinos e da formação Barreiras, Irion (1978), relaciona os solos da Bacia amazônica à essas formações, que de uma maneira geral, são solos formados por rochas cristalinas de textura grosseira, com alta permeabilidade. São originalmente ricos em feldspatos e, devido à alta pluviosidade, os perfis encontram-se altamente intemperizados com formação de caulinita a partir dos feldspatos. São solos ácidos e de baixa fertilidade, onde a soma de cátions (Ca, Mg, Na e K), apresenta-se normalmente baixa. Irion (1976) atribui que esses solos são constituídos por 90 % de caulinita e

que os solos dos escudos cristalinos, são geralmente mais ricos que os da formação Barreiras.

Estudos realizados na parte Oeste da Bacia sedimentar da Amazônia, por Sombroek (1966), evidenciam que os solos aí existentes são menos intemperizados que os da parte Leste, uma vez que são predominantemente formados de materiais andinos, sedimentos marinhos e cinzas vulcânicas. Esse autor faz uma classificação dos solos dessa região baseando-se na existência ou não de diferenciação textural. Atribui que os solos com diferenciação textural ocorrem mais para a parte Sudeste do Brasil e na Colômbia, Peru e Bolívia. São solos ácidos, constituídos de minerais de argilas, como a illita em adição a caulinita e sesquióxidos, apresentam ainda uma Capacidade de Troca de Cátions relativamente alta, onde o horizonte B-textural, ou argilito, apresenta baixa atividade de argila (Podzólico Vermelho-Amarelo, álico, atividade de argila baixa ou Paleudults de acordo com a classificação americana), ou ainda, alta atividade de argila (Podzólico Vermelho-Amarelo, álico, atividade alta ou Tropudults, segundo a classificação americana).

Nos escudos Cristalinos Pré-cambrianos, situados na parte Norte e Sul da Bacia amazônica, encontram-se os solos cujas características são bastante variadas. Alguns desses solos são semelhantes àqueles encontrados na planície amazônica (formação Barreiras), como os Latossolos Vermelho-Amarelo, álico (Haplortx, pela classificação americana). Outros, são os solos fisicamente semelhantes, entretanto, sua fração argila apresenta uma grande percentagem de óxido de ferro, devido à rocha-mãe (basaltos e rochas sedimentares de ferro-magnésio). Esses solos são conhecidos como Terra-Roxa Estruturada (Paleudalfs, na classificação americana) conforme esclarece Sombroek (1966).

Irion (1976), atribui que os solos das áreas Paleozoicas são menos intemperizados se comparados com os solos formados sobre a formação Barreiras, devido à menor impermeabilidade das rochas sedimentares do Paleozoico. Ressalta que a mica nesses solos, apresenta-se ainda relativamente bem preservada, enquanto os feldspatos, já foram totalmente intemperizados, resultando na formação de caulinita. Irion (1978), observa que nas primeiras camadas, esses solos estão compatíveis, com os solos que ocorrem na formação Barreiras e nos escudos cristalinos e que entre 1,5 e 5 metros, ocorre um intemperismo parcial da illita, aumentando o conteúdo de magnésio e potássio.

Os solos que se encontram sobre os depósitos Cretáceo-Terciário, na parte Sudoeste da Amazônia, foram relacionados por Sombroek (1966),

como pertencentes à parte Oeste e não apresentam gradiente textural significativa. São solos mais ricos em minerais e menos uniformes, se comparados com os da formação Barreiras, sendo constituídos por sedimentos de textura fina resistente à infiltração da água e pouco drenados (IRION, 1976 e 1978). O resultado da intemperização desses solos, é, geralmente, a montmorilonita de baixa atividade (IRION, 1984a e b).

Os solos que se encontram sobre as várzeas Quaternárias, são provenientes dos sedimentos transportados pelos rios e que são depositados nas suas margens durante a época das cheias. Geologicamente podem ser divididos em várzeas formadas no Pleistoceno (formação mais antiga) e as várzeas formadas no Holoceno (formação mais nova). Essas formações são derivadas das flutuações do nível do mar e rios quando das glaciações que ocorreram nesses períodos. A área que é coberta pelas várzeas Pleistocênicas é de aproximadamente 3.400.000 km², enquanto as várzeas Holocênicas ocupam uma área de 64.000 km² (IRION, 1978).

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C.A.C.; CUNHA, F.M. 1971. Revisão geológica da Bacia paleozoica do Amazonas. In: **Anais Congresso Brasileiro de Geologia**, 1971, São Paulo. São Paulo: SBG. p. 93-112.
- BRINGEL, S.R.B.; SANTOS, U. M.; RIBEIRO, M.N.G.; BERGAMIN FILHO, H. Bacia do rio Parauari-Maues Açú. I. Aspectos químicos devidos às alterações hidrológicas da Bacia. **Acta amazônica**, Manaus, 14(1- 2):77 - 85, 1984.
- BRINGEL, S.R.B. **Caracterização Química dos Sedimentos de Lagos de várzeas da Amazônia Central**. Tese Apresentada à Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, para Obtenção do Título de Doutor em Ciências, Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas. Piracicaba-São Paulo, 1989, 196p.
- GATES, R.R. **A botanist in the Amazon valley; an account of the flora and fauna in the land of floods**. London, Witherby. 1927. 203p.
- GIBBS, J.R. **The Geochemistry of the Amazon Basin**. San Diego, 1965. 95 p. (PhD University of California).
- GUNTHER, K. **A naturalist in Brazil**. Boston, Mifflin, 1931, 339 p.
- HIBAM - **Hidrologia da Bacia amazônica, Terceira Campanha de medições de vazão e amostragem de água e sedimento na Bacia do rio Madeira e no rio Amazonas**. Lapaz, Porto Velho, Santarém, junho 1995, Brasília, dezembro de 1995.
- IRION, G. Mineralogisch-geochemische untersuchungen na der polifischen fraktion amazonischer oberboden und sedimente. **Biographic**, Washington, 7:7 - 25, 1976.
- IRION, G. Soil infertility in the Amazon rain forest. **Naturwissenschaften**, Berlin, 65:515 - 19, 1978.
- IRION, G. Sedimentation and sediments of Amazonia River and evolution of the Amazonian landscape since pliocene times. In: SIOLI, H. ed. **The Amazon; Limnology and landscape ecology of a mighty tropical and its basin**. Dordrecht, W. Junk, 1984a. 763 p. (Monographies biological)

- IRION, G. Clay minerals of Amazonian soils. In: SIOLI, H. ed. **The Amazon limnology and landscape ecology of a might tropical river and its basin**. Dordrecht, W. Junk, 1984b, p.537 - 77.
- JORDAN, C.F.; HEUVELDOP, J. The water budget of an Amazonian rain forest. **Acta amazônica**, v.11, p.87-92, 1981.
- JUNK, W.J. Ecology of the várzea floodplains of Amazon white-water river. In: SIOLI, H. ed., **The Amazon limnology and landscape ecology of a might tropical river and its basin**. Dordrecht, W. Junk, 1984, p. 271 - 293.
- KLAMMER, G. The relief of the extra Andian Amazon basin. In: SIOLI, H. ed. **The Amazon limnology and landscape ecology of a might tropical river and its basin**. Dordrecht, W. Jung, 1984, p. 49 - 83.
- KLINGE, H.; FURCK, K. & REVILLA, J. Foliar nutrient levels of native tree species from central Amazonia. I. Inundation forest. **Amazoniana**, Kiel, 9(1): 19 - 45, 1983.
- KUHLMANN, E. Vegetação. In: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geografia do Brasil. **A Grande Região Norte**, Rio de Janeiro, 1957, p.59-90
- LEENHER, J.A.; SANTOS, U.M. Considerações sobre os processos de sedimentação na água preta ácida do rio Negro (Amazônia Central). **Acta amazônica**, Manaus, 10(2):343 - 55, 1980.
- LEOPOLDO, P.R.; FRANKEN, W.; SALATI, E. Balanço hídrico de pequena Bacia hidrográfica em floresta amazônica de terra firme. **Acta amazônica**, 12 (2): 333-337, 1982.
- MARQUES, J., E.; SANTOS, J. M. Cálculo da evapotranspiração real na Bacia amazônica através do método serológico. **Acta amazônica**, 10(2):357-361, 1981.
- MOLION, L.C.B.; MORAES, J. C. Oscilação Sul e descarga de rios na América do Sul Tropical. *Rev. Bras. Eng.*, 1987, 5, 53-63.
- MOLION, L. C. B. Amazonian rainfall and its variability. In: **Hydrology and Water Management in the Humid Tropics**. Edited by M. Bonel, M. M. Hufschmidt, and J. S. Gladwell, 1993, pp. 99-111, Cambridge University Press, Cambridge.
- PIRES, J.M. Noções sobre ecologia e fitogeografia da Amazônia. **Norte Agrônomo**, Belém, 3(3):37 - 54, 1957.
- PIRES, J.M. Tipos de Vegetações que ocorrem na Amazônia (cerograph.). In: **Atas 2 Simpósio sobre a Biota amazônica**, Rio de Janeiro, CNPq, Belém, 1966, 17p.
- PIRES, J.M. Tipos de Vegetação da Amazônia. **Bol. do Museu Emilio Goeldi**, Belém, 20:179 - 202, 1973.
- PUTZER, H. The geological evolution of the Amazon basin and its mineral resources. In: SIOLI, H., ed. **The Amazon limnology and landscape ecology of a might tropical river and its basin**. Dordrecht, W. Junk, 1984. p. 15 - 45.
- RIZZINI, G.T. **Delimitações, caracterização e relações da flora hileiana**. In: **Simpósio sobre a Biota amazônica**, 3., Rio de Janeiro, 1967. Rio de Janeiro, CNPq, 1967. v.4, p. 13 -36.
- SALATI, E., RIBEIRO, M.N.G. Floresta e Clima. **Acta amazônica**, v. 9, n. 4, p. 15-22 (supl.), 1979.
- SALATI, E.; MARQUES, J.; MOLLION, L.B. Origem e Distribuição das Chuvas na Amazônia. **Interciência**, (3) 200-250, 1984.
- SALATI, E. The forest and the hydrological cycle. In: **The Geophysiology of Amazonia**, edited by R. E. Dickinson, 1987, pp. 273-293, Wiley, New York.

- SANCHEZ, P.A.; BANDY, D.E.; VILLACHICA, J.H.; NICHOLAIDES, J.J. Amazon basin soils; management for continuous crop productions. **Science**, Washington, 216:821 - 827, 1982.
- SANTOS, U.M. Aspectos limnológicos do lago grande do Jutáí (Amazônia Central), face as alterações químicas do meio hídrico da região. **Acta amazônica**, Manaus, 10(4): 797 - 822, 1980.
- SANTOS, U. M.; BRINGEL, S.R.B.; BERGAMIN FILHO, H.; RIBEIRO, M.N.G.; BANANEIRA, M. Rios da Bacia amazônica I. Afluentes do rio Negro. **Acta amazônica**, Manaus, 14(1- 2): 222 -37, 1984.
- SANTOS, U.M.; BRINGEL, S.R.B.; RIBEIRO, M.N.G.; SILVA, M.N.O. da. Rios da Bacia amazônica II. Os afluentes do rio Branco. **Acta amazônica**, Manaus, 15(1-2): 147 - 56, 1985.
- SCHUBART, U.O.R. Ecologia e utilização das florestas. In: SALATI, E.; SCHUBART, H.O.R.; JUNK, W.J.; OLIVEIRA, A., eds. **Amazônia desenvolvimento, integração e ecologia**, São Paulo, Brasiliense, 1983 p. 101 -43.
- SILVA, M.S.R. **Bacia hidrográfica do Rio Amazonas: contribuição para o enquadramento e preservação**. Tese (Doutor em Química) - Universidade Federal do Amazonas. 2013.
- SIOLI, H. Das Wasser in Amazonasgebiet. **Fosch. Fortschr.** 26 (21/22), p. 274-280. 1950.
- SIOLI, H. O rio Arapiuns. Estudo limnológicos de um corpo de água do terciário, plioceno das barreiras do Baixo Amazonas. **Boletim Técnico Instituto Agrônomico do Norte**, Belém, 32:1 - 116, 1956a.
- SIOLI, H. As águas do alto rio Negro. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomico do Norte**. Belém, 32:117 -55, 1956b.
- SIOLI, H.; KLINGE, H. Solos, tipos de vegetação e água na Amazônia. **Boletim do Museu Emilio Goeldi**, Belém, 1:27 - 41, 1962.
- SIOLI, H. The Cururu region in Brazilian Amazonia, a transition zone between hilea and cerrado. **Journal Botanical Society**, 46(4): 453 - 62, 1967.
- SIOLI, H. Zur okologie des amazons-gebiets. In: **Biogeography ecology in South America**. 1968a. v.2, pt. 1, p. 137 -70.
- SIOLI, H. Hydrochemistry and Geology in the Brazilian Amazon Region, **Amazoniana**. 3:267-277. Manaus/AM, 1968b.
- SIOLI, H. Tropical River as expressions of their terrestrial environments. In: GOLLY, F.B.; MEDINA, E., eds. **Tropical ecological systems trends in terrestrial and aquatic research**. Berlin, Springer - Verlag, 1975. p. 289 - 312.
- SIOLI, H. The Amazon and its main affluents. Hydrography, morphology of the river courses and river types. In: SIOLI, H. ed. **The Amazon limnology and landscape ecology of a might tropical river and its basin**. Dordretch, W. Junk, 1984. p.127 - 65.
- SOARES, L. de C. A vegetação, região Norte do Brasil. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, 6(60):1476 - 84, 1948.
- SOMBROECK, W.G. **Amazon soil. Reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region**. Wageningen, Center for Agricult., 1966. 292 p.
- SPRUCE, Richard. **Notes of a Botanist on the Amazon and Andes**. Edited and condensed by Alfred Russel Wallace. London, 1908. 2 vols.

- STALLARD, R.F.; EDMOND, J.M. Geochemistry of the Amazon 2. The influence of geology and Weathering Environment of the dissolved load. **Journal Of Geophysical Research**, Washington, 88:9671 - 88, 1983.
- ULE, E.H.S. Die pflanzenformatiomen des Amazonas-gebiets. **Bot. Jahrb. Engler.** 40:114 - 72, 1947.
- VELOSO, H.P. **Os Grandes climas do Brasil. II. Considerações gerais sobre a vegetação da região amazônica.** Mem. Inst. Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 60(3): 393 - 403, 1962.
- VELOSO, H.P. Considerações gerais sobre a vegetação da Região amazônica. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, 192:311- 18, 1966.

3. Considerações Limnológicas sobre a Bacia amazônica

Sergio Roberto Bulcão Bringel

Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e Professor da Universidade do Estado do Amazonas. E-mail: bringel@inpa.gov.br

INTRODUÇÃO

Os ambientes sedimentares se dividem em marinhos e terrestres. O interesse aqui recai exclusivamente sobre os ambientes terrestres, em que a diversificação é, indiscutivelmente, maior que os marinhos, pois os ambientes terrestres sofrem grande influência de flutuações de temperaturas, precipitações, vegetação, solo e água. Nos ambientes terrestres, existem vários sistemas aquosos, como o lacústrico (lagos, lagoas) e o fluvial (cursos de água, rios). Muitas vezes encontramos também os pântanos e brejos. Existem dois fatores ecológicos que são de especial importância nesses ambientes aquosos: a intensidade de movimentação de água e a relação da superfície aquática com a profundidade. A movimentação da água, ou corrente, torna-se importante pela influência que tem na circulação de oxigênio dissolvido e dos nutrientes (SOARES, 1951 e 1959; MARLIER, 1967; SCHWOERBEL, 1971; SCHMIDT, 1973 a e b; JUNK, 1980; SANTOS, 1980).

Em rios rasos e em lagos existe quantidade suficiente de oxigênio dissolvido, que se encontra distribuído por todo o corpo aquoso, de modo a suportar flora e fauna. Já os lagos profundos, podem possuir quantidades inadequadas de oxigênio dissolvido, devido a sua superfície aquosa que está em contato com a atmosfera, ser relativamente pequena, existindo também uma possível circulação de massa aquosa, no seu conjunto, relativamente pequena. Com isso, torna-se evidente, que os níveis aquáticos inferiores de muitos lagos profundos, possuem baixo teor de oxigênio dissolvido, impedindo a sobrevivência de muitos organismos (MARLIER, 1967; SCHWOERBEL, 1971; SCHMIDT, 1973a e b; JUNK, 1980; SANTOS, 1980).

Marlier (1967), estudando três tipos de lagos, - um de água clara; um de água branca e um de água preta -, diz que somente os lagos de água branca possuem uma produção autóctone razoável de matéria orgânica. E que devido à falta de sais minerais, a produção primária é muito baixa nos outros tipos de lagos. Quanto à biomassa, esta é alta nos lagos de água branca, e a produção aumenta somente com a enchente. Esses fenômenos podem ter razões em processos diferentes. Um deles são as chuvas

que trazem alguma quantidade de nitrogênio. Outro é a penetração de água freática através do fundo do lago quando sobe o nível das águas ao redor do lago. Quando o lago recebe água diretamente de um afluente de água branca (rio Amazonas / Solimões), também ganha um novo suplemento de matéria mineral.

Nas águas claras e pretas de lagos florestais, a produção orgânica é alóctone. O estoque de matéria orgânica, no lago, aumenta progressivamente com a evolução ecológica da água e com a ação dos organismos, os quais acumulam nutrientes dentro da própria substância. A produção autóctone mostra também um pequeno aumento quando sobe o nível da água, porém a biomassa total sempre permanece pequena.

Segundo Marlier (1967), um dos importantes fatores da produtividade é o número de animais. Primeiro, eles armazenam nutrientes os quais, em outro caso, seriam perdidos nos cursos de água afluentes dos lagos. Segundo, eles aumentam a velocidade de mineralização do material fornecido pelas plantas do litoral. O que cai para dentro da água, torna-se acessível ao ciclo do lago. O primeiro processo é forma dependente da densidade da população animal e o segundo é dependente de sua densidade e diversidade. A ação favorável do rio Solimões/Amazonas e das águas brancas sobre a produtividade demonstra a importância de um levantamento hipsométrico acurado da região para fins de delimitação de zonas de produtividade na Bacia.

Sioli (1967 e 1968a), mostra que a relação entre a química das águas (água freática e água corrente) e a geologia das áreas de influência sobre elas é notavelmente nítida, principalmente na Amazônia brasileira. Sendo que os maciços do arqueano ao Norte e ao Sul do Amazonas, produzem águas que são quimicamente bastante pobres e puras e que possuem valores de pH bem mais baixos. Mais pobres e mais ácidas são as águas das zonas da série das Barreiras e da formação Pará, ambas de origem plioceno-pleistoceno, enquanto no Oeste da Amazônia, na zona da formação Pebas, de igual idade geológica, ocorrem águas mais ricas e menos ácidas.

Segundo Sioli (1968b), em todas estas áreas geológicas são encontradas manchas esbranquiçadas de areia (podsoles), cobertas de um tipo especial de vegetação, que produz "águas pretas". Dos Latossolos amarelos que suportam a floresta alta, provém águas cristalinas. As águas pretas contêm grande quantidade de substâncias corantes, de húmus, enquanto os teores de íons inorgânicos e os valores de pH são os mais baixos da Amazônia. A concentração de material suspenso e os teores de diversas substâncias dissolvidas no rio Negro são relativamente baixas, contudo,

sofrem variações durante o ano. Os materiais suspensos, as frações suspensas de ferro e de fosfato, e o teor total de sais dissolvidos, apresentam um máximo de concentração coincidindo com o princípio da estação chuvosa, quando o rio ainda está muito baixo, mas já começando a subir (SCHMIDT, 1972).

ASPECTOS FÍSICOS DOS LAGOS AMAZÔNICOS

Segundo Soares (1948a e b; 1951 e 1959), é comum distinguir dois tipos de lagos para a região amazônica - os lagos de Várzeas e os de Terras Firmes. Os primeiros ocupam as depressões da planície aluvial, isto é, as áreas não colmatadas pelo limo das enchentes, no processo normal da construção das várzeas amazônicas. Frequentemente são meandros abandonados (oxbow lakes) ou porções de longos trechos de paranás e mesmo de antigos leitos do Amazonas e seus afluentes, na planície de inundação. São geralmente rasos, alguns mesmo temporários, transformando-se em brejos na época da vazante, quando o seu aluviamento já vai bastante adiantado. Comumente ocupam parte central das ilhas aluviais, como o lago dos Reis, na ilha do Careiro.

Carvalho (1942), resume as características gerais dos lagos de Várzeas, apresentadas por Le Cointe (1903), da seguinte maneira:

- 1- São apenas depressões, sem profundidade que, na planície de aluvião, ao longo do rio principal, se encham de água de inundação, retendo-as em parte na vazante;
- 2- Suas margens são baixas, planas e geralmente se prestam a campo e pastagens.

Para Soares (1948a e b; 1951 e 1959), os chamados lagos de Terra Firme, são as massas de águas que se encontram dentro de grandes trincheiras com dezenas de quilômetros de largura cavadas pela erosão no planalto terciário. Alguns encontram-se no contato da terra-firme com a várzea, ou melhor, por se achar encaixados na terra-firme, tendo, também margens nas várzeas.

As características típicas desses lagos apresentadas por Le Cointe (1903), são resumidas por Carvalho (1942), da seguinte maneira:

- a. São massas de água represadas pelas restingas de aluviões;
- b. Suas margens são mais elevadas, em regra, matosas e os lados de praias de areias brancas;
- c. Recebem pequenos rios cujas bocas se alargam consideravelmente.

Existem vários tipos de lagos de Terra-Firme. Soares (1959), faz uma pequena descrição desses tipos de lagos, dizendo: Alguns são embocaduras afuniladas, outros são desdobramentos em duas ou mais Bacias, outros são tripartidos. Muitos são lagos de barragens, isto é, formados pelas barragens, pelos aluviões construtoras das várzeas, das largas embocaduras, nos rios de planície quaternárias, dos seus afluentes que correm sobre o planalto terciário. O alcantilado de suas margens terciárias e a sua geralmente grande profundidade seriam explicadas pela sua qualidade de “rios fluviais” devido à orientação de seus eixos, formando ângulos retos ou “joelho de fratura”.

Esses tipos de lagos, apresentam uma orientação NE-SW e NW-SE dos eixos de muitos lagos de terra-firme, formando esses tipos de ângulos retos ou joelhos de fratura. Isso seria a adaptação dos mesmos à rede de fraturas que teria fendido o pacote terciário amazônico. Assim, os lagos de terra-firme teriam uma origem tectônica, ocupando linhas de falhas, ou vales tectônicos, posteriormente alargados e aprofundados pela erosão, e finalmente invadidos ou afogados pelas águas do Amazonas na última elevação do nível de base do atlântico (SOARES, 1948a e b, 1951, 1959).

ESTRATIFICAÇÃO E CONDIÇÕES DO OXIGÊNIO NOS LAGOS DE VÁRZEAS

Hutchinson e Loffer (1956) e Junk (1980), classificam os lagos de acordo com o tipo de circulação, incluindo também uma discussão sobre lagos tropicais. De acordo com esta classificação, lagos das várzeas têm que ser considerados como oligomíticos durante a cheia e polimíticos durante a água baixa. A circulação da água durante a seca, não se realiza tanto por causa da temperatura, mas por causa do vento. Durante este período, os lagos rasos são normalmente túrbidos porque as camadas superiores dos sedimentos são levantadas, sendo eles, em parte, retransportados aos rios. Por causa disso, os sedimentos de lagos clássicos, podem ser encontrados somente, às vezes, em lagos de várzeas (SCHMIDT, 1973a e b).

Intimamente ligados à estratificação térmica estão as concentrações de oxigênio. O aumento da temperatura não somente diminui a solubilidade do oxigênio na água, mas, aumenta, além disso, o consumo do oxigênio por causa de taxas crescentes de decomposição e respiração. Por isso, muitos lagos tropicais, frequentemente, têm baixa concentração de oxigênio logo abaixo da camada eufótica e o sulfeto de hidrogênio é comum nas zonas mais profundas. Em lagos de várzeas, esta situação é

ainda mais pronunciada, porque durante a enchente grande quantidade de matéria orgânica, proveniente da vegetação terrestre inundada, está à disposição dos processos de decomposição (JUNK, 1980 e 1984).

PRODUÇÃO PRIMÁRIA NA REGIÃO AMAZÔNICA

A partir de 1967 iniciaram-se os primeiros estudos sobre produção primária na região amazônica através de Schmidt (1973a e b). Nesses estudos realizou-se uma comparação entre os ecossistemas amazônicos dos rios de “*água branca*”; “*água preta*” e “*água clara*”, como também das águas que drenam a floresta de terra - firme e os lagos de várzeas, estes últimos se mostraram, sem dúvida, os mais produtivos (SIOLI, 1956a e b; RAI e HILL, 1984; RIBEIRO, 1983; SANTOS, 1980). Uma das características principais dos lagos de várzeas é o balanço energia-biomassa. A entrada dos rios nos lagos fornece a energia e o lago responde com uma produção razoável de biomassa (RAI e HILL, 1984).

É nas várzeas que ocorre o início da cadeia trófica na Amazônia. Como consequência, a produção pesqueira é bastante dependente desse sistema. Entretanto, Junk (1984), em relação ao rio Madeira, salienta que muito embora exista uma relativa quantidade de nutrientes nas águas, este rio é bem menos piscoso devido à escassa formação de várzeas em suas margens. Essa produção primária anual, que existe nos lagos de várzeas da Amazônia, foi calculada por Schmidt (1973b), em torno de 100 a 150 kg/ha em um lago.

Existem dois fatores que limitam a produção primária nas águas dos lagos da região amazônica, um é de ordem física (luz) e um outro de ordem química (falta de nutrientes). Para os pequenos igarapés que drenam a Amazônia Central estes dois fatores, estão conjugados. Como as florestas que envolvem esses igarapés são de difícil penetração da luz, estes permanecem sombreados. Segundo Sioli (1965), somente 1 a 2 % da radiação solar chega até a superfície. Por outro lado, esses igarapés e rios, apresentam baixa concentração de nutrientes (SIOLI, 1950; 1951; 1956a e b; SANTOS *et al.*, 1981; BRINGEL *et al.*, 1984; SANTOS *et al.*, 1984). Com isto, os animais que habitam os diferentes níveis tróficos são dependentes de material alóctone para a sobrevivência (SIOLI, 1965).

Para os grandes rios, o problema de iluminação extrema não ocorre. Entretanto, para os rios de água-branca, a grande quantidade de material em suspensão limita a entrada da luz chegando a alguns centímetros de uma coluna de água. Como não existe falta de nutrientes nesses rios, a falta de luz e a correnteza contribuem para uma redução na produção

primária (RAI e HILL, 1984; SIOLI, 1965. RIBEIRO, 1983). Para os rios de “água preta” o maior fator que limita a produção primária é de ordem nutritiva, ressaltando-se que nessas águas, a penetração da luz não atinge níveis ideais para promover uma produção primária (SCHMIDT, 1973b; SIOLI, 1965). Por outro lado, Ribeiro (1978), ao analisar a produção primária em lagos dos rios Solimões/Amazonas e Negro, conclui, que a produção primária é maior para os lagos do ecossistema do rio Solimões/Amazonas.

Nos lagos de várzeas, as condições de iluminação tornam-se adequadas para a produção primária, quando ocorre a sedimentação das partículas em suspensão trazidas pelo rio que inunda as várzeas no período de cheia. Apresenta ainda uma quantidade apreciável de nutrientes dissolvidos (SANTOS, 1980; SANTOS *et al.*, 1985). Estes fatores associados à alta temperatura, fazem com que a produção primária seja maior nas águas desse ecossistema do que em outro sistema aquático da Amazônia (RIBEIRO, 1978 e 1983).

Sioli (1965), encontrou no lago Cabalina, que está ligado diretamente ao rio Solimões, valores elevados de temperatura da água (33,4°C) e pH (8,8). Concluindo que todo o CO₂ livre foi consumido e que a concentração de O₂ atingiu 150 % de saturação. Para o lago do Castanho, que é ligado diretamente ao rio Solimões, Schmidt (1973a), resalta que a produção primária é caracterizada por duas peculiaridades:

- 1- a produção tem lugar numa camada relativamente pouco profunda na coluna d'água, variando sua espessura sazonalmente em função da profundidade do lago (6 m na época da cheia e 0,5 m na época seca);
- 2- ocorre elevada produção primária por unidade de volume, sendo os maiores valores encontrados durante o período de seca, 1,8 g de C.m⁻³ d⁻¹ isto em 15/11/1967 e 2,15 g de C. m⁻³.d⁻¹ verificada em 23/10/1969.

Observa ainda, que os valores mínimos foram encontrados durante a entrada da água do rio devido à diluição da massa fitoplanctônica pela água invasora e pela desfavorável condição de luz nesta época.

Para o lago do Cristalino que se encontra ligado ao rio Negro, Rai e Hill (1980), observaram que a produção primária é limitada aos primeiros 2 m da coluna de água. Concluem que a escassez de luz é de ocorrência generalizada nas águas dos lagos de várzeas da Amazônia. Por outro lado, Forsberg (1984), através de bioensaios experimentais realizados nas águas desse lago, observou que a produção primária era limitada pela baixa concentração de fósforo nessas águas.

Com relação aos teores da produção primária, para o lago do Cristalino, Rai e Hill (1980), observaram que as maiores produções ocorreram na época seca, ressaltam ainda, que a produção desse sistema é muito mais respiratória que fotossintética, sendo que a produção de fitoplâncton corresponde a 18 % da massa bacteriana produzida. Concluem que a produção primária de fitoplâncton por unidade de área no lago do Castanho foi menor em comparação ao lago do Cristalino, sendo 0.8 g de C.m⁻³.d⁻¹ para o lago do Castanho e 4.3 g de C. m⁻³.d⁻¹ para o lago do Cristalino.

REFERÊNCIAS

- BRINGEL, S.R.B.; SANTOS, U. de M.; RIBEIRO, M.N.G.; BERGAMIN FILHO, H. Bacia do rio Parauari-Maués Açu. I. Aspectos químicos devidos às alterações hidrológicas da Bacia. **Acta amazônica**, Manaus, 14(1-2):77 - 85, 1984.
- CARVALHO, C.M.D. de. O Rio Amazonas e sua Bacia. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, 4 (2):333-50, 1942.
- FORSBERG, B.R. Nutrients Processing in Amazon flood plain lakes. **Verh. Internat. Verein. Limnol. Stuttgart**, 22:1294-1298, 1984.
- HUTCHINSON, G.E.; LOFFER, H. The thermal classification of lakes. **Proc. Not. Acad. Science Washington**, Washington 42:84 - 6, 1956.
- JUNK, W.J. Áreas inundáveis: Um desafio para a limnologia. **Acta amazônica**, Manaus, 10(4):775 - 815, 1980.
- JUNK, W.J. Ecology of the varzea floodplains of Amazon white-water river. In: SIOLI, H. ed., **The Amazon limnology and landscape ecology of a might tropical river and its basin**. Dordrecht, W. Junk, 1984, p. 271 - 293.
- LE COINTE, P. Le bas amazone. **Annales de Geographie**, Paris, 12:54 - 6, 1903.
- MARLIER, G. Ecological studies on same lakes of the Amazon valle. **Amazoniana**, Kiel, 1(2) 91-115, 1967.
- RAI, H.; HILL, G. Classification of central Amazon lakes on the basin of their microbiological and physico-chemical characteristics. **Hydrobiology**, Sophia, 72:85 - 98, 1980.
- RAI, H.; HILL, G. Primary production in the aquatic ecosystem. In: SIOLI, H., ed., **The Amazon limnology and landscape ecology of a might tropical river and its basin**. Dordrecht, W. Junk, 1984. p. 311 - 36.
- RIBEIRO, J.S.B. **Fatores ecológicos, produção primária e fito plâncton em cinco lagos da Amazônia Central. Estudo preliminar**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, 1978. 143 p.
- RIBEIRO, J.S.B. **Estudo sazonal de fatores ambientais, nutrientes e biomassa de fito plâncton no lago Jacaretinga (Amazônia Central)**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, 1983. 99 p.
- SANTOS, U.M. Aspectos limnológicos do lago grande do Jutai (Amazônia Central), face as alterações químicas do meio hídrico da região. **Acta amazônica**, Manaus, 10(4): 797 - 822, 1980.
- SANTOS, A.; RIBEIRO, M.N.G.; RIBEIRO, J.S.B.; BRINGEL, S.R.B. Hidroquímica da Amazônia Central. III. Química da água da lavagem da floresta no ecossistema Campina amazônica (stemflow). **Acta amazônica**, Manaus, 11(2):335 - 346, 1981.
- SANTOS, U.M.; BRINGEL, S.R.B.; BERGAMIN FILHO, H.; RIBEIRO, M.N.G.; BANANEIRA, M. Rios da Bacia amazônica I. Afluentes do rio Negro. **Acta amazônica**, Ma-

- naus, 14(1- 2): 222 -37, 1984.
- SANTOS, U.M.; BRINGEL, S.R.B.; RIBEIRO, M.N.G.; SILVA, M.N.O. da. Rios da Bacia amazônica II. Os afluentes do rio Branco. **Acta amazônica**, Manaus, 15(1-2): 147 - 56, 1985.
- SCHMIDT, G.W. Amounts of suspended solids and dissolved substances in the middle reaches of the Amazon over the course of one year (august 1969 - july 1970). **Amazoniana**, Kiel,3(2):208 - 23, 1972.
- SCHMIDT, G.W. Primary production of phytoplankton in the three types of Amazonian water I. The limnology of a tropical floodplain lakes in Central Amazonia (lago do Castanho). **Amazoniana**, Kiel, 4(2):139 - 203, 1973a.
- SCHMIDT, G.W. Primary productions of phytoplankton in the three types of Amazonia waters. II. Primary productivity of phytoplankton in a tropical floodplain's lake of a central Amazonia, lago do Castanho, Amazonas, Brasil. **Amazoniana**, Kiel, 4(2): 379 - 404, 1973b.
- SCHWOERBEL, J. **Einführung in die limnologie**. Stuttgart, Gustav Fischer Verlag, 1971. 170p.
- SIOLI, H. Das wasser in Amazonasgebiet. **Fortschr**, 26:274 - 80, 1950.
- SIOLI, H. Estudo preliminar das relações entre a geologia e a limnologia da zona Bragantina. **Boletim Técnico Instituto Agrônomo do Norte**, Belém, 24:67 - 76, 1951.
- SIOLI, H. O rio Arapiuns. Estudo limnológicos de um corpo de água do terciário, plioceno das barreiras do Baixo Amazonas. **Boletim Técnico Instituto Agrônomo do Norte**, Belém, 32:1 - 116, 1956a.
- SIOLI, H. As águas do alto rio Negro. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Norte**. Belém, 32:117 -55, 1956b.
- SIOLI, H.; KLINGE, H. Solos, tipos de vegetação e água na Amazônia. **Boletim do Museu Emilio Goeldi**, Belém, 1:27 - 41, 1962.
- SIOLI, H. A Limnologia e a sua importância em pesquisas da Amazônia. **Amazoniana**, Kiel, 1(1):11 - 35, 1965.
- SIOLI, H. The cururu region in Brazilian Amazonia, a transition zone between hylea and cerrado. **Journal Botanical Society**,46(4):453 - 62,1967.
- SIOLI, H. Zur okologie des amazons-gebiets. In: SIOLI, H. **Biogeography ecology in South America**. 1968a. v.2, pt. 1, p. 137 -70.
- SIOLI, H. Hydrochemistry and geology in the Brazilian region. **Amazoniana**, Kiel,1(3):267 - 77, 1968b.
- SOARES, L.C. A Região Norte do Brasil I. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, 5(58):1114 - 54, 1948a.
- SOARES, L.C. A Região Norte do Brasil II. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, 6(60):1474 - 84, 1948b.
- SOARES, L.C. A origem da planície amazônica. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, 10(105):998 - 1000, 1951.
- SOARES, L.C. Hidrografia. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geografia do Brasil; A Grande Região Norte**. Rio de Janeiro, 1959. cap. 5; p.128 - 94.

4. A Bacia Hidrográfica do Rio Araguaia-Tocantins

Sergio Roberto Bulcão Bringel

Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e Professor da Universidade do Estado do Amazonas. E-mail: bringel@inpa.gov.br

INTRODUÇÃO

Na hidro geografia da Bacia amazônica se destacam inúmeros rios e lagos, que apresentam uma grande atividade, resultante de sua diversidade biológica que ocorre nos diferentes ecossistemas aquáticos existentes. A composição química de suas águas sofre variações em função da geologia e dos constituintes químicos da área da drenagem (SIOLI, 1950; 1956 a e b; 1968; BRINGEL *et al.* 1984 e BRINGEL, 1989). É considerada uma região com inúmeras riquezas e se constitui na mais vasta região de floresta tropical, sua flora é muito pouca conhecida. Nos ambientes terrestres, existem vários sistemas aquosos, como lacustres (lagos, lagoas) e fluviais (cursos de água, rios); e mesmo pântanos e brejos. A Região amazônica é conhecida por sua grande disponibilidade hídrica, que é distribuída por uma densa rede de drenagem com rios, lagos e igarapés com uma grande diversidade tanto na extensão quanto na largura e no volume de água transportado (SIOLI, 1950; 1956 a e b; 1967; 1968; 1975, 1984).

CARACTERÍSTICAS GERAIS DA BACIA ARAGUAIA-TOCANTINS

Segundo Freitas (2021), a Bacia Hidrográfica do Araguaia-Tocantins está localizada entre os paralelos de 2° S e 18° S e meridianos 46° W e 56° W, apresenta como rio principal, o rio Tocantins e seu principal afluente o rio Araguaia. É considerada por Brasil (2006), como a maior Bacia Hidrográfica genuinamente brasileira com 56 % de suas terras pertencentes aos estados de Tocantins e Goiás, 24 % no Mato Grosso, 13 % no Pará, 4 % no Maranhão e 1 % no Distrito Federal. É limitada ao Sul pelas Bacias do Paraná – Paraguai; ao Oeste pela Bacia do Xingu; ao Leste pela Bacia do rio São Francisco e ao Nordeste pela Bacia do rio Parnaíba (Figura 1).

Tem aproximadamente 2.500 km de extensão, desde a sua nascente na confluência do rio Maranhão com o rio das Almas em Goiás, até a sua foz, na Baía de Marajó, no estado do Pará. Brasil (2019) informa que essa Bacia, tem uma configuração alongada no sentido longitudinal, seguindo



Figura 1. Bacia do Araguaia-Tocantins. Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/89/Regi%C3%B5esHidrogr%C3%A1ficasdoBrasil-Tocantins-Araguaia.png>. Acesso em 05 de junho de 2021.

os dois eixos fluviais do Tocantins e do Araguaia, sendo que esses dois rios se unem no extremo norte da Bacia. Destaca que o rio Tocantins tem sua foz no Golfão Marajoara, ou seja, na Baía de Marajó, nas proximidades do rio Pará, contribuindo para a formação do Grande Estuário da Amazônia.

Ribeiro *et al.* (1995) e Cintra *et al.* (2008), informam que o relevo da Bacia Araguaia-Tocantins é monótopo, com altitudes entre 350 m e 500 m, sendo que as nascentes podem chegar a mais de 1000 m e que, na Bacia do rio Tucuruí, essas altitudes não ultrapassam a 10 m. Carvalho (2009) e Rodrigues (2017), consideram que a Bacia ocupa uma área de aproximadamente de 767.000 km², correspondendo a 7,5% do território brasileiro, com a seguinte distribuição: 382.000 km² no rio Araguaia; 343.000 km² no rio Tocantins e 43.000 km² no rio Itacaiúnas.

RIO TOCANTINS, UM AFLUENTE DO RIO AMAZONAS

Existe uma celeuma com relação ao rio Tocantins, em pertencer ou não à Bacia amazônica. Sabe-se, que toda descarga da Bacia amazônica é realizada pelo rio Amazonas que tem como formadores principais os rios

Ucayali e Marañon, no Peru. Essa questão está relacionada com a divergência existente quanto aos limites da Bacia amazônica.

Essa divergência tem início com os estudos de Gibbs (1965), que não considera o rio Tocantins como tributário do Amazonas. Atribui à Amazônia uma área de 6.300.000 km² e informa que seus principais rios são: Amazonas, Solimões, Negro, Branco, Madeira, Purus, Juruá e Japurá. Porém, o trabalho de Stallard e Edmond (1983), realizado na Bacia amazônica, identifica como seus principais tributários, no lado brasileiro os rios: Juruá, Purus, Madeira, Tapajós, Xingu, pela margem direita; enquanto os da margem esquerda, são os rios: Iça, Japurá, Negro e Trombetas. Tem um sentido direcional Oeste - Leste totalizando 6.771 km, paralela à linha do Equador, desaguando no Oceano Atlântico.

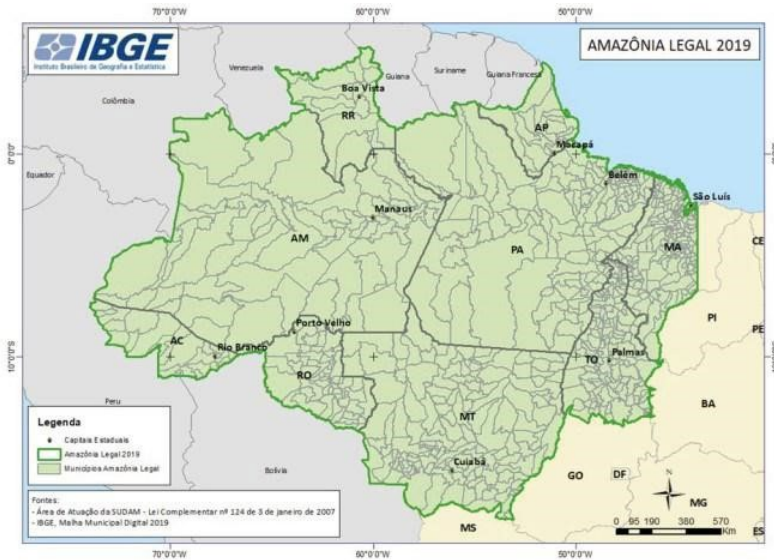
Divergindo dessas informações, Sioli (1984), em seus estudos sobre a Bacia amazônica, inclui o rio Tocantins como afluente do rio Amazonas. E assim, a Amazônia, como unidade paisagística natural, compreende uma área de 7.050.000 km². Esta diferença, mostra que Sioli, considera que o rio Tocantins faz parte da Amazônia como um todo, estendendo-se do meridiano 79° W Gr., abrangendo o rio Chamaya, no Peru, até o de 46° Gr., no rio Palma, Goiás, no Brasil; e o paralelo de 5° N Gr, no rio Cotingo, em Roraima, Brasil, até 17° S Gr., situado no Alto Araguaia em Mato Grosso, Brasil.

Por outro lado, é o próprio Governo Federal, com o objetivo da ocupação e desenvolvimento da Bacia amazônica, ou seja, da Amazônia Brasileira, que traça seus limites e passa a denominá-la de Amazônia Legal. Essa ocupa aproximadamente 59% do território brasileiro, com uma área de 5.030.000 km², compreendendo os paralelos de 16° S no Estado do Mato Grosso, e pelo paralelo de 13° S no Estado de Goiás e ainda pelos meridianos de 44° W e 79° W Gr. (Figura 2).

Em 1988, a Constituição Federal fez pouca modificação no Código de Águas, sendo a mais importante, a que trata do domínio das águas. Todos os corpos d'água passaram a ser de domínio da União e dos Estados/Distrito Federal. Por outro lado, a Lei nº 9.433/1997, que é uma Lei de Organização Administrativa para os recursos hídricos, organiza o setor de planejamento e gestão. Essa Lei, dá destaque para as águas superficiais, pois, considera que deve existir uma Lei de Águas Subterrâneas.

Para as questões de decisão, a aplicação da Lei conta com o Conselho Nacional, os Conselhos dos Estados e do Distrito Federal e com órgãos dos Poderes da União, dos Estados/DF e Municípios. As questões estratégicas e operacionais que se relacionam com outros agentes, outros cole-

Figura 2. Mapa da Amazônia Legal. Fonte: IBGE (2019).



giados e órgãos e com outras funções e sistemas, são remetidas a outros níveis e compromissos, fora do escopo dessa Lei.

Em outros termos, a Lei nº 9.433/97 estabelece as macropolíticas, enquanto política pública, sem, contudo, orientar para as questões estratégicas e tático-operacionais, isso é, da ação local. Entretanto, por uma questão meramente administrativa e devido à necessidade de dividir o Brasil em Regiões Hidrográficas, os rios Tocantins e Araguaia, para fins de gestão de recursos hídricos, foram inseridos na Região hidrográfica do Tocantins-Araguaia (BRASIL, 2019).

Nascendo entre os municípios goianos de Ouro Verde de Goiás e Petrolina de Goiás, no estado de Goiás, o rio Tocantins, com aproximadamente 2.400 km de extensão, corta os estados de Tocantins, Maranhão e Pará, desaguando na Baía de Marajó, nas proximidades de Belém-PA, no rio Amazonas, mostrando assim claramente sua participação e contribuição no estuário amazônico.

Seu principal afluente é o rio Araguaia, que tem sua nascente na Serra do Caiapó, no paralelo 18° próximo dos limites entre os estados de Mato Grosso e Goiás. Ao encontrar o rio Araguaia na região do Bico do Papagaio dão formação à Bacia Hidrográfica do Araguaia-Tocantins. Essa importante Bacia Hidrográfica abrange aproximadamente 967.059 km², drenando cerca de 10% do território nacional. Seus principais biomas são: ao norte, a Amazônia; ao noroeste, o Cerrado e na sua foz, o rio Amazonas, é do tipo estuário, ou seja, uma transição entre o rio e o mar. Entretanto, Sioli (1984), informa que o rio Tocantins, tem sua foz na Baía de Marajó,

no rio Amazonas, nas proximidades da cidade de Belém-Pará e considera esse rio, como pertencente à Bacia amazônica. Trabalho realizado por Ab' Sáber (2006), na Bacia amazônica, onde estudou a formação do rio Pará, e ao definir geograficamente esse rio Pará, informa que é um canal-paraná, ou seja, é um braço de rio que faz a ligação do rio Tocantins com o delta do rio Amazonas e conclui que o rio Tocantins pertence à Bacia amazônica (Figura 3).



Figura 3. Foz do Rio Tocantins. Fonte: https://www.google.com.br/search?q=foz+do+rio+tocontins+Araguaia+etbm=ischeved=2ahUKewiJ-rP4x9vyAhXtu5UCHeceAzoQ2cCegQIABAeog=f+oz+do+rio+Tocantins+seglcp=CgNpbWcQARgBMgUIABCABDIECAAQGFcW74oBWMDPiwFg1_CLAWgAcAB4IAB5z2EguYymulO331sQP572MOA M#imgrc=yq=f+oz+do+rio+tocontins+Araguaia+etbm. Acesso em 05/06/2021.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. **Brasil, paisagens de exceção**. São Paulo: Ateliê Editorial. 2006.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos, **Catálogo de publicações**, 2006.
- BRASIL. **Catálogo** ID: 48660. IBGE. 2019.
- BRINGEL, S.R.B.; SANTOS, U. M.; RIBEIRO, M.N.G.; BERGAMIN FILHO, H. Bacia do rio Parauari-Maues Açú. I. Aspectos químicos devidos às alterações hidrológicas da Bacia. **Acta amazônica**, Manaus, 14(1- 2):77 - 85, 1984.
- BRINGEL, S.R.B. **Caracterização Química dos Sedimentos de Lagos de várzeas da Amazônia Central**. Tese Apresentada à Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, para Obtenção do Título de Doutor em Ciências, Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas. Piracicaba-São Paulo, 1989, 196p.
- CARVALHO, J. F. de. **O declínio da era do petróleo e a transição da matriz energética brasileira para um modelo sustentável**. 2009. Tese (Doutorado em Energia) - Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. doi:10.11606/T.86.2009.tde-10062011-163905. Acesso em: 2021-09-23.
- CINTRA, I. H. A.; PINHEIRO, J. C. R.; JURAS, A. A.; SOUZA, R. F. C.; OGAWA, M. Biologia do mapará, *Hypophthalmus marginatus* (Valenciennes, 1840), no reservatório da Usina Hidrelétrica de Tucuruí (Pará-Brasil). **Boletim Técnico Científico CEPNOR**,

Belém, v. 8, n. 1, p. 83-95, 2008.

- FREITAS, E. de. **Bacia do Tocantins-Araguaia. Brasil Escola.** Disponível em < <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/Bacia-tocantinsaraguaia.htm> > . Acesso em 23 de setembro de 2021.
- GIBBS, J.R. **The Geochemistry of the Amazon Basin.** San Diego, 1965. 95 p. (PhD University of California).
- GITARRARA, P. **Bacia do Tocantins-Araguaia.** Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/bacia-tocantinsaraguaia.htm>. Acesso em 21 de outubro de 2022.
- IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Amazônia Legal. Área de Atuação da Sudam.** Malha municipal Digital, 2019. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html?e-t=o-que-e> > . Acesso em 20 de agosto de 2021.
- RIBEIRO, M. C. L. B.; PETRETE JÚNIOR, M.; JURAS, A. A.. Ecological integrity and fisheries ecology of the Araguaia-Tocantins River Basin, Brazil: Regulated Rivers and Management. **John Wiley e Sons.** v. 11, p. 325-350, 1995.
- ROFRIGUES, J. A. M. **Impactos antrópicos no regime hidrológico de tributários do Rio Tocantins** (Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas). Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2017.
- SIOLI, H. Das Wasser in Amazonasgebiet. **Fosch. Fortschr.** 26 (21/22), p. 274-280. 1950.
- SIOLI, H. O rio Arapiuns. Estudo limnológicos de um corpo de água do terciário, plioceno das barreiras do Baixo Amazonas. **Boletim Técnico Instituto Agrônomo do Norte**, Belém, 32:1 - 116, 1956a.
- SIOLI, H. As águas do alto rio Negro. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Norte.** Belem, 32:117 -55, 1956b.
- SIOLI, H. The cururu region in Brazilian Amazonia, a transition zone between hilea and cerrado. **Journal Botanical Society**, 46(4): 453 - 62, 1967.
- SIOLI, H. Zur oikology des amazons-gebiets. In: SIOLI, H. **Biogeography ecology in South America.** 1968. v.2, pt. 1, p. 137 -70.
- SIOLI, H. Tropical River as expressions of their terrestrial environments. In: GOLLY, F.B.; MEDINA, E., eds. **Tropical ecological systems trends in terrestrial and aquatic research.** Berlin, Springer - Verlag, 1975. p. 289 - 312
- SIOLI, H. The Amazon and its main affluents. Hydrography, morphology of the river courses and river types. In: SIOLI, H. ed. **The Amazon limnology and landscape ecology of a might tropical river and its basin.** Dordrecht, W. Junk, 1984. p.127 - 65.
- STALLARD, R.F.; EDMOND, J.M. Geochemistry of the Amazon 2. The influence of geology and Weathering Environment of the dissolved load. **Journal Of Geophysical Research**, Washington, 88:9671 - 88, 1983.

5. As águas e as algas do rio Negro em dois municípios do estado do Amazonas, na Amazônia central

Domitila Pascoaloto¹, Clíméia Corrêa Soares², Amauri Antônio Menegário³

¹ Pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. E-mail: domitila@inpa.gov.br

² Pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. E-mail: climeia@inpa.gov.br

³ Docente e pesquisador do Centro de Estudos Ambientais da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. E-mail: amenega@rc.unesp.br

INTRODUÇÃO

Principal afluyente da margem esquerda do rio Solimões/Amazonas, o Negro é um dos maiores rios do mundo, ocupando a quinta posição na lista dos rios com maior vazão no globo (MEADE *et al.*, 1991); sua descarga é de cerca de 4240-64380 m³/s (GUYOT, 1993; GUYOT *et al.*, 1994, 1996), representando até 30% do total da contribuição da Amazônia para o oceano (MOUNIER *et al.*, 1999). Ele nasce na serra do Junaí, na Colômbia; com área de 754.925 Km², sua Bacia hidrográfica abrange três países (Brasil, Colômbia e Venezuela). Possui cerca de 1.700 km de extensão, dos quais aproximadamente 1.200 km correm em território brasileiro (CUNHA e PASCOALOTO, 2006), drenando cinco municípios no estado do Amazonas (São Gabriel da Cachoeira, Santa Isabel do Rio Negro, Barcelos, Novo Airão e Manaus), nos quais consiste no principal recurso hídrico. A parte baixa de sua Bacia abrange, também, uma pequena parte do município de Iranduba (que tem como principal recurso hídrico o rio Solimões), o qual se encontra à margem direita, em frente a Manaus.

Por todo seu curso, até a confluência com o rio Solimões, o rio Negro drena áreas de baixo relevo e terrenos consolidados, o que reflete na sua velocidade e erosão (SIOLI, 1975; CUNHA e PASCOALOTO, 2006). Devido ao intenso intemperismo regional, ele transporta quantidade muito pequena de minerais e é rico em matéria orgânica, o que lhe concede sua cor escura típica marrom (FURCH *et al.*, 2012). A natureza geológica da área de drenagem conferiu a essas águas, além da cor escura, características físicas e químicas peculiares, como: baixa condutividade (entre 6 e 12 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), pH ácido (entre 4,0 e 5,5) e baixo teor de sais minerais, entre eles potássio, sódio, cálcio e magnésio (LEENHEER e SANTOS, 1980).

São poucos os trabalhos sobre as comunidades de macroalgas na Amazônia, ainda que elas venham sendo observadas no estado do Amazonas desde o século XIX (DICKIE, 1881). Nos poucos es-

tudos realizados, esses organismos geralmente foram tratados junto com microalgas, que tiveram tratamento taxonômico mais detalhado (UHERKOVITCH e FRANKEN, 1980; GOMES, 2000; DIAS-CASTRO *et al.*, 2003). Estudos ecológicos específicos sobre macroalgas foram desenvolvidos em ambientes de fragmentos florestais e igarapés rurais ou urbanos nos municípios de Rio Preto da Eva, Presidente Figueiredo e, principalmente, Manaus (PASCOALOTO, 2001, PASCOALOTO *et al.*, 2008, 2009, 2010). Estudos para avaliar a qualidade da água e conhecer as comunidades de macroalgas na região do alto rio Negro iniciaram em 2007 (PASCOALOTO e BRINGEL, 2010; PASCOALOTO e SOARES, 2010) e revelaram a ocorrência de maior concentração de algas, principalmente carposporófitos e gametófitos da rodofíceia *Batrachospermum* spp. e filamentos férteis (em estado juvenil) do que aquela observada na região de Manaus. Pascoaloto (2012) associou essa distribuição e frequência das macroalgas com os substratos disponíveis para atracação das rodofíceas, juntamente com a acidez das águas, sombreamento no ambiente e alta incidência solar nos locais com clorofíceas.

O estudo da comunidade fitoplanctônica na Amazônia também teve início no século XIX (EHREMBERG, 1843). São poucos os estudos ecológicos no estado do Amazonas sobre esses organismos envolvendo ambientes lóticos, destacando Melo *et al.* (2004), desenvolvido no município de Novo Airão, com ênfase mais taxonômica e Aprile *et al.* (2007), em Presidente Figueiredo, cujo estudo envolveu, simultaneamente e sem nítida distinção na parte da distribuição, as comunidades fitoplanctônicas e perifíticas. Estudos sobre a comunidade fitoplanctônica envolvendo simultaneamente igarapés urbanos e rurais foram realizados no município de Manaus (PASCOALOTO e SOARES, 2016), os quais revelaram maior número de táxons em igarapés levemente eutrofizados. Para o rio Negro citam-se: Pascoaloto *et al.* (2013) para a parte superior da Bacia e Melo *et al.* (2005) e Pascoaloto *et al.* (2018) para a parte inferior da Bacia.

No presente trabalho são apresentados os principais resultados, obtidos no âmbito da Coordenação de Dinâmicas Ambientais (CODAM) do INPA, no estudo da qualidade da água e dinâmica de macroalgas e fitoplâncton no alto e baixo rio Negro.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido entre maio/2010 e setembro/2014 na Bacia do rio Negro, a qual drena três países (Colômbia, Venezuela e Brasil), mas no Brasil está contida em um único estado, Amazonas (Figuras 1-2).

Foram investigadas a qualidade da água e as comunidades de macroalgas e fitoplâncton do rio Negro e alguns dos seus afluentes e subafluentes nos municípios de São Gabriel da Cachoeira (Figuras 3-4), onde o Negro entra em território brasileiro, e Manaus (Figuras 5-8), onde está localizada a sua foz.

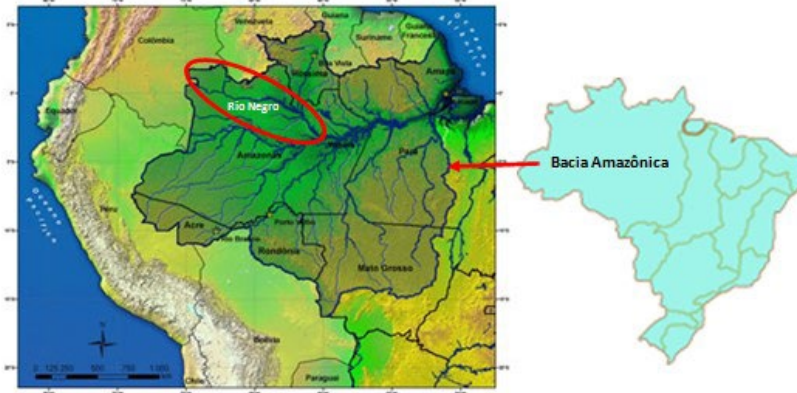


Figura 1.Localização do rio Negro em território brasileiro. Fonte: Organizada pelos autores a partir da Agência Nacional das Águas (ANA, 2010).

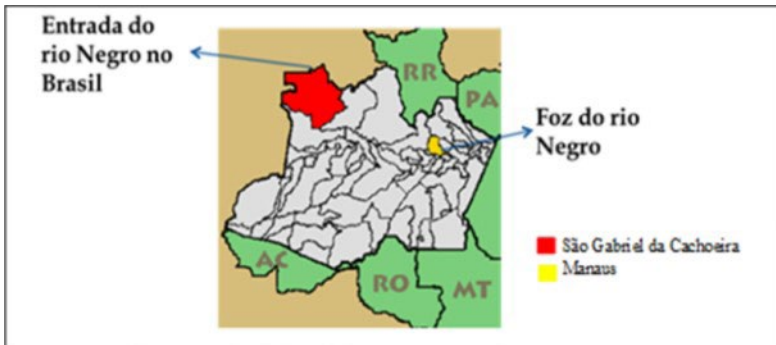


Figura 2.Área de abrangência do estudo (municípios). Fonte: Organizado pelos autores, com base no mapa da Amazônia Legal/IBGE (TERRA BRASILIS, 2007) e das hidrovias/Ministério dos Transportes e das informações sobre o rio Negro que constam em Cunha e Pascoaloto (2006).



Tabela 1. Sítios amostrais no município de São Gabriel da Cachoeira. Fonte: Dados de campo obtidos pelos autores entre os anos de 2010 e 2012.

Sítio Amostral	Referência	Denominação	Coordenadas	
			Latitude	Longitude
1	Rio Içana	Igarapé do 7º BEF	N 01.38517 °	W 068.15521 °
2		Cachoeira Tunuí	N 01.38669 °	W 068.15235 °
3		Rio Cubaté	N 00.52989 °	W 067.43746 °
4	BR-307	BR 06	S 00.00839°	W 066.92149 °
5		BR 07	S 00.01592°	W 066.900546o °
6		BR 08	N 00.01734°	W 066.89123 °
7		BR 09	N 00.02846 °	W 066.87234 °
8		BR 10	N 00.07775 °	W 066.82584 °
9		BR 11	N 00.09366 °	W 066.81711 °
10		BR 12	N 00.12507 °	W 066.94364 °
11		Miuá	N 00.15596°	W 066.80101 °
12		BR 13	S 00.17556°	W 066.79728 °
13	Igarapé da Cachoeirinha	Igarapé do da Lúcia	S 00.09418 °	W 067.06648 °
14		Igarapé do Ramal 2/3	S 00.09812 °	W 067.08180 °
15a		Balneário (corredeira)	S 00.10915 °	W 067.09043 °
15b		Balneário (reentrância)		
16	Rio Cachoeirinha	Rio Cachoeirinha	S 00.10927 °	W 066.79728 °
17		Igarapé do 5º BIS	S 00.13120 °	W 067.06817 °
18	Rio Negro	Foz do igarapé Mauixi	S 00.12821 °	W 067.09281 °
19		COSAMA	S 00.13431 °	W 067.09204 °
20		Comunidade Santo Alberto	S 00.12141 °	W 067.09911 °
21		Praia das Mangueiras	S 00.13677 °	W 067.07950 °

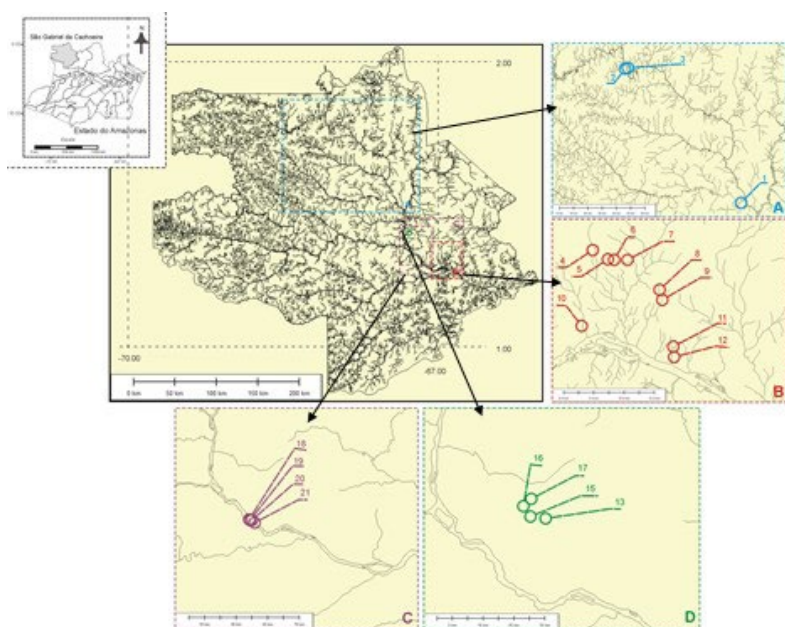


Figura 3. Sítios amostrais nas microbacias hidrográficas estudadas em São Gabriel da Cachoeira. (Organizado por Márcio Luiz da Silva; legenda dos locais segundo Tabela 2). Fonte: Pascoaloto (2012).



Figura 4. Configuração de alguns dos sítios amostrais no município de São Gabriel da Cachoeira. (As setas indicam filamentos da clorofícea *Spirogyra* spp.). Fonte: Dados de campo obtidos pelos autores entre os anos de 2010 e 2012.

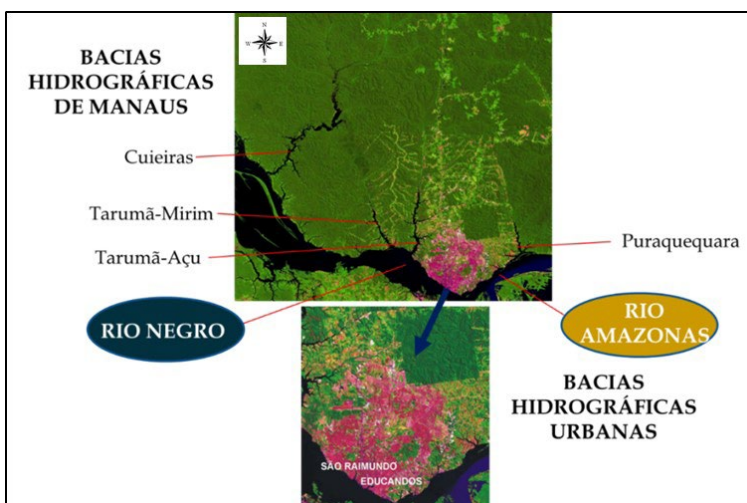


Figura 5. Principais Bacias hidrográficas de Manaus. Figura organizada pelos autores; imagem obtidas pelo Satélite Landsat 5, disponibilizada pelo INPE. Fonte das imagens: SigLab/INPA (2008).

As amostras, sempre que cabível, foram coletas próximas aos locais onde estavam as macroalgas, no entanto em relação ao sítio amostral “Ceasa”, no município de Manaus, as coletas de água foram realizadas no canal principal do rio, enquanto os espécimes de macroalgas foram coletados tanto nas baias para atracação das embarcações (no rio) quanto em área de inundação, atrás do porto flutuante (Figura 8). Também no município de Manaus, no sítio amostral “Manaus Moderna” as amostras de água foram coletadas ou nos arredores do porto “balsa amarela”, durante o período de águas baixas, ou da ponte da Travessa Tab. Lessa, no período de águas altas; enquanto as macroalgas foram observadas (e coletadas) em área de inundação, na Travessa Tab. Lessa e/ou na Rua Barão de São Domingos (Figura 7).

A água foi coletada com garrafa coletora tipo Van Dorn e acondicionada em frascos de polipropileno. Os frascos foram mantidos sob refrigeração até serem transportados para o Laboratório de Química Ambiental do INPA, onde foram feitas as análises para determinação da cor, turbidez e concentrações de nitrito, nitrato, amônia, cálcio, magnésio, potássio, sódio e cloreto, segundo metodologia proposta em APHA (2005) e Rice *et al.* (2012). Para as análises microbiológicas as amostras foram acondicionadas em frascos esterilizados (100 ml) e mantidas sob refrigeração até o momento da análise.

As variáveis ambientais investigadas, as técnicas analíticas e suas referências encontram-se na tabela 2. A coleta e preservação das amostras seguiram os procedimentos prescritos no Standard Methods (APHA *et al.*, 2005; RICE *et al.*, 2012). Por questões logísticas do setor de bacteriologia do Laboratório Química Ambiental (CODAM/INPA), sendo que no estudo no alto rio Negro as variáveis temperatura da água, concentração de oxigênio dissolvido (OD), pH e condutividade elétrica foram determinadas em campo, utilizando-se oxímetro, pH-metro e condutivímetro de campo (portáteis). Devido à alta demanda no Laboratório de química ambiental entre 2011 e 2012, as determinações de nitrogênio e fósforo total nas amostras de São Gabriel da Cachoeira ficaram restritas aos principais rios e a um dos sítios amostrais do igarapé da Cachoeirinha.

Por se tratar de um logaritmo, para determinação da média do pH nos locais foi calculado o antilog para cada resultado, sendo o valor médio convertido para logaritmo na base 10.

Tabela 2. Variáveis físicas, físico-químicas e químicas e técnicas analíticas utilizadas. Fonte: Pascoaloto (2012).

VARIÁVEL AMBIENTAL	TÉCNICA ANALÍTICA	UNIDADE
pH	Direto, Potenciométrico	----
Condutividade Elétrica (CE)	Direto, Potenciométrico	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$
Oxigênio Dissolvido (OD)	<i>Standard Methods</i> , Titulometria	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$
Alcalinidade	<i>Standard Methods</i> , Potenciometria	$\text{mg H}_2\text{CO}_3\cdot\text{l}^{-1}$
Turbidez	<i>Standard Methods</i> , Nefelometria	NTU
Cor verdadeira	<i>Standard Methods</i> , Espectrofotometria	$\text{mg Pt}\cdot\text{l}^{-1}$
Sólidos totais em suspensão (SST)	<i>Standard Methods</i> , Gravimetria	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	<i>Standard Methods</i> , Refluxo Aberto	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$
Ferro total e íons dissolvidos (Fe_2^+ , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-} , NO_3^- , Cl^- , PO_4^{3-})	<i>Standard Methods</i> , Espectrofotometria	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$
$\text{Si}(\text{OH})_4$	<i>Standard Methods</i> , Titulometria	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$
N-Total	Valderrama (1980), Espectrofotometria	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$
P-Total	Valderrama (1980), Espectrofotometria	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$
Coliformes (Totais e Fecais)	<i>Standard Methods</i> , Tubos Múltiplos	NMP

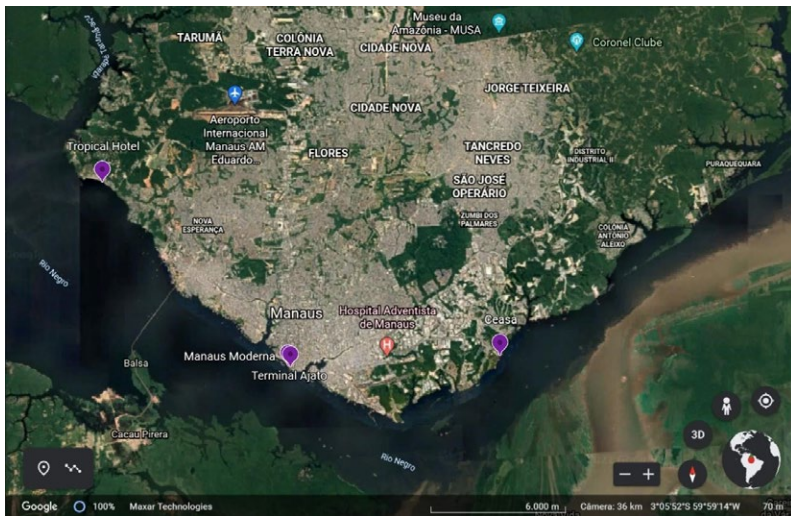


Figura 6. Localização dos sítios amostrais no rio Negro em Manaus. Fonte: Google Earth (2021).

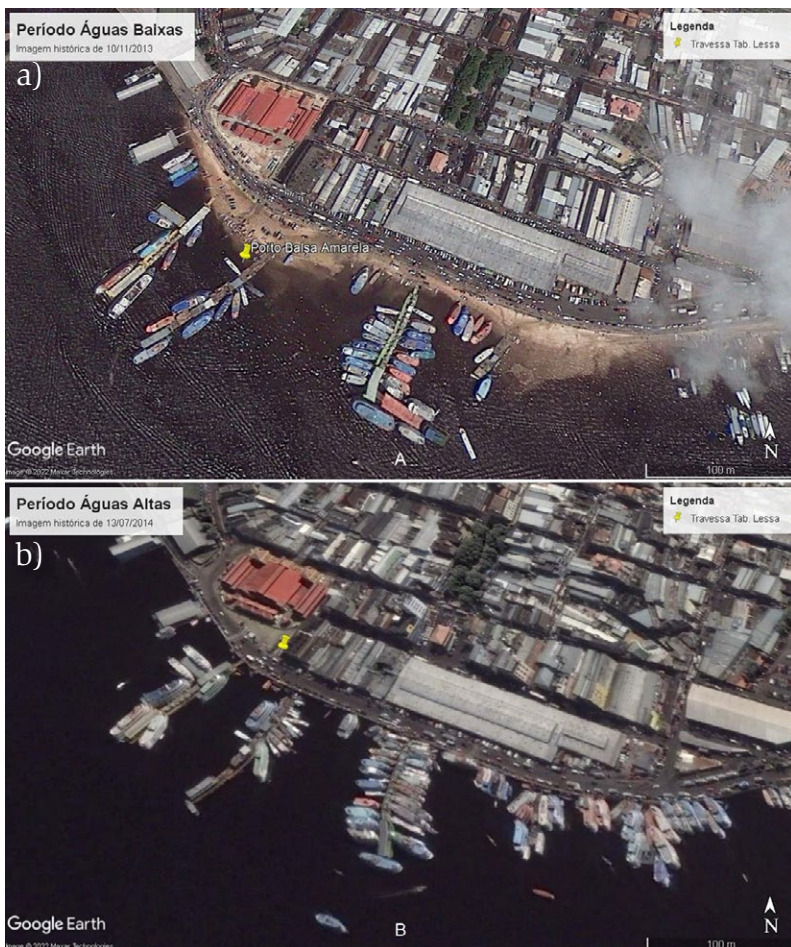


Figura 7. Localização do sítio amostral “Manaus Moderna” no período de águas baixas (a) e no período de águas altas (b). Fonte: Google Earth (2021), imagens históricas de 10/11/2013 (a) e 13/07/2014 (b).



Sítio amostral "Praia do Tropical", (período de enchente/cheia).



Sítio amostral "Praia do Tropical", (período de seca/enchente).



Tufos da fase "Chantransia" de *Batrachospermum* spp. (seta) na margem do rio Negro ("Praia do Tropical", período seca/enchente/)



Sítio amostral "Manaus Moderna" (período enchente/cheia).



Sítio amostral "Manaus Moderna" (período seca/enchente).



Sítio amostral "Terminal Ajato" (período cheia/vazante).



Sítio Amostral "Porto da Ceasa" (período cheia/vazante)



Área de alagação no "Porto da Ceasa" (período cheia/vazante).



Filamentos da clorofíceia *Schizomeris leibleinii* Kützing (seta) na área de alagação no "Porto da Ceasa" (período cheia/vazante).

Figura 8. Configuração dos sítios amostrais e locais com macroalgas no município Manaus. Fonte: Adaptado de Pascoaloto *et al.* (2018).

O fitoplâncton foi coletado com rede com 20 µm de abertura, em cada local foram feitos dez lançamentos. No alto rio Negro não houve coleta de fitoplâncton nos sítios amostrais 1, 2, 3, 13 e 21; em ambientes onde o canal principal apresentou áreas de corredeira, as coletas de fitoplâncton foram realizadas em áreas de remanso, quando elas existiram, procurando-se, assim obter maior número de espécies. As algas foram fixadas em solução de Transeau (BICUDO e BICUDO, 1970) e transportadas para o Laboratório de Plâncton do INPA. As macroalgas (no sentido amplo, ou seja, qualquer filamento ou conjunto de filamentos de algas observáveis a olho nu, conforme Sheath e Cole (1992) foram coletadas com a mão ou com auxílio de uma espátula, tomando-se o cuidado de destacar plantas inteiras. Os espécimes foram transportados para o Laboratório de Química Ambiental-Laboratório de Limnologia e Ficologia do INPA em frascos de polietileno com tampa plástica de rosca, contendo água do próprio local. No laboratório, as algas foram mantidas sob refrigeração por até 48

horas, para estudo do material fresco, e depois foram fixadas em solução formaldeído : água destilada a 4% (NECCHI, 2004).

RESULTADOS

Os valores médios obtidos para as variáveis ambientais nas microbacias estudadas em São Gabriel da Cachoeira encontram-se na tabela 3.

O igarapé Mauixi, principalmente nos períodos de águas altas, apresentou-se coberto pela macrófita *Eichhornia crassipes* (Mart.), erva flutuante livre, perene, que cresce em água rica em nutrientes, prefere águas rasas, duplica de biomassa a cada duas semanas (SOUZA e NUNES, 2011). Em algumas dessas ocasiões foram observadas, também, a presença de natas de cianobactérias. Tanto as macrófitas quanto as cianobactérias foram indicativas do enriquecimento (aumento de nutrientes) das águas desse igarapé. Ressalta-se que, apesar da quantidade desses organismos próximos à foz desse igarapé, na ocasião, não foram observadas alterações no rio Negro.

Os resultados obtidos em São Gabriel da Cachoeira sugeriram quatro grupos (tonalidade de água) na região de estudo; com diferença principal nas variáveis químicas cor verdadeira e DQO (águas avermelhadas > águas escuras > águas claras > água cristalina). O rio Negro foi quem apresentou os menores teores de metais, sendo que Ca_{3179} foi o elemento dominante em todas as amostras, seguido por Fe_{2599} nos locais com água avermelhada e por Na_{5889} nos demais locais. Mo_{2816} foi o terceiro elemento em maior concentração nos locais com água cristalina (nos outros locais o terceiro elemento foi ou Fe_{2599} ou Na_{5889}). Os igarapés da Serra Tunuí apresentaram teor médio de $\text{Li}_{6707} > 410,0 \mu\text{g/l}$, aumentando o teor desse elemento no rio Içana em Tunuí-Cachoeira. Nos demais locais esse elemento foi observado em níveis baixos ou nem foi detectado em ICP-MS. O rio Negro foi quem apresentou os menores teores de metais. As menores cargas iônicas (somatória) foram registradas nos três locais de água mais avermelhada (igarapés 7º BEF – rio Içana; ramal 2-3 – igarapé da Cachoeirinha e 5º BIS – rio Cachoeirinha), o que sugere que os metais podem estar complexados às substâncias húmicas. No local com água mais avermelhada (7º BEF) foi observada, pela primeira vez na Amazônia, a permanência de cor na água após a retirada das substâncias húmicas aquáticas; esse fato, somado aos valores mais altos de DQO, sugere que a coloração dessa água tenha origem orgânica.

Tabela 3. Valores médios das variáveis ambientais (por regiões) dos sítios amostrais do rio Negro no município de São Gabriel da Cachoeira. Fonte: Dados de campo obtidos pelos autores entre os anos de 2010 e 2012.

Região/microbacia	pH	Condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Alcalinidade ($\text{mgHCO}_3\cdot\text{l}^{-1}$)	Cor ($\text{mgPt}\cdot\text{l}^{-1}$)	Turbidez (NTU)	DQO ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)
Rio Içana	4,77	19,94	10,37	186,13	0,91	57,81
Igarapé Cachoeirinha	5,05	10,73	3,66	169,30	1,99	61,76
Rio Cachoeirinha	4,66	11,69	2,81	142,87	1,66	57,44
Br-307	6,93	6,93	3,66	49,64	2,41	31,64
Rio Negro	4,60	14,09	2,24	161,35	1,67	61,57
Região/microbacia	Fe Dis. ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	Si (OH) ₄ ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	NO ₃ ⁻ ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	NH ₄ ⁺ ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	P Total ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	N Total ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)
Rio Içana	0,84	1,21	0,00	0,72	0,14	0,51
Igarapé Cachoeirinha	0,87	2,57	0,01	0,48	0,11	0,31
Rio Cachoeirinha	0,87	2,12	0,01	0,44	---	---
Br-307	0,89	2,56	0,03	0,17	---	---
Rio Negro	0,85	1,45	0,01	0,55	0,13	0,39

Foram registradas 104 espécies na comunidade fitoplanctônica (Tabela 4), sendo 57% pertencentes a Chlorophyta (algas verdes), e oito entidades ecológicas de macroalgas (Tabela 5), sendo que a proporção de clorofíceas foi igual à das rodofíceas. Os resultados obtidos para as variáveis ambientais nos sítios amostrais de Manaus encontram-se na tabela 6.

Tabela 4. Espécies de algas planctônicas registradas nos sítios amostrais de São Gabriel da Cachoeira (Legenda dos sítios amostrais conforme Tabela 1). Fonte: Dados de campo obtidos pelos autores entre os anos de 2010 e 2012.

Espécie	Sítios Amostrais
<i>Zygnemaphyceae</i> (Chlorophyta)	
<i>Actinotaenium curcubita</i> (Bréb.) Teiling.	15b
<i>A. curcubitinum</i> (Bisset) Teiling.	6, 7
<i>A. globosum</i> (Bulnheim) Teiling.	7
<i>A. wollei</i> (Gronblad) Teiling	6, 7 9 10
<i>Bambusina brebissonii</i> Kützing	9, 14, 15a, 15b, 17
<i>Closterium cynthia</i> De Notaris	9
<i>C. ehrenbergii</i> Meneghini	16
<i>C. gracile</i> Brébisson	6, 7
<i>C. kwetzingii</i> Brébisson	4, 15b
<i>C. libellula</i> Focke	9, 10, 14, 16
<i>C. macilentum</i> Grönblad e Croasdale	7
<i>C. navicula</i> (Brébisson) Lütkemüller	6, 7
<i>C. regulare</i> Brébisson	15b
<i>C. subulatum</i> (Kutz.) Bré.	7
<i>C. turgidum</i> Ehrenberg	15b
<i>Closterium</i> sp.	7, 14, 15a

Tabela 4: continuação

Espécie	Sítios Amostrais
<i>Cosmarium decoratum</i> W. e G. S. West.	17
<i>C. denticulatum</i> Borge	6
<i>C. geminatum</i> Lundell	9
<i>C. cf. lagoense</i> Nordstedt	7
<i>C. margaritifera</i> Menegh	9
<i>C. obsolentum</i> (Hantzsch) Reinsch	8
<i>C. pseudoconnatum</i> Nordstedt	6, 7
<i>C. pyramidatum</i> Brébisson	4, 6, 7, 15a, 15b, 16
<i>C. tenue</i> Archer	7
<i>Cosmarium</i> sp.	6, 7, 9, 15a, 15b
<i>Desmidium cylindricum</i> Greville	15b
<i>D. grevilii</i> (Kützingii) De Bary	7, 8, 9, 14, 15a, 15b, 16
<i>D. laticeps</i> Nordstedt	15b
<i>D. quadratum</i> Nordstedt	14
<i>Euastrum sinuosum</i> Lenorm.	7
<i>E. sublobatum</i> Brébisson	7
<i>Gonatozygon</i> sp.	7, 15a
<i>Haplotaenium rectum</i> (Delponte) Bando	4, 6, 7, 15a, 15b, 16, 20
<i>Micrasterias borgei</i> Krieger	7
<i>M. laticeps</i> Nordstedt	4, 14, 15a, 15b, 20
<i>M. radiosa</i> Ralfs	9
<i>M. torreyi</i> Bailey	9, 15b, 16
<i>M. truncata</i> (Corda) Brébisson	7
<i>Netrium oblongum</i> (De Bary) Luetkemuller	14
<i>Pleurotaenium trabecula</i> (Ehrenberg) Nägeli	6, 7
<i>Ptridentulum</i> Grönblad e Croadales	6, 7
<i>Pleurotaenium</i> sp.	15a
<i>Staurastrum elongatum</i> cf. var. <i>amazonense</i> Scott e Croasdale	7
<i>S. quadrangulare</i> Brébisson	4, 15b
<i>S. setigerum</i> Gleve	6, 7, 15b
<i>S. stelliferum</i> Borge	20
<i>Staurastrum</i> sp.	7, 11, 15b, 18
<i>Stauroidesmos triangularis</i> (Lagerhein) Teiling	7, 15b
<i>Tetmemorus laevis</i> (Kützing) Ralfs	7
<i>Xanthidium trilobum</i> trilobum Nordstedt	15b
Chlorophyceae (Chlorophyta)	

Tabela 4: continuação

Espécie	Sítios Amostrais
<i>Botryococcus braunii</i> Kützing	6, 7
<i>Botryococcus cf. protuberans</i> West e West	7
<i>Coelastrum cambricum</i> Archer	15b
<i>Coelastrum sp.</i>	6, 7
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> Wood	15a, 15b
<i>Dimorfococcus lunatus</i> A. Braun	15b
Oedogoniophyceae (Chloropyta)	
<i>Oedogonium sp.</i>	4, 6, 7, 11, 15a, 15b, 16
Bacillariophyceae (Bacillariophytahrysophyta)	
<i>Actinella brasiliensis</i> Grunoww	6, 7, 18, 19, 20
<i>A. mirabilis</i> (Eul. Grunow	6, 15a, 15b, 16, 17
<i>Actinella sp.</i>	17, 18
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonssen	19
<i>Aulacoseira sp.</i>	18
<i>Calonoides sp.</i>	6
<i>Eunotia asterionelloides</i> Usted	9, 10, 15b, 18, 19, 20
<i>E. femoriformis</i> (Patrick) Hustedt	19
<i>E. flexuosa</i> (Brébisson) Kützing	10, 14, 16, 17, 8, 19, 20
<i>E. cf. robusta</i> Hustedt	10, 17
<i>E. psudoserra</i> De Oliveira e Steinitz-Kannan	7
<i>E. triodon</i> Ehrenberg	4
<i>E. zygodon</i> Ehrenberg	14, 15a, 15b, 14, 16, 17, 20
<i>E. serra</i> Ehrenberg	9, 10
<i>Eunotia sp.</i>	4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15a, 15b, 17, 18, 19, 20
<i>Eunotia sp1</i>	4, 16, 4
<i>Eunotia sp.2</i>	4
<i>Fragilaria aff.</i>	14
<i>Frustulia rhomboide</i> (Ehrenberg) De Toni	6, 7, 8, 10, 11, 14, 16, 17, 18, 19
<i>Gonphonema gracile</i> Ehrenberg	18
<i>Gomphonema sp.</i>	20
<i>Gyrosigma sp.</i>	15b
<i>Navicula cf.</i>	4, 6, 7, 11, 15a
<i>Pinnularia gibba</i> Ehrneberg	14
<i>Pinnularia cf. acrosphaeria</i> W. Smith	15b, 16
<i>Pinnularia sp.</i>	4, 6, 7, 10, 11, 12, 14, 19, 20
<i>Stenopterobia intermedia</i> Kramer	7, 14

Tabela 4: continuação

Espécie	Sítios Amostrais
<i>Stenopterobia</i> sp.	17, 18, 19
<i>Surirella linearis</i> W. Smith	11, 12, 14, 15b, 17, 18, 20
<i>Surirella</i> sp.	4, 6, 11, 17, 19,20
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	12
<i>Tabellaria</i> sp.	6, 7
<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch.) Ehrenberg	6
Chrysophyceae (Chrysophyta)	
<i>Mallomonas</i> sp.	4, 15b, 17
Cyanophyceae (Chyanophyta)	
<i>Merismopedia</i> sp.	6, 17
<i>Microcystis</i> sp.	17
<i>Oscillatoria</i> sp.	6, 7, 9, 10, 14, 15a,15b,16
Euglenophyceae (Eugenophyta)	
<i>Euglena acus</i> Ehrenberg	15b, 16
<i>Euglena spirogyra</i> Ehrenberg	14
<i>Euglena</i> sp.	15b, 16
<i>Lepocinclis ovum</i> (Ehrenberg) Lemmeerman	7
<i>L. salina</i> Fritsch	15b
<i>Phacus longicauda</i> (Ehrenberg) Dujardin	7, 17
<i>Phacus</i> sp.	15a
<i>Trachelomonas</i> sp.	15a

Tabela 5. Entidades ecológicas de macroalgas registradas em São Gabriel da Cachoeira. (Legenda dos sítios amostrais conforme Tabela 1). Fonte: Adaptado de Pascoaloto e Pascoaloto *et al.*, 2013).

Entidade Ecológica	Sítio Amostral
Clorophyta	
<i>Desmidium cf baley</i>	9
<i>Desmidium</i> sp.	7
<i>Spirogyra</i> sp.	5, 7, 9, 10, 14, 16, 17, 20, 21
Rhodophyta	
<i>Batrachospermum</i> sp. 1	6
<i>Batrachospermum</i> spp.	1, 10
Fase "Chantransia" de <i>Batrachospermum</i> spp.	6, 10, 15, 16, 17, 20, 21
Cyanophyta	
<i>Geitlerinema</i> sp.	15
<i>Phormidium</i> sp.	19

Tabela 6. Valores médios das variáveis ambientais nos sítios amostrais do rio Negro no município de Manaus. Fonte: Dados de campo obtidos pelos autores entre os anos de 2010 e 2012.

	T Ar°C	T Água°C	STS(mg.l⁻¹)	O₂mg/L	pH
Praia do Tropical Hotel	29.83636	29.75625	3.348788	4.265882	5.255896
T. Ajato	30.41667	29.54706	3.627778	3.495	5.512343
M. Moderna	31	30	3.33	3.06	5.51
Ceasa	28.88438	29.22581	5.160968	3.392727	5.533463
	Condutividade (µS.cm⁻¹)	Alcalinidade (mgHCO₃⁻¹)	Cor (mgPt.l⁻¹)	Turbidez (NTU)	DQO (mg.l⁻¹)
Praia do Tropical Hotel	8.59	3.99	141.22	3.01	50.20
T. Ajato	10.25	5.55	145.50	2.30	51.31
M. Moderna	10.78	5.49	145.88	2.60	52.16
Ceasa	9.26	4.42	143.99	3.93	51.13
	FeTotal (mg.l⁻¹)	Fe Dis. (mg.l⁻¹)	Si (OH)₄ (mg.l⁻¹)	Dureza (mgCaCO₃.l⁻¹)	Ca⁺⁺ (mg.l⁻¹)
Praia do Tropical Hotel	0.74	0.25	2.58	0.73	0.12
T. Ajato	0.75	0.23	2.63	2.23	0.00
M. Moderna	0.85	0.23	2.70	2.01	0.15
Ceasa	0.71	0.23	2.77	2.60	0.31
	Mg⁺⁺ (mg.l⁻¹)	Cl⁻ (mg.l⁻¹)	K⁺ (mg.l⁻¹)	Na⁺ (mg.l⁻¹)	NO₂⁻ (mg.l⁻¹)
Praia do Tropical Hotel	0.39	0.98	0.38	0.74	0.01
T. Ajato	0.09	1.10	0.37	0.85	0.01
M. Moderna	0.29	1.31	0.46	1.10	0.01
Ceasa	0.14	1.32	0.40	0.87	0.01
	NO₃⁻ (mg.l⁻¹)	NH₄⁺ (mg.l⁻¹)	PO₄²⁻ (mg.l⁻¹)	P Total (mg.l⁻¹)	N Total (mg.l⁻¹)
Praia do Tropical Hotel	0.04	0.42	0.01	0.04	0.54
T. Ajato	0.03	0.46	0.00	0.02	0.48
M. Moderna	0.04	0.48	0.01	0.03	0.56
Ceasa	0.04	0.43	0.01	0.05	0.51

O sítio amostral “Praia do Tropical Hotel”, apesar de ter sido o “controle” neste estudo, está a jusante do rio Tatumã-Açu, cuja bacia hidrográfica drena tanto área rural quanto urbana de Manaus, sendo que a parte urbana abrange a zona norte da cidade, a qual, além de conter o aterro sanitário, vem sofrendo aumento da população, devido, principalmente, a instalação nas últimas décadas de conjuntos habitacionais (regulamentados ou não) o que vem causando a degradação dos recursos hídricos na região (HORBE *et al.*, 2005; FERREIRA *et al.*, 2012). Os sítios amostrais “Terminal a Jato” e “Manaus Moderna” estão a jusante do igarapé São Raimundo e o sítio amostral Ceasa está localizado a jusante da foz do

igarapé Educandos, sendo que as duas bacias estão totalmente inseridas na malha urbana de Manaus e suas partes superiores são formadas pelos canais dos dois igarapés mais poluídos de Manaus, Mindu e Quarenta, respectivamente (MELO *et al.*, 2005a; COSTA *et al.*, 2016; PASCOALOTO e SOARES, 2016). Nas três microbacias do rio Negro que drenam a área urbana de Manaus é possível observar (exceto naqueles que se encontram em área de proteção/preservação ambiental) igarapés que já perderam as características de água preta (escura e transparente) e agora aparentam ser de água branca (cor de “barro” e turvas) (Figura 9). Ainda assim os resultados obtidos (médias), no rio Negro não mostraram alterações significativas entre os sítios amostrais. No entanto, destaca-se o fato de na praia do Hotel Tropical os valores de pH, condutividade elétrica e nitrato foram menores do que nos outros locais.

As macroalgas registradas para o rio Negro nos sítios amostrais de Manaus encontram-se na tabela 5. Em todas as visitas foram observados tufos de “Chantransia” nas instalações dos flutuantes do Porto da Ceasa e do Terminal Ajato. Espécimes de clorofíceas e tufos de “Chantransia” foram observados nos períodos de águas altas na área de inundação atrás do flutuante “Porto da Ceasa”. No sítio amostral “Manaus Moderna” a comunidade somente foi observada no período de águas altas, atracadas às sarjetas ou ao asfalto em áreas inundadas na Travessa Tab. Lessa e na calçada da Rua Barão de São Domingos. No sítio amostral “Praia do Tropical” tufos da fase “Chantransia” de *Batrachospermum* spp. (fase carposporofítica) foram observados em áreas inundadas - na escadaria próximo à orla do rio Negro no período de águas altas (enchente/cheia e cheia/vazante) e

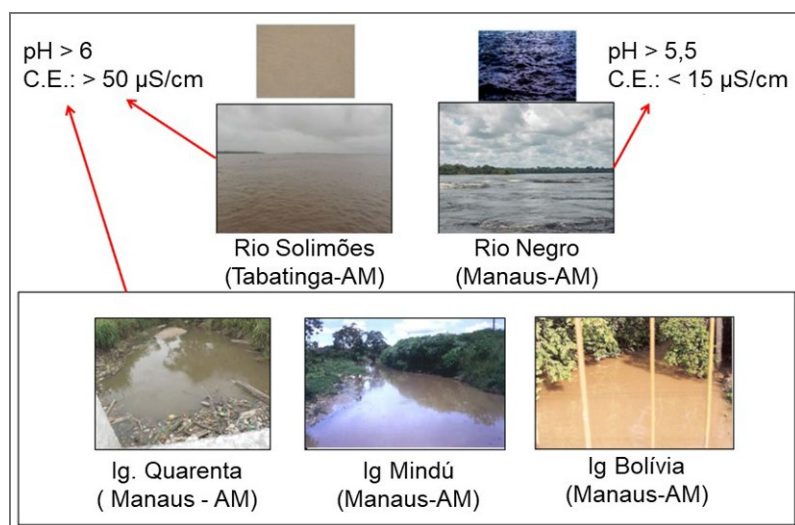


Figura 9. Características/configuração do rio Solimões, no município de Tabatinga, do rio Negro, em Manaus, e dosigarapés urbanos de Manaus Quarenta (bairro Distrito Industrial), Mindu (bairro Coroado) e Bolívia (bairro Novo Israel). Fonte: Dados de campo obtidos pelos autores entre os anos de 2013 e 2014.

em rochas às margens do rio Negro no final do mês de agosto (pouco antes de terminar o período de águas altas do rio Negro), porém gametófitos de *Batrachospermum* spp. (fase gametofítica) somente foram observados nas três primeiras semanas do mês de agosto, em uma das escadas.

Tabela 5. Entidades ecológicas de macroalgas registradas nos sítios amostrais do rio Negro, em Manaus. *Espécimes observados em área alagada, atrás do flutuante. ** Espécimes observados em área alagada, atracados ao asfalto ou à calçada. Fonte: Adaptado de Pascoaloto et al. (2018).

Entidade Ecológica/Local	Porto da Ceasa	Manaus Moderna	Terminal Ajato	Praia do Tropical Hotel
Chlorophyceae				
<i>Microspora</i> sp.*	x			
<i>Schizomeris leibleinii</i> ***	x	x		
Rhodophyceae				
<i>Batrachospermum</i> sp.*	x			
<i>Batrachospermum</i> cf. <i>cayennense</i>	x			x
Fase "Chantransia" de <i>Batrachospermum</i> spp.	x	x	x	x

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O recurso hídrico com pior qualidade da água em São Gabriel da Cachoeira foi o igarapé Mauixi, que recebe os dejetos orgânicos das casas do entorno e drena alguns dos bairros mais populosos da sede da cidade. O mais agravante nessa situação foi o fato da captação da água ocorrer a menos de 200 metros da foz desse igarapé, e na mesma margem do rio (direita). No período em que o estudo foi realizado não foram identificados indícios de que esse igarapé estivesse inviabilizando o uso da praia na orla da cidade, talvez por causa da forte correnteza do rio nessa região, devido as corredeiras, um dos "cartões postais" do local. No entanto, para tal afirmação teria sido necessário realizar análises de coliformes fecais por cinco semanas seguintes, ou seis análises ao longo de 12 meses, o que não foi possível fazer. Porém, no estudo anterior, em duas amostras, foram realizadas análises de coliformes fecais e totais. Em uma, o resultado foi ausência, na outra o resultado foi de 930 NMP para ambas. Ressalta-se que, segundo a legislação ambiental em vigor (BRASIL, 2000), águas utilizadas para contato primário são próprias e classificadas como "satisfatórias" quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas, em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo, 1.000 coliformes fecais (termotolerantes), ou 800 *Escherichia coli*, ou 100 enterococos por 100 mililitros.

O igarapé Cachoeirinha, desde o início dos estudos apresentou água de tonalidade avermelhada, entretanto notou-se um ligeiro aumento do pH ao longo do tempo na área do balneário, o que poderia estar relacionado com a instalação de um conjunto habitacional nas imediações do

local, hipótese reforçada pelo fato de, anteriormente, ter sido registrado para esse local o maior valor de coliformes totais e fecais: 23000 NMP (PASCOALOTO, 2012). Esses dados confirmam a hipótese de que a implementação de residências a montante do local prejudicou a qualidade da água do segundo local mais procurado para lazer na região.

Os resultados obtidos no município de São Gabriel da Cachoeira, Baía do alto rio Negro, somados àqueles observados anteriormente nas Bacias do médio e baixo rio Negro (MELO *et al.*, 2005b; APRILE e MERA, 2007) revelaram que, embora o número de espécies de algas planctônicas seja maior em ambientes lênticos (onde não existe correnteza ou fluxo unidirecional), essa comunidade não deve ser desprezada em ambientes lóticos. Em relação às macroalgas, não foi observada relação direta entre as entidades ecológicas presentes nos igarapés de cor clara, ou nos corpos d'água de cor avermelhada, e a qualidade da água. No entanto, em relação às rodofíceas (principalmente a fase gametofítica), as características físicas dos locais onde elas foram encontradas foram similares àquelas observadas em Manaus: rios/igarapés de água escura, local sombreado e a presença de estruturas reprodutivas no período de vazante. A presença em todas as visitas de grande quantidade de filamentos da clorofíceia *Spirogyra* spp., com vários espécimes em estágio fértil (ainda que imaturos, o que não permitiu a identificação da espécie), no sítio amostral “ramal 2-3” do igarapé da Cachoeirinha não é comum e deve ser investigada. Os resultados obtidos para as algas, somados ao fato de terem sido observadas na região, anteriormente, duas algas plantônicas raras, enfatizam o fato de que o alto rio Negro é uma das regiões mais propícias para o estudo ecológico de algas na região amazônica.

Apesar de, aparentemente, as amostras terem sido semelhantes nos sítios amostrais de Manaus (ácidas, escuras e transparentes), nos sítios amostrais “Praia do Tropical” e “Porto da Ceasa” sua classificação hidroquímica foi “mista bicarbonatada” enquanto a dos dois sítios amostrais do centro da cidade foi “sódica bicarbonatada”; o sítio amostral “Porto da Ceasa” apresentou a menor carga iônica, o que talvez esteja relacionado ao fato de que foi o único local onde não havia areia nas proximidades. Porém, se por um lado as características químicas dessas águas estiveram em conformidade com a legislação, foi possível confirmar que, em geral, o local com maior teor de coliformes fecais foi “Manaus Moderna”. Segundo os resultados obtidos, não houve alteração na qualidade da água de superfície na região próxima à foz do rio Negro devido à entrada dos três principais igarapés que drenam a área urbana de Manaus e desaguan

nesse rio. Todavia é recomendável realizar estudos sistemáticos ao longo de, no mínimo, dois anos hidrológicos para verificar a dinâmica dessas águas em diferentes condições climáticas.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e à FAPPEAM que financiaram os projetos envolvidos. Ao MCTIC/INPA pela ajuda de custo e infraestrutura. A Ézio Sargentini Filho e Marcos Bolson (Laboratório de Química Analítica – INPA/CODAM) pela análise das substâncias húmicas aquáticas. Aos técnicos e colaboradores do Laboratório de Espectrometria Atômica (CEA/UNESP) e do Laboratório de Química Ambiental (INPA/CODAM) pelas análises da água e a Andréa Clara G.G. de Leiros, Soraya R. Pirangy e Walter J. Nascimento Filho, pelo apoio no trabalho de campo.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2010**. Brasília, ANA, 2010.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. American Water Work Association – AWWA; Water Pollution Control Federation - WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington, American Public Health Association, 21a edição, 2005. Cd-rom.
- APRILE, F.M.; MERA. P.A.S. Fitoplâncton e fitoperifíton de um rio de águas pretas da Amazônia periférica do Norte, Brasil. **Braz. J. Aquat. Sci. Technol.** 2007, V.11, n. 2, p. 1-14.
- BICUDO, C.E.M.; BICUDO, R.M.T. **Algas de águas continentais Brasileiras. Chave para identificação de gêneros**. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 1970.
- COSTA, S.S.; SILVA, M. S. R.; ALVES, A. K.; PINTO, A. G. N.; PASCOALOTO, D. Análise estatística dos níveis de poluição em bacias hidrográficas de Manaus
- In: Ferreira, S.J.F.; Silva, M.L.; Pascoaloto, D.P. (Org.). **Amazônia das Águas: qualidade, ecologia e educação ambiental**. 1ed. Manaus: VALER, 2016, v. 1, p. 161-173.
- CUNHA. H.B.; PASCOALOTO, D. **Hidroquímica dos rios da Amazônia**. Manaus: Governo do Estado do Amazonas, Secretaria de Estado da Cultura, Centro Cultural dos Povos da Amazônia. Série Pesquisas, 2006.
- DÍAS-CASTRO, J.G.; SOUZA-MOSIMANN, R.M.; LAUDARES-SILVA, R.; FORSBERG, B.R. Composição da comunidade de diatomáceas perifíticas do rio Jaú, Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, 2003, v. 33, n. 4, p. 583-606.
- DICKIE, G.. On algae from the Amazons and its tributaries. **J. Limn. Soc.**, 1881, v. 18 n. 108, p. 123-132.
- EHRENBERG, C. G. Verbreitung und Einfluss des mikroskopischen lebens in Sud und Nordmerika. **Durckerei der koniglichen**, Akad. Wiss. Berlin. 1843, p.291-415.
- FERREIRA, S.J.F; MIRANDA, S.A.F; MARQUES FILHO, A.O. Efeito da pressão antrópica sobre igarapés na Reserva Florestal Adolpho Ducke, área de floresta na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 4), p. 533 – 540, 2012.

- GOMES, N. A. **Estrutura da comunidade de algas perifíticas no Igarapé Água Boa e no Rio Cauamé, Município de Boa Vista, Estado de Roraima, Brasil, ao longo de um ciclo sazonal.** Manaus, 2000, 260 f. Tese (Doutorado em Biologia de Água Doce e Pesca Interior), UA/INPA.
- GUYOT J. L.. Hydrogéochimie des fleuves de l'Amazonie Bolivienne. In: Orston. **Géologie, Géochimie, Université Bordeaux** I. Paris: Orston, 1993.
- GUYOT, J.L.; GUIMARÃES, V.S.; SANTOS, J.B.R.; LONGUINHOS, R.S.; CONCEIÇÃO, S.. **Primeira campanha de medições de vazão com ADCP (correntômetro com efeito Doppler) no Rio Amazonas.** Brasília: Publ. HiBAm, 1994.
- GUYOT, J.L., FILIZOLA N., GUIMARÃES, V.S.. **Quinta campanha de medições de vazão e amostragem de água e sedimentos na Bacia do rio Negro e no rio Amazonas.** Brasília: Publ. HiBAm, 1996.
- HORBE, M.A.C.; GOMES, I.L.F.; MIRANDA, S.A.F. e SILVA, M.S.R. Contribuição à Caracterização da Qualidade das Águas Superficiais da Bacia do Rio Tarumã-Am. **Acta amazônica**, v. 35, n. 2, p. 119-124, 2005.
- LEENHER, J.A.; SANTOS, U. M. Considerações sobre os processos de sedimentação na água preta ácida do rio Negro (Amazônia Central). **Acta amazônica**, 1980, v. 10, n. 2, p. 343-355.
- MEADE, R.H.; RAIOL, J.M.; CONCEIÇÃO, S.C.; NATIVIDADE, J.R.G. Back water effects in the Amazon River Basin. **Environ. Geol. Water Sci.**, 1991, v. 18, n. 2, p. 105-114.
- MELO, S.; SOPHIA, M.G.; MENEZES M.; SOUZA, C. A. Biodiversidade de algas planc-tônicas do Parque Nacional do Jaú: Janela Seringalzinho. In: BORGES, S.H.; IWA-NAGA, S.; DURIGAN, C. C.; PINHEIRO, M. R. (Eds). **Janelas para a biodiversidade do Parque Nacional do Jaú: uma estratégia para o estudo da biodiversidade da Amazônia.** Brasília: Ed. Ipiranga, 2004, p.83-95.
- MELO, E.G.F.; SILVA, M. S. R.; MIRANDA, S.F. Influência Antrópica sobre águas de Igarapés na Cidade de Manaus-Amazonas. **Caminhos da Geografia** (UFU. Online), v. 5, n.16, p. 40-47, 2005a.
- MOUNIER, S.; BRAUCHER, M. R.; BENAÏM, J. Y. Differentiation do organic matter's properties of the rio Negro basin by crossflow ultra-filtration and UV-spectrofluorescence. **Wat. Res.**, v. 33, n. 10, p. 2363-2373. 1999.
- NECHI JR, O. Amostragem de macroalgas bentônicas. In: BICUDO, C.E.M.; BICUDO, D. C. **Amostragem em Limnologia.** São Carlos: Rima Editora, 2004, p. 167-177.
- PASCOALOTO, D. Características físicas e químicas de sete igarapés de terra-firme no Estado do Amazonas e sua relação com *Batrachospermum* spp. (Batrachospermaceae, Rhodophyta). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 17, n. 1, p. 3-19. 2001.
- PASCOALOTO, D. **Nova tonalidade para rios de água preta e capacidade de assimilação de minerais por macroalgas na Bacia do alto rio Negro, município de São Gabriel da Cachoeira.** Relatório Científico. Manaus, CNPq/INPA, 2012, 20p.
- PASCOALOTO, D.; BRINGEL, S.R.B. Macroalgas e qualidade da água na Bacia do alto Rio Negro – município de São Gabriel da Cachoeira (AM). **Caminhos de Geografia**, v. 11, p.: 318-333, 2010.
- PASCOALOTO, D.; GONCALVES, T. J.; SILVA, M. S. R.; LINS, V. K. C.; CONRADO, M. A. O.; ALVES, M. C. N. Estudo da dinâmica de macroalgas em flutuantes de duas

- comunidades ribeirinhas na Bacia do Tarumã-Mirim (área rural de Manaus/AM) por alunos do ensino fundamental. **Caminhos da Geografia** (UFU. Online), v. 11, p. 66-75, 2010.
- PASCOALOTO, D.; PINTO, A.G.N.; TAKANO, E.E.A. Características físicas e comunidades de macroalgas em um igarapé de terra firme na reserva florestal Adolpho Ducke (Manaus/AM). **Caminhos de Geografia**, v. 9, p. 108-114, 2008.
- PASCOALOTO, D.; SILVA, M. S. R.; PINTO, A.G.N.; GONCALVES, T. J.; LINS, V. K. C.; LINS, J. F.; SILVA, R. K. B.; TAKANO, E.E.A. Macroalgas e qualidade da água em três comunidades ribeirinhas na Bacia do Tarumã-Mirim, Manaus (AM). **Caminhos de Geografia**, v. 10, p. 135-143, 2009.
- PASCOALOTO, D.; SOARES, C. C. Comunidades de algas, configuração física e qualidade da água de igarapés das Bacias urbanas no município de Manaus. In: FERREIRA, S.J.F.; SILVA, M.L.; PASCOALOTO, D.P. (Org.). **Amazônia das Águas: qualidade, ecologia e educação ambiental**. 1ed. Manaus: VALER, 2016, v. 1, p. 52-70.
- PASCOALOTO, D.; SOARES, C. C. Recursos Hídricos da Bacia do alto rio Negro (AM): comunidades de algas e características hidroquímicas em igarapés de água clara, uma nova tonalidade para a região. In: **Anais do X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. Fortaleza: ABRH - regional Ceará, 2010. p. 1-8.
- PASCOALOTO, D.; SOARES, C. C.; SILVA, M. S. R.; GOMES, N. A. Hidroquímica e fitoplâncton em igarapés da BR-307, São Gabriel da Cachoeira/AM. In: **Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Bento Gonçalves – RS, 2013, p. 1-8.
- RICE, E.W.; BAIRD, R.B.; EATON, A.D., CLESCERI, L.S. (org.). **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 22a ed. Maryland-USA: APHA/AWWA/WEF, 2012.
- SIOLI, H. Tropical River as Expressions of their Terrestrial Environments. In: GOLLEY, F.B; MEDINA, E. (Eds). *Tropical Ecological Systems Trends in Terrestrial and Aquatic Reserarch*. **Berlin: Springer-Verlag**, p. 289-312, 1975.
- SOUZA, L.S.; NUNES, R.O. Levantamento de macrófitas aquáticas no rio Méquens. **Revista Eletrônica da FACIMED**, v. 3, n. 3, p. 211-223, 2011.
- TERRA BRASILIS. Ecoteca Digital. Mapa da Amazônia Legal 2007. Disponível em < <https://www.terrabrasilis.org.br/ecotecadigital/images/Mapa%20da%20Amazonia%20Legal.pdf> > . Acessado em 28 outubro 2022.
- UHERKOVICH, V.B.; FRANKEN, M. Aufwuchsalgen aus Zentralmazonischen Regenwaldbachen. **Amazoniana**, v. 7, p. 49-79, 1980.

PARTE 2

SISTEMA RIPÁRIO E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

6. Águas subterrâneas: Riquezas minerais da Amazônia

Márcio Luiz da Silva

Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. E-mail: marciols@inpa.gov.br

INTRODUÇÃO

Na história das civilizações, é possível identificar rastros que mostram o papel relevante da água em suas existências. Do início ao ápice. Do ápice ao declínio.

Hipócrates (460 a.C.), considerado pai da medicina, falou sobre os efeitos benéficos de determinadas águas minerais. Mas é no império Romano onde a cultura da água tem suas mais arraigadas raízes. O Velho Testamento contém numerosas referências às águas subterrâneas, nascentes e poços. O arquiteto romano Marcos Vitruvius Polião (80 a.C.) escreveu diversos textos sobre hidráulica, regime da chuva e de escoamento, sugerindo a teoria da infiltração como o fundamento do acúmulo de água subterrânea. Marcos Vitruvius afirmava que em terrenos argilosos as quantidades de água subterrânea, captáveis através de escavações, são mínimas e a qualidade é geralmente imprópria. Ao contrário, nos terrenos arenosos, as quantidades são geralmente abundantes e o gosto é saudável (CETESB, 1978; REBOUÇAS, 1981; TODD, 1980; ANAEBE, 2012).

Desde o século XVII foi forjando-se no continente europeu um culto a água em torno de centros de balneários que acabaram por converter-se em verdadeiros centros de peregrinação devido a notoriedade alcançada pelas propriedades de suas águas. É precisamente a popularização dos balneários e o desejo de seus visitantes de seguir desfrutando das águas em seus lugares a razão fundamental de que a água mineral comece, a princípio do século XX, a envasar-se e a comercializar-se em farmácias sob a denominação de “mineromedical” (Figura 01). Hoje em dia, a água mineral é um dos produtos alimentares submetidos aos controles de qualidade e segurança mais rigorosos pelas distintas legislações que a regula.

Estas normas impedem que a água mineral seja manipulada ou que sua composição se altere no processo de captação e envase (ALMANAK LAEMMERT, 2020; JORNAL DO COMMERCIO, 2020; ANAEBE, 2012).

Durante o século XVIII, foram estabelecidos os fundamentos da geologia que forneceram base para a compreensão da ocorrência e do movimento das águas subterrâneas e, na primeira metade do século XIX, muitos poços artesanais foram perfurados na França (TODD, 1980). Assim, deu-se início a hidrogeologia.

No Brasil, a utilização da água subterrânea para abastecimento das populações, teve amplo desenvolvimento empírico no Período Colonial. Do primeiro ao segundo reinado, a perfuração de poços, só podia ser feita mediante autorização Central. Quanto ao termalismo brasileiro, foi iniciado pelos bandeirantes, que descobriram as primeiras fontes de água mineral e passaram a utilizá-las como ponto de cura e repouso (LANCIA *et al.*, 1994; REBOUÇAS, 2002).

Em 1907 foi apresentado o projeto do Código de Águas, sendo finalmente sancionado pelo Poder Executivo em 1934 (Decreto 24.643 de 10/7/34). A seguir, tem-se o Código de Águas Minerais (Decreto-Lei nº 7.841 de 08/08/45), assim dispendo, sobre água mineral: Art. 1º - Águas minerais são aquelas provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que possuam composição química ou propriedades físicas ou físico-químicas distintas das águas comuns, com características que lhes confiram uma ação medicamentosa. E no parágrafo 3º - A ação medicamentosa referida no parágrafo anterior das águas que não atinjam os limites da classificação estabelecida nos Capítulos VII e VIII deverá ser comprovada no local, mediante observações repetidas, estatísticas completas, documentos de ordem clínica e de laboratório, a cargo de médicos crenologistas, sujeitas as observações à fiscalização e aprovação da Comissão Permanente de Crenologia, definida no Art. 2º desta Lei. Art.



Figura 01. Amostras de água mineral comercializadas em Manaus (A) e no Rio de Janeiro em 1904 e 1895, respetivamente. Fonte: Almanak Laemmert (2020) e Jornal do Commercio (2020).

2° - Para colaborar no fiel cumprimento desta Lei fica criada a Comissão Permanente de Crenologia, diretamente subordinada ao Ministro das Minas e Energia. Art. 3° - Serão denominadas “águas potáveis de mesa” as águas de composição normal provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que preencham tão-somente as condições de potabilidade para a região. Art. 4° - O aproveitamento comercial das fontes de águas minerais ou de mesa, quer situadas em terrenos de domínio público, quer de domínio particular, far-se-á pelo regime de autorizações sucessivas de pesquisa e lavra instituído pelo Código de Mineração, observadas as disposições especiais da presente lei. Assim, só será permitida a exploração comercial de água (mineral, termal, gasosa, potável de mesa ou destinada a fins balneários) quando previamente analisada na Agência Nacional de Mineração (ANM), e após expedição do Decreto de Autorização de Lavra (SANTOS, 2000; REBOUÇAS, 2002).

No Código de Mineração (Decreto-Lei n° 1.985, de 1940 alterado pelo Decreto-Lei n° 227, de 1967) - Art. 10 – rege-se por Leis especiais: IV – as águas minerais em fase de lavra; e V- as jazidas de águas subterrâneas. Dentre as alterações feitas pela Constituição Federal de 1988 aos dispositivos do Código de Águas de 1934, destaca-se o fato de todas as águas do Brasil passarem, desde então, a ser um bem natural de domínio público. Nesta abordagem, são bens dos Estados (Art. 26): “as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras de União” (SANTOS, 2000; REBOUÇAS, 2002; CÓDIGO DE ÁGUAS, 2002). Apesar de avançado para a época em que surgiu, o Código de Águas de 1934 não foi complementado pelas leis e pelos regulamentos nele previstos, em particular os referentes ao uso e proteção das águas subterrâneas. Mesmo nos aspectos referentes às águas superficiais, o que se teve foi uma legislação geradora de conflitos entre os interesses crescentes do setor e da irrigação, principalmente (Rebouças 2002). Mas, desde então, é um texto exemplar pela doutrina jurídica brasileira.

Em 1997, depois de plenos debates, cria-se a Lei de Recursos Hídricos (Lei n° 9.433 de 08 de janeiro de 1997) instituindo a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do Art. 1° da Lei n° 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n° 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

A Portaria n.º 518, de 25 de março de 2004 do M.S, estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da

qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.

A Lei nº 3.167, de 28 de agosto de 2007. Reformula as normas disciplinadoras da Política Estadual de Recursos Hídricos e do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e estabelece outras providências.

A Resolução Conama nº 396, de 3 de abril de 2008, publicada no DOU nº 66, de 7 de abril de 2008, Seção 1, páginas 64-68, dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

A Resolução nº 91, de 5 de novembro de 2008, publicada no D.O.U em 06 de fevereiro de 2009, dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneas.

A proposta de Resolução nº 92, de 05 de novembro de 2008, publicada no D.O.U em 04 de fevereiro de 2009, estabelece critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro.

A Resolução CNRH nº 107, de 13 de abril de 2010, publicada no D.O.U. em 1 de junho 2010, estabelece diretrizes e critérios a serem adotados para o planejamento, a implantação e a operação de Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas.

ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: GÊNESES E AQUÍFEROS

As águas subterrâneas têm três origens básicas. A meteórica, constituindo aproximadamente 97% dos estoques de água doce que ocorrem no estado líquido nos continentes e o mecanismo de recarga é a infiltração, principalmente sob a forma de chuva e neve. A conata, águas estocadas a grandes profundidades, em regra geral superiores a 4.000 metros. Essas águas ficaram retidas nos sedimentos às épocas das deposições e são, por isso, também chamadas de “águas de formação”. Têm altos teores salinos, característicos dos paleoambientes de formação dos depósitos sedimentares considerados, da ausência de recargas e dos longos períodos de interação água/matriz rochosa. E a juvenil, geradas pelos processos magmáticos da Terra (REBOUÇAS, 2006).

O processo de infiltração da água no solo é lento, através dos espaços intergranulares, até atingir uma zona totalmente saturada formando o lençol subterrâneo. Ocorre até o ponto em que o suprimento de água excede a capacidade do solo em absorvê-la e quase, toda a água subterrânea tem essa origem. É condicionada pelo tamanho dos grãos, tipo e grau

de intercomunicação entre os vazios intergranulares, presença ou não de barreiras em superfície, condições de umidade e diferenças de nível e pressão que ocasionam o deslocamento da água, dos níveis de energia hidráulica mais elevados para os menos elevados. Vale ressaltar que, nem toda a água que infiltra no solo se torna subterrânea, podendo voltar à superfície por capilaridade, sob a ação da gravidade ou, ainda, pela ação do homem, e evaporar-se na atmosfera, ou pode ser absorvida pelas plantas e retornar à atmosfera pela transpiração vegetal (PINTO, 1973; SUGUIO e BIGARELLA, 1990; AZEVEDO e ALBUQUERQUE FILHO, 1998).

Diferentes contribuições, conhecidas como reabastecimento artificial, podem ocorrer do excesso de irrigação, percolação proveniente de canais, e águas propositadamente fornecidas a fim de aumentar o abastecimento das águas subterrâneas (TODD, 1980). Atualmente, pesquisadores da Coordenação de Dinâmica Ambiental do INPA, desenvolvem o projeto de pesquisa intitulado IETÉ, com incentivos da Lei de Informática (LEI n° 8387/1991), onde buscam meios técnico-científicos de injeção artificial de água no aquífero local, além da instalação de uma rede de monitoramento ambiental na Bacia Hidrográfica do Educandos – cidade de Manaus.

A camada superior da zona detrítica, onde os poros estão parcialmente ocupados por água e ar, é designada “zona de aeração”. Situa-se entre a superfície do terreno e o nível freático. A espessura varia de centímetros, em áreas alagadiças, até mais de 100 metros em regiões desérticas, onde a água é denominada suspensa ou vadosa. Na zona de aeração, a água higroscópica é a que está aderida ao grão sólido, como uma camada muito fina, e que não se movimenta sob temperaturas inferiores a 100° C. Já a água pelicular é a que forma uma película que envolve as partículas e só se desprende do grão por centrifugação, porém, pode migrar de um grão para outro. Do ponto de vista hidrogeológico e agrônômico, ambas têm pouco interesse, pois, não se movimentam pela gravidade nem por bombeamento e tampouco podem ser extraídas pela força de sucção das raízes das plantas. Contudo, a água capilar existe como uma película contínua em volta das partículas do solo. Presa pela tensão superficial, pode ocorrer movimentos no sentido contrário ao da ação da gravidade, fenômeno conhecido como ascensão capilar ou sucção, estando à disposição das plantas (CUSTODIO e LLAMAS, 1976; TODD, 1980; MACIEL FILHO, 1997; AZEVEDO e ALBUQUERQUE FLHO, 1998).

Imediatamente abaixo da zona vadosa, onde os interstícios estão preenchidos com água sob pressão hidrostática, está a “zona de saturação”. A água que ocorre nessa zona é comumente, denominada de água sub-

terrânea. Essa zona pode ser considerada como sendo um único reservatório ou, um sistema de reservatórios naturais, cuja capacidade e volume total dos poros ou interstícios estão repletos de água. Nela, o movimento da água, conhecido por percolação, vai da zona de recarga para a zona de descarga, sendo governado pelas condições hidráulicas circunvizinhas (CUSTODIO e LLAMAS, 1976; MORAIS, 1995; AZEVEDO e ALBUQUERQUE FLHO, 1998).

A franja de capilaridade é a faixa acima do nível freático em que os poros do solo estão preenchidos até uma altura variável segundo o tamanho desses vazios. É oriunda da zona de saturação devido a atração capilar.

As formações ou camadas da zona saturada nas quais se podem obter água para uso proveitoso e em proporção suficiente, são chamadas formações, reservatórios de água subterrânea, lençóis aquíferos, e aquíferos, palavra de origem latina que significa suporte de água. Qualquer tipo de rocha (ígneia, sedimentar, vulcânica ou metamórfica) pode constituir um aquífero. Embora o volume das rochas sedimentares corresponda a apenas 5% da crosta terrestre, essas rochas comportam cerca de 95% da água subterrânea (CUSTODIO e LLAMAS, 1976; CETESB, 1978; TODD, 1980).

Os aquíferos são classificados em função da pressão hidrostática em suas camadas e em função da capacidade de transmissão de água das respectivas camadas limítrofes. Podem ser:

Livres – (ou freáticos) os que possuem uma superfície livre da água contida, que está em contato direto com o ar e, portanto, com a pressão atmosférica;

Confinados - quando um aquífero se encontra entre duas camadas impermeáveis diz-se estar confinado. Por ser impermeável a camada superior confinante, a água não se encontra sob pressão atmosférica; nos interstícios do aquífero a pressão é superior à atmosférica. Em tal situação a água se encontra em condições chamadas artesianas. O aquífero é, então, designado lençol artesianos, aquífero confinado, água subterrânea confinada ou sob pressão. O aquífero confinado drenante é o que existe quando a camada que o deveria confinar tem as características de um aquífero e possui sua superfície piezométrica superior em cota à superfície do aquífero. Um aquífero confinado é um material ou rocha porosa que, embora armazene quantidade significativa de água no seu interior, permite a circulação apenas de forma muito lenta. Um aquífero confinado não drenante está entre um aquífero cujo sua composição é particularmente de um material impermeável que pode ou não conter água, mas que é incapaz

de transportar quantidades significativas da mesma e um aquífugo, um material impermeável, com baixíssimo grau de porosidade, que não contém nem transporta água (CETESB, 1978; TODD, 1980; MACIEL FILHO, 1997; AZEVEDO e ALBUQUERQUE FLHO, 1998);

Suspensos – são aquíferos não confinados, separados das águas subterrâneas principal por um estrato relativamente impermeável, e por uma zona de aeração, acima do corpo principal de água subterrânea. Ocorrem normalmente em pequenas extensões de áreas (TODD, 1980; MACIEL FILHO, 1997; AZEVEDO e ALBUQUERQUE FLHO, 1998).

As unidades geológicas podem ser divididas em três domínios aquíferos:

Aquífero fraturado: é representado pelas rochas ígneas e metamórficas, e constitui os terrenos denominados genericamente de cristalinos (CETESB, 1978);

Aquífero fraturado-cárstico: corresponde à região de ocorrência de rochas sedimentares ou metassedimentares associadas a rochas calcárias (CETESB, 1978);

Aquífero poroso: a água está contida entre os grãos que compõem a rocha (porosidade primária). É representado pelas rochas sedimentares.

GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA

A base da Bacia Sedimentar do Amazonas é composta por rochas granito-gnáissicas e vulcano-sedimentares da Província Amazônia Central, sotoposta por depósitos tafrogênicos das formações Prosperança e Acari, ambas do Grupo Purus. A Formação Prosperança, ocorre em diversas regiões como remanescentes do embasamento cristalino, como na região do Rio Tapajós e na borda norte desta Bacia. Compreende um conjunto variado de depósitos continentais e consiste predominantemente de conglomerados, arenitos arcóseos, argilitos e siltitos, de coloração marrom avermelhada, com até 1.250 m de espessura. A Formação Acari é composta por calcários e dolomitos silicificados, siltitos, argilitos e folhelhos vermelhos a castanho escuro, compactos, e arenitos creme com níveis de conglomerados finos. Essa unidade sobrepõe à Formação Prosperança em discordância erosiva e possui uma espessura da ordem de 400 m. Tais unidades foram posicionadas no Neoproterozóico e ambas as formações são afossilíferas (CAPUTO *et al.*, 1971; CAPUTO *et al.*, 1972; CORDANI *et al.*, 1984; SANTOS, 1984; TASSINARI *et al.*, 2000) (Figura 02).

Na região, os processos de subsidência iniciaram-se no Ordoviciano Superior, resultando na deposição dos arenitos da base do Grupo Trombetas. Posteriormente, a região foi invadida pelo mar proveniente do Leste, que depositou o restante do Grupo, no Devoniano inferior. O Grupo Trombetas é constituído pelas Formações: Autás-Mirim (arenitos e folhelhos neríticos), Nhamundá (arenitos neríticos e depósitos glaciogênicos), Pitanga (folhelhos e diamictitos marinhos) e Manacapuru (arenitos e pelitos neríticos e litorâneos) (PETRI e FÚLFARO, 1988; CUNHA *et al.*, 1994) (Figura 02). Novo ciclo transgressivo-regressivo ocorreu na Bacia, posterior à discordância relacionada à Orogenia Caledoniana, originando os sedimentos dos Grupos Urupadi e Curuá. O primeiro é formado por arenitos e pelitos neríticos e deltaicos da Formação Maecuru e os siltitos, folhelhos e arenitos neríticos e deltaicos da Formação Ererê. O Grupo Curuá abrange folhelho cinza-escuro e preto, depositado durante a transgressão global, da Formação Barreirinha, diamictitos, folhelhos e siltitos de ambiente glacial da Formação Curiri, arenitos e pelitos de ambiente fluvial regressivo da Formação Oriximiná e arenitos finos e grosseiros flúvio-deltaicos com influência de tempestade da Formação Faro. Nesta etapa, com o recuo do mar, a Bacia sofreu um extenso processo erosivo (BRITO, 1979; CUNHA *et al.*, 1994) (Figura 02).

O Grupo Tapajós é oriundo de um novo ciclo deposicional transgressivo-regressivo, ocorrido entre o Neocarbonífero e o Neopermiano, associado a mudanças climáticas de frio para quente árido. Grupo composto por arenitos, siltitos e folhelhos da Formação Monte Alegre, calcários e margas da Formação Itaituba e depósitos evaporíticos (halitas e anidritas) da Formação Nova Olinda. O Paleozóico encerra-se com a deposição dos siltitos vermelhos e verdes, arenitos e folhelhos da Formação Andirá (BRITO, 1979; CUNHA *et al.*, 1994) (Figura 02).

Esforços Norte-Sul gerados pela Orogênese Gonduanide, possivelmente fraturaram o Escudo das Guianas e, transversalmente, as Bacias paleozoicas, provocando soerguimento e erosão. Logo, a Bacia Sedimentar foi submetida à distensão leste-oeste, seguida do magmatismo básico, denominado de Penatecaua, com ocorrência em Roraima, no Alto Rio Negro, no Suriname, nas Guianas, no setor Sul da Plataforma amazônica e sob os sedimentos da Bacia do Amazonas. No Amazonas, após a sedimentação permiana, houve prolongada erosão até o início dos tempos Neocretáceos, os possíveis derrames foram erodidos restando, atualmente, quase só rochas hipoabissais dessa idade (SANTOS, 1984; PETRI e FÚLFARO, 1988; CUNHA *et al.*, 1994). Um relaxamento dos esforços compressionais ENE-

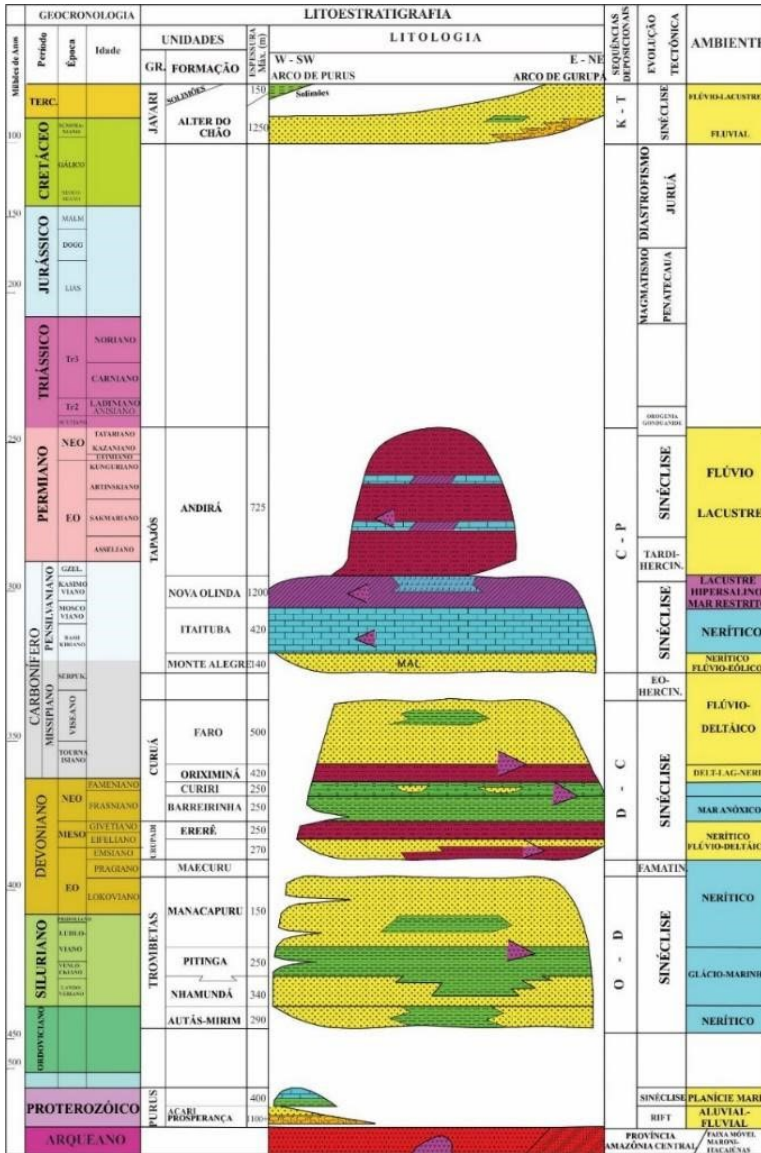


Figura 02. Carta estratigráfica da Bacia do Amazonas. Fonte: Adaptado de Cunha *et al.* (1994).

-WSW do Diastrofismo Juruá, originados a partir da abertura do Atlântico Equatorial, a leste, e da zona de subducção andina Cretácea, a oeste da placa Sul-Americana, criou sítios deposicionais para a implantação do ciclo Cretáceo-paleógeno representado pelo Grupo Javari, o que resultou nos sedimentos da Formação Alter do Chão (Cretáceo) e pela Formação Solimões (Mioceno) (Figura 02), apenas margeando a parte ocidental da Bacia Sedimentar do Amazonas (EIRAS *et al.*, 1994).

O início de Cenozóico assistiu a uma tendência a soerguimento e flutuações transgressivas-regressivas. A Formação Solimões (Mioceno-Plio-

ceno), revalidada por Caputo *et al.* (1972), estende-se por ampla área do Acre e da parte oeste do Amazonas, guardando uma relação de discor-
dância com a Formação Alter do Chão e alcançando grandes espessuras (Figura 02). As duas unidades litoestratigráficas são produtos de uma se-
dimentação típica de ambientes de planície de inundação, representados por uma mescla de depósitos de canais e de transbordamento, correspon-
dentes às duas grandes estações climáticas regionais.

A Formação Solimões é composta por duas litologias que se interdigi-
tam: uma é predominantemente argilosa com lentes de arenitos, concre-
ções de calcário e gipso e lentes de linhitos. A Formação Alter do Chão é
constituída por argilas, siltes e areias interdigitadas, predominantemente
vermelhas, mal selecionadas, feldspáticas e com conteúdo variável de
micas, distribuindo-se por toda a Amazônia Ocidental (LOURENÇO *et al.*,
1978; PETRI e FÚLFARO, 1988; EIRAS *et al.*, 1994; FERNANDES FILHO
et al., 1997).

Os principais sistemas aquíferos do país estão situados nas Bacias se-
dimentares brasileiras, destacando-se a Bacia do Paraná, do Parnaíba e
do Amazonas. O empilhamento estratigráfico dessas Bacias permitiu o
desenvolvimento de sequências intercaladas de formações com elevadas
porosidade e permeabilidade com formações de menor permeabilidade.
As reservas renováveis desses sistemas totalizam cerca de 20 mil m³.s⁻¹.
A disponibilidade hídrica subterrânea (reserva explorável), considerada
igual a 20% das reservas reguladoras, corresponde à cerca de 4.100 m³.s⁻¹
(ANA, 2005 e 2007).

Na Região Hidrográfica amazônica, as pesquisas sobre águas subter-
râneas são ainda incipientes e restringindo-se apenas aos aquíferos dos
depósitos do Cenozóico (formações Solimões e Alter do Chão), com estu-
dos concentrados particularmente nas regiões de Manaus, no Amazonas,
e de Belém, no Pará. Além disso, ainda não se dispõe de uma integração
abrangente desses estudos, dificultando o planejamento e a execução de
programas voltados para a gestão integrada dos recursos hídricos (ANA,
2005; GALVÃO *et al.*, 2012).

A Bacia Sedimentar do Amazonas é compartimentada por estruturas
regionais em Bacias menores e ocupa boa parte da região norte do Brasil,
coincidindo, em grande parte, com a Bacia hidrográfica do rio Amazonas.
Tem área de cerca de 1.300.000 km² e espessuras que podem atingir mi-
lhares de metros. A sequência paleozóica a mesozóica chega a 7.000 m
de espessura, sendo recoberta pelos sedimentos terciários com espessura
média em torno de 600 m. Os sistemas aquíferos mais importantes são

o Solimões e o Alter do Chão. Cabe ressaltar que a elevada pluviometria regional, a natureza porosa desses aquíferos e a elevada densidade de cursos de água superficiais, propiciam condições para que o nível de água nos aquíferos seja raso (Figura 03) (ANA, 2007; SILVA, 2015).

O sistema aquífero Solimões é representado pelos sedimentos terciários da formação homônima e aflora em todo o estado do Acre e na parte oeste do estado do Amazonas. Este aquífero é utilizado principalmente no abastecimento público, sendo fonte importante para a cidade de Rio Branco. É constituído por arenitos, conglomerados, siltitos, argilitos, calcários silticoargilosos. Sua espessura máxima pode atingir até 2.200 m. Em geral, é explotado como aquífero livre, entretanto ocorre também em condições confinadas, haja vista que tem contribuição pelítica (argilosa) e grande espessura. Neste sistema aquífero, a vazão média dos poços é de $27,3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ sendo assim de elevada produtividade (ANA 2007).

O sistema aquífero Alter do Chão é de idade cretácica e ocorre sotoposto aos sedimentos da Formação Solimões aflorando na região Centro Norte do Pará e Leste do Amazonas. O sistema é constituído por arenitos e argilitos, com intercalações de termos granulométricos semelhantes, não consolidados. Tem espessura máxima de 1.250 m e em geral, é um aquífero do tipo livre e é explotado, principalmente, nas cidades de Manaus, Belém, Santarém e na Ilha de Marajó. A qualidade da água do aquífero é boa, apresentando-se ácido e com baixa condutividade elétrica (ANA, 2005; SILVA, 2015).

Na cidade de Manaus, o aquífero Alter do Chão apresenta uma espessura média de 160 m (porção saturada e arenosa da formação). O limite inferior corresponde ao contato com os evaporitos e calcários da Formação Nova Olinda (Figura 02) e a profundidade média do nível de água é de 30 m. As maiores profundidades estão nos setores sudeste e nordeste, correspondendo a quase toda a porção oriental da cidade de Manaus. Para



Figura 03. Poço escavado (cacimba) com profundidade de 5 metros (A) e poço tubular com profundidade de 30 metros (B), em área urbana de Manaus – AM. Fonte: Dados de campo (2019).

oeste, o nível de água torna-se mais raso, chegando a aflorar em alguns locais. O fluxo principal das águas subterrâneas exibe sentido de nordeste para sudoeste. A análise da transmissividade, sugere que os maiores valores ocorrem nos setores sudoeste, norte e leste da cidade, e os menores na zona central. Os principais parâmetros hidrodinâmicos possuem média de: 1) transmissividade de 4,7 m²/h; 2) condutividade hidráulica de 2,9 x 10⁻² m/h; 3) porosidade efetiva de 18%; 4) inclinação (gradiente) das águas da ordem de 0,002 e; 5) velocidade em torno de 2 cm/dia (AGUIAR e MOURÃO 2012).

O sistema aquífero Boa Vista é constituído por sedimentos cenozóicos representados por arenitos conglomeráticos e arcoseanos. Ocorre na porção nordeste do estado de Roraima, com espessura máxima, estimada em 120 m. A exploração ocorre como aquífero livre, com poços apresentando vazão média de 32,7 m³.h⁻¹. É importante fonte de abastecimento para a cidade de Boa Vista. O aquífero Parecis, de idade Cretácea, é constituído por arenitos com intercalações de níveis de conglomerado e lentes pelíticas. Este sistema aflora no Oeste de Mato Grosso e na extremidade Leste do estado de Rondônia e tem espessura média de 150 m e apresenta excelente produtividade, com vazão média de 146,9 m³.h⁻¹. Geralmente, é explotado em condições livres, entretanto pode apresentar condições de semiconfinamento, estabelecido por coberturas lateríticas e/ou argilosas (ANA, 2007 e 2011). A tabela 1 apresenta a disponibilidade e distribuição de águas subterrâneas nos principais aquíferos da Região Hidrográfica amazônica, segundo ANA (2007).

Tabela 1. Disponibilidade de águas subterrâneas nos principais aquíferos da Região Hidrográfica amazônica (* P: Poroso, L: Livre).
Fonte: ANA (2007).

Sistema Aquífero	Tipo	Área de Recarga (km ²)	Reserva (m ³ .s ⁻¹)	
			Renovável	Explotável
Solimões	P,L	457.664	4.481,5	896,3
Alter do Chão	P,L	312.574	1.247,5	249,5
Boa Vista	P,L	14.888	162,0	32,4
Parecis	P,L	88.157	2.324,0	464,8
Percentagem de área de recarga				
Solimões (11,8%), Alter do Chão (7,5%), Boa Vista (0,4%), Parecis (2,1) e Barreiras (0,3%)				

As revisões litoestratigráficas feitas por Abreu *et al.* (2014), sobre as Bacias que compõem a Província Estrutural Amazônia permitiram uma nova apreciação sobre a caracterização e redefinição dos sistemas aquíferos da Província, no que comporta as suas várias divisões geotectônicas. Propondo assim, a definição, no âmbito da Região Hidrográfica amazônica, de Sistema Aquífero Grande Amazônia – SAGA, o qual compreende

unidades litoestratigráficas posicionadas do Eo-Neo Cretáceo à Era Cenozóica que ocorrem nas Bacias do Marajó, Amazonas e Solimões, Acre e, quem sabe, até as Bacias sub-andinas. A caracterização geométrica do SAGA, em cada uma das Bacias, é apresentada ainda de forma preliminar, bem como são preliminares os cálculos sobre reservas aquíferas, os quais indicam que o SAGA possui volume hídrico que ultrapassa a 160.000 km³, ou cerca de quatro vezes às reservas do Aquífero Guarani, situadas ao redor de 37.000 km³, posicionando-se, assim, entre os maiores sistemas aquíferos do mundo.

MINERALOGIA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

As amplas extensões das Bacias sedimentares regionais introduzem uma série de parâmetros que afetam a evolução hidroquímica das águas subterrâneas, de maneira que ocorrem vários processos que determinam um comportamento diferenciado para os íons, implicando, assim, em mudanças nos fácies hidrogeoquímicos. Quando Silva e Bonotto (2015) relacionaram os valores médios das razões de atividade de isótopos de urânio, cátions, ânions e urânio dissolvidos das águas amostradas com a distribuição espacial das cidades em estudo, no estado do Amazonas, verificaram acréscimos de valores das variáveis em questão, no sentido NE-SW e que a distribuição química das águas de subsuperfície ao longo das cidades amostradas pode ser resultado de fatores como a diferença de declividade da Bacia relacionada às estruturas soterradas (altos e baixos estruturais). A declividade da área de estudo, o estreitamento da Bacia Sedimentar do Amazonas, a partir do seu curso médio e a drenagem orientada pela tectônica, podem estar influenciando a dinâmica do fluxo subterrâneo, ocasionando diferenças de velocidade de percolação no sentido NE-SW e concluíram também que a descarga das águas superficiais é outro fator que pode estar exercendo influência na distribuição desses elementos dissolvidos.

De acordo com as características hidrogeológicas dos poços analisados na cidade de Manaus, todos extraem água da Formação Alter do Chão. As médias para o nível estático e nível dinâmico foram de 45,48 m e 87,57 m, respectivamente e a vazão média foi de 89,45 m³.h⁻¹. As temperaturas das águas subterrâneas são relativamente homogêneas, variando de 27°C a 29°C. Nessa região, a temperatura atmosférica exerce influência sobre as águas subterrâneas, pelo não confinamento dos aquíferos, rápida infiltração das águas meteóricas ou pela pouca profundidade do posicionamento dos filtros dos poços amostrados. Os valores encontrados para

o pH indicam que são ácidas as águas. Esta característica físico-química possivelmente pode ser explicada em função da composição mineralógica das rochas do aquífero, recarga rápida e processos de interação água-rocha/solo. Já o potencial redox medido nas águas estudadas mostrou que o ambiente de circulação das águas pode ser classificado como “reductor e ácido”.

Os valores de condutividade elétrica geralmente são baixos, indicando que as águas são fracamente mineralizadas. A extrema pureza das águas naturais da região reflete a importância do escoamento em um substrato extremamente intemperizado e pobre em íons solúveis, alta precipitação pluviométrica e evapotranspiração. Quanto aos íons dissolvidos, se verifica que o mais abundante é o potássio.

Os baixos valores de bicarbonato nas águas indicam áreas de recarga e coincidem com as áreas de topografia mais elevada, crescendo de acordo com o sentido do fluxo subterrâneo. O cloreto corresponde ao ânion mais abundante. Assim, sugerindo um não confinamento do aquífero, e que as águas são recém-infiltradas, refletindo as características das águas de chuva com pouca interação com os estratos do aquífero.

Os teores de nitrato superiores a 10 mg.L⁻¹, são indesejáveis na água de uso doméstico, devido a um possível efeito tóxico sobre as crianças novas, por causar cianose, entretanto, os valores obtidos nas amostras analisadas na cidade de Manaus, situaram-se entre 0,019 e 1,02 mg.L⁻¹, bem abaixo do limite estabelecido pela legislação vigente.

Dentre os metais alcalinos dissolvidos nas águas, os teores de sódio variaram de 0,5 a 4,5 mg.L⁻¹. Entretanto, os teores de cálcio variaram de 0,001 a 5,450 mg.L⁻¹ e, apesar de ser baixa a presença de bicarbonato nas águas estudadas, verifica-se que esse ânion favorece a solubilização de cálcio, pois, tem-se um coeficiente de correlação de 80% entre esses parâmetros. O magnésio é um elemento de importância nas rochas ferromagnesianas e ultrabásicas. O argilo mineral dominante nos solos da região é a caolinita (DAMIÃO *et al.*, 1972), de maneira que os silicatos de alumínio devem estar fixando o magnésio. O coeficiente de correlação entre o cálcio e magnésio é de 95%, indicando, assim, que os processos intempéricos estão atuando da mesma maneira s elementos.

Quanto ao ferro dissolvido, os valores são muito baixos (menores que 0,001 mg.L⁻¹). Tancredi (1996) relacionou que o teor de ferro relativamente baixo reflete a elevada taxa de circulação (renovação) da água subterrânea no sistema hidrológico da Formação Alter do Chão.

Por diversas pesquisas sobre a mineralogia das águas subterrâneas da região de Manaus e entorno, foram evidenciados que alguns municípios apresentavam águas com altas concentrações de íons dissolvidos, atípicas das regionais. A partir do ano de 2006, começam a aparecer na literatura, águas com concentrações de sais dissolvidos maiores que o habitual, como as apresentadas por Silva e Silva (2007) e Oliveira *et al.* (2014). De acordo com esses autores, as condutividades elétricas das águas subterrâneas chegaram a valores superiores a $1.000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, mesmo em períodos hidrológicos distintos, e relacionaram esse fenômeno às construções de poços tubulares com maiores profundidades que as que vinham sendo utilizadas, ocasionando a obtenção de água em aquíferos com quimismo diferentes e às super-explorações dos aquíferos regionais, induzindo a consequente inversão de fluxo subterrâneo.

Silva e Silva (2007) apresentaram estudo de classificações mineralógicas de águas subterrâneas da cidade de Iranduba, de acordo com os cátions dissolvidos, como: $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$, $\text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+}$, $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ e $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$ enquanto que os ânions como $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$, $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$, $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$, $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ e $\text{Cl}^- > > \text{SO}_4^{2-} > > \text{HCO}_3^-$. Quanto as classificações, foram em sua maioria, potássicas e sódicas, ocorrendo uma delas com caráter misto e duas magnesianas. Quanto aos ânions dissolvidos, notaram que as cloretadas são predominantes, três amostras mistas e três sulfatadas. Dessa forma, as águas dos poços estudados foram classificadas como clorosulfatadas magnesianas e clorosulfatadas sódicas.

A Figura 4 apresenta distribuições de concentrações de íons dissolvidos em águas de consumo humano. Uma amostra de água da cidade de Iranduba, outra de Manacapuru e outra de Novo Airão. Além dessas, foram selecionadas, de forma aleatória, amostras de águas minerais comercializadas em diversos estados brasileiros, incluindo águas minerais consumidas na Região Metropolitana de Manaus (RMM). Assim foi explicitado que as amostras de águas minerais das cidades de Iranduba (AM-I), Manacapuru (AM-M) e Novo Airão (AM-N) têm altos valores de concentrações desses íons, quando relacionados às águas de outros estados brasileiros. Portanto, a RMM tem águas minerais que apresentam alto valor comercial.

Durante décadas, o estado do Amazonas foi o maior produtor de água envasada da região Norte. A produção de água entre a região Norte e o estado do Amazonas, demonstrava que as produções regionais seguiam um padrão de crescimento comum, no entanto, a partir do ano de 2009,

esse aumento linear se diferenciou com o incremento da produção pelo estado do Pará.

Diversos fatores dificultam o crescimento regional de produção de água envasada, entre eles, a difícil logística de escoamento do produto, a pouca experiência de mercado, pouco investimento em marketing e propaganda, mas o mais importante dos fatores é o pouco conhecimento do produto “água mineral”. As empresas instaladas na RMM ainda não investem no conhecimento científico e mineralógico de suas águas subterrâneas. Mas, esse setor do comércio tem participação significativa na economia mineral do estado do Amazonas. Sendo uma fonte de riqueza estratégica para o desenvolvimento regional. Todavia, ainda não existem políticas públicas voltadas para a modernização e incremento desse setor de mercado.

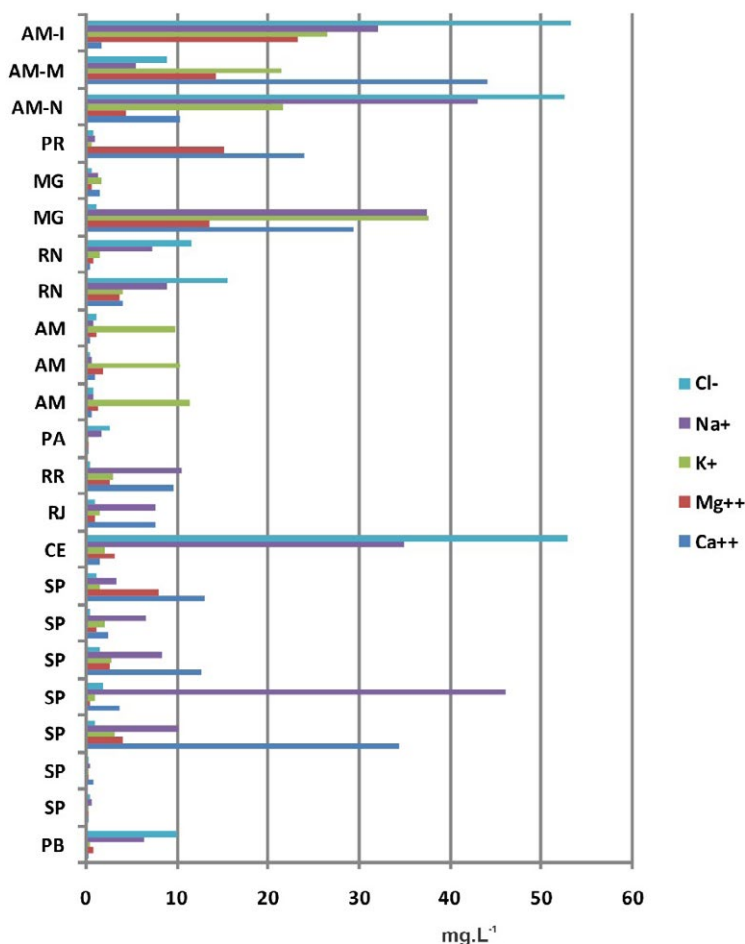


Figura 04. Distribuição de concentração de íons em águas envasadas comercializadas no Brasil e amostras de águas de poços tubulares de Iranduba, Manacapuru e Novo Airão - Amazonas. Fonte: Silva e Silva (2007) e Oliveira *et al.* (2014).

REFERÊNCIAS

- ABREU, F.A.M.; CAVALCANTE, I.N.; DUARTE, A.A.M.; MATTA, M.A.S. O Sistema Aquífero Grande Amazônia – SAGA: um imenso potencial de água subterrânea no Brasil. 4p. **Anais da 66ª reunião anual da SBPC** - Rio Branco, AC, 2014, 4p.
- AGUIAR, C.J.B.; MOURÃO, M.A.A. **Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas: relatório diagnóstico - Aquífero Alter do Chão no Estado do Amazonas**. CPRM, Belo Horizonte, 2012, 30p.
- ALMANAK LAEMMERT: **Administrativo, Mercantil e Industrial (RJ) - 1891 a 1940**. Disponível em: <http://memoria.bn.br/docreader/DocReader.aspx?bib=313394ePes-q=agua+mineralepagfis=10766>. Edição A00052 (1). Acesso em 10/06/2020.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Agência Nacional de Águas. **Cadernos de Recursos Hídricos: Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. ANA, Brasília, 2005, 80p.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil. **Cadernos de Recursos Hídricos 5**. ANA, Brasília, 2007, 126p.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Agência Nacional de Águas**. 2011. Disponível em: http://conjuntura.ana.gov.br/conjuntura/rh_amazonica.htm. Acesso em 22/08/2011.
- ANAEBE. **Asociación Nacional de Empresas de Aguas de Bebida Envasada**. 2012. Disponível em: <http://www.aneabe.es/>. Acesso em 22/02/2012.
- AZEVEDO, A.A.; ALBUQUERQUE FILHO, J.L. Águas subterrâneas. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. **Geologia de engenharia**. ABGE, São Paulo, 1998, p. 230-269.
- BRITO, I.M. **Bacias sedimentares e formações pós-paleozoicas do Brasil**. Interciência, Rio de Janeiro, 1979, 179p.
- CAPUTO, M.V.; RODRIGUES, R.; VASCONCELOS, D.N.N. Nomenclatura estratigráfica da Bacia do Amazonas; histórico e atualização. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Geologia**. SBG, Belém, 1972, p. 35-46.
- CETESB. **Água subterrânea e poços tubulares**. 3 ed. CETESB, São Paulo, 1978, 483p.
- CÓDIGO DAS ÁGUAS. 2002. Decreto nº 24.643, de 10.7.1934 / Agência Nacional de Águas – Lei nº 9.984, de 17.7.2000 / regulamento ANA – Decreto nº 3.692, de 19.12.2000 / **Política Nacional de Recursos Hídricos – Lei nº 9.433, de 8.1.1997 / Legislação Complementar**. 3ª ed. EDIPRO, SP, 104p.
- CORDANI, U.; NEVES, B.B.; FUCK, R.A.; PORTO, R.; THOMAZ FILHO, A.; CUNHA, F.M.B. **Estudo preliminar de integração do pré-cambriano com os eventos tectônicos das Bacias sedimentares brasileiras**. Série Ciência-Técnica-Petróleo, Rio de Janeiro, 1984, 15p.
- CUNHA, P.R.C.; GONZAGA, F.G.; COUTINHO, L.F.C.; FEIJÓ, F.J. Bacia do Amazonas. **Boletim de Geociências**. 1994, 8: 47-55.
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, R.M. **Hidrología subterrânea**. Tomo I. Omega, Barcelona, 1976, p.287-384.
- DAMIÃO, R.N.; SOUZA, M.M.; MEDEIROS, M.F. **Projeto argila Manaus**. DNPM/CPRM, Manaus, 1972, 65p. Relatório interno.
- EIRAS, J.F.; BECKER, C.R.; SOUZA, E.M.; GONZAGA, F.G.; SILVA, J.G.F.; DANIEL,

- L.M.F.; MATSUDA, N.S.; FEIJÓ, F. Bacia do Amazonas. **Boletim de Geociências**, 1994, 8: 17-45.
- FERNANDES FILHO, L.A., COSTA, M.L., COSTA, J.B.S. Registros neotectônicos nos late-
ritos de Manaus-AM. **Geociências**, São Paulo, 1997, 16: 9-33.
- GALVÃO, P.H.F.; DEMÉTRIO, J.G.A.; SOUZA, E.L.; PINHEIRO, C.S.S.; BAESSA, M.P.M.
Hidrogeologia e geometria dos aquíferos das formações cretáceas Içá e Solimões,
Bacia Paleozoica do Solimões, na região de Urucu, Amazonas. vol. 42. **Revista Bra-
sileira de Geociências**, 2012, 1: 142-153.
- JORNAL DO COMÉRCIO (AM) - 1905 a 1979**. Disponível em: [http://memoria.bn.br/
docreader/DocReader.aspx?bib=170054_01epesq=agua+mineralespagfis=878](http://memoria.bn.br/docreader/DocReader.aspx?bib=170054_01epesq=agua+mineralespagfis=878). Edi-
ção 00185 (1). Acesso em 10/06/2020.
- LANCIA, A.C.; CAETANO, L.C.; ARAGÃO, J.M. **Água mineral do Brasil: retrato históri-
co da indústria engarrafadora**. ABINAM/DNPM, Rio de Janeiro, 1994, 109p.
- LOURENÇO, R.S.; MONTALVÃO, R.M.G.; PINHEIRO, S.S.; FERNANDES, P.E.C.A.; PE-
REIRA, E.R.; FERNANDES, C.A.C.; TEIXEIRA, W. **Geologia**. In: Geologia - BRASIL.
Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. 1978, v.18.
DNPM, Brasília. 530p.
- MACIEL FILHO, C.L. **Introdução à geologia de engenharia**. 2 ed. CPRM, Brasília, 1997, 284p.
- MORAIS, J.O. Geologia no planejamento ambiental: Impactos na água. **Revista de Geo-
logia**, 1995, 8: 229-251.
- OLIVEIRA, A.P.; SILVA, M.L.; DOMINGO, R.N.; MENEGÁRIO, A.A. Hidrogeologia das
águas subterrâneas da área urbana da cidade de Iranduba – AM. In: **III Congresso de
Iniciação Científica do INPA-PIBIC/CNPq/PAIC/FAPEAM**. 2014, Manaus. 4p.
- PINTO, N.L.S. Introdução. In: SBGE. **Hidrologia de superfície**. 2 ed. Edgard Blücher,
São Paulo, 1973, p 50-75.
- PETRI, S.; FÚLVARO, V.J. **Geologia do Brasil: fanerozóico**. Edusp, São Paulo, 1988, 631p.
- REBOUÇAS, A.C. Águas subterrâneas: fator para desenvolvimento. **Revista de Águas
Subterrâneas**, 1981, 3: 31-43.
- REBOUÇAS, A.C. A política nacional de recursos hídricos e as águas subterrâneas. **Re-
vista de Águas Subterrâneas**, 2002, 16: 1-13p.
- REBOUÇAS, A.C. Águas subterrâneas. 2-41p. In GIAMPÁ, C.E.Q.; GONÇALVES, V.G.
Hidrogeologia. Signus, São Paulo. 2006, 502p.
- SANTOS, J.O.S. A parte setentrional do Cráton amazônico (Escudos das Guianas) e a
Bacia amazônica. In. SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R.; ASMUS,
H.E. **Geologia do Brasil**. DNPM, Brasília, 1984, p. 58-91.
- SANTOS, O.J. **Mineração: código de águas minerais, código de mineração e legislação
extravagante**. Iglu, São Paulo, 2000, 499p.
- SILVA, M.L.; BONOTTO, D.M. Uranium isotopes in groundwater occurring at Amazonas
State, Brazil. **Applied Radiation and Isotopes**, 2015, 97: 24-33.
- SILVA, M.L.; SILVA, M.S.R. Hidro geoquímica das águas subterrâneas da cidade de Iran-
duba (AM), Brasil. **Caminhos de geografia**, on-line, 2007, 87-96.
- SUGUIO, K.; BIGARELLA, J.J. **Ambientes fluviais**. 2 ed. UFSC, Florianópolis, 1990, 183p.
- TASSINARI, C.C.G.; BETTENCOURT, J.S.; GERALDES, M.C.; MACAMBIRA, M.J.B.; LA-

FON, J.M. The Amazonian Craton. In: CORDANI, U.G.; MILANI, E.J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D.A. eds. **Tectonic evolution of South America**. Rio de Janeiro, 31st. International Geological Congress, 2000, p. 41-95.

TANCREDI, A.C.F.S. **Recursos hídricos subterrâneos de Santarém: fundamentos para uso e proteção**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará, 1996, 146 p.

TODD, D.K.. **Groundwater hydrology**. John Wiley e Sons, New York, 1980, 535p.

7. Estudo de Caso do Ecossistema Ripário Lago do Aleixo em Manaus/AM

Ana Rosa Tundis Vital Trigo¹, Rayssa Santos da Silva²,
Sergio Roberto Bulcão Bringel³

¹ Pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. E-mail: artvital@inpa.gov.br

² Bolsista Pibic 2018/2019 do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Email: rayssa456@gmail.com

³ Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e Professor da Universidade do Estado do Amazonas. E-mail: bringel@inpa.gov.br

INTRODUÇÃO

A região amazônica é renomada por sua grande disponibilidade hídrica, devido sua densa rede de drenagem dividindo uma vasta região geográfica com rios, lagos e igarapés.

Manaus é uma cidade cortada por quatro Bacias Hidrográficas: Educandos e São Raimundo (que se encontram integralmente no perímetro urbano de Manaus), Tarumã Açú e Puraquequara que estão parcialmente inseridas na malha urbana e, várias microbacias ou sub-bacias, que ao longo do tempo, pelo crescimento desordenado e rápido, vêm sofrendo modificações notáveis nas suas características. Esse recurso natural, devido à cultura tradicional da população, está associado a comunidades ribeirinhas, as quais as utilizam como um instrumento de subsistência para fins de alimentação, lazer e higiene (ALMEIDA *et al.*, 2020).

A floresta original da cidade de Manaus começou a ser devastada, com mais intensidade, a partir da implantação da Zona Franca de Manaus (ZFM), advento do Polo Industrial de Manaus–PIM, criada através do Decreto-lei 288/67 em 1967, desencadeando uma urbanização acelerada para a expansão do centro urbano e um grande crescimento demográfico. O crescimento populacional neste período foi gerado pelo êxodo rural e pelo fluxo migratório para a capital. Muitas pessoas vinham, traídas pelo crescimento econômico e pelas expectativas de emprego e melhoria das condições de vida (ASSAD, 2006; NAZARETH *et al.*, 2011). Essas oportunidades transformaram não só a realidade social, mas também a ambiental, devido à modificação das paisagens naturais.

Essas ocupações urbanas irregulares se constituíam em estratégias que os segmentos populares encontraram para ter acesso à moradia via “ocupação” de lotes urbanos vazios, muitos deles instalados às margens dos igarapés e serviam-se dos “benefícios”, que o recurso “gratuito” apresentava, tais como o abastecimento de água para banho, limpeza e alimentação (AGUIAR, 2017; ALMEIDA *et al.*, 2020).

Porém, devido ao crescimento abrupto da cidade, o grande fluxo migratório, aliado aos problemas decorrentes da falta de planejamento urbano, desencadeou um aumento desordenado de áreas que não dispunham características de habitabilidade ou que necessitavam de proteção como: as margens dos inúmeros igarapés (RIBEIRO FILHO, 2012).

Além dos efeitos gerados pelo processo de fragmentação em meio urbano, incidem também sobre os remanescentes florestais de Manaus os efeitos de outro problema ambiental grave, o da poluição dos cursos de água, presente na maioria dos fragmentos, os quais recebem a carga poluidora que geralmente vem de fora do fragmento, pela deposição excessiva de resíduos domésticos e industriais nos igarapés que cortam a cidade, visivelmente utilizados como redes de esgoto e depósito de lixo (resíduos descartados) (AGUIAR, 2017; ALMEIDA *et al.*, 2020; CONSÓRCIO PARCERIA 21, 2002). Portanto, o crescimento acelerado da população urbana de Manaus veio acompanhado de um agravamento dos problemas ambientais, relacionados à ocupação desordenada do solo, à destruição das coberturas vegetais, à poluição dos cursos de água e à deficiência de saneamento básico (CONSÓRCIO PARCERIA 21, 2002).

Neste contexto, o Lago do Aleixo, não ficou isento das consequências da expansão urbana. Casas residenciais e edificações de outra natureza vêm sendo implantados em sua Bacia, removendo a cobertura vegetal tanto na área urbana como as margens do lago. Este, até o final da década de 70, dispunha de uma ampla biodiversidade, presença de uma natureza exuberante, cobertura vegetal intensa nas áreas de platôs, encostas e baixios. Com sua vegetação específica de áreas alagadas e de várzea permitia grande fartura e recursos aos moradores locais (RIBEIRO FILHO, 2012).

Após várias décadas, visando “reverter” o uso, a urbanização desordenada e ilegal e a poluição dos igarapés na cidade de Manaus, alguns programas foram desenvolvidos, no sentido de proporcionar desenvolvimento sustentável, como o Programa Social e Ambiental dos Igarapés de Manaus (PROSAMIM). Implantado em 2003 possuindo dois componentes: 1. a execução de obras de melhoria ambiental, urbanística e habitacional e as atividades voltadas para o desenvolvimento comunitário e fortalecimento institucional das entidades públicas que participam do Programa; e 2. A execução de atividades que contribuam com a melhoria da qualidade de vida dos habitantes das Bacias Educandos e São Raimundo (CONSULTORIA, 2006). Outro compromisso assumido foi a efetiva proteção das Áreas de Proteção Ambiental (APAS).

Assim, as Bacias Hidrográficas Urbanas do município de Manaus tiveram três momentos significativos de transformação e interferências da sociedade e de políticas públicas. O primeiro com o período áureo da borracha, o segundo com a Zona Franca de Manaus, e o terceiro com o Programa de Recuperação dos Igarapés de Manaus/PROSAMIM, tais momentos marcam profundas mudanças nas Bacias hidrográficas do município (SANTOS, 2014).

Na Bacia hidrográfica existe uma área muito sensível e imprescindível para o bom funcionamento e manutenção da integridade física e qualidade da água produzida, trata-se da zona ripária. As zonas ripárias constituem a interface entre os ecossistemas terrestres e aquáticos, regulando o fluxo de energia e de matéria entre esses sistemas. Representam parte importante na microbacia, tanto do ponto de vista hidrológico quanto ecológico, em termos de conservação da biodiversidade (KAGEYAMA *et al.*, 1995). Esta área inclui principalmente as margens e as cabeceiras de drenagem dos cursos d'água, a mata ciliar e o conjunto das interações ripárias, constituindo o ecossistema ripário, o qual desempenha um dos mais importantes serviços ambientais, que é a manutenção dos recursos hídricos, em termos de vazão e qualidade da água, assim como do ecossistema aquático (VITAL, 2002).

A vegetação que acompanha o curso d'água, ou seja, a cobertura nativa que fica às margens dos rios, lagos, igarapés, represas e olhos d'água é popularmente conhecida como “mata ciliar” pelo fato da sua importância para a proteção de rios, lagos e igarapés desempenhando a função que os cílios proporcionam para os nossos olhos. A mata ciliar desempenha importantes funções hidrológicas, tais como proteção à zona ripária, filtragem de sedimentos e nutrientes, controle do aporte de nutrientes, impedindo a lixiviação de agrotóxicos para os cursos de água, controle de erosão das ribanceiras dos canais, controle da alteração da temperatura do ecossistema aquático, qualidade da água e manutenção do volume de água do reservatório e ajudam a sedimentar o controle e reduzir os efeitos danosos das enchentes, ajudando na estabilização dos igarapés (DELITTI, 1989; LIMA, 1989; MACHADO, 1989; REICHARDT, 1989; LIMA, 1998; SIMÕES, 2001; RODRIGUES e NAVE, 2000).

De acordo com o Código Florestal Federal, a vegetação ripária é considerada como Área de Preservação Permanente (APP), com diversas funções ambientais, devendo respeitar uma extensão específica de acordo com a largura do rio, lago, represa ou nascente (DIAS e POTT, 2013).

Portanto, a vegetação ripária representa uma importante interface entre os ecossistemas aquáticos e terrestres (FRANÇA *et al.* 2009).

O ecossistema ripário é o resultado de interações complexas entre a hidrologia, geomorfologia, solos, luz, microclima, fogo e toda uma série de processos ecológicos (LIMA, 2001). Esse ecossistema é o que mais recebe e mais contribui com a liberação de água em toda a Bacia, já que ela passa por ele, para posteriormente atingir o rio.

Apesar de sua importância ambiental e, mesmo sendo áreas de preservação permanente protegidas por legislação, as matas ciliares continuam sendo removidas em várias partes do Brasil, e a redução destas matas tem causado um aumento significativo nos processos de erosão dos solos, com prejuízo da hidrologia regional, redução da biodiversidade e degradação de grandes áreas (ALVARENGA *et al.*, 2006).

O reconhecimento das funções que os ecossistemas ripários desempenham na melhoria e manutenção da qualidade de vida urbana, embelezamento da paisagem e, conseqüentemente, na melhoria na qualidade de vida dos cidadãos é fundamental para valorizar, preservar, manter e torná-los efetivos nas cidades. Mesmo em face de tamanha importância, os ecossistemas ripários são os mais utilizados e degradados pelo homem.

Diante do exposto, o presente estudo objetivou caracterizar a vegetação ciliar quanto ao aspecto de degradação e possíveis fontes que estejam contribuindo para a perda do ecossistema original no lago do Aleixo, bem como identificar a vegetação ripária remanescente, e descrever possíveis áreas impactadas ou inexistentes, determinar possíveis agentes impactantes no ecossistema ripário, comparar através de bibliografias, a atual situação de preservação desse ecossistema.

METODOLOGIA

A cidade de Manaus localiza-se na região Norte do Brasil, entre as coordenadas S 2°57' e 3°10' e W 59°53' e 60°07', com uma área territorial de 11.401, 058 Km². Sua altitude corresponde a 21 m acima do nível do mar e, aproximadamente, 1.600 a 1.700 km do Oceano Atlântico. Localizada na parte central da Amazônia Brasileira, próxima a foz do rio Negro afluente do rio Amazonas (Figura 1).

Segundo a classificação de Köppen, essa região se insere no grupo A (clima tropical chuvoso), com dois tipos climáticos: Af, sempre úmido com temperatura e precipitação com pouca variação anual; Amw, quente e úmido, o qual se caracteriza por apresentar uma estação seca de curta

duração. A temperatura média anual observada em Manaus é de 26,7°C, com variações médias entre 23,3°C e 31,4°C. A umidade relativa do ar média é de cerca de 80%. A precipitação pluviométrica média anual atinge a 2.286mm (DOS SANTOS, 2014). O período de maior precipitação vai de dezembro a abril, quando chove quase diariamente e ocorrem as cheias do rio Negro. A área urbana de Manaus abrange quatro grandes Bacias hidrográficas, contribuintes da Bacia do rio Negro: Bacia de São Raimundo, Bacia do Educandos, Bacia do Tarumã-Açu e Bacia do Puraquequara (Figura 2).

Segundo Censo de 2010 sua população é de 1.802.014 habitantes. Sua densidade demográfica é de 158,02 habitantes por Km². A maior parte de sua população concentra-se nas Zonas Leste e Norte da cidade de Manaus.

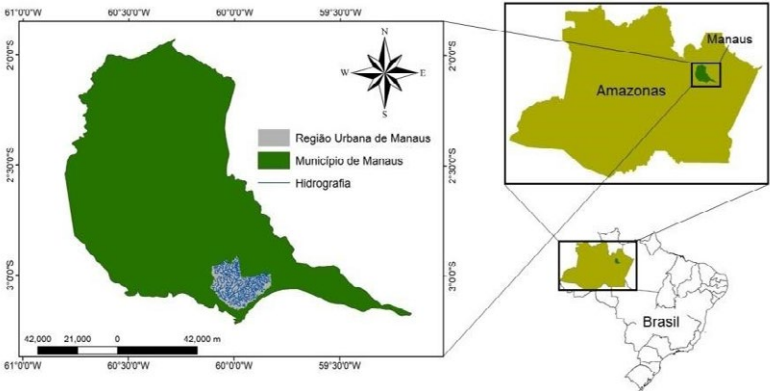


Figura 1. Localização da cidade de Manaus. Fonte: IBGE – Downloads (2020).

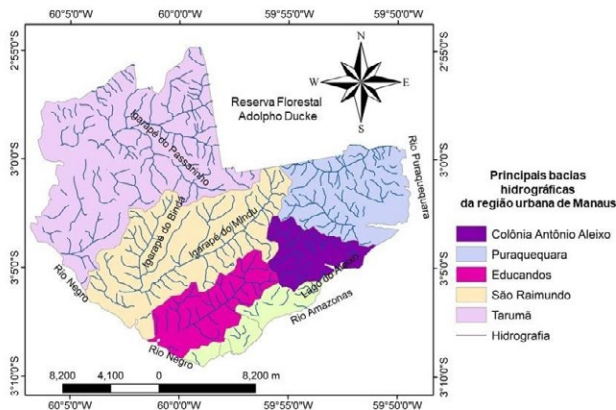


Figura 2. Principais Bacias Hidrográficas da cidade de Manaus. Fonte: RIGEO – Repositório Institucional de Geociências – CPRM (2020).

ÁREA EXPERIMENTAL

A área de estudo compreende o Lago do Aleixo, que faz parte da Microbacia Hidrográfica Colônia Antonio Aleixo. Foi delimitada de forma que se apresenta localizada no grupo de Bacias do Leste da cidade de Manaus, capital do Estado do Amazonas, com desembocadura para o sistema Rio Negro-Amazonas e coordenadas $3^{\circ}05'50''\text{S}$ e $59^{\circ}53'16''\text{W}$, aproximadamente 200 metros do início do Encontro das Águas e 20 quilômetros do Porto Flutuante no centro de Manaus. O Lago do Aleixo mede, aproximadamente, 4.800 metros de comprimento por 1.000 metros de largura, na área mais larga do mesmo (RIBEIRO FILHO, 2012) (Figura 3).

Para descrever a metodologia de comparação de fotos e mapas no local de estudo, utilizou-se uma câmera digital para tomadas de fotografias, *in loco*, da vegetação ciliar e dos aspectos físicos do lago do Aleixo, bem como, de possíveis fontes poluidoras que estejam ou virão a degradar as áreas naturais. Foram realizadas sete tomadas de fotos em datas distintas. A primeira e a segunda coleta de tomadas de fotos foram realizadas no mês de agosto e setembro de 2018 no período da vazante, duas no período de estiagem nos meses de outubro e novembro de 2018 e três no período de cheia nos meses de fevereiro, março e abril de 2019, caracterizando um ano hidrológico, nos seguintes pontos: P1-Igarapé do Lago; P2- Próximo a nascente do Lago; P3- Meio do Lago; P4-Próximo a foz do Lago, P5- Margem esquerda e P6- Margem direita (Figura 4).

As fotos coletadas da vegetação ripária do lago foram utilizadas para uma análise em um estudo descritivo-exploratório. Foram observadas e analisadas quanto a possíveis alterações da vegetação ripária no entorno

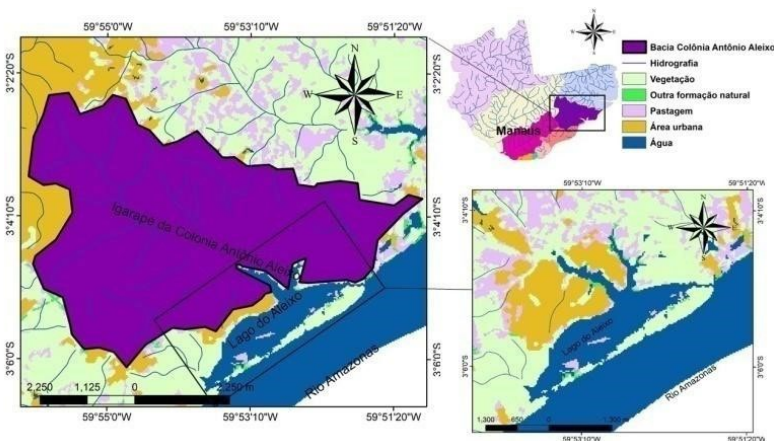
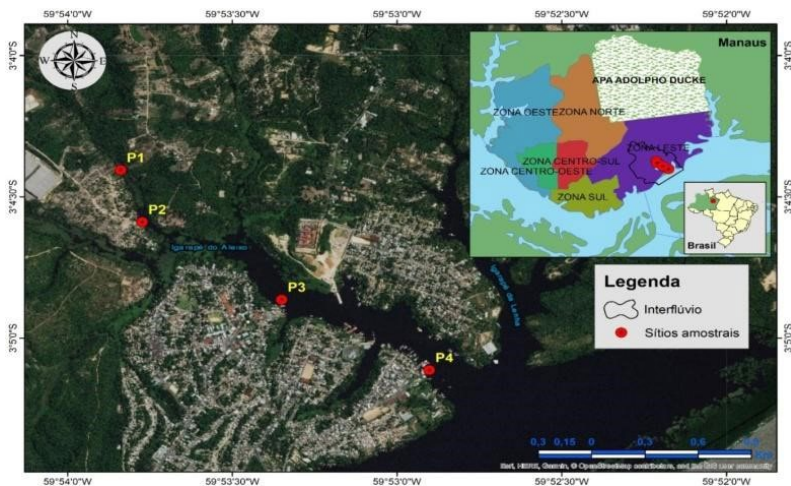


Figura 3. Localização do Lago Puraquequara. Fonte: RIGEO – Repositório Institucional de Geociências – CPRM (2020).

Figura 4. Mapa de localização dos sítios amostrais no Lago do Aleixo. Fonte: IBGE – Downloads (2020).



do Lago do Aleixo e, através da revisão bibliográfica, foram comparadas e assim, elaborada a descrição das possíveis mudanças observadas.

Foram elaborados, também, dois mapas de uso e ocupação do solo, um referente ao ano de 2008, como referência comparativa, e outro para 2019, representando o último ano de observação e registro deste estudo, através dos quais foi realizada uma comparação dos dois períodos (2008 x 2018-2019), para observar a situação de preservação e/ou degradação do Lago em um intervalo de mais ou menos 10 anos, identificando quatro classes: vegetação, solo exposto, área construída e corpos d'água. O mapa de classificação de uso e ocupação do solo do ano de 2019 foi elaborado a partir de imagem do satélite SENTINEL 2. A imagem apresenta resolução espacial de 10 m, e foi obtida pelo United States Geological Survey (USGS, 2019). Para a classificação supervisionada foi utilizada a ferramenta Image Classification no software ArcGIS 10.3, na composição colorida R (banda 4), G (banda 3) e B (banda 2).

Devido as imagens referentes ao SENTINEL 2 só estarem disponíveis de junho de 2015 aos dias atuais, foram utilizadas imagens do Google Earth para analisar o uso e ocupação do solo referente ao ano de 2008, das quais foram analisadas diversas imagens e selecionada uma no mesmo mês da obtida para ano de 2019. A imagem foi obtida diretamente do software Google Earth Pro, já em formato RGB e georreferenciada no Software QGIS 3.1. Para a classificação foi utilizado o mesmo procedimento aplicado a imagem referente a 2019.

As imagens de satélites obtidas foram analisadas e comparadas com dados da literatura, em estudos que mapearam a situação do Lago em décadas passadas e a situação atual de preservação da Bacia. Para essas

análises visuais do Lago do Aleixo, utilizaram-se imagens de satélites do sítio amostral, que foram extraídas do Google Earth dos anos de 1985, 1990, 2000, 2010 e 2018, e georreferenciadas no Software QGIS 3.1. Estas imagens foram utilizadas para caracterizar a vegetação e identificar possíveis mudanças ocorridas com o passar dos anos e assim ter uma real noção das alterações ocorridas.

RESULTADO E DISCUSSÃO

Lago do Aleixo no Período de Vazante

No período da vazante, nos meses de agosto e setembro de 2018, observou-se uma vegetação ripária mais verde, assim como foi possível identificar árvores e arbustos com predominância ao longo das margens do lago, mas, em alguns pontos, constataram-se áreas bastantes antropizadas, principalmente, pela presença de moradias em suas margens (Figura 5).

No igarapé do lago (P1) (Figura 6), observou-se na superfície do corpo d'água um manto verde formado pela canarana (*Hymenachne amplexicaulis*), espécie de gramínea amazônica de várzea, considerada como anfíbia pelo fato de poder sobreviver flutuando ou mesmo estando submersa durante as enchentes, ou ainda, vegetando em áreas relativamente secas, durante a vazante das águas, seus colmos geralmente crescem cerca de 1 metro de altura. Nessa área pode-se identificar a mata de igapó, vegetação arbórea ao longo da margem.

Próximo à nascente do Lago (P2) (Figura 7), observa-se que a mata ciliar está mais compacta e há presença de vegetação arbórea de médio e grande porte em seu entorno.



Figura 5. Lago do Aleixo no período de vazante. Fonte: Silva, 2018 (co-autora).



Figura 6. (P1) - Igarapé do Lago do Aleixo. Fonte: Silva, 2018 (co-autora).



Figura 7. (P2) - Próximo a nascente do Lago do Aleixo. Fonte: Silva, 2018 (co-autora).

Próximo à foz do Lago do Aleixo (P4) (Figuras 8 e 9), é evidente a interferência antrópica: ausência de vegetação ciliar nas margens, solo exposto devido ao desmatamento, adensamento de construção de moradias e flutuantes as margens do Lago.

Lago do Aleixo no Período de Estiagem

Na terceira e quarta coletas de fotos no lago, realizadas nos meses de outubro e novembro de 2018, constatou-se que nesse período são mais evidentes os impactos ambientais causados pela ocupação urbana do en-



Figura 8e9. (P4) – Próximo a foz do Lago do Aleixo. Fonte: Silva, 2018 (co-autora).

torno do lago. A estiagem traz prejuízo para uma boa parte da população como a dificuldade de pesca, má qualidade da água, transporte hídrico, e outras, contudo, faz ressurgir uma atividade tradicional do lago, a agricultura na área de várzea (Figura 10).

Nas proximidades da nascente do Lago (P2), é possível observar algumas mudanças, quando comparado com o período da vazante, a água do lago está mais escura, podendo estar recebendo influências do Rio Negro. Além disso, esse trecho é o que menos apresenta interferência antrópica, considerado então, o ponto mais preservado no lago (Figura 11).

No ponto 4, localizado próximo à foz do lago, ficou mais evidente a interferência antrópica. O trecho apresenta as características das águas do Rio Negro, mas a vegetação ripária é mínima, apesar de existir uma considerável vegetação arbórea, longínqua das margens (Figura 12).

No meio do Lago (P3), o período de estiagem mostrou que a vegetação ciliar praticamente não existe nas margens, então, comparando com os outros pontos, esse trecho foi o que apresentou maior redução da cobertura vegetal ripária e menor extensão do corpo d'água (Figura 13).

Lago do Aleixo no Período de Cheia

As coletas realizadas nos meses de fevereiro, março e abril de 2019, no período chuvoso, no igarapé do Lago (P1), mostraram que a mata ciliar no início do igarapé ainda se encontra em fase de recomposição natural (Figura 14a), devido ao período de estiagem, porém no fim do igarapé a presença da vegetação ripária se encontra mais intacta e abundante (Figura 14b).

Próximo à nascente do Lago do Aleixo (P2), foi observada uma vegetação ripária mais densa e preservada nas duas margens do lago (Figura 15).

No meio do Lago do Aleixo (P3), a existência da vegetação ripária é menos evidente (Figuras 16), possivelmente, devido ao desmatamento ocorrido para ocupação urbana nas suas margens. Mesmo assim, é possível identificar em algumas áreas nesse ponto que a mata ciliar ainda se encontra presente.



Figura 10. Lago do Aleixo no período de estiagem. Fonte: Silva, 2018 (co-autora).



Figura 11. (P2) – Próximo à nascente do Lago Aleixo. Fonte: Silva, 2018 (co-autora).



Figura 12. (P4) – Próximo a foz do Lago Aleixo. Fonte: Silva, 2018 (co-autora).



Figura 13. (P3) – Meio do Lago do Aleixo. Fonte: Silva, 2018 (co-autora).



Figuras 14. (a) mata ciliar e (b) (P1) – Igarapé do Lago do Aleixo. Fonte: Silva, 2018 (co-autora).



Figura 15. (P2) – Próximo à nascente do Lago do Aleixo. Fonte: Silva, 2018 (co-autora).



Figuras 16. (P3) – Meio do Lago do Aleixo. Fonte: Silva, 2018 (co-autora).

Próximo à foz do Lago (P4), no período da cheia, ficou mais evidente, a degradação do lago em suas margens (Figuras 17). Percebe-se que a vegetação ripária notadamente reduziu devido ao desmatamento para construção de moradias.

Na margem direita e esquerda do Lago do Aleixo (P5 e P6), respectivamente, observou-se a presença de uma grande massa florestal contínua com características estruturais e funcionais definidas do próprio lago, atribuídas ao substrato de áreas alagadas e de várzea (Figuras 18 e 19).



Figura 17. (a) e (b) (P4) - Próximo a foz do Lago do Aleixo. Fonte: Silva., 2018 (co-autora).



Figura 18. (a) e (b) (P5) - Margem direita do Lago do Aleixo. Fonte: Silva, 2018 (co-autora).



Figura 19. (P6) - Margem esquerda do Lago do Aleixo. Fonte: Silva, 2018 (co-autora).

Nas duas margens, o ecossistema ripário se apresenta mais preservado e natural, porém, é possível identificar que em alguns pontos, mesmo no período cheio, existe uma significativa degradação da mata ciliar, isto em decorrência da ocupação urbana principalmente na margem esquerda do lago, que pode estar contribuindo para degradação do ecossistema.

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DE 2008 VERSUS 2019 NO LAGO DO ALEIXO

Na classificação do uso e ocupação do solo na área da Bacia do Lago do Aleixo, foram identificadas 4 classes: vegetação, solo exposto, área construída e corpos d'água nos anos de 2008 e 2019, ano hidrológico amostral. Percebe-se nas Figuras 20, que nos dois períodos estudados, a vegetação da Bacia do Lago do Aleixo reduziu de 17,86 km² em 2008 para 13,10km² em 2019 (Tabela 1), em decorrência do acréscimo na área urbana de 3,30 km², representando uma redução de 28,77% na cobertura vegetal. Esse processo de ocupação ocorre sem planejamento e avança em áreas de encostas, o que pode levar a possíveis desmatamentos para expansão de áreas construídas. Segundo Neto (2018), “*A substituição da vegetação nativa por atividades antrópicas em uma Bacia hidrográfica, geralmente resulta no aumento do carreamento de nutrientes aos ecossistemas aquáticos, reduzindo a qualidade da água destes ambientes*”.

Referente à tipologia do solo exposto, é possível identificar em alguns pontos da Bacia do lago que, a retirada da vegetação, além de alterar a paisagem contribui para o enfraquecimento do solo. O solo exposto fica sujeito à erosão, que é um processo desencadeador da degradação do solo

e um dos principais produtores de sedimentos, portanto, tudo que tiver na área de delimitação da Bacia vai influenciar no corpo hídrico e as áreas de vegetação. Como observado, do ano de 2008 para 2019, houve uma redução de 1,48km² dos corpos d'água no entorno da Bacia do Lago e isto, pode estar relacionado com o aumento do solo exposto de 2,94km², que vem ocasionar o assoreamento dos corpos d'água (Tabela 1).

Tabela 1. Estatísticas de dados em área e proporção (Prop.): classificação do uso e ocupação do solo em 2008 e 2019. Fonte: Dados de Pesquisa (2019).

Classe	Área (km ²)	Propor. (%)	Área (km ²)	Propor. (%)	Área (km ²)	Propor. (%)
Vegetação	13,10	38,00%	17,86	51,81%	-4,76	-26,64%
Corpos d'água	3,57	10,36%	5,06	33,32%	-1,48	-29,36%
Solo exposto	3,01	8,73%	0,07	0,21%	2,94	4129,61%
Área construída	14,79	42,90%	11,48	14,67%	3,30	28,77%
Área total	34,47	100,00%	34,47	100%	34,47	100,00%

EXPANSÃO DA MALHA URBANA NO LAGO DO ALEIXO

Em Manaus as áreas de intensa expansão da malha urbana estão concentradas na zona leste da cidade o que reflete uma ocupação dos interflúvios, ou seja, um conseqüente impacto no entorno das Bacias. O maior reflexo disso é a diminuição gradativa de áreas florestadas.

Para Vieira (2008), em termos de áreas verdes, a zona leste apresenta as maiores perdas no período de 1986 a 2004. Foram 47,82 km², configurando aumento na área desmatada de 100,6%. Porém, Pinheiro *et al.* (2013) descrevem que o período de 1977 a 2011, como o de maior redução na cobertura florestal da cidade de Manaus em especial na zona leste. Nessa, encontra-se a Bacia do Puraquequara, onde está inserido o Lago do Aleixo.

A urbanização crescente na Bacia do Lago do Aleixo tem causado diversos danos ambientais desde décadas passadas até os dias atuais, como observado na Figura 20.

Até o início dos anos 80 o lago apresentava uma cobertura vegetal nas margens, onde exibia uma “*exuberante quantidade de espécies, na várzea, próximo ao canal de acesso entre o rio e o lago, havia uma densa floresta de várzea e igapó, bem como um pequeno seringal em sua área central*” (RIBEIRO FILHO, 2012). Em 1985 a área ainda era praticamente vegetada (Figura 21).

Porém, em 1990 já é possível observar uma redução da vegetação mais acentuada (Figura 22) e entre 2000 e 2010, grande parte da vegetação já

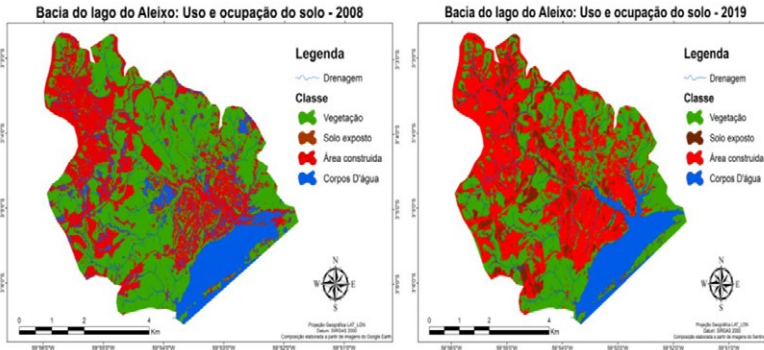


Figura 20. Mapa de uso e ocupação do solo no Lago do Aleixo no ano de 2008 e 2019. Fonte: USGS (2019).



Figura 21. Lago do Aleixo no ano 1985. Fonte: Google Earth (2019).

foi retirada e a ocupação urbana expandiu ainda mais no entorno do Lago do Aleixo como observado nas Figuras 23 e 24.

No ano de 2018 é possível observar que houve redução das áreas verdes (Figura 25). Atualmente a Bacia do lago vem sofrendo um forte impacto, devido à urbanização e instalação de empresas na sua proximidade, mas, ainda comporta atividades de pesca e de lazer. Com isso podemos afirmar que esses são os possíveis agentes que contribuem para a degradação do Lago, pois segundo Vieira (2008) “A *ampliação da malha urbana contribuiu para reduzir as áreas verdes e ampliar a ocupação de áreas inadequadas à construção de habitações*”.

Toda essa redução da vegetação no Lago do Aleixo ocorreu devido à “*liberação do acesso à Colônia Antônio Aleixo na década de 70, o que potencializou o aumento populacional local. Surgiu a localidade, Onze de Maio, em seguida novas ocupações e adensamento urbano e algumas empresas foram implantadas em suas margens*” (RIBEIRO FILHO, 2012).

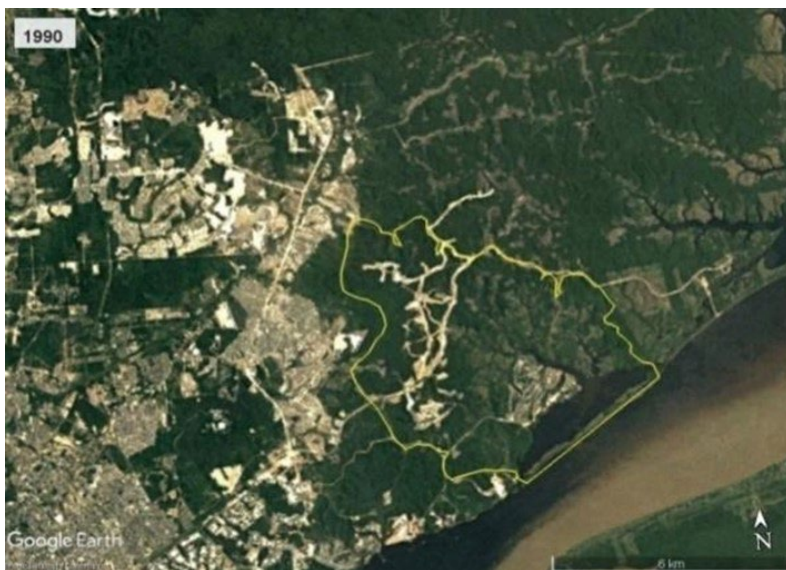


Figura 22. Lago do Aleixo, 1990. Fonte: Google Earth (2019).

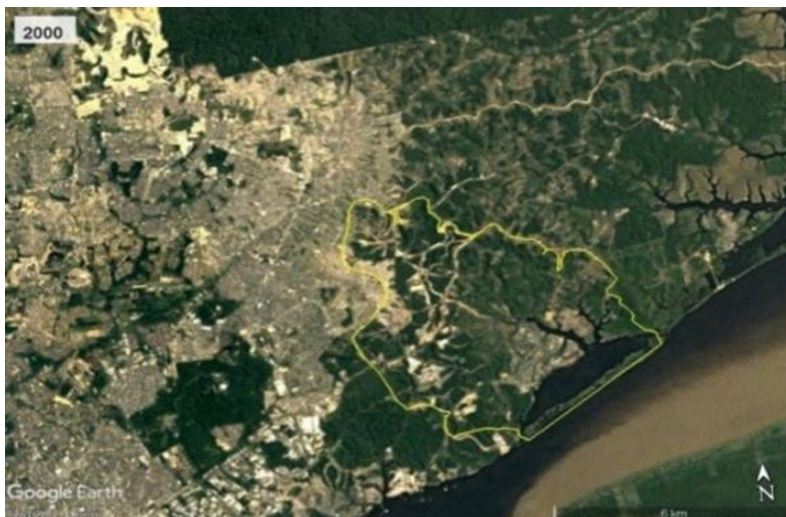


Figura 23. Lago do Aleixo no ano de 2000. Fonte: Google Earth (2020).

Os recursos hídricos, a vegetação ciliar e o solo foram profundamente alterados, provocando assoreamento, afetando a fauna aquática do Lago (RIBEIRO FILHO, 2012).

No decorrer dos dez anos observam-se impactos ambientais significativos. É possível identificar que o ecossistema ripário do lago sofreu bastante alteração com a retirada da vegetação, degradação ambiental e, conseqüentemente, foi afetada a qualidade do recurso hídrico em algumas áreas na Bacia, alterando a qualidade ambiental (Figura 25).

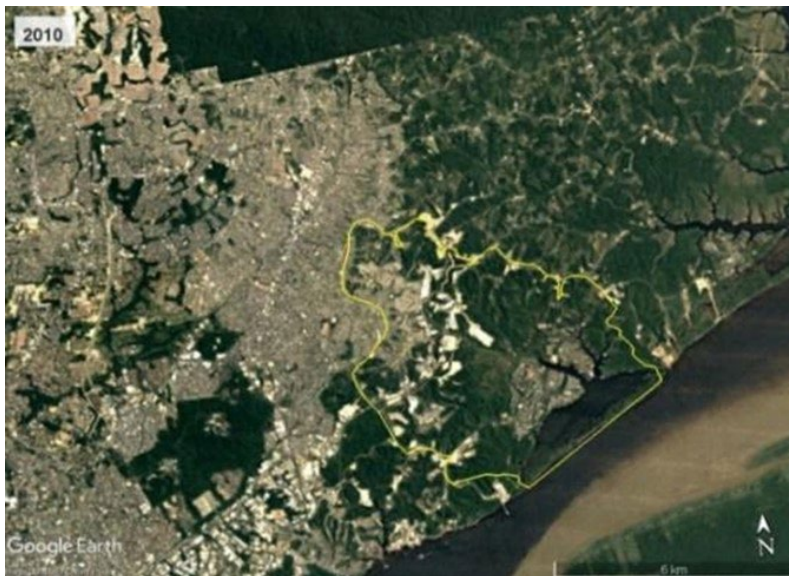


Figura 24. Lago do Aleixo no ano 2010. Fonte: Google Earth (2019).

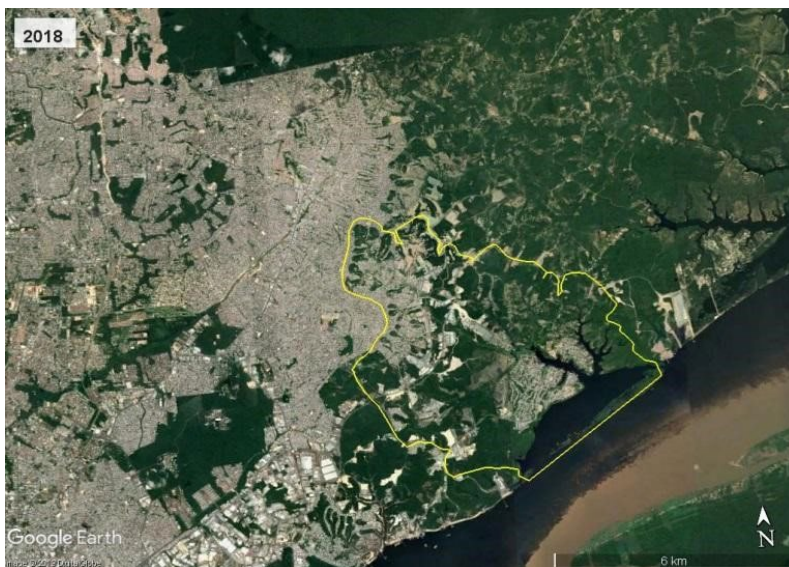


Figura 25. Lago do Aleixo no ano de 2000. Fonte: Google Earth (2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através de observações, *in loco*, fotos dos períodos de vazante, estiagem e cheia, utilização de mapas comparativos do Lago do Aleixo e revisão bibliográfica, foi possível concluir que:

De acordo com os mapas de classificação de uso e ocupação do solo, referente aos anos de 2008 e 2019, a vegetação da Bacia do Lago do Aleixo foi bastante reduzida. Comparando a literatura e os mapas visuais obtidos, constatou-se que a vegetação ripária vem sendo removida há muitos anos.

Os impactos ambientais causados pela ocupação urbana desordenada as margens do lago são evidentes, dando uma real noção de quanto o lago vem sendo degradado no decorrer dos anos, devido, principalmente, à ausência de infraestrutura como: saneamento básico e política de planejamento e conservação ambiental causando a degradação da cobertura vegetal nas margens do lago e no entorno de sua Bacia.

O poder público, no seu planejamento, precisa considerar a zona ripária como um serviço ambiental e, conseqüentemente, a relevância que esse ecossistema propicia principalmente no que diz respeito à qualidade e produção de água e à preservação da biodiversidade, mas que corre sério risco de ser comprometido.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, D.G.. **Análise da variação sazonal da precipitação e temperatura em Manaus/AM**. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/ Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, Amazonas. 2017, 62pp.
- ALMEIDA, C., BURLAMAQUI, C.C.B., ARAÚJO, F.S.; LUCENA JÚNIOR, J.J.G.; ALMEIDA, J. R. Avaliação de impacto ambiental em uma mata ciliar na cidade de man. **Revista Internacional de Ciências**[online], 2020, 1.1 (2011): 3-18.
- ALVARENGA, A. P; BOTELHO, S.A; PEREIRA, I.M. **Avaliação da regeneração natural na recomposição de matas ciliares em nascentes na região sul de Minas Gerais**. V. 12, n, p.372, 2006.
- ASSAD, T.M. A problemática das “invasões” na cidade de Manaus: Perspectivas de legalização fundiária à luz do Estatuto da Cidade. In: **Anais do XV Congresso Nacional do Conselho Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Direito**. Manaus, 2006.
- CONSÓRCIO PARCERIA 21. **Projeto Geo Cidades: Relatório Ambiental Urbano Integrado: Informe Geo Manaus AM**. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. Parceria IBAM/ ISER/REDEH. 2002, 193p.
- CONSULTORIA. **Programa Social e Ambiental dos Igarapés de Manaus (PROSAMIM)** (Manaus - Amazonas), 2006. Disponível em: <https://www.quantaconsultoria.com/single-post/2016/1/15/Programa-Social-e-Ambiental-dos-Igarap%C3%A9s-de-Manaus-PROSAMIM>. Acesso em 03 de agosto de 2021.
- DELITTI, W.B.C. Ciclagem de nutrientes minerais em matas ciliares. In: s Simpósio sobre Mata Ciliar, 1989, São Paulo. **Anais. São Paulo: Fundação Cargil**, Secretaria do Meio Ambiente, Instituto de Botânica, 1989. p.88-98.
- DIAS, A.C; POTT, A. A influência da mata ciliar na qualidade das águas do córrego Bom Jardim-Brasilândia/MS: Estudos Iniciais. **IX Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v.9, n.2, 2013, p. 1-16.
- FRANÇA, J.S., GREGÓRIO, R.S., D'ARC DE PAULA, J., GONÇALVES JUNIOR, J.F., FERREIRA, F.A., & CALLISTO, M. Composition and dynamics of allochthonous organic matter inputs and benthic stock in a Brazilian stream. **Marine and Freshwater Research**, 60, 990–998, 2009.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo> 2010. Acesso: 11 de junho de 2020.
- KAGEYAMA, P.; LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B., GANDARA, F.B. MicroBacias experimentais para estudos ecológicos, hidrológicos e genéticos de longo prazo em Arapoti, PR. In: **Simpósio Sobre Mata Ciliar, 2, Congresso Nacional de Botânica, 46, 1995, Ribeirão Preto. Resumos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Sociedade Botânica do Brasil, 1995. p.328.
- LIMA, W.P. Relações hidrológicas em matas ciliares. In: **Simpósio: Ecótonos nas Interfaces dos Ecossistemas Aquáticos, 2001, Botucatu. Resumos**. Botucatu: Instituto de Biociências/UNESP, 2001, p.23.
- LIMA, W.P. Função hidrológica da mata ciliar. In: **Simpósio Sobre Mata Ciliar, 1989, São Paulo. Resumos**. São Paulo: Fundação Cargil/Instituto de Botânica, 1989. p. 25-42.
- MACHADO, P.A.L. Legislação das matas ciliares. In: **Simpósio Sobre Mata Ciliar, 1989, São Paulo. Resumos**. São Paulo: Fundação Cargil/Instituto de Botânica, 1989. p.2-10.
- NAZARETH, T; BRASIL, M; TEIXEIRA, P. Manaus: Crescimento Populacional e Migrações nos anos de 1990. **Revista CEPEC**, 2011v. 15, n.3
- PINHEIRO, E.S; MARQUES, J.P.C.; KUX, H.J.H. Modelo linear de mistura espectral e métricas da paisagem aplicado ao estudo do desflorestamento em Manaus, Amazonas. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 18 de abril de 2013, INPE.
- PROSAMIM - **Programa de Saneamento Ambiental dos Igarapés de Manaus**. Disponível em: <<http://www.prosamim.am.gov.br>> Acesso em julho de 2020.
- REICHARDT, K. Relações água – solo – planta em mata ciliar. In: **Simpósio sobre mata ciliar, São Paulo. Resumos**. São Paulo: Fundação Cargil/Instituto de Botânica, 1989. p.20-24.
- RIBEIRO FILHO, M. J. **Paisagem e impactos socioambientais do Lago do Aleixo: um estudo sobre a percepção dos moradores do entorno**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, 2012, 98pp.
- RIGeo – Repositório Institucional de Geociências – CPRM. 2020. Rigeo.cprm.gov.br.
- RODRIGUES, R.R.; NAVE, A.G. Heterogeneidade florística das matas ciliares. In: RODRIGUES, R.R., LEITÃO FILHO, H.F. (Eds.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2000. p.45-72.
- SANTOS, F.M.M.S. **A microbacia hidrográfica do Bindá (Manaus/Am) sob a ótica da complexidade ambiental Manaus-Am**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, 2014. 166pp.
- SIMÕES, L.B. Importância das matas ripárias no controle da poluição difusa. In: **Simpósio: Ecótonos nas Interfaces dos Ecossistemas Aquáticos, 2001, Botucatu. Resumos**. Botucatu: Instituto de Biociências/UNESP, 2001. p.24.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. U.S. **Geological Survey 2019**. Disponível em: <https://www.usgs.gov/>. Acesso em: 10 de junho de 2019.
- VIEIRA, A.F.G. **Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): Principais fatores controladores e impactos urbano - ambientais**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina. 2008, 310 pp.
- VITAL, A.R.T. **Caracterização hidrológica e ciclagem de nutrientes em fragmento de mata ciliar em Botucatu, SP**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista/Energia na Agricultura, Botucatu, São Paulo. 2002, 117pp.

PARTE 3

GESTÃO DAS ÁGUAS AMAZÔNICAS

8. Nova Abordagem para a Classificação dos Rios e Igarapés da Bacia amazônica

Eduardo Antonio Ríos-Villamizar¹, Maria Teresa Fernandez Piedade², Jennifer Marion Adeney³, Wolfgang Johannes Junk⁴

¹ Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. E-mail: eduardorios17@hotmail.com

² Pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. E-mail: maitepp@inpa.gov.br

³ Pesquisadora do Center for Energy, Environment and Sustainability, Wake Forest University, Winston-Salem, NC/USA. E-mail: marion.adeney@gmail.com

⁴ Pesquisador do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Áreas Úmidas (INCT-INAU-UFMT). Email: wjj@evolbio.mpg.de

INTRODUÇÃO

A Amazônia se destaca por apresentar características diferenciadas das demais regiões hidrográficas do Brasil, e por ser uma das regiões do planeta que detém a maior parte dos recursos hídricos utilizáveis. Neste contexto, a Bacia amazônica não apresenta problemas de disponibilidade hídrica já que é detentora de uma área aproximada de sete milhões de km², sendo responsável pelo expressivo percentual de 20% das águas doces que os rios lançam nos oceanos (PIEADADE *et al.*, 2012).

A quantidade e o comportamento das chuvas na Bacia amazônica são desiguais entre os meses do ano, ocasionando, de um modo geral, dois períodos bem diferentes (chuvoso e seco), que causam grandes variações no volume de água dos rios. Isto resulta no alagamento de extensas áreas durante o período chuvoso (fase aquática), e amplas áreas sem alagamento durante o período seco (fase terrestre). Este fenômeno, denominado de “pulso de inundação” (JUNK *et al.*, 1989) ocasiona fortes modificações sazonais nas áreas sujeitas ao alagamento (Figuras 1 e 2).

Os ambientes alagáveis amazônicos mais férteis foram utilizados no passado para o sustento das populações ribeirinhas sem graves impactos. Todavia, nos últimos anos, o desmatamento resultante do avanço da fronteira agrícola e da pecuária têm intensificado os processos erosivos. A remoção das florestas alagáveis é particularmente danosa porque essas florestas e sua vegetação herbácea associada, favorecem a deposição de sedimentos suspensos na água, preservam as margens dos principais rios amazônicos contra a erosão lateral e contribuem de maneira primordial

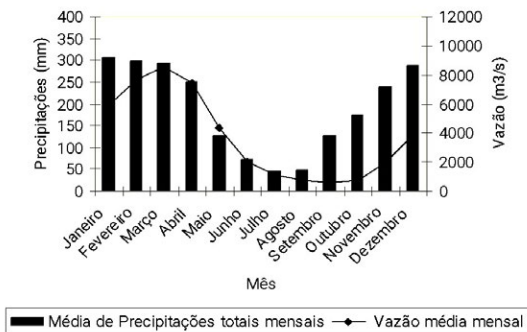


Figura 1. Descarga líquida do rio Purus (m³/s) em Seringal Fortaleza, Pauini (1998-2006) e precipitação mensal (mm). Fonte: Ríos-Villamizar (2008) e Ríos-Villamizar et al. (2020b).

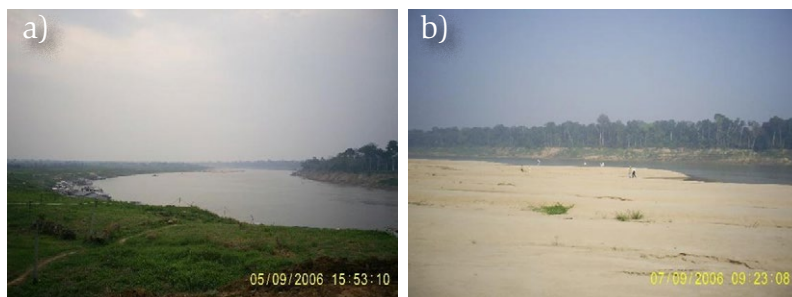


Figura 2. Rio Purus na estação seca / setembro de 2006: a) Frente à Lábrea, b) Jusante à Lábrea. Fonte: arquivo fotográfico projeto PPG-7/CNPq, 556899/2005-9.

na regulagem da vazão dos cursos de água, aumentando a capacidade de armazenamento nas microbacias, diminuindo, assim, os impactos das inundações e mantendo a qualidade da água (JUNK *et al.* 2014 a, b). Adicionalmente, o aporte de nutrientes oriundo da cobertura vegetal propicia a manutenção das espécies aquáticas que compõem os mananciais hídricos. Assim, do ponto de vista da importância ecológica, as áreas úmidas amazônicas representam as principais fontes primárias para as cadeias tróficas que sustentam toda a biodiversidade de peixes da região (JUNK *et al.*, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A química da água e a classificação dos rios e igarapés da Bacia amazônica

Populações pré-colombianas classificaram os rios pela cor de suas águas. Esse critério foi adotado por imigrantes europeus e é evidente hoje em nomes de diversos rios da região, como Rio Claro, Rio Preto, Rio Negro, Rio Branco e Rio Verde. Os indígenas da região sabiam que a cor da água estava relacionada a determinadas propriedades ecológicas, tais como a riqueza de peixes, fertilidade do solo ou a abundância de mosquitos (JUNK *et al.*, 2011). A primeira classificação científica dos corpos

de água da Amazônia foi elaborada por Sioli (1956), usando também a cor da água, além da carga sedimentar, pH e condutividade elétrica para explicar peculiaridades limnológicas dos grandes rios da Amazônia, e relacioná-las com as propriedades geológicas e geomorfológicas das suas Bacias hidrográficas, uma visão científica inovadora que levou a uma nova área nas pesquisas limnológicas, a “ecologia da paisagem”.

A maior parte da região amazônica apresenta baixos níveis de eletrólitos nas águas (KLINGE e FURCH, 1991), contrastando com a região Andina (STALLARD e EDMOND, 1983), onde têm origem os rios de águas brancas, como por exemplo, os rios Solimões/Amazonas, Juruá, Japurá, Purus e Madeira, os quais transportam relativamente altas quantidades de sedimentos ricos em nutrientes. Suas águas têm um pH próximo da neutralidade e concentrações relativamente elevadas de sólidos dissolvidos, principalmente metais alcalino-terrosos (cálcio, magnésio) e carbonatos, porém com baixos níveis de carbono orgânico dissolvido. A condutividade elétrica do Rio Amazonas diminui de cerca de 150–300 $\mu\text{S cm}^{-1}$ perto dos Andes para cerca de 40–70 $\mu\text{S cm}^{-1}$ em seu baixo curso (RÍOS-VILLAMIZAR *et al.*, 2014; 2020a, b, c, d; SILVA *et al.*, 2019), por diluição com água dos diferentes tributários de águas pretas e claras, pobres em eletrólitos.

Rios de água preta, como o rio Negro, drenam o escudo Pré-cambriano da Guiana com grandes áreas de areia branca. Sua água tem baixa quantidade de sedimentos em suspensão, porém, apresenta elevadas quantidades de ácidos húmicos, que dão à água uma cor marrom-avermelhada. Os valores de pH desses rios estão na faixa de 4-5 e a condutividade elétrica é menor que 20 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Rios de água claras, tais como os rios Tapajós, Arapiuns, Xingu, Araguaia, Guaporé têm suas nascentes no Cerrado do Escudo Brasileiro, enquanto os rios Branco, Trombetas e Paru do Este nascem no Escudo das Guianas. Em geral, os rios de águas claras possuem águas transparentes e esverdeadas, com baixas quantidades de sedimentos em suspensão. Entretanto, rios tais como o Branco e muitos dos seus tributários, no Estado de Roraima, podem apresentar quantidades relativamente altas de sedimentos em suspensão e coloração semelhante à de rios de águas brancas, no entanto, suas características químicas indicam que estes, geralmente, têm baixos níveis de nutrientes e sólidos dissolvidos, apresentando características mais s aos rios de águas claras. Nos grandes rios de águas claras o pH varia entre 5 e 7; a condutividade elétrica está na faixa de 10-50 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (RÍOS-VILLAMIZAR *et al.* 2014; 2020a, b, c, d), mas pode diminuir para 5 $\mu\text{S cm}^{-1}$ em corpos de água me-

nores, como igarapés ou riachos (JUNK *et al.*, 2011; RÍOS-VILLAMIZAR *et al.* 2020a, b, c, d).

Esta classificação simplificada tem influenciado até hoje a discussão científica sobre limnologia e ecologia da Bacia amazônica. No entanto, a classificação de Sioli (1956) foi baseada em um número de dados limitado, porque quando esse investigador realizou seus estudos o acesso à vasta Bacia amazônica era restrito aos grandes rios, os quais ele visitou por meio de pequenos barcos ou canoas. As estradas, que dão hoje o acesso a pequenos rios e igarapés em áreas interfluviais da Bacia amazônica e que permitem a realização de transectos hidroquímicos, não estavam disponíveis para o Professor Sioli e outros limnólogos naquela época, e os mapas geológicos só forneciam uma visão simplificada e em grande escala da Bacia. As análises químicas da água na Amazônia estavam em sua etapa preliminar e Sioli não tinha instalações modernas de laboratório à sua disposição para realização de outras análises químicas.

Entretanto, este panorama tem mudado bastante durante as últimas décadas. O Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) é hoje uma importante instituição de pesquisa e de renome internacional, a qual tem realizado muitos estudos limnológicos e acolhido projetos nacionais e internacionais, como por exemplo, a cooperação de longo prazo com o Instituto de Limnologia alemão Max-Planck (FURCH e JUNK, 1997), as diversas expedições do projeto CAMREX da Universidade de Seattle (RICHEY *et al.* 2008), a cooperação com a Universidade de Santa Barbara (MELACK e FISHER, 1983), o Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia – LBA (MONTEIRO *et al.* 2014, 2015) e o projeto Hidro-Geodinâmica da Bacia amazônica – ORE – HYBAM (SEYLER e BO-AVENTURA, 2003), entre outros.

Na literatura científica encontram-se alguns trabalhos que tentam consolidar ou apresentar um marco conceitual acerca das informações relacionadas com a química das águas amazônicas, no quais foram compiladas as informações referentes às características da química das águas dos principais rios e igarapés da Bacia amazônica (RÍOS-VILLAMIZAR, 2013; RÍOS-VILLAMIZAR *et al.*, 2014; 2016; 2020a, b, c, d).

Alguns parâmetros da química da água, tais como o pH, condutividade elétrica, cátions e ânions principais, têm sido amplamente utilizados para classificação de águas (FURCH e JUNK, 1997; KRUSCHE, 2013; RÍOS-VILLAMIZAR *et al.*, 2022). O pH pode ser considerada a variável “mestre” da química das águas, ou uma das variáveis “chave” do funcionamento dos rios da Amazônia. Os rios de águas brancas, cuja drenagem

origina-se nos Andes, apresentam faixas consideravelmente altas de pH, como o Purús (7 – 8.4), o Madeira (6.3 – 7.5) e o Solimões (6.3 – 7.5); os rios de planície apresentam valores menores, variando entre 5 e 7, e chegando a valores extremamente baixos (<4,0), em rios e igarapés de águas pretas e claras (Figuras 3 e 4).

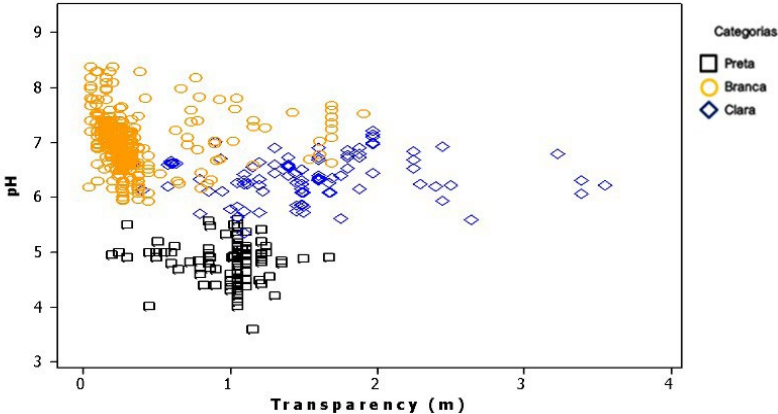


Figura 3. Relação entre o pH e transparência dos principais rios de água branca, preta e clara na Bacia amazônica. Fonte: Rios-Villamizar (2013); Rios- Villamizar *et al.* (2020c).

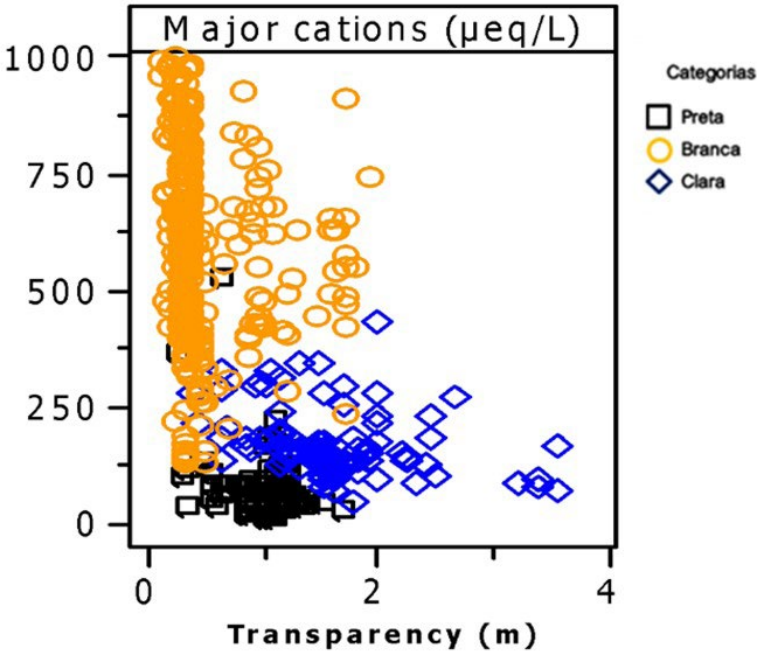


Figura 4. Relação entre a somatória das concentrações totais de Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e K⁺ (cátions principais - major cations), e transparência dos principais rios de água branca, preta e clara da Bacia amazônica. Fonte: Rios-Villamizar (2013); Rios-Villamizar *et al.* (2020c).

PRINCIPAIS TIPOS DE ÁGUAS AMAZÔNICAS

As áreas localizadas em antigas várzeas (paleo-várzeas) ocorrem na região equatorial e ocidental da Amazônia, por exemplo, ao longo dos rios Coarí, Jutaí, e Tefé, e de muitos lagos que se formaram nos vales submersos destes rios menores, assim como dos grandes tributários do Rio Amazonas, como os rios Purus e Japurá (JUNK *et al.*, 2011). Estas áreas, que possuem sedimentos andinos que foram depositados durante antigos períodos interglaciais, apresentam condições intermediárias entre áreas de várzea e de igapó, no que diz respeito à quantidade dos principais cátions (cálcio, magnésio, sódio e potássio) e fertilidade do solo e da água, o qual é refletido na condutividade elétrica (Figura 5). Isto se deve ao fato de que o desgaste das rochas nas paleo-várzeas é maior do que aquele das várzeas e menor do que o do igapó (IRION *et al.*, 2010).

No estuário do Rio Amazonas podem ser observadas Áreas Úmidas – AUs diretamente influenciadas pelas marés, apresentando influência direta da água marinha ou salobra. No entanto, na parte baixa do Rio Amazonas é também comum um tipo de AU com predominância das águas doces, indiretamente influenciadas pela maré, a chamada “várzea de maré” ou “várzea tidal”. Este termo refere-se às áreas localizadas dentro da região das marés do delta do Amazonas e que compreendem uma parcela relativamente grande da Bacia amazônica. A várzea de maré abrange parte do estuário do Rio Amazonas, que inclui grande parte da Ilha de Marajó e os estuários dos rios Pará e Tocantins (MONTAGNINI e MUÑIZ-MIRET, 1999), e sofre inundações com menor duração e maior frequência, contrastando com as várzeas da parte média e alta do Rio Amazonas, as quais podem permanecer inundadas por vários meses du-

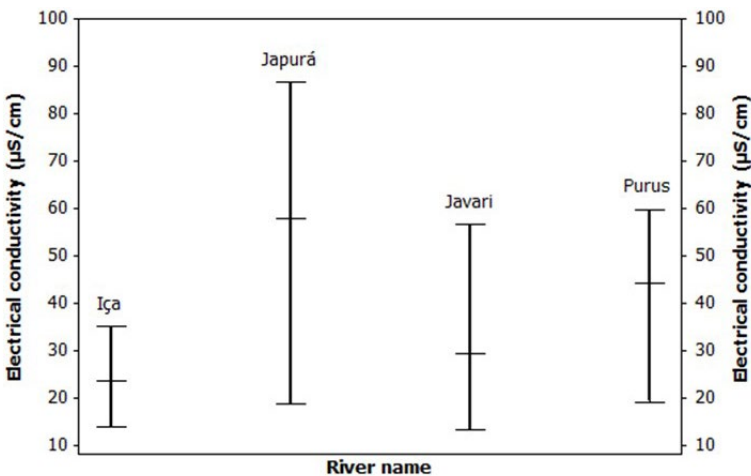


Figura 5. Valores máximo, médio e mínimo de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) para os rios Içá, Japurá, Javari e Purus. Fonte: Rios-Villamizar (2013); Rios-Villamizar *et al.* (2020d).

rante o período chuvoso. Nos locais de várzea de maré ainda pode ser observada a influência indireta das marés do Oceano Atlântico pela subida e descida diária do Rio Amazonas, com influência indireta da água marinha ou salobra (RÍOS-VILLAMIZAR *et al.*, 2016).

As áreas alagáveis dos rios de grande porte, como por exemplo, o Negro e o Purus, possuem níveis e descargas (vazões) das águas que variam de forma lenta, com um ciclo anual mais ou menos previsível de subida e descida, entre as estações chuvosa e seca. Isto não ocorre nos pequenos rios e igarapés, onde as inundações são frequentes, de curta duração e pouco previsíveis, provocadas pelo pico das chuvas locais (Figura 6). As planícies de inundação desses corpos de água, denominadas de baixios, podem ficar alagadas em poucos minutos, e são desenvolvidas sobre solos arenosos (podzólicos), extremamente pobres e ácidos, geralmente associados às águas pretas (Figura 7). No entanto, as características químicas da água e do sedimento desses ambientes podem variar consideravelmente, sendo influenciadas pela geomorfologia da respectiva microbacia onde cada igarapé se encontra (MONTEIRO *et al.*, 2014, 2015; MARINHO *et al.*, 2015).

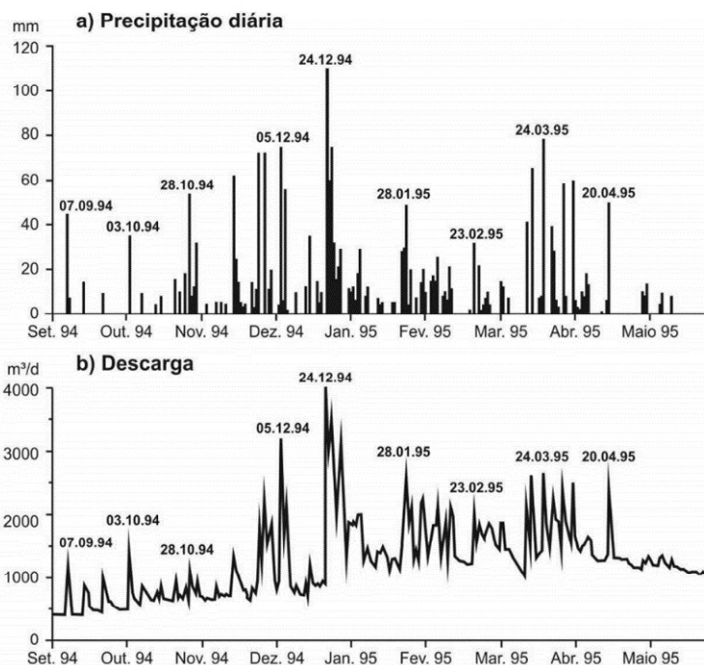


Figura 6. Curva de precipitação diária (a) e hidrograma (b) do córrego de cerrado Tenente Amaral, na Chapada dos Guimarães, próximo a Cuiabá, na Bacia do Rio Paraguai. Este hidrograma irregular é característico para todos os igarapés e rios de baixa ordem fluvial, e corresponde à curva de precipitação diária da região. Fonte: Wantzen (2003) e Junk *et al.* (2014b).



Figura 7. Igarapé Preto, Bacia do rio Jaú. Fonte: Eduardo A. Ríos-Villamizar, acervo fotográfico Grupo MAUA/CODAM/INPA (2015).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma extensa e crescente quantidade de dados hidroquímicos disponíveis na literatura indicam que a composição química dos corpos de água na Amazônia varia muito mais do que foi assumido por Sioli nas suas diversas publicações entre as décadas de 1950 e 1990. Desta forma, temos que conviver com o fato de que a diversidade físico-química das águas da Amazônia é ampla, e aumenta quando a ordem do rio decresce, i.e., pequenos córregos, igarapés e rios de pequeno porte refletem de maneira mais direta as diferenças geológicas locais do que os grandes rios, os quais representam as condições de extensas áreas de captação. Por isso, muitos rios e igarapés devem ser considerados como corpos de “águas mistas” ou “águas intermediárias”, resultantes da confluência de rios de menor ordem, com diferentes propriedades físico-químicas das suas águas (RÍOS-VILLAMIZAR *et al.*, 2022).

Os parâmetros utilizados em qualquer sistema de classificação, não nos ajuda a compreender, de forma plena, a grande variabilidade natural nas águas amazônicas. As diferenças entre as tipologias clássicas das águas dos principais rios podem ser nítidas, não obstante, na natureza acontecem transições contínuas e fluidas, difíceis de incorporar a um sistema de classificação específico (categorias químicas), em função da alta variabilidade dos parâmetros hidroquímicos, tanto no espaço quanto no tempo.

A escolha dos parâmetros para realizar uma classificação das águas amazônicas depende do objetivo do estudo. Por exemplo, para realizar

uma classificação de qualidade da água potável, de qualidade para a saúde pública, ou da qualidade para a produtividade aquática, os parâmetros químicos a serem utilizados seriam diferentes. O objetivo da nossa classificação é fornecer informações múltiplas sobre aspectos da ecologia dos rios e igarapés, suas áreas úmidas conectadas, assim como suas Bacias e microbacias de drenagem.

Neste contexto, para a classificação físico-química dos rios e igarapés da Amazônia foram utilizados primordialmente os parâmetros pH, condutividade elétrica, os teores e a relação entre os metais alcalinos, alcalino-terrosos e carbonatos. Estes parâmetros podem ser facilmente determinados e fornecem informações sobre as condições físico-químicas nos rios, em suas áreas úmidas e em suas áreas de captação. A combinação destes parâmetros permite distinguir os três tipos clássicos de água (branca, preta e clara) e tipos intermediários que apresentam maior variabilidade e caráter de transição. Os parâmetros cor e transparência da água possuem importância secundária para a classificação, já que estes podem mudar quando as condições nas áreas de captação mudam. A água de um igarapé que drena os sedimentos do terciário da Amazônia Central pode mudar de transparente para turva quando a cobertura vegetal natural é destruída e a entrada de material caolinítico no sistema é incrementada por meio da erosão. No entanto, os parâmetros químicos não vão mudar, pois eles dependem da geologia da área, a qual não foi modificada pela destruição da cobertura vegetal. Eles vão categorizar a água como clara ou preta, apesar da alta carga de material caolinítico em suspensão.

A importância da quantidade e da relação entre os metais alcalinos e alcalino-terrosos e carbonatos para a classificação das águas amazônicas se constitui em outro parâmetro químico essencial para a classificação dos tipos de água da Amazônia. Neste contexto, alguns rios que drenam a faixa do carbonífero no baixo Amazonas, tais como Cuparí e Tocantins, alguns rios nas áreas s a Monte Alegre (Estado do Pará), como também alguns pequenos rios e igarapés das áreas Andinas e Pré-Andinas, alguns afluentes do rio Ji-Paraná (Estado de Rondônia), como também alguns tributários dos rios Xingu e Tocantins devem ser considerados como rios de águas brancas, apesar da baixa carga de sedimentos em suspensão.

A Bacia sedimentar do Terciário na Amazônia Central é relativamente homogênea, porém os escudos pré-cambrianos das Guianas e do Brasil Central, apresentam uma grande complexidade geológica, e às vezes em pequena escala, o que é refletido na alta variabilidade hidroquímica. Nos rios de maior ordem, essa complexidade torna-se menos visível, porque

estes rios representam a integração de todos os tipos de águas da Bacia inteira, através da mistura de águas de diversas qualidades. A geologia da região Pré-Andina também é bastante heterogênea, com grandes e antigas áreas de sedimentação (paleo-várzeas) de diferentes idades. Estes sedimentos têm sido fortemente intemperizados, mas ainda contêm um teor mais elevado de bioelementos do que os sedimentos do terciário da Amazônia Central e do que os solos dos escudos Pré-Cambrianos.

Neste contexto, para a classificação físico-química dos rios e igarapés da Amazônia foram utilizados os parâmetros cor da água, transparência, pH, condutividade elétrica, e a relação entre os metais alcalinos e alcalino-terrosos e carbonatos. Estes parâmetros podem ser facilmente determinados e fornecem informações sobre as condições físico-químicas nos rios, suas áreas úmidas e suas áreas de captação. A combinação destes parâmetros permite distinguir os três tipos clássicos de água (branca, preta e clara), os tipos intermediários (A e B) e a água salobre (Figura 8).

Existe grande número de corpos de água dentro da Bacia amazônica que devem ser estudados considerando a existência de transições e mosaicos de diferentes tipos de água (FURCH *et al.*, 1982). A classificação e gestão dos rios e áreas úmidas da Amazônia sofrem ainda pela falta de dados. É evidente que, apesar dos esforços e centenas de estudos já realizados sobre as águas amazônicas, e diante da importância e complexidade da trama de rios, córregos e igarapés de diferentes tipos de águas da região, os dados hidroquímicos ainda podem ser considerados escassos

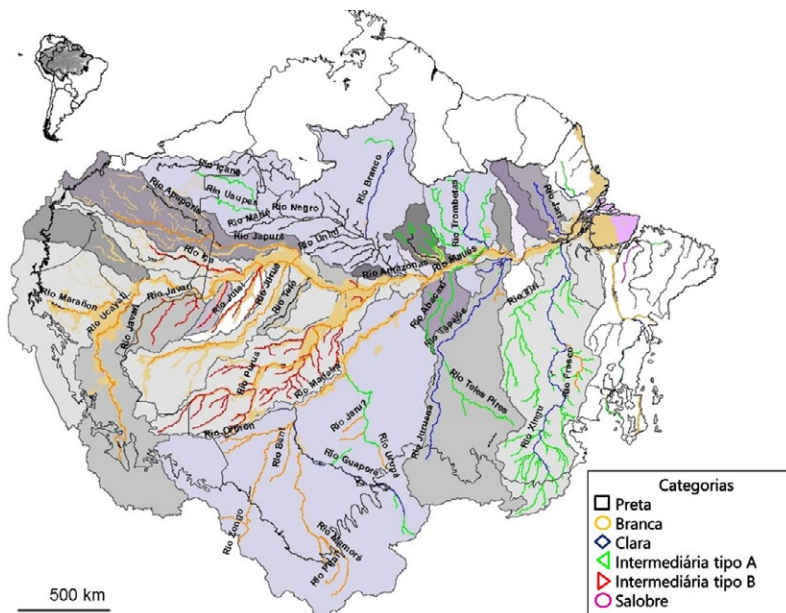


Figura 8. A distribuição dos principais tipos de rios da Bacia amazônica. Fonte: Rios-Villamizar (2013); Rios-Villamizar *et al.* (2020a, d).

para muitos igarapés e rios de pequena e média ordem, e uma classificação pormenorizada, incluindo toda a extensão da Bacia amazônica, ainda não é possível. Assim, é necessário continuar a coletar amostras de água, principalmente nos córregos e rios que apresentam pouco ou nenhum estudo ao longo da Bacia amazônica, no intuito de completar e melhorar as informações disponíveis, visando subsidiar o refinamento do sistema de classificação dos rios da Amazônia.

Nossa abordagem geral, que integra a literatura existente, o conhecimento clássico e levantamentos de campo subsidiarão estudos ecossistêmicos para o refinamento da classificação das águas e principais áreas úmidas da Bacia amazônica. Estes estudos permitem oferecer uma linha base de dados para subsidiar a elaboração de políticas públicas, visando à gestão, manejo, conservação, e uso racional dos recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de pós-graduação em Clima e Ambiente (PPG-CLIAM-B-INPA/UEA), Grupo de Ecologia, Monitoramento e Uso Sustentável de Áreas Úmidas – MAUA/CODAM/INPA, PELD-MAUA, PRONEX “Tipologias Alagáveis (CNPq/FAPEAM)”, “CAPES/CNPq – IEL Nacional – Brasil”, “Bolsista CAPES/BRASIL”. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Áreas Úmidas (INCT-INAU-UFMT). Programa de Apoio à Fixação de Doutores no Amazonas – FIXAM/AM (Edital n. 022/2013, concessão n.: 062.01319/2014), e Programa de Fixação de Recursos Humanos para o Interior do Estado: Mestres e Doutores por Calha de Rio – PROFIX-RH – Edital n.º 009/2021, concessão n.: 081/2022 da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM/SEDECTI/AM, Governo do Estado do Amazonas, Brasil, pelo recurso financeiro e bolsa de projeto de pesquisa concedida ao primeiro autor. Ao Laboratório de Química Ambiental (CPCRH/CODAM/INPA) pela assistência nas análises de água.

REFERÊNCIAS

- FURCH, K.; JUNK, W.J.; KLINGE, H. Unusual chemistry of natural waters from the Amazon region. **Acta Cient. Venez.**, 1982, 33: 269-273.
- FURCH, K.; JUNK, W.J. **Physicochemical Conditions in the Floodplains**. In: Junk WJ, editor. *The Central Amazon Floodplain: Ecology of a Pulsing System*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1997, pp. 69-108.
- IRION, G.; de MELLO, J.A.S.N.; MORAIS, J.; PIEDADE, M.T.F.; JUNK, W.J.; GARMING, L. **Development of the Amazon valley during the Middle to Late Quaternary: sedimentological and climatological observations**. In: Junk *et al.* (eds). *Central Amazonian floodplain forests: ecophysiology, biodiversity and sustainable management*.

- Springer Verlag, Berlin, 2010, p. 27–42.
- JUNK, W.J.; BAYLEY, P.B.; SPARKS, R.E. The flood pulse concept in river-floodplain-systems. **Canadian Special Publications for Fisheries and Aquatic Sciences**, 1989, 106, 110–127.
- JUNK, W.J.; OHLY, J.J.; PIEDEDE, M.T.F.; SOARES, M.G.M. **Actual use and options for the sustainable management of the central Amazon floodplain: Discussion and conclusions**. In: JUNK, W.J.; OHLY, J.J.; PIEDEDE, M.T.F.; SOARES, M.G.M. (Eds.). *The Central Amazon floodplain: Actual use and options for sustainable management*. Leiden, The Netherlands, Backhuys Publishers. 2000, p. 535-579.
- JUNK, W.J.; PIEDEDE, M.T.F.; SCHONGART, J.; COHN-HAFT, M.; ADENEY, J.M.; WITTMANN, FA. **Classification of Major Naturally - Occurring Amazonian Lowland Wetlands**. *Wetlands*, 2011, 31, 623–640.
- JUNK, W.J.; PIEDEDE, M.T.F.; LOURIVAL, R.; WITTMANN, F.; KANDUS, P.; LACERDA, L.D.; BOZELLI, R.L.; ESTEVES, F.A.; NUNES DA CUNHA, C.; MALTCHIK, L.; SCHONGART, J.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; AGOSTINHO, A.A. Brazilian wetlands: Their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, 2014a, 24: 5–22.
- JUNK, W.J.; PIEDEDE, M.T.F.; LOURIVAL, R.; WITTMANN, F.; KANDUS, P.; LACERDA, L.D.; BOZELLI, L.R.; ESTEVES, F.A.; NUNES DA CUNHA, C.; MALTCHICK, L.; SCHONGART, J.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; AGOSTINHO, A.A.; NOBREGA, R.L.B.; CAMARGO, E. **Definição e Classificação das Áreas Úmidas (AUs) Brasileiras: Base Científica para uma Nova Política de Proteção e Manejo Sustentável**. Em: NUNES DA CUNHA, C.N.; PIEDEDE, M.T.F.; JUNK, W.J. (Eds.). *Classificação e Delineamento das Áreas Úmidas Brasileiras e de seus Macrohabitats*. Instituto Nacional de Áreas Úmidas (INAU), Editora da UFMT, Cuiabá, MT, 2014b, 13-76.
- KLINGE, H.; FURCH, K. Towards the classification of Amazonian floodplains and their forests by means of biogeochemical criteria of river water and forest biomass. **Inter-ciência**, 16(4): 1991, 196-201.
- KRUSCHE, A. V. **O papel dos rios no ciclo de carbono na Amazônia**. Centro de Energia Nuclear na Agricultura - Universidade de São Paulo. Chamada MCTI/CNPq/FNDCT – Ação Transversal - nº 68/2013 – Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia – LBA. 2013, 25 pp.
- MARINHO, T. A. S.; PAULA, J. D.; RÍOS-VILLAMIZAR, E.A.; SCHONGART, J. **Tipos de Áreas Úmidas amazônicas**. In: LOPES, A.; PIEDEDE, M. T. F (Eds). *Conhecendo as áreas úmidas amazônicas: uma viagem pelas várzeas e igapós*. 1ª ed. Manaus: INPA, 2015, v.1, p. 33-40.
- MELACK, J.M.; FISCHER, T.R. Diel oxygen variations and their ecological implications in Amazon floodplains lakes. **Arch. Hydrobiol.**, 1983, 98: 422-442.
- MONTAGNINI, F.; MUÑIZ-MIRET, N.. Vegetation and soils of tidal floodplains of the Amazon estuary: a comparison of várzea and terra firme forests in Pará, Brazil. **Journal of Tropical Forest Science**, 1999, 11: 420-437.

- MONTEIRO, M.T.F.; OLIVEIRA, S.M.; LUIZÃO, F.J.; CÂNDIDO, L.A.; ISHIDA, F.Y.; TOMASELLA, J. Dissolved organic carbon concentration and its relationship to electrical conductivity in the waters of a stream in a forested Amazonian blackwater catchment. **Plant Ecology e Diversity** (Print), 2014, v. 7, p. 205-213.
- MONTEIRO, M.T.F.; TOMASELLA, J.; CANDIDO, L.A.; LUIZÃO, F. Application of D-SEM to a catchment in Central Amazonia: calibration and validation of the carbon and nitrogen cycles. **Ecohydrology e Hydrobiology**, 2015, v. 15, p. 192-207.
- PIEADADE, M.T.F.; JUNK, W.J.; SCHONGART, J.; PIEADADE, L.R.; WITTMANN, F. **Recursos Hídricos e Áreas Úmidas amazônicas no Contexto de um Mundo Globalizado**. In: FONSECA, O.J.M.; CAMARGO, A.A.F. (org.). Temas Contemporâneos de Direito Ambiental. UEA Edições, Manaus. 2012, pp. 21-30.
- RICHEY, J.E., R.L.; VICTORIA, J.I.; HEDGES, T.; DUNNE, L.A.; MARTINELLI, L.; MERTES, J.; ADAMS, J.. **Pre-LBA Carbon in the Amazon River Experiment (CAMREX)** Data. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. 2008. Data set. Available on-line [http://daac.ornl.gov]. doi:10.3334/ORNLDAAC/904.
- RÍOS-VILLAMIZAR, E.A. **Caracterização das águas da Bacia do rio Purus, Amazônia brasileira ocidental: relações com desmatamento, clima e saneamento básico**. Dissertação do Mestrado em Ciências do Ambiente - Centro de Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil. 2008, 118pp.
- RÍOS-VILLAMIZAR, E. A. **Química da água para a classificação dos rios e igarapés da Bacia amazônica**. Tese de Doutorado. INPA/UEA, Manaus. 2013, 80 pp.
- RÍOS-VILLAMIZAR E.A.; PIEADADE, M.T.F.; COSTA, J.G.; ADENEY, J.M.; JUNK, W.J. Chemistry of different Amazonian water types for river classification: a preliminary review. **WIT Transactions on Ecology and The Environment**, 2014, 178, 17-28.
- RÍOS-VILLAMIZAR, E. A.; PIEADADE, M. T. F.; JUNK, W. J. **Tipologias de águas em áreas úmidas da Bacia amazônica: uma revisão enfatizando a classificação dos rios e igarapés**. In: Ferreira, S. J. F.; Silva, M.L.; Pascoaloto, D (Org.). Amazônia das águas: qualidade, ecologia e educação ambiental. 1ª ed. Editora Valer/Fapeam/Inpa. Manaus, Brasil, 2016, v.1, p. 175-191.
- RÍOS-VILLAMIZAR, E.A.; SILVA, S.R; OLIVEIRA, R.C; MIRANDA, A.S; FERREIRA, S.J.F; SILVA, M.L; BRINGEL, S.R.B; GOMES, N.A; NASCIMENTO FILHO, W.J; ROQUE, R.; TADEI, W.P.; FERREIRA, V.C. **Hidroquímica dos corpos de água no Rio Madeira e afluentes em áreas s a UHE Jirau/RO**. In: XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 24 – 28 de novembro, Foz do Iguaçu (PR). Sistema de trabalhos técnicos ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre - RS, 2019, v.1, p. 1–10.
- RÍOS-VILLAMIZAR, E.A.; ADENEY J.M.; JUNK, W.J.; PIEADADE, M.T.F. Physicochemical features of Amazonian water typologies for water resources management. **IOP Conf Ser: Earth Environ Sci.**, 2020a, v. 427, 012003, doi:10.1088/1755-1315/427/1/012003.
- RÍOS-VILLAMIZAR, E.A.; PIEADADE, M. T. F.; KUNK, W. J.; WAICHMAN, A.V. Land use changes and relations among water physicochemistry and hydrology in the Amazonian Purus River basin, northwestern Brazil. **Scientia Amazonia**, 2020b, v.9(1), p.CAm1 - CAm11.
- RÍOS-VILLAMIZAR, E.A.; ADENEY, J.M.; PIEADADE, M.T.F.; JUNK, W.J. New insights on the classification of major Amazonian river water types. **Sustain. Water Resour. Manag.**, 2020c, 6:83. <https://doi.org/10.1007/s40899-020-00440-5>.

- RÍOS-VILLAMIZAR, E.A.; ADENEY, J.M; PIEDADE, M.T.F; JUNK, W.J. Hydrochemical classification of Amazonian rivers: a systematic review and meta-analysis. **Caminhos da Geografia** (UFU. Online), v.21, p.211-226, 2020d. [https:// doi.org/10.14393/RCG217853272](https://doi.org/10.14393/RCG217853272).
- RÍOS-VILLAMIZAR, E.A.; LOPES, A.; DA SILVA, M.D.R. *et al.* Water chemistry of rivers and streams from the Jaú and Uatumã basins in central Brazilian Amazon. **Sustain. Water Resour. Manag.**, 2022, 8:117. <https://doi.org/10.1007/s40899-022-00696-z>.
- SEYLER, P.T.; BOAVENTURA, G.R. Distribution and partition of trace metals in the Amazon basin. **Hydrol. Process.**, 2003, 17: 1345–1361.
- SILVA, M.S.R.; RÍOS-VILLAMIZAR, E A; BRANDÃO DA CUNHA, H.; FONSECA MIRANDA, S.Á; FERREIRA, S J F; BRINGEL, S R. B; GOMES, N A; PASCOALOTO, D; SILVA, L.M. A Contribution to the Hydrochemistry and Water Typology of the Amazon River and its tributaries. **Caminhos da Geografia** (UFU. Online), v.20, p. 360 - 374, 2019.
- SIOLI, H. Über Natur und Mensch im brasilianischen Amazonasgebiet. **Erdkunde**, 1956, 10(2), 89–109.
- STALLARD, R.F.; EDMOND, J.M. Geochemistry of the Amazon. 2. The influence of geology and weathering environment on the dissolved load. **J. Geophys. Res.**, 1983, 88 (C14): 9671-9688.

9. Desafios na Gestão dos Rios da Bacia Hidrográfica do Amazonas

Maria do Socorro Rocha da Silva¹, Sebastião Átila Fonseca Miranda²,
Sergio Roberto Bulcão Bringel³

¹ pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. E-mail: ssilva@inpa.gov.br

² pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. E-mail: atila@inpa.gov.br

³ pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e Professor da Universidade do Estado do Amazonas. E-mail: bringel@inpa.gov.br

INTRODUÇÃO

A maior Bacia Hidrográfica do planeta, a Bacia amazônica, representa 1/5 de todos os rios do planeta com mais de 7000 afluentes. Se destaca pelos inúmeros rios, igarapés e lagos de cursos sensivelmente retilíneos e, não raro, com acentuado paralelismo entre si (KUHNS *et al.*, 2009; SILVA, 2013). Esta Bacia compreende 63,88% no Brasil; e nos demais países: na Colômbia com 16,14, na Bolívia com 15,61 %, no Equador com 2,31 %, na Guiana com 1,35 %, no Peru 0,60% e na Venezuela com 0,11 % (OTCA, 2006). O canal principal desta Bacia, o rio Amazonas, é o mais extenso do planeta e de maior volume de água e tem sua nascente a 5.300 m de altitude nos Andes peruano com nome Vilcanota. A partir de sua nascente, percorre uma extensão de 6.885 km até a sua foz recebendo águas de aproximadamente 1.100 tributários (IBGE, 1977; IRION *et al.*, 1994). No Brasil recebe o nome de rio Solimões e, após a entrada do rio Negro, em frente de Manaus, passa ser denominado de rio Amazonas, até desembocar no oceano Atlântico.

Com toda esta abundância de água na região, além do aquífero Guaraní, o Brasil é um dos países onde estão as maiores reservas de água potável (ou em condições não muito longe da potabilidade), do mundo. Ou seja, talvez não estejamos aproveitando devidamente esta condição de sermos ricos em um dos recursos naturais mais importantes, pois é essencial para a sobrevivência do ser humano, dos animais e dos vegetais (SILVA, 2013).

Grande parte das águas disponíveis, na Amazônia, abrange os Estados do Amazonas, Amapá, Acre, Rondônia e Roraima e parte do Pará e Mato Grosso, com 81 % da disponibilidade dos recursos Brasileiros em 45 % da extensão territorial, região que possui a menor densidade demográfica e baixa demanda de atividade produtiva. Em compensação, o Nordeste dispõe de apenas 5 % das águas brasileiras (ANA, 2010). Esta abundância

não implica necessariamente em disponibilidade de água adequada ao consumo humano.

A gestão de Recursos Hídricos da Bacia amazônica é um grande desafio, pois temas como: biodiversidade, preservação e conservação ambiental, entre outros, só poderão ser tratados adequadamente se conhecermos a Amazônia como um todo (ARAGON, 2007).

Atividade como a pesca, de extrema importância para a região e essencial para a sobrevivência de muitas comunidades ribeirinhas, está relacionada ao item proteção das comunidades aquáticas, Resolução CONAMA n° 357/2005 (BRASIL, 2005). Na região se tem estimulado a atividade pesqueira, com a implementação de novas tecnologias, como o uso do motor a diesel, as redes de fibras sintéticas, a produção de gelo e outras formas de armazenagem dos peixes, o que vem facilitando a comercialização do peixe fresco no mercado urbano (ALMEIDA, 2006).

Na Amazônia o grande potencial hidrelétrico contribuiu para a instalação da Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes (1950), conhecida como Paredão no Amapá, seguida, no Pará na década de 70, das hidrelétricas de Curuá-Una e Tucuruí e na década de 80 das hidrelétricas de Balbina no Amazonas e de Samuel em Rondônia (SILVA, 2013).

Localizada no município de Presidente Figueiredo/AM, a Hidrelétrica de Balbina (1989), foi projetada para uma produção de 250 MW. Para sua construção, formou um grande lago inundando uma área de 2.360 km² de floresta nativa (KEMENES e FORSBURG, 2008).

Uma outra atividade de risco é a exploração do Petróleo, risco para a poluição dos rios, pois os terminais fluviais de carga e descarga de petróleo e derivados apresentam riscos de derrames (SILVA, 2013).

A gestão de recursos hídricos é fundamental para reduzir a degradação ambiental, conhecer o uso e qualidade de suas águas, uma forma de manejo e gerenciamento ambiental, que são essenciais para a sustentabilidade socioambiental (GOMES, 2011).

Outro grande desafio está associado à preocupação com o aumento das queimadas e os indicadores alarmantes de desmatamento. Projetos com propostas potenciais têm sido apresentados para se atingir o desmatamento zero e melhorar as condições de vida da população regional. Por exemplo, “floresta em pé”, extrativismo vegetal e bioeconomia, voltada à exploração da riqueza da biodiversidade (HOMMA, *et al.*, 2020).

Um dos grandes problemas dos desmatamentos, é deixar o solo mais exposto, sujeito a processos de impermeabilização. Estando exposto pode

ocorrer a remoção da camada superficial do solo para o leito dos rios e lagos, alterando o leito dos rios e causando erosão. A impermeabilização do solo dificulta a infiltração da água para o lençol freático diminuindo a quantidade de água armazenada, que irá manter o rio fluindo mesmo em períodos de pouca chuva (GUIMARÃES, 2014).

A ciclagem de nutrientes é também de grande importância para a conservação, e recuperação sustentável de florestas nativas. Por exemplo, se as folhas de uma árvore envelhecem e caem no solo, já existe todo um sistema de decomposição que libera os nutrientes (juntamente com os humos) tornando-os disponíveis para serem novamente absorvidos pela vegetação. Esta ciclagem se mantém, sem que haja mudanças em curto prazo, garantindo certo equilíbrio. Para que se possa melhorar a eficiência do uso das terras e conservar a biodiversidade, é necessário conhecer o funcionamento de todos os processos envolvidos em ambientes naturais e cultivados. Dentre estes, destaca-se a ciclagem de nutrientes, um dos principais mecanismos responsáveis pela sustentabilidade de ecossistemas florestais tropicais (ANDRADE *et al.*, 1999). Quando ocorrem interferências externas no ambiente natural, seja por atividades agrícolas, industriais ou mesmo urbanização, os rejeitos produzidos por estas atividades normalmente são estranhos ao ambiente natural, que não está preparado para reciclá-los com a velocidade necessária. Estes rejeitos ou caem diretamente nos rios ou caem no solo e são arrastados para os rios. Dessa forma o ser humano também se prejudica, pois deixa de contar com os serviços que os ambientes poderiam fornecer.

Diante deste cenário, o que resta à humanidade é se conscientizar de que não pode ir se servindo dos ambientes naturais de forma predatória. Tem que haver restrições em todas as atividades com potencial de causar danos, visando proteger os ambientes o máximo possível. Isto se faz através de gestão, que envolve, dentre outras coisas, um conjunto de normas. Dentre as normas voltadas à gestão de recursos hídricos temos a Lei Federal nº 9.433. Essa Lei prevê a criação do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH (BRASIL, 1997), como um dos integrantes do sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos. Para implementar a Lei, foi criada no ano de 2000, através da Lei 9984, a Agência Nacional das Águas - ANA (BRASIL, 2000), que também ficou responsável pela coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Uma outra norma que já existia, tratava do enquadramento de corpos de água em classes (na ocasião, Resolução CONAMA nº 20/86), passou a ser um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos. O Conselho

Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), que substituiu a Resolução CONAMA n. 20/86, visava enquadramento de corpos de água em classes, de acordo com os usos preponderantes, pela Resolução n° 91/2008, e nesta dispõe sobre procedimentos gerais para enquadramento dos corpos de águas superficiais e subterrâneas.

A Resolução CONAMA n° 357/2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento e dá outras providências (nesta Resolução as condições e padrões de lançamento de efluentes foram incorporadas na Resolução n. 430/2011). A Resolução CNRH n. 91/2008, dispõe sobre procedimentos gerais para enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneas.

O enquadramento dos rios representa um papel fundamental na gestão da qualidade da água do país. Este possibilita compatibilizar os usos múltiplos dos recursos hídricos superficiais, de acordo com a qualidade ambiental pretendida para eles, e com o desenvolvimento econômico, auxiliando no planejamento ambiental de Bacias Hidrográficas e no uso sustentável dos recursos naturais.

Na região amazônica a navegação é o principal meio de transporte, com tendência no futuro de intensificação. Caso não haja um enquadramento adequado para a emissão de poluentes e uso do sistema hídrico, haverá danos ambientais irreversíveis.

O enquadramento é sugerido por agências de água aos respectivos Comitês de Bacias. Entretanto a dificuldade para a formação de um comitê é maior quando se trata da Amazonia. A criação do Comitê do Tarumã (Estado do Amazonas) representa um avanço na região Norte.

Para o manejo ou gerenciamento de uma Bacia, se faz necessário, antes de tudo, conhecê-la. A Amazônia pela sua amplitude ainda é praticamente desconhecida, apesar das pesquisas realizadas terem mostrado suas características geológicas, hidrológicas, biológicas e químicas. Em vista de sua extensão, existem ainda lacunas nos estudos voltados para gestão. Para atender o marco legal (Lei Federal n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997), que deve ser observado para todo o território nacional, pesquisas integradas devem culminar com a aplicação de um dos instrumentos da referida Lei (enquadramento dos corpos de água em classes), a ser implementado juntamente com os planos estaduais de recursos hídricos e os planos das bacias hidrográficas dos rios federais da região.

Neste contexto, este trabalho visa avaliar a gestão da Bacia Hidrográfica do rio Amazonas e de seus principais tributários, identificar os grandes

desafios e avaliar a evolução do enquadramento de rios e seus usos preponderantes observados nos rios da Amazônia.

METODOLOGIA

Foi realizado um levantamento das pesquisas em rios da Amazônia, situada entre 5° de latitude Norte e 20° de latitude Sul. Pesquisas realizadas entre os anos 2009 e 2014, nos rios das Bacias Hidrográficas do rio Amazonas com apoio dos projetos financiados pelo MCT/CNPq/CT-AM, ADAPTA, FRONTEIRA/CNPq, RHIA/FINEP (Figura 1).

As técnicas empregadas nas análises químicas tiveram por base as recomendações do Programa Biológico *International Biological Program* - IBP para ambientes aquáticos, conforme Golterman e Clymo (1971); Golterman *et al.* (1978); Marckereth *et al.* (1978); Strickland e Parsons (1968) e APHA (2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos rios da Bacia Hidrográfica do Amazonas, verifica-se uma grande diferença nas características físicas e químicas dos corpos de águas. Encontram-se: rios de água ácida (pH menor que 4,5) nos afluentes da margem esquerda do rio Negro; rios com pH ligeiramente ácido (pH ~ 6,5), como o rio Xingu; e rios com valores de pH acima de 7,0 ; como os rios Solimões e Amazonas (Tabela 1 e 2). Nos rios da margem esquerda dos rios da Amazônia que nascem nos escudos das Guianas e do Brasil Central ou nas rochas sedimentares cretáceas da Bacia, predominam águas

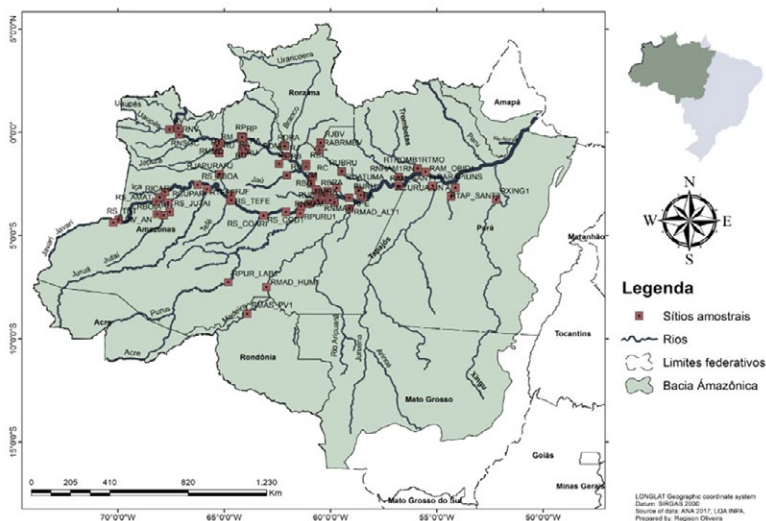


Figura 1. Mapa de localização dos pontos de amostragem, no Rio Amazonas e tributários, no período de 2009 a 2014. Fonte: Adaptado por Oliveira (2021).

ácidas (pH menor que 6,0). Esta variação de água ácida à alcalina está relacionada ao material orgânico proveniente da decomposição da floresta, bem como da influência da geologia e geomorfologia na área (SILVA, 2013; SILVA, *et al.* 2013).

O pH das águas do rio Negro, em condições naturais, é sempre menor que 6. A grande maioria dos valores está entre 4,5 e 5, que é mais ou menos a faixa estabelecida para as águas pretas que, segundo Sioli (1984), teriam o pH entre 3,8 e 4,9. A resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece a faixa de pH entre 6 e 9 para águas doces, no entanto, esta mesma resolução permite que possam existir valores fora desta faixa, desde que se trate de condição natural, como é o caso do rio Negro e outros da Amazônia.

O rio Branco, afluente do rio Negro, mostrou comportamento bem diferenciado, pH com valores normalmente acima 6,0. Com exceção do rio Cauamé, que mostra águas ligeiramente ácidas e acima de 5,5 – valores também observados por Gomes (2000).

Já as águas na calha principal do rio Solimões/Amazonas e tributários da margem direita no alto e médio Amazonas, tipicamente representadas pelo rio Solimões, a faixa de pH, situa-se entre 5,3 ligeiramente ácido a 7,8 alcalino (Tabela 1 e 2), citado por Sioli (1984) como rios de águas brancas. O presente trabalho mostrou valores de pH acima de 6 para o rio Solimões, ou seja, dentro da faixa estabelecida pela Resolução CONAMA nº 357 (Figura 2). No entanto, este rio enfrenta dificuldades com outras variáveis desta resolução que, apesar de se tratar de condição natural, gera dificuldades que não serão muito fáceis de resolver, conforme trataremos mais adiante.

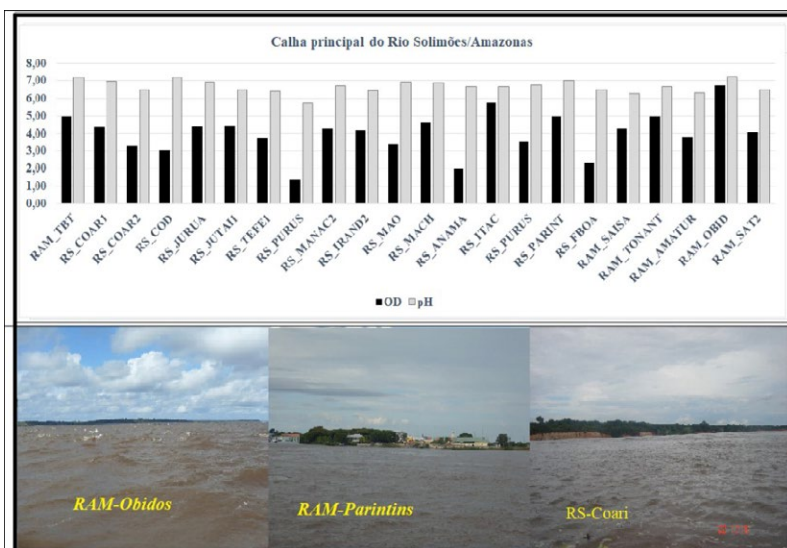


Figura 2. Comportamento do oxigênio dissolvido (mg/L) e pH na calha principal do rio Solimões/Amazonas, observados no período de 2009 a 2014. Fonte: Gráfico e fotos do autor (SILVA, 2013) e, RAM_Óbidos (jul/2009); RAM_Parintins (jul/2009); RS_Coari (jul/2012).

O oxigênio dissolvido (OD) é uma variável essencial para as atividades e manutenção do metabolismo de organismos aeróbios. Nos rios da Amazônia o comportamento do oxigênio dissolvido é bastante heterogêneo.

Na calha principal do rio Amazonas e tributários, muitos são os locais com baixas concentrações de oxigênio. O rio Negro mostra valores de oxigênio que representam uma aeração razoável, mas muitas vezes aparecem valores que, a rigor, não refletem uma boa aeração e ainda aqueles valores que podemos considerar quase críticos, ou seja, abaixo de 4 mg/l. Note-se que estamos falando de coletas na superfície. São condições muito difíceis de se coadunar com a resolução. Aqui é importante ver qual o direcionamento a ser dado, a fim de compatibilizar as normas com a realidade, embora pareça muito difícil atender a norma atual (Resolução CONAMA n. 357/2005).

Essa resolução estabelece que valores de OD, nas classes 2, não devem ser inferior 5,0 mg/L. No rio Amazonas em alguns trechos foram observados valores abaixo 2,00 mg/L. Foram realizadas um total de 89 medições do teor de oxigênio dissolvido ao longo desta calha (1,41 a 6,72 mg/L), conforme Figura 2. Nos tributários encontram-se os seguintes valores 0,49 a 10,27 mg/L, comportamento também observado na distribuição das frequências (Figura 4). Foram registrados valores elevados (acima de 9 mg/l), não com muita frequência. E valores abaixo de 2 mg/l, apesar de não ser muito comum encontrar, mas existem naturalmente, e em coletas de superfície (aproximadamente uns 10 cm abaixo da superfície). A rigor isso deixaria esse rio fora até mesmo da classe 4 para águas doces (Tabela 1 e 2). Estes “desvios” da norma vigente, com algumas de suas consequências, já foram abordados por da Silva *et al.* (2013). A Figura 3 mostra o comportamento do oxigênio dissolvido (mg/L) nos rios afluentes do rio Amazonas e a Figura 4 mostra a distribuição de frequência dos valores de oxigênio e reforça o que foi dito acima.

Uma outra situação, o pH nas águas do rio Amazonas, nos rios da margem direita, classificados como rios de águas brancas por Sioli (1950), facilmente encontram-se dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA n. 357/2005, classe 2, o que não ocorre quando comparados aos rios de águas pretas da margem esquerda do rio Amazonas, pois as águas são mais ácidas (pH < 6,0). Ou seja, temos dois parâmetros naturais (pH e oxigênio dissolvido) que exigirão formas diferentes de tratamento no momento de elaborar normas.

A condutividade elétrica é uma das variáveis importantes na entrada de substâncias dissolvidas (carbonatos, bicarbonatos, sulfatos e cloretos,

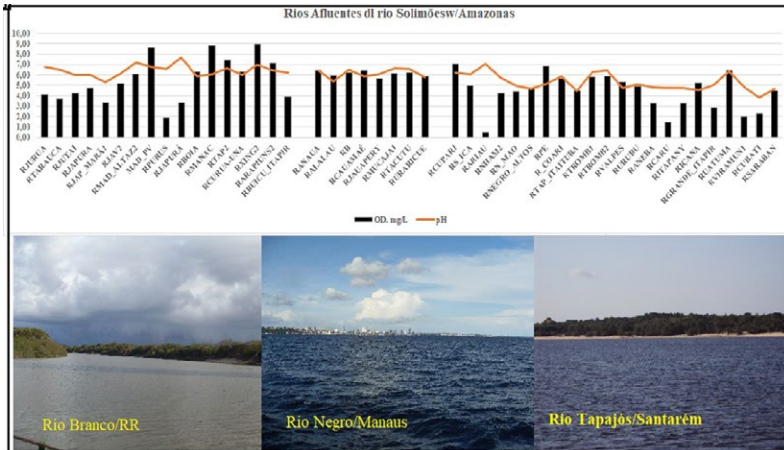


Figura 3. Comportamento do oxigênio dissolvido (mg/L) e pH nos tributários do rio Solimões/Amazonas, observados no período de 2009 a 2014. Fonte: Gráfico elaborado pelo autor (SILVA, 2013) e fotos do autor, Rio Branco/RR (agosto/2012); Rio Negro/Manaus (set/2009); Rio Tapajós/Santarém (jul/2011).

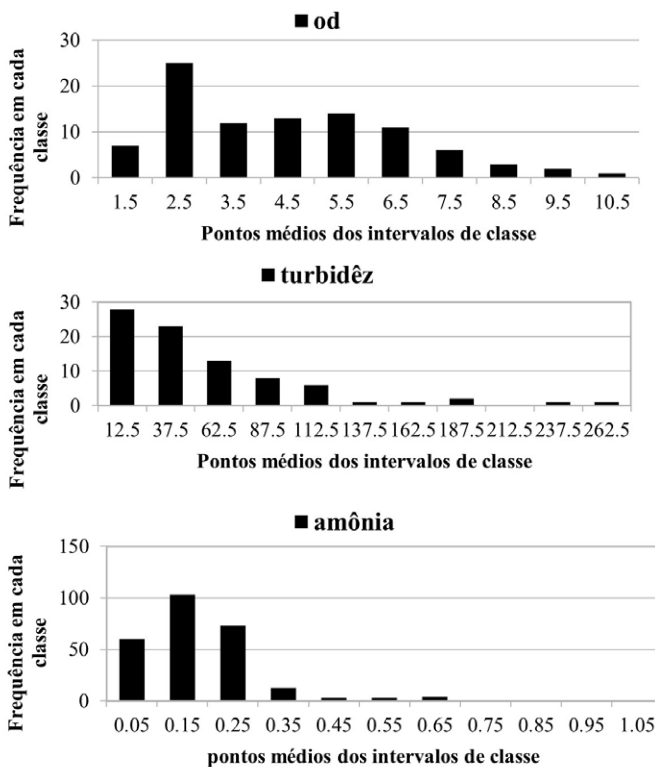


Figura 4. Distribuição de frequência dos valores de Oxigênio Dissolvido na calha Solimões/Amazonas. Fonte: Elaborado pelo autor, Silva (2013).

cálcio, magnésio, potássio e sódio, entre outros) de origem no intemperismo químico da área ou fonte antrópica nas águas dos rios da Amazônia.

As águas nos rios da Amazônia mostram valores de condutividade elétrica bem diferenciados. Nos tributários da margem esquerda do rio Amazonas, que nascem no Escudo das Guianas, as águas apresentaram-se pouco mineralizadas com baixos teores de eletrólitos, valores abaixo de 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Silva (2013), estudando os rios da margem esquerda do

rio Amazonas, mostrou uma faixa limite de condutividade elétrica de 9, 50 - 38,19 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ao longo do rio Solimões/Amazonas (alto, médio e baixo Amazonas) os valores de condutividade elétrica são mais elevados, oscilando de 35,91 a 324,91 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabela 1) e quanto aos tributários da margem esquerda do rio Amazonas, a condutividade elétrica mostra uma forte relação com a variável pH nas águas da região (águas ácidas e pouco mineralizadas) representadas nas Figuras 5 e 6.

Estudo estatístico, aplicado aos dados obtidos das médias das variáveis pH e condutividade elétrica das amostras de água dos rios da Amazonia, indicaram que somente 20% apresentaram pH acima de 6,5 e os maiores valores de condutividade elétrica foram observados nas águas menos ácidas (SILVA, 2013).

As águas do rio Negro possuem valores de turbidez, em sua grande maioria, bem abaixo de 10 NTU e raramente ultrapassam este valor. Não havendo, portanto, qualquer afastamento do que estabelece a Resolução CONAMA nº 357/2005, cuja exigência mais rigorosa é que não ultrapasse o valor de 40 UNT para a classe 1 das águas doces (Tabela 2).

As águas do Solimões, como é bem sabido, possuem grandes quantidades de material em suspensão, o que poderia sugerir, pelo senso comum, que também teriam sempre valores altos de turbidez. E observam-se valores bastante heterogêneos, na calha principal do rio, variando de 8,45 a 126,45 UNT. Nos demais tributários do rio Amazonas os valores

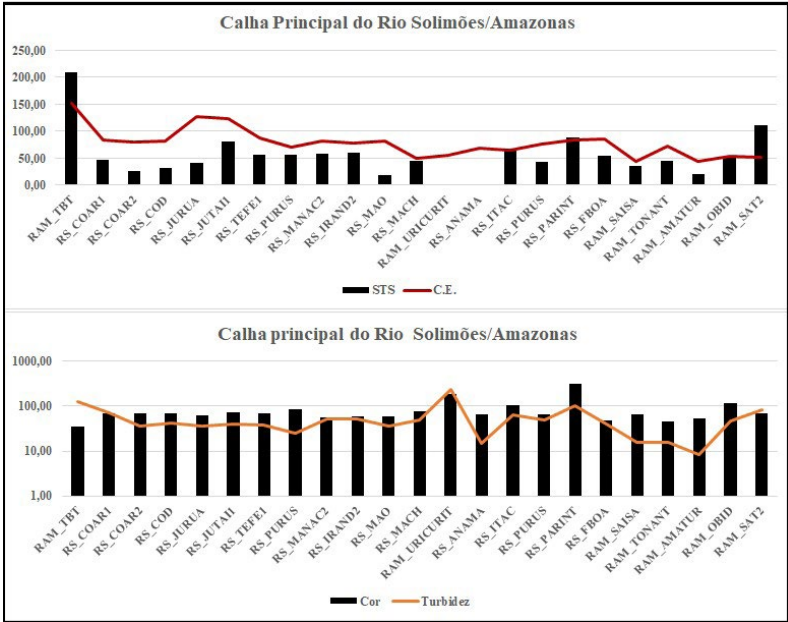


Figura 5. Comportamento dos valores médios do material em suspensão (mg/L), condutividade elétrica em cor (mgPt/L) e turbidez (NTU) na calha principal do rio Solimões/Amazonas e tributários, período de 2009 a 2014. Fonte: Elaborado pelo autor (SILVA, 2013).

médios encontram-se na faixa de 0,44 a 280,67 UNT. De fato, existem muitos valores elevados de turbidez, mas também, surpreendentemente, existem valores baixos (Figura 5 e 6). Na Figura 4 apresentamos, entre outras coisas, a frequência da turbidez. Não cabe aqui discorrer sobre os motivos pelos quais existem valores muito pequenos e muito elevados de turbidez nas águas do rio Solimões/Amazonas, mas sim trabalhar com esta realidade e verificar se isto poderá acarretar algum entrave no que diz respeito à gestão.

Observam-se também locais com valores de turbidez acima de 100 UNT (Tabela 1 e 2). Neste caso, valores baixos não trazem conflitos com a norma vigente, mas sim aqueles valores superiores a 100 UNT, que é o valor máximo permitido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para as classes 2 e 3 das águas doces. Para a classe 4, a menos exigente para águas doces, não se fala em turbidez, aliás cita pouquíssimos parâmetros, e é destinada apenas à navegação e à harmonia paisagística. No entanto, não se pode entender o porquê da harmonia paisagística, uma vez que não há preocupação com a qualidade da água. Pois bem, a classe 4 não

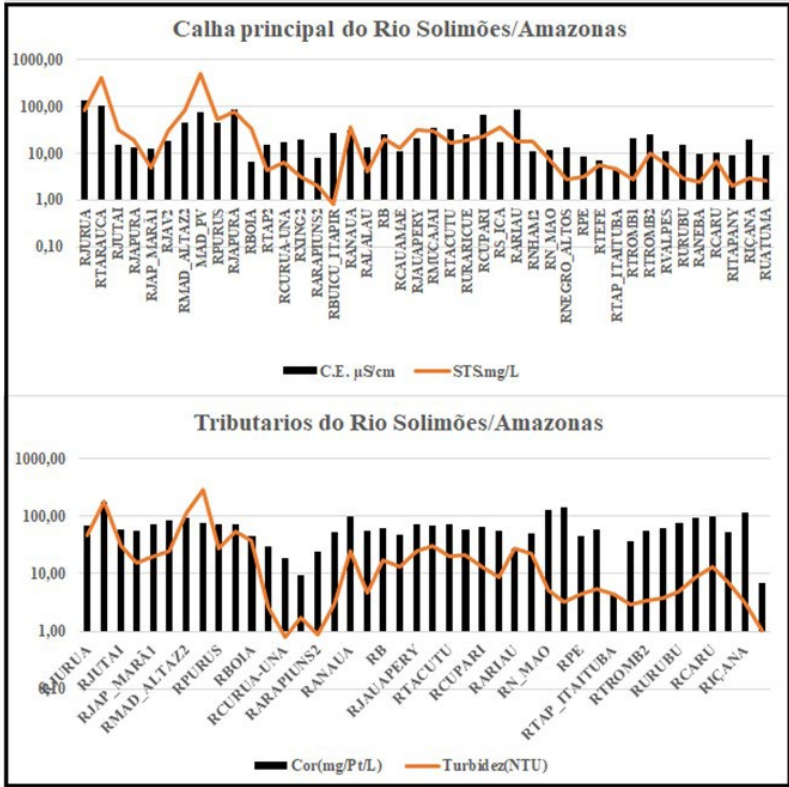


Figura 6. Comportamento dos valores médios da condutividade elétrica (material em suspensão) (mg/L), cor (mgPt/L) e turbidez (NTU) de tributários do rio Solimões/Amazonas e tributários, período de 2009 a 2014. Fonte: Gráficos elaborados pelo autor (SILVA, 2013).

fala em turbidez, mas fala o seguinte no Artigo 17 inciso IV: “*substâncias facilmente sedimentáveis que contribuam para o assoreamento de canais de navegação: virtualmente ausentes*”. No caso do Solimões, estas substâncias sedimentáveis não só estão presentes, como também contribuem para assoreamento de canais de navegação. Lembramos novamente que se trata de um comportamento natural desse rio. Santos *et al.* (2018), visando caracterizar os elementos que interferem na navegabilidade dos rios, identificaram alguns dos fatores que favorecem o assoreamento. Citando as descargas de sedimentos; os canais secundários fechados em função de movimento de banco de areia e os movimentos constantes de bancos de areia, que contribuem para a expansão das dimensões dos canais, ocasionando até mesmo o desaparecimento de ilhas.

Devido a estes fatores, e outras interferências, o rio Solimões não estaria incluído, nem na classe 4. No entanto, a realidade deve se impor, pois esse rio, apesar de tudo, há muito tempo vem sendo utilizado para a navegação. Além disso, por se tratar de uma condição natural, o rio deve ser abrigado pela legislação, o que pode exigir norma específica.

Na Resolução do CONAMA no 357/2005, sobre as classes de água doce e padrões de oxigênio dissolvido, as três primeiras classes (especialmente, 1 e 2), citam como um de seus usos, a preservação do equilíbrio natural ou proteção das comunidades aquáticas. Na classe especial, preservam-se as características naturais do corpo de água e não se estipula qualquer padrão. Lembramos que se faz necessário o conhecimento destas características naturais, o que não é tão fácil. Para as classes 1 e 2, a Resolução estabelece os padrões a serem seguidos. Na classe 1, o padrão para o oxigênio dissolvido é 6 mg/L, neste caso, qualquer amostra não pode ter concentrações abaixo desse valor. Na classe 2, o padrão é de 5 mg/L e, da mesma forma, qualquer amostra coletada do ambiente aquático, não pode ter concentrações abaixo dos valores estabelecidos por classe. A partir desta classe, a Resolução não fala mais em proteção da vida aquática, o que se pode deduzir com isto é que valores de oxigênio dissolvido inferiores a 5 mg/l não são apropriados para manter a vida aquática aeróbia em boas condições. Para a classe seguinte (classe 3), não se fala em preservar comunidades aquáticas, mas menciona-se a pesca esportiva, o que exige a presença de uma comunidade aquática saudável, para ser pescada pelos praticantes deste tipo de recreação.

O padrão de oxigênio para a classe 3 é 4 mg/l, ou seja, nenhuma amostra deve ter valor de oxigênio dissolvido inferior a este padrão. O que se pode inferir a respeito do que a resolução tenta passar, ainda que

de uma forma não muito clara, é que abaixo de 4 mg/l, as comunidades aquáticas em geral, já começam a sentir um certo stress. Batista *et al.* (2017), relatam que algumas espécies de peixes não sobrevivem em ambientes aquáticos com teores de oxigênio dissolvido inferior a 4,0 mg/L.

Tabela 01. Resultados dos valores médios das variáveis condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH, cor (mgPt/L), oxigênio dissolvido (mg/L), íon amônio (mg/L) e STS (mg/L) no canal principal do rio Solimões/Amazonas, período de 2009 a 2014. Fonte: Dados compilados pelo autor (SILVA, 2013).

COD	N	C.E. $\mu\text{S}/\text{cm}$	pH	Cor(mgPt/L)	Turbidez (NTU)	OD (mg/L)	Nh4 (mg/L)	At./Susp (mg/L)
RAM TBT	3	152,00	7,16	35,91	126,45	4,98	0,15	209,67
RS COAR1	3	82,93	6,98	68,44	72,63	4,34	0,10	47,25
RS COAR2	7	80,61	6,54	70,56	37,03	3,30	0,18	25,84
RS COD	4	81,35	7,17	69,38	42,12	3,07	0,11	32,27
RS JUARUA	3	127,30	6,90	61,09	35,36	4,41	0,20	40,97
RS JUTA1	3	122,60	6,51	71,56	37,78	4,43	0,17	81,11
RS TEFE1	2	87,76	6,46	70,69	38,35	3,71	0,18	56,17
RS PURUS	1	71,40	5,74	85,27	24,96	1,41	0,23	57,00
RS MANAC2	12	81,34	6,70	56,81	52,68	4,27	0,16	57,46
RS IRAND2	8	78,24	6,47	58,72	53,34	4,22	0,16	60,67
RS MAO	3	81,52	6,93	60,59	35,27	3,42	0,18	18,60
RS MACH	2	50,35	6,87	77,42	50,05	4,63	0,19	46,00
RS_ANAMA	1	68,90	6,67	64,33	15,08	1,96	0,20	ND
RS ITAC	11	65,22	6,65	103,54	64,81	5,76	0,19	65,90
RS PURUS	1	76,10	6,75	64,33	49,40	3,54	0,15	43,00
RS PARINT	3	83,30	7,03	314,91	100,49	4,98	0,20	88,25
RS FBOA	2	85,60	6,53	47,87	39,52	2,34	0,02	55,50
RAM SAISA	2	43,85	6,29	65,83	15,99	4,26	0,13	36,10
RAM TONANT	2	72,28	6,68	45,63	15,99	4,96	0,10	45,04
RAM ARMATUR	2	44,09	6,33	52,74	8,45	3,82	0,20	21,25
RAM OBID	4	54,18	7,21	115,01	48,04	6,72	0,17	52,15
RAM SAT2	10	52,52	6,54	69,38	81,43	4,09	0,21	112,16
Min		43,85	5,74	35,91	8,54	1,41	0,02	18,60
Max		152,00	7,21	314,91	126,45	6,72	0,23	209,67
N	89							

A tabela 4, mostra o que diz a Resolução CONAMA nº 357 para as classes de água doce, especificamente sobre o oxigênio dissolvido. Nota-se que a resolução não dá espaço para que se tenha ao menos uma amostra fora dos padrões. Rigorosamente falando, isto quer dizer que o rio pode ter excelentes valores de oxigênio, mas se for encontrado um único valor fora do padrão, providências deverão ser tomadas para restabelecer a condição que vigorava até então. Parece que a Resolução não prevê rebaiamento de classe, o que não faria sentido.

A Resolução nº 357/2005 estabelece concentrações de oxigênio dissolvido, para qualquer amostra, valores acima 5,0 mg/L para a classe 2 (Art. 15). Na Amazônia os rios de águas turvas e de águas pretas (Negro) mos-

tram grande heterogeneidade, variando em média de 0,49 a 10,27mg/l, onde encontra-se um número elevado de locais com concentração de oxigênio dissolvido (OD) abaixo de 5,0 mg/L, divergindo da legislação, e tendo rios com valores bastante baixos. Em outros ambientes, isso indicaria forte grau de poluição pelo lançamento de matéria orgânica biodegradável (SILVA, 2013). Os baixos valores observados são considerados naturais e os organismos deste ambiente, conseguem superar esta condição (HIBAM, 2005).

No entanto o íon amônia já discutido por Silva *et al.* (2013) merece mais uma consideração, já que, o assunto se refere a um problema que precisará ser resolvido para adaptar a resolução à nossa Região. Na Resolução CONAMA nº 357/2005 o teor do íon de amônio (NH_4^+) está fortemente relacionado ao pH das águas. Nos rios de águas pretas da Amazônia, a concentração do íon amônio não ultrapassa 0,8 mg/L e com pH na faixa de 3,5 a 5,5. De que forma enquadrar esses rios na Legislação, se a Resolução estabelece valor de 3,5 em ambiente com $\text{pH} < 7,5$? A Resolução CONAMA no 357 admite uma faixa muito larga de valores que, se for mantida, pode colocar em risco a comunidade aquática. Felizmente a própria Resolução dá a solução para esta situação, quando permite estreitar (restringir) a faixa de valores (Art. 11). A alteração no íon amônia, de 1,0 mg/L na Resolução CONAMA no 20/1976, para 3,7 mg/L na Resolução CONAMA no 357 (classe I e II), desconsiderou as águas naturais dos rios da Amazônia (SILVA *et al.*, 2013). A tabela 4 mostra os padrões de amônia de acordo com a faixa de pH (vale para as classes 1 e 2 de águas doces).

O rio Solimões/Amazonas registra poucos casos em que o pH fica acima de 7,5. Ou seja, a maioria esmagadora dos dados de pH encontra-se abaixo de 7,5. O valor permitido para o íon amônia é praticamente sempre de 3,7 mg/l. Imaginemos que o rio Solimões venha a ser enquadrado na classe 1 (teoricamente, a segunda de melhor qualidade). O enquadramento nesta classe permitiria que efluentes pudessem ser lançados neste rio, desde que o teor final do íon amônia não ultrapassasse 3,7 mg/l. Isto é mais de dez vezes superior à concentração do íon amônia à qual a comunidade aquática está adaptada.

Não há como tomar qualquer medida de gestão, sem antes estreitar a faixa do íon amônia. Além do íon amônia existem ainda outros parâmetros que precisarão ter suas faixas mais restritas, dentre os quais podemos citar os cloretos, os sulfatos e os nitratos.

Tabela 02. Resultados dos valores médios da condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH, cor (mgPt/L), oxigênio dissolvido (mg/L), íon amônia (mg/L) e STS (mg/L) em tributários do rio Solimões/Amazonas, período de 2009 a 2014. Fonte: Dados compilados pelo autor (SILVA, 2013).

RIOS	N	C.E.	PH	Cor	Turbidez	OD	NH	STS
R JURUA	11	129,68	6,76	67,12	45,62	4,00	0,170	80,12
R_TARAUCA	1	103,10	6,49	177,28	181,22	3,71	0,342	189,00
RJUTAI	7	15,10	5,99	57,60	29,75	4,24	0,180	31,14
RJAVARI	5	18,10	6,15	85,12	24,49	5,18	0,160	29,44
RMADEIRA/ALTAZ	6	46,24	7,20	92,01	111,41	6,05	0,150	81,00
R-MADEIRA/P VELHO	2	76,80	6,80	75,93	280,67	8,63	0,23	439,50
RJAPURA	7	13,56	5,18	99,17	10,10	4,06	0,230	6,90
RPURUS	15	45,22	6,58	70,41	26,78	1,86	0,247	53,77
RBOIA	4	6,68	5,88	45,26	36,92	6,30	0,010	33,50
RTAPAJÓS	12	14,69	6,62	29,80	2,62	7,40	0,130	4,42
RCURUA-UNA	1	17,73	5,99	18,70	0,78	6,29	ND	6,40
RXING	4	19,90	6,98	9,48	1,69	8,94	0,100	3,20
RARAPIUNSS	7	8,24	6,43	23,72	0,89	7,10	0,120	2,03
RBUICU_ITAPIR	1	27,50	6,24	53,11	3,12	3,87	0,009	0,80
RANAUA	4	31,37	6,42	97,74	24,61	6,39	0,380	36,05
RALALAU	4	12,93	5,40	56,10	4,55	5,93	0,217	4,18
RBRANCO	19	24,66	6,49	61,45	16,91	6,18	0,230	20,78
RCAUAMAE	7	10,87	5,85	47,87	12,96	6,39	0,140	12,70
RJAUAPERY	5	20,99	6,09	72,56	25,29	5,65	0,290	30,93
RMUCAJAI	4	34,29	6,67	69,75	30,62	6,14	0,180	29,87
RTACUTU	7	32,09	6,54	70,19	19,79	6,21	0,200	16,72
RURARICOERA	4	24,85	5,81	58,53	21,52	5,86	0,560	18,93
RCUPARI	1	65,08	6,18	65,08	13,00	7,07	0,375	22,57
RIÇA	3	17,32	6,04	55,10	8,58	4,95	0,120	35,87
RARIAU	2	83,95	7,07	26,96	27,82	0,49	0,100	17,65
RMARICOTA	1	9,72	4,84	70,31	2,34	ND	0,263	NA
RNHAMUNDA	2	11,70	5,45	47,32	9,04	4,15	0,147	17,14
RN_MAO	5	11,90	4,95	129,59	5,14	4,36	0,190	7,20
RNEGRO-ALTO	3	13,43	4,70	142,37	3,21	4,66	ND	2,78
RN_XIER	1	16,97	4,66	4,66	4,27	ND	0,070	ND
RPRETO DA EVA	3	8,46	5,16	44,63	4,51	6,84	0,202	3,10
R_COARI	1	9,80	5,85	ND	3,12	5,64	0,090	8,50
RTEFÉ	3	7,25	5,90	56,85	5,55	ND	0,185	5,47
RTAP_ITAITUBA	2	4,49	NA	2,62	12,61	10,27	0,260	7,67
R_TROM	5	21,11	6,46	41,02	2,86	5,47	0,130	7,17
R_UALPES	3	10,80	4,74	61,09	3,87	5,28	0,144	6,00
RANEBA	1	9,89	4,82	92,00	8,58	3,28	0,02	2,40
RCARU	1	10,32	4,77	100,23	13,26	1,47	0,020	6,80
RITAPANY	2	9,06	4,77	53,86	7,02	3,25	0,102	2,00
RIÇANA	3	19,68	4,51	113,26	3,10	5,25	0,626	2,90
RGRANDE_ITAP	1	9,46	4,99	76,30	2,60	2,83	0,009	ND
RUATUMA	3	9,05	6,34	6,73	1,04	6,41	0,220	2,60
R_VIRAMUN	1	11,38	4,79	94,25	8,84	2,00	0,005	ND
RCUBATI	3	30,17	3,96	178,97	0,44	2,29	ND	ND
R_SARABAN	1	8,89	4,68	56,85	6,50	4,47	0,006	ND
RCURICURIAR1	2	4,39	5,90	3,47	0,61	ND	0,020	ND
Min		4,39	3,96	2,62	0,44	0,49	0,01	0,80

Tabela 2: continuação

RIOS	N	C.E.	PH	Cor	Turbidez	OD	NH	STS
Max		129,68	7,20	178,97	280,67	10,27	0,63	489,50
N	189							

Tabela 3. Tabela 3. Padrões das variáveis oxigênio dissolvido (mg/L), pH, turbidez e íon amônia estabelecidos para as classes 1,2,3 e 4 da Resolução CONAMA 357/2005. Fonte: Dados compilados pelo autor (SILVA, 2013).

CLASSE	pH	OD mg/L	Cor Verdadeira	Turbidez	NH4 ⁺
I	6,0 a 9,0	em qualquer amostra, não inferior a 6 mg/L O ₂	75,00 mgPt/L	até 40 UNT	3,7mg/L N, para pH ≤ 7,5 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 0,5 mg/L N, para pH > 8,5
II	6,0 a 9,0	em qualquer amostra, não inferior a 5 mg/L O ₂	75,00 mgPt/L	Até 100 UNT	3,7mg/L N, para pH ≤ 7,5 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 0,5 mg/L N, para pH > 8,5
III	6,0 a 9,0	em qualquer amostra, não inferior a 4 mg/L O ₂	75,00 mgPt/L	Até 100 UNT	

Na Resolução CONAMA 357/05 encontra-se a exigência que, na classe 1, o oxigênio dissolvido, em qualquer amostra, não deve ser inferior a 6 mg/L O₂ (Art 14, Inciso I, alínea I). Nos rios da Bacia Hidrográfica da Amazônia as concentrações de oxigênio dissolvido são bastante heterogêneas, e são muitos os locais que encontramos valores inferiores a 6 mg/L O₂ em nossas águas naturais (SILVA, 2013).

É preciso rever a legislação de forma a atender regiões onde as características físicas e químicas são bastante heterogêneas, e que hoje não se enquadram na legislação vigente, e assim, permitir o enquadramento dos rios da região amazônica (Tabela 1, 2 e 3).

Na Amazônia, as dificuldades mencionadas acima são multiplicadas. Pois nessa região os ambientes não são homogêneos, pelo contrário, são bastante diferenciados exigindo abordagens de gestão muito particulares. Embora tenha havido a formação do primeiro comitê de Bacia da região norte (Tarumã), parece que, para a Amazônia, por um bom tempo vamos ter que usar esta Resolução, tomando como ponto de partida o Art. 42. Já que, mesmo reconhecendo o esforço para elaborar um documento que pudesse ser mais abrangente que a antiga resolução nº 20/86, com validade para todo o território nacional, as peculiaridades de nossa região acrescentam outros problemas (além dos institucionais já mencionados), que vão dificultar o enquadramento de nossas águas em classes (SILVA, 2013).

A condutividade elétrica é uma medida importante na avaliação da qualidade das águas na região, esta variável identifica quando ocorre alteração no corpo de água. A tabela 4 mostra uma comparação de algumas

variáveis determinadas nos rios da Bacia amazônica e os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 357/2005.

Tabela 4. Classificação das águas doces segundo Resolução CONAMA no 357/2005 e faixa de intervalos das variáveis nos rios da Bacia Hidrográfica da Amazônia. Fonte: Dados compilados pelo autor (SILVA, 2013).

VARIÁVEIS	CONAMA 357/2005	ÁGUAS DA AMAZÔNIA
Turbidez (UNT);	até 100 (UNT)	1,82-100,72
Cor verdadeira: nível de cor natural do Corpo de água em mg Pt/L; e	75 mg Pt/L	100 mg Pt/L
Oxigênio dissolvido (OD);	não inferior a 5 mg/LO ₂ ;	2,17-7,57
Condutividade elétrica $\mu S/cm$	sem limite	9,47-103,45
pH: 6,0 a 9,0.	6 – 9	4,83-7,22
íon amônio mg/L	3,7mg/L N, para pH \leq 7,5	0,01-0,3 mg/L
Nitrogênio amoniacal total	3,7 mg/L N, para pH \leq 7,5	0,01-0,30 mg/L N

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gestão das águas da região amazônica é um grande desafio, considerando suas características diferenciadas dos ambientes que serviram de base para elaborar a legislação vigente.

Nas águas dos rios, como exemplo podemos citar o oxigênio dissolvido, é natural encontrar valor abaixo de 2,0 mg/L (limite mínimo é inferior a 5,0 mg/L, na classe 2 – Resolução CONAMA n° 357/2005).

Nos rios naturais, qualquer teor baixo de oxigênio à jusante de uma cidade que descarregue esgoto *in natura* no rio, pode ser atribuído (como pretexto) às condições naturais do mesmo e não aos efeitos que uma carga orgânica pode causar, pelo fato de ser difícil atribuir a origem destes baixos teores. Para se evitar possíveis danos ao ambiente, faz-se necessária uma fiscalização constante no que diz respeito aos lançamentos de efluentes.

Como se aplicar a legislação atual se a realidade amazônica é diferente? Verificou-se neste trabalho que há divergências entre as classes de águas estabelecidas na legislação e alguns ambientes naturais da Amazônia, divergências estas, que não podem ser conciliadas simplesmente pelos ajustes que a legislação permite (prevalece a condição natural), já que, o enquadramento visa gestão e, portanto, tomada de decisão diante de possíveis instalações de atividades econômicas causadoras de impactos e mesmo, a urbanização.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Atlas Brasil: **Abastecimento urbano de água: Panorama Nacional**/Agência Nacional de Água, Engecorps/Cobrape -Brasília: ANA; Engecorps/Cobape, 2010. 2v.
- ANDRADE, A.G.; CABALLERO, S. W. U.; FARIA, S. M. **Ciclagem de nutrientes em ecos-**

- sistemas florestais** - Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 1999. 22p. - (Embrapa Solos. Documentos; n. 13). ISSN 1 51 7-2627.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21st ed. Washington, D.C.: APHA-AWWA-WEF, 2005.
- ARAGÓN, L.E. Novos Temas Regionais para o Estudo da Amazônia no Atual Contexto Internacional. **Núcleo de Altos Estudos amazônicos**, n 1, 2007, Paper 209. Disponível em: < http://www.ufpa.br/naea/prof_publicacoes.php?id=276genome = Luis%20Eduardo%20Arag%F3n%20Vaca > . Acesso em 22 Out 2013.
- ALMEIDA, O. LORENZEN, K.; MCGRATH, D.; AMARAL, L. O setor pesqueiro na economia regional. Em: **Manejo de Pesca na Amazônia Brasileira**. São Paulo, 2006.p.25-36.
- BATISTA, D. F.; CABRAL, J. B. P.; ROCHA, T.; BARBOSA, G. R.. Avaliação do oxigênio dissolvido nas águas do ribeirão Paraíso em Jataí-GO e córrego Tamanduá em Iporá-GO. **Caminhos de Geografia**, 18(64), 296-309, 2017.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA N° 20, de 18 de junho de 1986**. Substituiu a Portaria n° 013 de 1976. Diário Oficial da União, Brasília, 30 jul. de 1986, p.11356-11361.
- BRASIL. Presidência da República Casa Civil. **Lei N° 9.433**, de oito de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília. Pub. no DOU de 9.1.1997.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n° 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes. dou n° 92, p. 89.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - **Resolução CONAMA n° 91, 05 de novembro de 2008**. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA. Resolução n° 357/2005**, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 18 de março de 2005. Brasília. Disponível em: < [http://www.mma.gov.br/port/Resolucao CONAMA /index.cfm](http://www.mma.gov.br/port/Resolucao%20CONAMA/index.cfm) > . Acesso em: 26 de jan. de 2007.
- BRASIL. **Lei N° 9.984** de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a Criação da Agência Nacional da Água – ANA, Entidade Federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos. Presidência da República Casa Civil. Brasília.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geografia do Brasil: região norte**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. 463p.
- IRION, G.E.; MÜLLER, J.; MELLO, J.N.; JUNK, W. Quaternary geology of the central Amazonian lowland area. **Rev. IG.**, São Paulo, 1994. v.15, p.27-33.
- GOLTERMAN, H.L. *et al.* **Methods for Physical and chemical analysis of fresh water**. Blackwell Scientific Publications, 1978. 325p.
- GOLTERMAN, H.L.; CLYMO, R.S. **Methods for Chemical Analysis of Fresh Water**. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 160p. (IBP Handbook, 8). 1971.
- GOMES, N.A, **Estrutura da Comunidade de Algas Perifíticas no Igarapé Água Boa e no Rio Cauamé, Município de Boa Vista, Estado de Roraima, Brasil, ao longo de um ciclo sazonal**. 2000, 200p. Tese (Doutorado em Biologia Tropical e Recursos Naturais). INPA/universidade Federal do Amazonas.

- GOMES, N.A. Ausência De Gestão Integrada Entre Órgãos Governamentais Provocam Desperdício de Dinheiro Público e Impede a Revitalização do Igarapé Caranã, Boa Vista. In: **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Boa Vista, 2011. p. 1-16.
- GUIMARÃES, M. Dança da chuva. **Pesquisa FAPESP**, 2014, 226, 18-25.
- HIBAM: Hidrologia da Bacia amazônica. **Relatório da Campanha do Programa de medições de vazão e amostragem de água** (Manaus-Santarém – Várzea de Curuaí –Santarém –Manaus) de 03/06 a 17/06 de 2005.
- HOMMA, A. K. O.; MENEZES, A. J. E. A.; SANTANA, C. A. M.; NAVARRO, Z. amazônica: entre (muitas) controvérsias e o caminho possível* **COLÓQUIO – Revista do Desenvolvimento Regional - Faccat** - Taquara/RS - v. 17, n. 4, out./dez. 2020.
- KEMENES, A.; FORSBERG, B.R. Potencial ampliado geado nos reservatórios das usinas, gás de efeito estufa pode ser aproveitado para produção de energia em termelétricas. Em: **Amazônia: Tesouros**. Ulisses Capozzoli. São Paulo: Dueto Editorial. 2008.
- KUHN, P. A. F.; DALLAROSA, R. L. G.; SOUZA, E. B. e SENA, R.C. **Hidrologia dos Rios da Amazônia**. Governo do Estado do Amazonas-Secretária de Estado de Cultura, Manaus/AM. 2009.
- MACKERETH, F.J.H.; HERON, J.; TALLING, J.F. **Water Analysis: Some revised methods for Limnologists**. Cumbria: Freshwater Biological Association, Freshwater Biological Association Scientific Publication, 1978. v. 36.
- OTCA/PNUMA/OEA. Projeto Gerenciamento Integrado e Sustentável dos Recursos Hídricos Transfronteiriços na Bacia do Rio Amazonas. Visão Estratégica para o Planejamento e Gerenciamento dos Recursos Hídricos e do solo, frente às mudanças climáticas e para o desenvolvimento sustentável da Bacia hidrográfica do rio Amazonas. **Relatório Final**. ANA. Agência Nacional da Água. Consultor. Gonçalves, U.C. 2006.
- SANTOS, C. A.; OLIVEIRA I. S.; MELO, J. D. G.; ALVES, C. N. Navegabilidade na Bacia Hidrográfica do Solimões – trecho compreendido entre Manaus-Coari, Amazonas. **6o Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente** - Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de abril de 2018.
- SILVA, M.S.R. **Bacia hidrográfica do Rio Amazonas: contribuição para o enquadramento e preservação**. Tese (Doutor em Química) - Universidade Federal do Amazonas. 2013, 199 pp.
- SILVA, M. S. R.; MIRANDA, S. Á. F., DOMINGOS, R. N.; SILVA, S. L. R.; SANTANA, G. P. Classificação dos Rios da Amazônia: uma estratégia para preservação desses recursos. **Holos Environment**, 13(2), 2013, 163-174.
- SIOLI, H. **Introduction: history of discovery of the Amazon and the research of Amazonian waters and landscapes**. In: SIOLI, H., Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and and its basin. The Hague, Dr. W. Junk, 1984. p. 1-13.
- STRICKLAND, J.D.H.; PARSONS, R. **A practical Handbook of Seawater Analysis**. Fish. Res. Board Canada Bull., 1968, 167, 311pp.

10. BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO NEGRO: O DESAFIO DA GESTÃO DE SUAS ÁGUAS

Sergio Roberto Bulcão Bringel¹, Maria do Socorro Rocha da Silva²,
Sebastião Átila Fonseca Miranda³

¹ Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e Professor da Universidade do Estado do Amazonas. E-mail: bringel@inpa.gov.br

² Pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. E-mail: ssilva@inpa.gov.br

³ Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. E-mail: atila@inpa.gov.br

INTRODUÇÃO

A Bacia do Rio Negro, possui uma área de 700.000 km² e de sua nascente até a foz percorre aproximadamente 1.000 km, quando desagua no rio Amazonas um volume médio de 30.000 m³/s (Figura 1). O Rio Negro é considerado o terceiro maior tributário do rio Amazonas e o quinto maior rio do mundo. Afluente da margem esquerda nasce na Colômbia sob a denominação de Guainia, na serra do Junai. A extensão total de seu curso é de 1.700 Km, dos quais, aproximadamente 1.200 Km, corre em território brasileiro. Suas águas apresentam características físico-químicas ácidas e baixa condutividade elétrica (LEENHEER e SANTOS, 1980; BRINGEL, 2008 e 2012).

Estudos sobre a Bacia Hidrográfica do rio Negro, mostram as características físicas e químicas de suas águas. Sioli (1957 e 1965) em estudos



Figura 1. Localização do rio Negro em território brasileiro. Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e5/Negroamazonrivermap.png>. Acesso em 18/08/2022.

no alto rio Negro e seus tributários, indica a acidez de suas águas. Sioli e Klinge (1962) e Sioli (1968), estudando as características geológicas e geográficas, o clima, os solos da região amazônica e sua influência na hidroquímica dos rios Negro e Amazonas, mostraram a existência de escassez de nutrientes nas águas pretas e sua maior concentração nas águas brancas.

Este texto pretende apresentar à comunidade científica como atualmente se encontra a Bacia Hidrográfica do Rio Negro, como preservá-la, alertando quanto a fatores como: A expansão urbana, crescimento acelerado da população, falta de infraestrutura adequada de esgoto e saneamento básico e o uso inadequado dos recursos hídricos como atividades que estão contribuindo com o aumento da poluição, causando danos à qualidade natural das águas dessa Bacia.

EXPANSÃO URBANA DA CIDADE DE MANAUS

Manaus, capital do estado do Amazonas, tem uma população estimada em mais de 2.000.000 habitantes, compreendendo 48% da população do estado. Esse crescimento se intensificou a partir da década de 70, em razão da criação da Zona Franca de Manaus, que, ao atrair grande número de pessoas sem oferecer condições de moradia, gerou diversas ocupações à margem e leito dos igarapés, as quais passaram a lançar seus dejetos diretamente nas águas (Figura 2a e b).

Grande parte dessa população ocupou as margens das microbacias dos igarapés Educandos e São Raimundo, que passaram, então, a receber os resíduos domésticos desse contingente. Isso originou o processo de degradação, na medida em que sua área urbana se expandia, estendendo-se entre a Bacia do rio Tarumã Açu e o rio Puraquequara, os quais limitam a cidade de Manaus e drenam áreas urbanas da cidade. Essas microbacias recebem toda a carga dos esgotos sem tratamento e parte dos efluentes



Figura 2. (a) e (b) Ocupação das Áreas de Proteção Permanente (Margens do Igarapé do Quarenta) no início dos anos 1970 e meados do ano 2019. Fonte: <https://www.google.com.br/search?q=fotos+Manaus+de+antigamente+igarap%C3%A9+do+40esource=Inmsetbm=ischesa=Xeved=2ahUKewjQrZvn5YH2AhXvr5UCHR1KAAAQAUoAXoECAEQAwbiw=1366ebih=625edpr=1#imgcr=6KBRdKu3jM1xVM>. Acesso em 15.02.2022.

industriais que são lançados ao rio Negro, modificando suas características físico-químicas e químicas. Na Figura 3, se pode observar a formação de espumas nas águas do igarapé do Tarumãzinho em consequência da entrada de substâncias tenso ativas.

DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO NEGRO.

A orla da cidade de Manaus (Figura 4), está sob influência das atividades antrópicas da cidade através de suas microbacias urbanas que recebem toda a carga de esgotos domésticos, efluentes industriais e resíduos sólidos provenientes do crescimento desordenado da cidade. Como mencionado, isso ocorreu em consequência das invasões de áreas de proteção permanente, durante um processo de crescente fluxo migratório, tanto do interior como de outros estados da federação. Essa ocorrência vem se estendendo nas últimas décadas, em consequência da criação da Zona Franca de Manaus (BENTES, 1983; BRINGEL, 1986).

A expansão urbana e o crescimento populacional, vem causando problemas socioeconômicos e ambientais devido à falta de políticas públicas eficientes, voltadas para a proteção do meio ambiente, melhoria das infraestruturas e condições de habitação da população que chega à Manaus (BRINGEL, 1986; PINTO, 2004)



Figura 3. Contaminação química do Igarapé do Tarumãzinho, afluente do rio Tarumã Açú. Fonte: Fotos de Bringel (2019).



Figura 4. Orla da cidade de Manaus. Fonte: Fotos de Bringel (2019).

Fonseca, Salem e Guarim (1982), avaliaram a qualidade das águas do rio Negro e igarapés que drenam a cidade de Manaus, verificando a contaminação por coliformes fecais e o poder de autodepuração desses ambientes. Outros autores concluíram que apesar do grande volume de água do Rio Negro, suas águas encontram-se contaminadas por coliformes fecais na orla da cidade de Manaus (ELIAS e SILVA, 2000). Bringel (1986), propõe uma Primeira Aproximação de um Padrão de Qualidade para o Gerenciamento Ambiental das águas Pretas e águas Claras da Amazônia, conforme tipificada por Sioli (1957 e 1965).

Dentro do território brasileiro, pode-se dividir o percurso do rio Negro, em trechos diferenciados de navegação, devido às suas características físicas.

As águas naturais de rios e igarapés da região amazônica, notadamente as “águas pretas” possuem composição química e propriedades físico-químicas relacionadas, até certo grau, com a natureza geológica e a composição mineralógica do solo e subsolo (SIOLI, 1957 e 1965; BRINGEL, 1980 e 1986; BRINGEL *et al.*, 1984). Essas propriedades físico-químicas e químicas principalmente das águas “pretas” são mais ou menos uniformes numa zona geológica inteira, o que lhes é característico.

Sua cor é oriunda da drenagem dos solos ricos em solutos húmicos dissolvidos (compostos que contêm grupos hidroxilas com hidrogênios ionizáveis), provenientes da matéria orgânica em decomposição alóctone da floresta, que compõem cerca de 50% do material orgânico solúvel (LEENHEER, 1980). Esses solutos húmicos exercem papel fundamental no controle dos processos biogeoquímicos associados ao baixo teor de sais minerais, entre eles potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Esses respondem pelas características físico-químicas e químicas das águas do rio Negro e refletem na baixa condutividade e pH ácido (entre 4,0 e 5,5) (CHAAR, 1995; LEENHEER e SANTOS, 1980).

Quanto à Condutividade Elétrica (CE), para as águas do rio Negro, foram observados por Bringel (1986) valores entre 9 e 19 $\mu\text{S}/\text{cm}$, e por Silva (2013) de 8,18 a 17,21 $\mu\text{S}/\text{cm}$. É uma das características físico-químicas dessas águas: apresentarem baixa concentração de eletrólitos (Figura 5). E ao discutir a poluição das águas na cidade de Manaus, o autor descreve as características naturais das águas do rio Negro a montante do rio Tarumã Açu (Tabela 1).

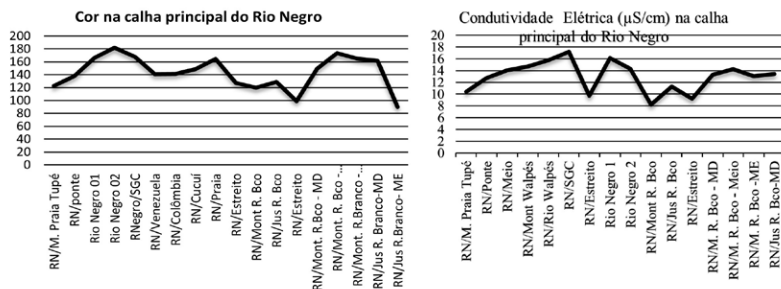


Figura 5. Comportamento dos valores médios da cor em mg de Pt / L e condutividade elétrica em $\mu\text{S}/\text{cm}$ na calha principal do rio Negro, determinados no período de 2009 a 2012. Fonte: Silva (2013).

Tabela 1. Valores Máximo, Mínimo e Médio das Características Físico-químicas e Químicas dos Rios de “Águas Pretas” (rio Negro). Resultado das determinações químicas em mg/L. Fonte: Bringel (1986).

Determinação	RIOS DE ÁGUAS PRETAS		
	Máximo	Mínimo	Média
pH	4,70	3,20	4,0
Cálcio	0,44	0,0	0,30
Cloretos	3,50	1,10	2,30
Cobre	0,001	0,0	0,001
Fe-Total	4,80	0,45	1,40
Manganês	0,25	0,0	0,15
Nitrato	0,06	0,02	0,04
Nitrito	0,04	0,0	0,01
N- Albuminoide	1,60	0,15	0,35
N-Amoniac	0,30	0,05	0,01
Potássio	1,10	0,40	0,70
Sódio	2,70	0,50	1,70
Sulfato	12,0	2,60	9,40
Sílica (SiO ₂)	7,50	0,15	2,80

Para as águas do Alto Rio Negro, no município de São Gabriel da Cachoeira, Bringel e Pascoaloto (2012) informam que a temperatura média da água é de 27°, o que restringe as comunidades de organismos àquelas espécies tolerantes a temperaturas constantemente quentes. Essas águas apresentam concentrações médias de oxigênio dissolvido de 4,3 mg de O₂ / L. Suas características são típicas de rios de “água preta”: pH ácido (< 5,5) e condutividade elétrica baixa (< 13 $\mu\text{S} / \text{cm}$). Estudos realizados no período de 2009 a 2014 no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) e com apoio dos projetos financiados pelo MCT/CNPq/CT-AM, FRONTEIRA/CNPq, RHIA/FINEP, na calha principal do rio Negro mostraram variações de pH de 4,19 a 5,06 (águas pouco ácidas), cor de 89,56 a 181,76 mg de Pt / L e oxigênio dissolvido com taxas variando de 2,31 a 6,99 mg/L (Figura 6).

Os fenômenos ecológicos que ocorrem nos ecossistemas aquáticos tropicais, e em particular na região amazônica, são influenciados pela grande oscilação do nível das águas que propicia um dinâmico proces-

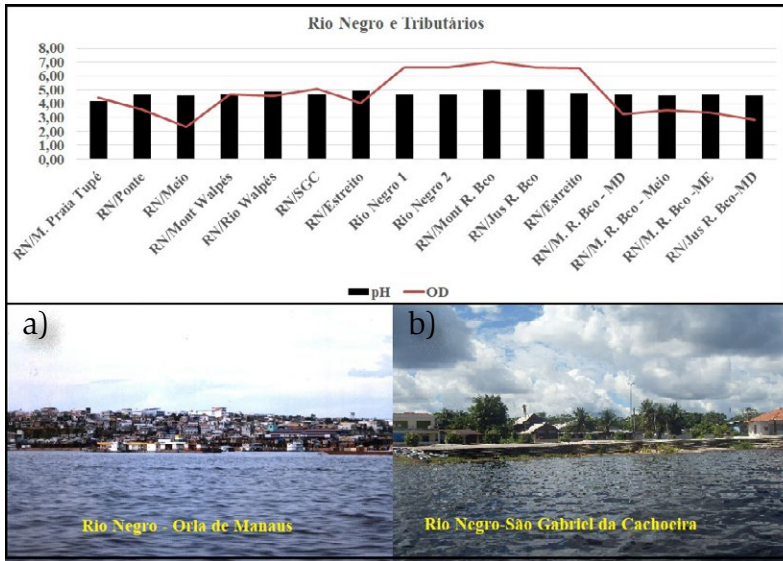


Figura 6. Comportamento dos valores médios de pH e Oxigênio Dissolvido (mg/L) na calha principal do rio Negro, determinados no período de 2009 a 2012. Fonte: Silva (2013). Foto (a) - Rio Negro - Orla de Manaus. Bringel (2019). Foto (b) - Rio Negro - orla de São Gabriel da Cachoeira. Bringel (2011).

so de interação entre os ecossistemas aquáticos e terrestres. Na orla de Manaus, o rio Negro está sob a influência das atividades antrópicas da cidade através de seus tributários urbanos que recebem grande carga de esgotos domésticos, efluentes industriais e resíduos sólidos (ELIAS e SILVA, 2000). Na Figura 7, são observados na Bacia do Educandos no trecho entre a Ponte do Quarenta e o Studio 5, resíduos sólidos em suspensão proveniente da matéria orgânica que é lançada nessa Bacia.

DA LEGISLAÇÃO

A Resolução 357/2005 do CONAMA dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Esclarece que o Enquadramento dos Corpos de Água em Classes, segundo os usos preponderantes, é um dos instrumentos das Políticas Nacional e Estadual de Recursos Hídricos, visando estabelecer metas de qualidade para os corpos de água.



Figura 7. Matéria orgânica em suspensão na Bacia do Educandos, entre a Ponte do Quarenta e o Studio 5. Fonte: Fotos de Bringel (2019).

Esse enquadramento dos corpos de água deve compatibilizar os usos múltiplos dos recursos hídricos superficiais, de acordo com a qualidade ambiental pretendida para eles, com o desenvolvimento econômico, auxiliando no planejamento ambiental de Bacias Hidrográficas e no uso sustentável dos recursos naturais.

O Capítulo II, da Classificação dos Corpos de Água, no seu Artigo 3º estabelece que: Art.3º - As águas doces, salobras e salinas do Território Nacional são classificadas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em treze classes de qualidade.

Parágrafo único. As águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em uso menos exigente, desde que este não prejudique a qualidade da água, atendidos outros requisitos pertinentes.

A Seção I Das Águas Doces no Artigo 4º fornece a classificação dessas águas: Art. 4º As águas doces são classificadas em:

I - Classe especial; II - Classe 1; III - Classe 2.

Na Tabela 2, são apresentadas as características físico-química e químicas pela Resolução 357/05 para as águas doces das classes I, II e III.

Tabela 2. Classificação das Águas Doces no Brasil. Fonte: CONAMA, Resolução 357/2005.

Determinação	Classe I	Classe II	Classe III
pH	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Alumínio	0,1	0,1	0,1
Amônia	0,02	0,02	--
Cloretos	250	250	250
Cobre	0,02	0,02	0,5
Ferro dissol.	0,3	0,3	5,0
Manganês	0,1	0,1	0,5
Nitrato	10,0	10,0	10,0
Nitrito	1,0	1,0	1,0
N- Amoniacal	--	--	1,0
Sulfato	250	250	250
Zinco	0,18	0,18	5,0

E no seu Artigo 13 temos: *Art. 13. Nas águas de classe especial deverão ser mantidas as condições naturais do corpo de água.* Se levarmos em consideração o que estabelece o Art. 13, teremos dificuldades de encontrar, na região, águas superficiais nas quais a simples desinfecção as coloque dentro dos padrões de potabilidade exigidos pela legislação. No entanto, essa água é consumida pela população há muitas gerações, como é o caso das águas do rio Negro, que não atende aos requisitos exigidos pela legis-

lação e não é uma simples desinfecção que produziria efeitos satisfatórios para as condições de potabilidade.

Neste sentido, muitas de nossas águas poderiam ser consideradas Classe Especial e, desta forma, o Art. 32, nos oferece amparo legal para que possamos manter as características naturais de nossas águas: *Art. 32. Nas águas de classe especial é vedado o lançamento de efluentes ou disposição de resíduos domésticos, agropecuários, de aquicultura, industriais e de quaisquer outras fontes poluentes, mesmo que tratados.* Na Resolução CONAMA 430/11, que complementa e altera a Resolução nº 357/2005 e dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, seu Art. 11 é taxativo: *Art. 11. Nas águas de classe especial é vedado o lançamento de efluentes ou disposição de resíduos domésticos, agropecuários, de aquicultura, industriais e de quaisquer outras fontes poluentes, mesmo que tratados.*

Diante disso torna-se muito difícil gerenciar as complexidades amazônicas! Mais uma vez chamamos em nosso auxílio a Lei dos Recursos Hídricos 9.433, de 08.01.1997, que no Art. 38 estabelece:

Art. 38. O enquadramento dos corpos de água dar-se-á de acordo com as normas e procedimentos definidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos-CNRH e Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos.

§ 1º -----

§ 2º Nas Bacias hidrográficas em que a condição de qualidade dos corpos de água esteja em desacordo com os usos preponderantes pretendidos, deverão ser estabelecidas metas obrigatórias, intermediárias e final, de melhoria da qualidade da água para efetivação dos respectivos enquadramentos, *excetuados os parâmetros que excedam aos limites devidos às condições naturais.*

Torna-se oportuno também lembrar o Capítulo IV, DAS CONDIÇÕES E PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES, principalmente os seus Artigos 24 e 42 que estabelecem:

Art. 24. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.

Art. 42. Enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2, as salinas e salobras classe 1, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente.

Muito embora a Resolução 357 de 17 de março de 2005, nos seus considerandos, destaque:

Considerando ser a classificação das águas doces, salobras e salinas essencial à defesa de seus níveis de qualidade, avaliadas por condições específicas, de modo a assegurar seus usos preponderantes;

Considerando que o enquadramento dos corpos de água deve estar baseado não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir para atender às necessidades das comunidades;

Fica difícil classificar as águas do rio Negro e defender sua qualidade natural, sem saber quais são essas condições específicas. Assim, o enquadramento dos corpos de água encontrará dificuldades para se realizar, pois a base exigida não é necessariamente o estado atual da água, ou seja, suas características físicas, físico-químicas e químicas, como qualidade natural e sim, os níveis de qualidade que deveriam possuir ou que queremos que o corpo de água do rio Negro tenha para satisfazer nossas necessidades. Não é uma legislação específica que vai determinar a qualidade da água que um rio deve ter, e sim suas características geológicas e sua composição mineralógica que definem sua qualidade natural.

DA APLICAÇÃO DA LEGISLAÇÃO

A água é o elemento fundamental na manutenção da vida. Seus múltiplos usos são indispensáveis a um largo espectro de atividades humanas, onde podemos destacar, o abastecimento público e industrial, a irrigação agrícola, a produção de energia elétrica e as atividades de lazer e recreação, bem como a preservação da vida aquática. A boa gestão da água deve ser objeto de um plano que contemple os múltiplos usos desse recurso, desenvolvendo e aperfeiçoando as técnicas de utilização, tratamento e recuperação dos mananciais.

Esses direcionamentos devem observar que na região amazônica, existem três tipos clássicos de rios, os de “águas brancas”, os de “águas claras” e os de “águas pretas”. Sioli (1965) e mais recentemente, Bringel (2008 e 2012) e Bringel e Pascoaloto (2012) relatam a existência de rios cujas águas apresentam coloração vermelha. Devemos salientar que essa tipologia se baseia somente em fenômenos facilmente verificáveis. Não possui, em seu conteúdo, uma paralela explicação causal dos fatores genéticos dos aludidos tipos de rios.

Em determinados casos pode haver mudanças temporárias de tipo mesmo em ciclos anuais, ou mesmo não periódicos, dentro de dias ou mesmo horas. Dessa maneira, não é aconselhável outra classificação, pois ela pode tornar-se ilusória. Algumas alterações que ocorrem nesses corpos de água, até mesmo alterações extremas, podem ser causadas, por influências do ambiente do rio, sempre condicionadas, sobretudo, por fenômenos climáticos, frequentemente em combinação com certas condições pedológicas.

Porém, se estivermos preocupados com o meio ambiente como um todo, torna-se necessário adotar o mais elevado padrão. Como para cada região existe sua peculiaridade, e para que possamos fazer comparações quanto ao nível de poluição ambiental causada por agentes externos aos cursos de águas, necessitamos em primeiro lugar, de um Padrão de Qualidade para os tipos de águas existentes na Amazônia. No caso mais específico seriam as águas cuja classificação é dada por Sioli (1965). Para o caso da Bacia do Rio Negro, é importante que se elabore uma legislação em função de características físicas, físico-químicas e químicas das águas de suas Bacias.

Se observarmos os resultados físico-químicos e químicos da classificação adotada pelo CONAMA (Tabela 2) e compararmos com os valores encontrados para os rios de “águas pretas” da região amazônica (Tabela 1). Verificamos que as três classes adotadas na Resolução 357, de 17 de março de 2005 do CONAMA, apresentam composição físico-química e química diferentes das que são encontradas naturalmente para os rios da Bacia amazônica, principalmente com relação ao rio Negro, que é um exemplo típico de rio de “águas pretas”, cuja acidez é uma característica natural dessas águas. Assim, podemos afirmar, que as águas na Amazônia, notadamente os rios de “águas pretas”, como é o caso do rio Negro, não se enquadram nos limites estabelecidos na Resolução 357/05, independentemente do uso preponderante.

Nas condições naturais das águas da Bacia do rio Negro, a preocupação da Gestão dos Recursos Hídricos deve ser orientada para os efeitos de atividades, processos, serviços e produtos, inclusive da extração, uso, danificação e destruição de recursos naturais. Neste caso, o gerenciamento dos recursos hídricos, deve buscar uma melhoria contínua no desempenho, para prevenir, reduzir e eliminar efeitos adversos e ampliar efeitos benéficos, na preservação ou na recuperação dos ecossistemas amazônicos.

Por outro lado, deve ser adotado o mais abrangente dos modelos de sistema de gestão dos recursos hídricos, onde o ponto central é a identifi-

cação dos efeitos ou impactos significantes diretos e indiretos, que devem estar associados aos aspectos ambientais da organização sendo necessário que os efluentes líquidos produzidos, devem ser constantemente monitorados e, dentro do possível, colocá-los nas características físicas, físico-químicas e químicas das águas do corpo receptor, para que o meio ambiente amazônico não sofra impacto de natureza irreversível.

Devemos levar em consideração as características da região amazônica, que possui clima, solo, água e vegetação diferentes das demais regiões do país. Outro fator é a falta de requisitos legislativos aplicáveis à região amazônica, o que torna qualquer prática de gestão dos recursos hídricos incorreta, podendo causar acidentes e incidentes irreversíveis, que só com leis e regulamentos específicos para a região poderiam ser evitados. Utilizar o conceito de autodepuração (devido ao grande volume de água, vazão etc.) dos rios da Amazônia, não é uma ideia inteligente para deixar de promover o saneamento básico dos municípios que integram o Estado do Amazonas.

Além desses preceitos já estabelecidos, devemos também, levar em consideração, que qualquer sistema de Gestão de Recursos Hídricos direcionado à Amazônia, deve possuir mecanismos que possam avaliar o seu desempenho ao longo de uma escala definida de tempo ou outro parâmetro adequado. Essa avaliação deve fundamentar-se em padrões preestabelecidos, que possam ser comparados com resultados das atividades, procedimentos, recursos e processos que compõem o sistema de gestão, para determinar, de maneira consistente, a efetividade do mesmo em atender as políticas, objetivos e metas fixados. Dentro desse contexto, as auditorias de Sistema de Gestão de Recursos Hídricos, também constituem uma ferramenta gerencial através da qual a organização pode avaliar a eficácia e eficiência do seu sistema de gestão de recursos hídricos.

DOS LANÇAMENTOS DOS ESGOTOS NA ORLA DA CIDADE DE MANAUS

É preciso trazer aqui algumas considerações críticas mais contundentes. Voltando um pouco na história, verificamos que há muito tempo, para que o homem pudesse ter um bom comportamento não só social, mas principalmente religioso, os clérigos da época, resolveram institucionalizar, segundo eles, por intermediação divina, os Sete Pecados Capitais: Gula, Avareza, Luxuria, Ira, Inveja, Preguiça e Soberba (Orgulho ou Vaidade). Isso para que a humanidade tivesse um comportamento digno de uma sociedade civilizada. Hoje, mesmo solicitando a intermediação

divina, não estamos conseguindo controlar o crescimento populacional, e em contrapartida, o ‘Homem Tecnológico’ do século XXI, conseguiu institucionalizar os Sete Tipos de Poluição: Sonora, luminosa, química, física, visual, calorífica e radioativa (BRINGEL, 2022).

Isto nos leva a refletir que em pleno século XXI, nossa capacidade tecnológica para tratar “simples fezes” humanas, ainda é arcaica e medíocre. Possivelmente, devido a preguiça mental dos que foram contratados para realizar o saneamento básico da cidade de Manaus. O que pretendem nossos gulosos tecnocratas? Continuar lançando, enviando, jogando, no rio Negro todo o excremento da cidade de Manaus, para que proceda a um ‘pseudo tratamento’, que chamaram de ‘autodepuração’?

É tanta vaidade que esquecem, ou não se preocupam e nem estão se importando, com a contaminação das águas do rio Negro. Podemos compreender isso como uma estratégia de transferência de responsabilidade. Ou seja, uma empresa que é paga para fazer o tratamento dos esgotos da cidade de Manaus e, simplesmente, não o faz. Com isso, transfere sua ‘competência’, obrigando o rio Negro a ‘limpar’ os dejetos que nele são lançados, por meio de um emissário subfluvial. Porém, não se transfere e nem deixam de cobrar a ‘Taxa de Coleta e Tratamento dos Esgotos’. Oras, se o serviço não está sendo realizado, porque cobrar um acréscimo de mais de 80 % na conta do contribuinte?

Uma verdadeira contaminação química está ocorrendo com o rio Negro, ferindo frontalmente a nossa Constituição Federal no seu Art. 23 que diz:

Art. 13 É competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios:

I – zelar pela guarda da Constituição, das leis e das instituições democráticas e conservar o patrimônio público;

....

III – proteger os documentos, as obras e outros bens de valor histórico, artístico e cultural, os monumentos, as paisagens naturais notáveis e os sítios arqueológicos;

....

VI – proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas;

VII – preservar as florestas, a fauna e a flora;

....

XI – registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de direitos de pesquisas e exploração de recursos hídricos e minerais em seus territórios;

Na contramão do que preceitua a Constituição Federal, nas linhas 63 a 67 a Ata da 24ª Reunião Ordinária do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Amazonas-CERHAM, realizada no dia 23 de outubro de 2013, contém uma solicitação do Sr. Frank Lima, representante do PROSAMIM, que: *“sugeriu que os Conselheiros tomassem conhecimento sobre a Carta de Manaus, lida na reunião anterior do CERH e informou que é importante que se defina a questão sobre estação de tratamento, pois há recurso proveniente de orçamento do empréstimo e que se isto não for resolvido em tempo hábil o Estado terá que destinar o recurso para outra finalidade”*.

Estamos diante de um impasse ou de um desenfreado desejo de acumular recursos! Ou atendemos à nossa Constituição Federal ou fazemos o que sugere a Carta de Manaus, para que o PROSAMIM possa oficializar o lançamento na Bacia do Rio Negro, mais especificamente na orla da cidade de Manaus, os dejetos “in natura” dos excrementos humanos da capital do Estado do Amazonas. Contribuindo, perversamente, para poluir e contaminar essa Bacia hidrográfica de domínio federal.

Este assunto, foi discutido durante o “Encontro Técnico sobre Esgotamento Sanitário Manaus – Efluente Sanitário e a Disposição Fluvial - Conclusões”, onde foi elaborada uma Carta que ficou conhecida como “Carta de Manaus (Carta Aberta)”. Nos seus primeiros parágrafos extraímos:

“A cidade de Manaus está localizada às margens do Rio Negro, corpo hídrico de grande vazão e de elevada importância para os ecossistemas amazônicos, o que exige cuidados permanentes por parte da sociedade que vive no seu entorno, em especial com relação ao lançamento de efluentes provenientes do esgotamento sanitário”.

“No dia 02 de abril de 2013, no Hotel Caesar Business, acadêmicos, representantes dos Órgãos Normativos de Meio Ambiente Nacional, Estadual e Municipal e profissionais de Engenharia em Saneamento, analisaram os temas conceituais e os requisitos ambientais da legislação de uso de corpos hídricos para lançamento de efluentes do sistema de esgoto sanitário da cidade de Manaus”.

Os presentes nesse encontro devem ter se deliciado ao beberem do néctar das brilhantes exposições técnico-científicas de professores renomados como: Dr. Pedro Alem Sobrinho; Dr. Tobias Bernward Bleninger, Dra. Mirian Koifman; Dr. Paulo Cesar Colonna Rosman; Dr. Carlos Edwar de Carvalho Freitas; Dr. Paulo Cesar Moreno; Dr. José Almir Rodrigues

Pereira, pela ABES NACIONAL; Dr. Daniel Borges Nava; Engenheira Sanitarista Karina Bueno e de especialistas do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) e Conselho Municipal de Meio Ambiente (COMDEMA).

Essa Carta de Manaus nos traz informações de que nas “discussões promovidas com os profissionais de engenharia em saneamento presentes, houve consenso de que é viável a utilização de rios, como o Rio Negro, como corpos receptores de efluentes sanitários, por meio de alternativas de tratamento e lançamento, através de emissário subfluvial, considerando a autodepuração em corpos hídricos com grande capacidade de diluição”.

Ao concluírem essa magnífica Carta de Manaus, acordão entre si, a necessidade de promover gestão institucional para detalhamento de legislação específica, em especial: Resolução CONAMA 357/2005; Resolução CONAMA 430/2011; Resolução COMDEMA 34/2012; “*visando adequar a legislação de modo a permitir a utilização de emissário subfluvial para a destinação final de efluentes de sistema de esgoto sanitário*”.

Aqui, podemos verificar a união de diversos desvios. Ora, se atendermos à solicitação para lançamentos de efluentes domésticos (incluindo excremento humano), na orla da cidade de Manaus, o Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Amazonas-CERHAM, pode induzir os gestores a acreditarem que o rio Negro pode receber efluentes sem nenhum tipo de tratamento. Com isso contribuiremos para a poluição e a contaminação definitiva da “Orla do rio Negro”, principalmente em frente à cidade de Manaus, com as devidas consequências socioambientais.

Com o intuito de evitar danos ambientais ao complexo Encontro das Águas do rio Negro e rio Solimões, o Ministério Público Federal através da Procuradoria da República no Estado do Amazonas emite a Recomendação N° 15, de 18 de agosto de 2014, onde destacamos algumas considerações:

“CONSIDERANDO o Inquérito Civil Público n. 1.13.000.000602/2014-67, instaurado para acompanhar a eventual regulamentação do lançamento de efluentes por emissário subfluvial, no Rio Negro, pelo CEMAAM e CERH”;

“CONSIDERANDO que esta proposta é contestada por cientistas e especialistas que defendem que o Rio Negro não tem capacidade autodepurativa e de absorção de resíduos, e afirmam que qualquer ação desta natureza requer a realização de estudos para definir com exatidão o impacto que o Rio Negro sofreu com os dejetos despejados em suas águas desde a criação da cidade, sem qualquer tipo

de tratamento, e se possui capacidade para continuar recebendo efluentes sanitários”;

“CONSIDERANDO que pesquisadores que são contrários à medida afirmam que o Rio Negro é um rio “de foz represado pelo sistema fluvial do rio Solimões e com um processo de sedimentação em curso, e que a intervenção humana nessa área para o lançamento de toda carga sanitária no rio não é aconselhável por se tratar de uma área de fragilidade ambiental”;

“CONSIDERANDO que, na 24ª Reunião Ordinária do CERH-AM (ata de fls. 42-45), realizada em 23 de outubro de 2013, o Presidente informou que todos os documentos técnicos existentes sobre o emissário subfluvial seriam encaminhados aos conselheiros, via e-mail, e que “a deliberação apenas ocorrerá após forem dirimidas todas as dúvidas dos conselheiros e houver amplo conhecimento técnico do tema para elaborar moção ao Conselho Nacional”;

RESOLVE RECOMENDAR: ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Amazonas (CERH/AM) que:

- (i) não encaminhe a proposta de alteração da Resolução nº 430/2011 do CONAMA para a regulamentação dos emissários subfluviais, até que sejam realizados estudos para definir com exatidão o impacto que o Rio Negro sofreu com os dejetos despejados em suas águas, sem qualquer tipo de tratamento, e se possui capacidade para continuar recebendo efluentes sanitários;
- (ii) antes da aprovação da moção a ser enviada ao CONAMA, realize audiência pública para discutir a possibilidade de regularizar o despejo de efluentes do sistema de esgoto sanitário de Manaus no Rio Negro, mediante convocação com antecedência mínima de 45 (quarenta e cinco) dias e adoção de meios de divulgação e transporte adequados para assegurar a efetiva participação dos interessados. Ficam advertidos os destinatários da presente dos seguintes efeitos das Recomendações expedidas pelo Ministério Público:
 - (a) constituir em mora a destinatária quanto às providências recomendadas, podendo seu descumprimento implicar a adoção de medidas administrativas e ações judiciais cabíveis contra o responsável;
 - (b) tornar inequívoca a demonstração da consciência da ilicitude do recomendado;
 - (c) caracterizar o dolo, má-fé ou ciência da irregularidade para viabilizar futuras responsabilizações em sede de ação por ato de

improbidade administrativa quando tal elemento subjetivo for exigido; e

(d) constituir-se em elemento probatório em sede de ações cíveis ou criminais.

Mesmo com a intervenção do Ministério Público Federal, os esgotos domésticos (excrementos humanos), continuam sendo lançados no rio Negro. Tendo como consequência desses lançamentos a alteração e/ou modificação do Sistema Tampão das águas do rio Negro na orla da cidade de Manaus. Com isso, todos os princípios e fundamentos físico-químicos e químicos que dão sustentação ao estudo da química das águas dos rios de “águas pretas” na região amazônica perderam sua essência e eficácia.

Devemos reavaliar essas considerações tendenciosas sobre a “autodepuração do rio Negro”. A Carta de Manaus, não pode impor ou sugerir a alteração ou modificação da legislação vigente, simplesmente para manter as condições atuais de lançamento de esgoto doméstico sem um tratamento adequado. Essa manobra da Carta de Manaus, não é a solução ideal para subsidiar e justificar a pretensão de modificação da legislação. Manter esse emissário subfluvial com seus lançamentos constantes de excremento humano no rio Negro, NÃO encontra sustentação científica, principalmente para as águas dessa Bacia que tem um quimismo todo especial.

A soberba dos gestores ambientais é tamanha que esquecem que esses lançamentos constantes de esgotos domésticos, estão causando impactos negativos. Esses impactos são diretos, permanentes, imediatos, irreversíveis, de alta magnitude, cumulativos e de alta significância, considerando as características físicas, químicas e físico-químicas da Bacia do rio Negro (BRINGEL, 2022). Estudos realizados, por Cientistas do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, já detectaram modificações e ou alterações das características hidrogeoquímicas e dos compartimentos bióticos nessa área do rio Negro.

Dois exemplos que podem ser constatados: um refere-se aos coliformes fecais presentes nas águas; e o outro aos odores, que interferem de imediato no turismo local, principalmente no Encontro das Águas. Associado a esses teríamos as duas estações de captação de água para o abastecimento público que estão localizadas a jusante da cidade de Manaus.

A alta concentração de coliformes fecais existentes na Bacia do rio Negro na orla da cidade de Manaus (1.400.000 NP), só é explicada pelo lançamento de excremento humano do emissário existente no bairro de Educandos. É a Portaria N. 1469 de 29 de dezembro de 2000, do Ministro de Estado da Saúde, que estabelece os procedimentos e responsabilida-

des relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências e no CAPÍTULO II - DAS DEFINIÇÕES, reza no seu Art. 4º que:

Art. 4º Para os fins a que se destina esta Norma, são adotadas as seguintes definições:

Inciso VI. Coliformes totais (bactérias do grupo coliforme) - bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, capazes de se desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tenso ativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a $35,0 \pm 0,5^\circ \text{C}$ em 24 - 48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima β -galactosidase. A maioria das bactérias do grupo coliforme pertence aos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo.

Essa intensa atividade biológica na água do rio Negro, proveniente da entrada de efluentes domésticos sem tratamento adequado, explica e justifica o odor que é exalado e sentido próximo ao Encontro das Águas. Sabemos que o *odor e sabor*, são duas sensações que se manifestam conjuntamente, o que torna difícil sua separação. Assim, o odor e o sabor de uma água dependem dos sais e gases dissolvidos. Como o paladar humano tem sensibilidade distinta para os diversos sais, poucos miligramas por litro de alguns sais (ferro e cobre, por exemplo) são detectáveis, enquanto várias centenas de miligramas de cloreto de sódio não são percebidas.

Algumas fontes termais podem exalar cheiro de ovo podre devido ao seu conteúdo de H_2S (gás sulfídrico). Da mesma maneira águas que percolam matérias orgânicas em decomposição (turfa, por exemplo) podem apresentar H_2S . Esse Gás sulfídrico pode ser encontrado em águas subterrâneas, águas de fundos de lagos ou represas profundas ou em superficiais poluídas com esgoto e com deficiência de oxigênio dissolvido.

Nessas condições, bactérias anaeróbias ou facultativas redutoras de sulfatos, produzem ácido sulfúrico, que é corrosivo para uma grande variedade de materiais. É um composto de intenso e desagradável odor (ovo podre), bastando concentrações em torno de 0,5 ppm, para ser sentido. É esse o cheiro característico (ovo podre) exalado das águas do rio Negro e sentido bem próximo do Encontro das Águas (Figura 8).

Podemos resumir as atividades que estão ocorrendo na orla da cidade de Manaus, como uma poluição bioquímica, como primeira consequência à entrada de grande quantidade de esgoto sanitário, proveniente da estação de Pre-condicionamento existente no bairro do Educandos, lançado

ao rio Negro por um emissário subfluvial. A entrada desses esgotos causa uma depressão do nível de oxigênio (O_2), elevando, conseqüentemente a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) do meio receptor. Dependendo da intensidade desse processo, muitos danos podem ocorrer, inclusive a completa extinção da fauna e flora aquáticas desse meio.

Essa redução é resultado da atividade dos organismos de respiração aeróbica, que continuamente utilizam matéria orgânica como fonte de nutrientes, oxidando-os na respiração, a fim de liberar a energia neles contida, consumindo assim o oxigênio dissolvido. É evidente que quando o oxigênio desaparece ou é reduzido a níveis muito baixos, os organismos anaeróbicos são quase totalmente exterminados, cedendo lugar aos aeróbicos, responsáveis pelo desprendimento de gases, como CH_4 (metano) e NH_4 (amônia), sendo este último tóxico para a maioria das formas de vida superiores. Isto, provavelmente, por reduzir a atividade do ciclo do ácido cítrico no cérebro.

Fica evidente que esses lançamentos de esgoto doméstico, comprometem a qualidade dos recursos hídricos pela poluição, fazendo com que a água do rio Negro apesar de estar disponível, não apresente condições mínimas de qualidade. É um caso típico de poluição pontual, devido ao persistente despejo de esgoto sem tratamento pelo emissário subfluvial. Neste caso está ocorrendo a adição de substâncias que, direta ou indiretamente, alteram as características físicas, físico-químicas e químicas das águas do rio negro na orla da cidade de Manaus.



Figura 8. Encontro das Águas do Rio Negro e Rio Solimões. Fonte: Foto de Bringel(2017).

Por que não fazer o tratamento do esgoto? Podem, como o fazem, simplesmente alegar que é uma atividade muito cara e não vale a pena gastar recursos financeiros em um sistema de tratamento. Esta seria uma resposta medíocre!

O beneficiamento desse esgoto, para a produção de lodo, pode ser uma alternativa altamente rentável para a produção de fertilizantes. Seria assim uma alternativa viável e inteligente! Sabemos que a falta de um sistema de tratamento de esgoto pode ocasionar sérios danos ao ambiente, à saúde e à qualidade de vida, devido aos graves problemas: rios poluídos e contaminados; disseminação de doenças transmitidas por veiculação hídrica; proliferação de insetos e roedores transmissores de doenças; mau cheiro; deterioração do ambiente; baixo nível da qualidade de vida das populações circundantes.

Não estamos investindo em saneamento básico, o que é lamentável e inadmissível, e ainda não querem admitir que a produção de lodo proveniente do tratamento dos esgotos domésticos, para utilização na indústria de fertilizantes, tão deficitária e inexistente no Estado do Amazonas, seja a mais viável e inteligente solução para o problema de saneamento básico da cidade de Manaus.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Talvez, a abundância de recursos hídricos na região amazônica, faça com que as preocupações já existentes em outras partes do mundo, devido à escassez de água, não seja um problema imediato em relação a Bacia Hidrográfica do Rio Negro.

A cultura do povo da região amazônica não reconhece restrições no uso da água, daí talvez a dificuldade de gerar a consciência de que este recurso é limitado.

Argumentar que o desmatamento e contaminação dos corpos hídricos não possam gerar escassez, não é, creio, a melhor estratégia para solucionar os sérios problemas ambientais.

Devemos encontrar uma forma de contemplar na legislação, o enquadramento do rio Negro, preservando suas características físicas, físico-químicas e químicas naturais. Esta sim, é a maneira mais adequada de inculcar na consciência da população, a necessidade de se manter estes ambientes limpos, sem alterações de sua qualidade natural, a fim de que possa desfrutar dos serviços ambientais, inclusive o da balneabilidade oferecido pela natureza.

REFERÊNCIAS

- BRINGEL, S.R.B. **Hydroquímica da Bacia do rio Parauari- Maués Açu**. Dissertação de Mestrado. CENA/ESALQ/USP, 1980, 67p.
- BRINGEL, S.R.B.; SANTOS, U.M.; RIBEIRO, M.N.G.; BERGAMIN FILHO, H. **Bacia do rio Parauari-Maués Açu I. Aspectos Químicos face as Alterações Hidrológicas da Bacia**. Acta amazônica, v.141-2, p.77- 85, 1984.
- BRINGEL, S.R.B. **Estudo do Nível de Poluição nos Igarapés do Quarenta e Parque Dez de Novembro**. CODEAMA/UTAM. Relatório Técnico. 61p, 1986.
- BRINGEL, S.R.B. **Projeto Fronteiras: Programa de Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos Transfronteiriças da Bacia do Alto Rio Negro - São Gabriel da Cachoeira/AM**. Trabalho Apresentado no Workshop do Projeto Fronteiras. São Gabriel da Cachoeira-Am 7 e 8/08/2008. FINEP/INPA; CD-ROOM.
- BRINGEL, S.R.B.; PASCOALOTO, D. **As Águas Transfronteiriças do Alto Rio Negro**. Em: SOUZA, L.A.G.; CASTELIÓ, E.G. (Eds.). **Desvendando as Fronteiras do Conhecimento na Região amazônica do Alto Rio Negro**. p.7-22, 2012.
- BRINGEL, S.R.B. **Água: Da Origem e dos Pecados Capitais na Amazonia**. Palestra Realizada na AREDMLS Unificação Maçônica 1125, em Comemoração à Semana do Meio Ambiente, Or. Manaus/Am em 08/06/2022.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357** de 15 de março de 2005. Brasília, DF, 2005
- ELIAS, A.S.S; SILVA, M.S.R. **Avaliação da Composição da margem Esquerda do Rio Negro em Frente à Cidade de Manaus**. Em: **IX Jornada de Iniciação Científica**. PIBIC/INPA/CNPq. Anais. 2000
- FONSECA, O.I.; SALÉM, L.I.; GUARIM, V.I. **Poluição e Auto-Purificação do Rio Negro nas Cercanias de Manaus**. Acta amazônica, 12(2):271-278. Manaus, Am.
- LEENHER, J. A. **Origin and Nature of Humic Substances in the Waters of the Amazon River Basin**. Acta amazônica, 10(3): 513-526. 1980.
- LEENHER, J.A. e SANTOS, U. M. **Considerações Sobre os Processos de Sedimentação na Água Preta Ácida do Rio Negro (Amazônia Central)**. Acta amazônica, 10(2): 343-355. 1980.
- PINTO A. G. N. **Geoquímica dos Sedimentos do rio Negro na Orla de Manaus/Am**. Dissertação (Mestrado em Geociências) Universidade Federal do Amazonas, 2004
- SILVA, M.S.R. **Bacia hidrográfica do Rio Amazonas: contribuição para o enquadramento e preservação**. Tese (Doutor em Química) - Universidade Federal do Amazonas. 199 pp, 2013.
- SIOLI, H. **Valores de pH de águas amazônicas**. Bol. do Museu Paraense Emilio Goedi,- Geologia, 1: 1 – 37, 1957.
- SIOLI, H. **Bemerkung zur Typologie amazonischer Flüsse**. Amazoniana, 1(1): 74-83, 1965.
- SIOLI, H. **Hydrochemistry and Geology in the Brazilian Amazon Region**, Amazoniana. 3:267-277. Manaus/AM, 1968.
- SIOLI, H. e KLINGE, H. **Solos, Tipos de Vegetação e Águas na Amazônia**. Boletim do Museu Paraense Emlio Goeldi, 1: 1-18. Belém/PA, 1962.

11. QUALIDADE DA ÁGUA NAS CIDADES BRASILEIRAS

Marco Tadeu Grassi¹, Emerson Luis Yoshio Hara², Rafael Garrett Dolatto³, Genikelly Cavalcanti Machado⁴, Beatriz Isabella Cestaro⁵

¹ pesquisador do Grupo de Química Ambiental, Departamento de Química, Universidade Federal do Paraná. E-mail: mtgrassi@ufpr.br

² egresso doutorado Universidade Federal do Paraná. E-mail: emerson_hara@hotmail

³ pós-doutorando em química analítica ambiental no âmbito do grupo de química ambiental da Universidade Federal do Paraná. E-mail: rgdolatto@gmail.com

⁴ egressa do doutorado em Química Analítica pela Universidade Federal do Paraná. Email: kellycmachado@hotmail.com

⁵ doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal do Paraná. E-mail: beatrizicestaro@gmail.com

INTRODUÇÃO

A cada ano, centenas de novos produtos são lançados no mercado consumidor. Boa parte desses produtos tem a nobre finalidade de amenizar o sofrimento e até salvar vidas, como é o caso dos medicamentos. Também podem elevar a produtividade agrícola e, assim, levar alimento a um número maior de pessoas, como ocorre com os agrotóxicos e medicamentos veterinários.

Outros produtos, no entanto, têm sua finalidade questionada como é o caso das novas variedades de cosméticos, de fragrâncias e produtos de limpeza. Nesse cenário de consumismo excessivo também estão inclusos os “novos” modelos de eletrônicos e automóveis, por exemplo. O consumismo ganhou impulso a partir da prosperidade econômica experimentada pela sociedade no período posterior à segunda guerra mundial e por meio do consequente aumento do poder aquisitivo dos trabalhadores.

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), a estimativa é que no ano de 2019 a população mundial se aproximou de 7,8 bilhões de pessoas. Embora as taxas de crescimento populacional não sejam tão altas como nos anos entre 1960-1970, as projeções indicam que o número de habitantes global deve atingir 8,5 bilhões em 2030, 9,7 bilhões em 2050 e 10,9 bilhões de habitantes em 2100 (NATIONS, 2019).

À medida que há um aumento expressivo da população mundial, bem como do seu poder aquisitivo, há duas questões que pressionam o meio ambiente: a necessidade de se obter energia e matéria-prima suficiente para fornecer cada vez mais os produtos almejados pela sociedade e, também, a destinação que os rejeitos desses produtos terão.

Ainda hoje, poucas pessoas se dão conta de que esses produtos, nobres ou não tão nobres, de uma forma ou de outra, têm como destino o meio ambiente e que eles impactam significativamente os ecossistemas. É nesse contexto que os contaminantes emergentes (CE) têm suscitado a preocupação da comunidade científica, havendo cada vez mais relatos acerca da ubiquidade de inúmeros compostos nos compartimentos ambientais, especialmente nos corpos aquáticos (KIGUCHI; SATO; KOBAYASHI, 2016; MORENO-GONZÁLEZ *et al.*, 2015).

Dessa forma, convém definir os CE como os poluentes que não fazem parte dos programas de monitoramento rotineiros e que, de acordo com sua toxicidade, podem causar efeitos à saúde da vida selvagem e dos seres humanos. Além disso, a ocorrência cada vez mais frequente no ambiente pode candidatar tais compostos a regulamentação futura (LI, 2014; SZYMCZYCHA *et al.*, 2020).

Cabe aqui ressaltar que esses poluentes não são necessariamente provenientes de novos produtos químicos. Há alguns anos, muitos deles tiveram como destino o ambiente, no entanto, somente agora foi possível detectá-los apropriadamente. Atualmente, mais de mil CE, metabólitos e produtos de transformação estão listados em vinte classes de compostos, conforme a Agência Europeia do Ambiente (GEISSEN *et al.*, 2015). A Tabela 1 apresenta algumas classes de CE.

Tabela 1. Algumas classes de compostos abrangendo os contaminantes emergentes. Fonte: Anunciação *et al.* (2018); Barbosa *et al.* (2016); Ismail *et al.* (2019); Montagner, Vidal e Acayaba (2017); Snow *et al.* (2018).

Fármacos	Produtos de higiene pessoal	Aditivos industriais
Analgésicos	Fragrâncias	Plastificantes
Anti-inflamatórios	Filtros solares	Surfactantes
Psicotrópicos	Antissépticos	Retardantes de chama

Há relatos na literatura científica dando conta que há ampla disseminação dos CE em águas oceânicas (ARPIN-PONT *et al.*, 2016; SOUSA *et al.*, 2018), águas de rio (ARCEGA-CABRERA *et al.*, 2014; URÍK; VRANA, 2019), no solo (CHEN *et al.*, 2014; FONTANA *et al.*, 2009) e no ar (GOUVEIA *et al.*, 2019; MÖLLER *et al.*, 2010). Muitos desses compostos chegam a lugares distantes e com pouca atividade antrópica e isso está fortemente relacionado ao transporte de longo alcance, seja pelas correntes marítimas ou pelas correntes de ar.

Por exemplo, CE podem atingir ambientes prístinos e causar danos ainda desconhecidos na biodiversidade. Isso se torna preocupante em cidades no Brasil com deficiências sanitárias decorrentes de industrialização recente, franca expansão populacional e mudanças bruscas no uso

do solo. Produtos farmacêuticos como propranolol, diclofenaco, amitriptilina, carbamazepina, carbamazepina-epóxido, citalopram, metoprolol, carisoprolol e sertralina e drogas ilícitas, como cocaína e seu metabólito (benzoilecgonina), foram detectados no Rio Negro e em dois de seus afluentes, o Igarapé Mindu e o Igarapé do 40. Ambos recebem grande quantidade de esgoto não tratado com passagem pela cidade de Manaus (THOMAS *et al.*, 2014).

Além da contaminação de áreas remotas, outro fato que vem chamando a atenção da comunidade científica são os processos de bioacumulação e biomagnificação na cadeia trófica.

Um exemplo dos processos de bioacumulação é relatado por Mondal e colaboradores (CHOWDHURY, MANDAL e MONDAL, 2020). Os pesquisadores investigaram a presença de resíduo do antibiótico amoxicilina em amostras de leite bovino tanto cru como pasteurizado. O antibiótico é utilizado para tratar algumas doenças nos animais, no entanto, a aplicação de doses excessivas do medicamento pode levar a contaminação do leite.

Valores de concentração residual do antibiótico acima dos limites estabelecidos podem impactar negativamente a saúde pública e o meio ambiente. Portanto, é crucial desenvolver protocolos analíticos capazes de determinar a concentração desse e de outros compostos em amostras extremamente complexas como o leite, por exemplo.

Assim, a partir do trabalho desenvolvido pelos pesquisadores, foi possível verificar que a concentração do resíduo de amoxicilina foi 570 e 250 vezes maiores que valores máximos permitidos nas amostras de leite cru e pasteurizado, respectivamente. Além disso, os autores afirmam que os resíduos do antibiótico também foram responsáveis por alterar a morfologia dos órgãos reprodutores dos animais. Portanto, os resíduos de amoxicilina podem ser considerados tóxicos e são capazes de afetar a saúde pública.

Em outra publicação científica de grande relevância, Pace e colaboradores (PACE *et al.*, 2019) examinaram 35 tartarugas marinhas que vivem no Mar Mediterrâneo a fim de avaliar a possível resistência desses animais frente a alguns antibióticos. Nesse sentido, vale ressaltar que as tartarugas desempenham um papel importante como sentinelas da integridade dos ecossistemas marinhos que atualmente estão ameaçados por todo tipo de poluição.

Assim, os ensaios bacteriológicos permitiram isolar algumas famílias de bactérias que são normalmente consideradas patógenos oportunistas. Isso também possibilitou concluir que as tartarugas são portadoras de agentes zoonóticos.

Da mesma forma, foi possível verificar altas taxas de resistência aos antibióticos, e isso suscita preocupações acerca da disseminação deste fenômeno em ambientes marinhos com várias outras espécies de organismos vivos. Além disso, as variáveis investigadas mostraram uma influência significativa na prevalência de famílias bacterianas, reforçando o papel das tartarugas marinhas como espelhos de seus ecossistemas.

A presença de contaminantes emergentes em águas destinadas a abastecimento público, provavelmente que receberam descarte inadequado de esgoto não tratado, revela um cenário atual preocupante para os corpos aquáticos na maioria das cidades do Brasil.

ÁGUA: CENÁRIO ATUAL – DISPONIBILIDADE E QUALIDADE

A água é essencial para diferentes ecossistemas, assim como para o próprio homem. Por isso a ONU estabeleceu até o ano de 2030 a segurança hídrica como um dos pilares para o desenvolvimento sustentável. Isso torna o monitoramento e gerenciamento recursos hídricos fundamental para atender as demandas atuais e as futuras decorrentes do crescimento populacional, da economia e mudanças climáticas nos próximos anos (LÍDIA *et al.*, 2018; MÜLLER, AVELLÁN e SCHANZE, 2020). Nesse sentido, dois aspectos se destacam quando se fala em água no cenário mundial atual: a escassez e a deterioração da qualidade.

A escassez de água é uma realidade que tem se verificado em várias regiões do planeta. O aumento da demanda é associado ao crescimento populacional, expansão das áreas urbanas e para irrigação, modificações no uso da terra e mudanças climáticas. Isso ocorre em Bacias hidrográficas, ocupadas por mais de 1,7 bilhão de pessoas, nas quais a retirada excede a recarga. As projeções apontam para uma grave crise hídrica em 2050, com 70% das Bacias sendo afetadas por problemas associados à água, afetando mais de 4 bilhões de pessoas de forma persistente ou sazonal (MÜLLER, AVELLÁN e SCHANZE, 2020). Além disso, o crescimento populacional nas cidades será predominante e irá agravar a escassez de água nos centros urbanos (SAMPAIO, 2018). A demanda de água deve crescer em todos os setores econômicos nos próximos anos, e em 2030 as projeções indicam um déficit de 40% de água, considerando o cenário atual pelo uso da água, disponibilidade e efeitos climáticos (LÍDIA *et al.*, 2018; MÜLLER, AVELLÁN e SCHANZE, 2020).

Nesse contexto o Brasil é um dos países com maior disponibilidade hídrica do nosso planeta, com 12% do total da água doce disponível. Se forem contabilizados os volumes a montante dos rios que compõem a Ba-

cia amazônica, Uruguaia e Paraguaia, esse valor sobe para 18% (BRAZIL, 2007). No entanto, a distribuição natural desse recurso não é equânime em todas as regiões do nosso país. Por exemplo, a região norte concentra 68% dos recursos hídricos disponíveis, mas atinge somente cerca 7% da população brasileira. Por outro lado, as regiões Sul, Sudeste e Nordeste somadas abrigam 88% da população, mas possuem apenas 16% da disponibilidade de água doce (AUGUSTO *et al.*, 2012).

Apesar disso, em 2014 a maior cidade da América Latina, São Paulo, sofreu a pior crise hídrica já relatada, causando inúmeros transtornos para cerca de 9 milhões de pessoas (CÔRTEZ *et al.*, 2015). Na cidade Curitiba, os níveis dos reservatórios que compõem o sistema integrado de abastecimento atingiram em novembro de 2020 o valor mínimo histórico de 28%. Isso desencadeou uma emergência hídrica e um forte racionamento de água, afetando quase dois milhões de pessoas.

Para minimizar a retirada de água dos reservatórios o reuso da água surge como uma alternativa. No entanto, para a reutilização da água para fins potáveis, a qualidade é fundamental para a definição do uso adequado (MÜLLER, AVELLÁN e SCHANZE, 2020).

SITUAÇÃO DO SANEAMENTO E ACESSO À ÁGUA TRATADA NO BRASIL

A qualidade está relacionada ao acesso a água potável pela população. De acordo com a ONU, atualmente, 11% da população mundial ou cerca de 856 milhões de pessoas, não têm acesso água potável. E mais de 1/3, ou 2,7 bilhões de pessoas não têm acesso a saneamento básico. A maior parcela dessa população se encontra em países em condições econômicas precárias e os em desenvolvimento, como o Brasil.

No Brasil os indicadores sobre acesso a água tratada e saneamento básico podem ser consultadas nos diagnósticos do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS, 2020). De acordo com SNIS, em 2019, aproximadamente 162 milhões de pessoas têm acesso à água tratada, mas 48% da população brasileira não tem acesso a sistemas de esgotamento sanitário e descartam os dejetos empregando estratégias alternativas tais como fossas sépticas, fossas rudimentares, galerias de águas pluviais, ou simplesmente de forma direta em corpos aquáticos. Além disso, somente 46% do esgoto gerado passa por tratamento, antes de retornar ao ambiente.

Segundo informações do Atlas de Saneamento, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2011), somente metade dos estados brasileiros possuem saneamento básico. Perto de 31 % em média dos municípios lançam esgoto não tratados no ambiente. Cerca de 21 milhões de pessoas não têm acesso a serviços que oferecem água tratada.

Em 2011, um grupo de pesquisadores que trabalhava com Contaminantes Emergentes, integrantes do Instituto Nacional de Tecnologias Analíticas Avançadas (INCTAA) iniciou um estudo pioneiro no Brasil com o objetivo de avaliar a qualidade da água de abastecimento público e alguns mananciais nas cinco regiões do país quanto à presença de CE. Entre julho e setembro de 2011 e 2012, 25 pesquisadores de 6 instituições de ensino e pesquisa do Brasil (Unicamp, UnB, UFPR, UFPE, UFPB e UENF) realizaram duas campanhas amostrais coletando um total de 100 amostras de água de abastecimento público em 21 capitais e no Distrito Federal. Foram ainda coletadas 7 amostras de mananciais utilizados como fonte de abastecimento de água potável para as cidades de São Paulo, Porto Alegre e Belo Horizonte. Na Tabela 2, encontra-se um panorama das capitais amostradas na primeira e segunda campanhas, o número e tipo de amostras coletadas em cada uma delas (MACHADO *et al.*, 2016).

Tabela 2. Capitais e número de amostras coletadas no estudo do INCTAA na primeira e segunda campanhas amostrais realizadas em 2011 e 2012, respectivamente. Fonte: Adaptado de Machado *et al.* (2016).

Região	Estado	Cidade	Quantidade de amostras			
			Primeira campanha		Segunda campanha	
			Potável	Manancial	Potável	Manancial
Norte	AM	Manaus	0	0	3	0
	PA	Belém	0	0	3	0
	RO	Porto Velho	2	0	0	0
	TO	Palmas	1	0	0	0
Sul	PR	Curitiba	3	0	3	0
	SC	Florianópolis	1	0	1	0
	RS	Porto Alegre	3	0	3	2
Nordeste	PE	Recife	4	0	4	0
	CE	Fortaleza	4	0	4	0
	BA	Salvador	0	0	3	0
	RN	Natal	2	0	2	0
	MA	São Luís	0	0	2	0
	PB	João Pessoa	2	0	2	0
	PI	Teresina	0	0	2	0
Sudeste	SP	São Paulo	3	0	3	3
	MG	Belo Horizonte	4	0	3	2
	RJ	Rio de Janeiro	3	0	3	0
	ES	Vitória	3	0	3	0

Tabela 2: continuação

Região	Estado	Cidade	Quantidade de amostras			
			Primeira campanha		Segunda campanha	
			Potável	Manancial	Potável	Manancial
Centro-oeste	DF	Brasília	5	0	5	0
	GO	Goiânia	2	0	2	0
	MT	Cuiabá	3	0	3	0
	MS	Campo Grande	0	0	2	0

O estudo avaliou CE de diferentes classes incluindo os hormônios: estrona (E1), 17β -estradiol (E2), estriol (E3), 17α -etinilestradiol (EE2), dietilstilbestrol (DES), levonorgestrel (NGT), mestranol (MEE), progesterona (PROG) e testosterona (TTN), plastificantes como o bisfenol A (BPA), o herbicida atrazina (ATZ) além do triclosan (TCS), fenolftaleína (PhPh), octilfenol (OPN), nonilfenol (NPN) e cafeína (CAF). As amostras foram submetidas a um processo de extração em fase sólida (SPE) e analisadas empregando como técnica analítica a cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas (LC-MS/MS) (MACHADO *et al.*, 2016).

O número de amostras coletadas foi estabelecido de acordo com a população local (em geral 1 amostra para cada 500 mil habitantes) e com os sistemas de abastecimento de cada capital de forma a abranger o sistema (ou sistemas) que atendessem o maior número de habitantes de cada cidade. Na Figura 1 são apresentados os dados de cafeína e atrazina para frequência de detecção (%) em relação as regiões do Brasil.

Os dados obtidos mostraram que cafeína e atrazina tiveram a maior frequência de detecção tanto na água de abastecimento público quanto no manancial. Além desses dois compostos, triclosan, fenolftaleína e

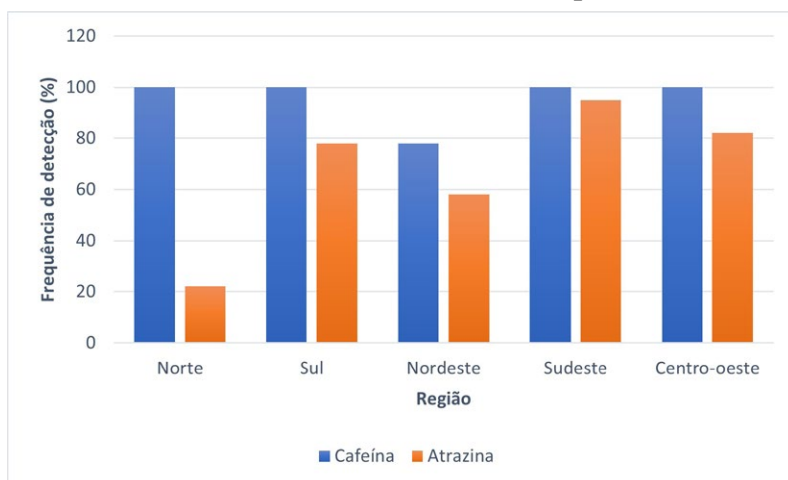


Figura 1. Frequência de detecção da cafeína e atrazina nas amostras coletadas nas duas campanhas nas cinco regiões do Brasil. Fonte: Machado *et al.* (2016).

bisfenol A foram detectados em pelo menos uma das amostras coletadas considerando as duas campanhas. As concentrações de cafeína na água tratada variaram de 1,8 ng L⁻¹ a valores acima de 2,0 µg L⁻¹ e nas amostras de água de mananciais de 40 ng L⁻¹ a cerca de 19 µg L⁻¹. Para atrazina foram encontrados valores entre 2,0 e 6,0 ng L⁻¹ na água tratada e cerca de 15 ng L⁻¹ no manancial (MACHADO *et al.*, 2016).

De acordo com os autores, Porto Alegre foi a cidade que apresentou as maiores concentrações de cafeína na água destinada ao abastecimento público, sendo o valor máximo detectado de 2769 ng L⁻¹. A segunda maior concentração de cafeína observada na água tratada foi em Campo Grande (1793 ng L⁻¹), seguida por Cuiabá (629 ng L⁻¹), Belo Horizonte (599 ng L⁻¹) e São Paulo (348 ng L⁻¹) fechando as 5 capitais com maiores valores para cafeína.

A presença de cafeína tanto em mananciais quanto na água tratada pode ser utilizada como traçador de contaminação por esgoto doméstico, atuando como uma alternativa a marcadores biológicos como a *Escherichia Coli* (*E. Coli.*). Devido à sua estabilidade e solubilidade em água, a cafeína é considerada um marcador químico específico que pode ser detectado tanto no esgoto, onde ocorre em altas concentrações, quanto em outras fontes, como na água tratada, onde ocorre em concentrações mais baixas. No Brasil, devido às deficiências no saneamento básico, com índices ainda inadequados de coleta e tratamento de esgoto, o lançamento de efluentes domésticos sem tratamento nos corpos d'água pode ser apontado como a principal fonte de aporte dessa substância. Em contraste, países onde estes serviços são mais eficientes a cafeína é utilizada como um marcador para indicar a ocorrência de vazamentos na rede de esgoto (STACKELBERG *et al.*, 2007). Dessa forma, a ampla detecção de cafeína nas águas destinadas ao abastecimento público das capitais brasileiras avaliadas pelo INCTAA é um forte indício da contaminação decorrente do aporte de esgoto doméstico não tratado nos mananciais.

Além do seu potencial como marcador químico para contaminação por efluentes domésticos, a cafeína pode ser utilizada com um importante marcador para avaliar a estrogenicidade de uma dada matriz, havendo uma correlação positiva entre a presença de cafeína em amostras de águas naturais e atividade estrogênica. Testes de estrogenicidade com resultados positivos indicam a presença de substâncias que são capazes de interferir no sistema hormonal e endócrino dos seres vivos numa determinada amostra, podendo causar efeitos adversos aos mesmos (MONTAGNER *et al.*, 2014).

Por sua vez, a atrazina é a segunda substância com maior frequência de detecção nas amostras analisadas, sendo a concentração máxima determinada na cidade de Belo Horizonte (24 ng L^{-1}). Nas cidades de Florianópolis, Fortaleza, João Pessoa, Teresina, São Paulo, Vitória, Cuiabá e Campo Grande foram registradas concentrações a partir de 15 ng L^{-1} .

Em contraste à cafeína, a detecção de atrazina apresentou uma variabilidade considerável quando as regiões geográficas são comparadas, apresentando frequência superior a 90% nas amostras de água de abastecimento das regiões Sudeste e Centro-Oeste, enquanto para as regiões Sul, Nordeste e Norte as frequências de detecção são de 79, 58 e 22%, respectivamente. Tal variabilidade pode ser decorrente de dois fatores principais: a incidência de chuvas no período de coleta e a predominância de atividades agrárias nas regiões.

As campanhas de coleta foram realizadas em período de chuvas em algumas regiões, como no Nordeste, enquanto nas regiões Sul e Sudeste estas foram realizadas em período de seca, de forma que a baixa concentração desta substância nos corpos hídricos nas regiões afetadas seria um reflexo da pluviosidade elevada, e conseqüentemente, afetaria sua detecção em amostras de água tratada provenientes de sistemas de tratamento de água que capta água de tais corpos hídricos. Tal tendência sazonal já havia sido observada para águas superficiais em outros estudos (MONTAGNER e JARDIM, 2011), mas o estudo do INCTAA foi o primeiro a observar esta tendência em águas de abastecimento público.

Em relação à atividade agrícola, a variabilidade entre as regiões pode ser decorrente do fato que as regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul são responsáveis pela maior parte da produção agrícola do Brasil e, por isso, mais de 80% do consumo da atrazina em território nacional (BRASIL, 2010).

De todas as substâncias avaliadas no estudo do INCTAA, a atrazina é a única substância legislada, sendo aceitável sua presença tanto em água potável quanto em águas superficiais em até $2 \mu\text{g L}^{-1}$ (BRASIL, 2005 e 2017). Os níveis de atrazina encontrados tanto para água tratada e manancial mostraram que as concentrações estão dentro do limite máximo estabelecido pela legislação vigente. Contudo, o estabelecimento de tais limites é realizado com base em ensaios toxicológicos e neurotoxicológicos, de forma que possíveis efeitos adversos decorrentes de exposição crônica a baixas concentrações do contaminante, como possíveis efeitos estrogênicos, não são levados em consideração. Cabe destacar que o uso intensivo de atrazina e suas propriedades físico-químicas lhe conferem a classificação de contaminante persistente e não seguro à biota (MNIF

et al., 2011), e que estudos prévios demonstram sua atuação como desregulador endócrino, mesmo em concentração reduzidas (MUNIZ *et al.*, 2015), de forma que sua presença em águas superficiais e de abastecimento é preocupante mesmo em níveis abaixo dos limites estabelecidos pela legislação brasileira, por exemplo.

BREVE DESCRIÇÃO DA PARTE EXPERIMENTAL RELACIONADA COM A DETERMINAÇÃO DE CE

Uma etapa crucial na determinação de contaminantes emergentes em amostras ambientais está relacionada ao desenvolvimento de protocolos analíticos que possibilitem extrair, concentrar e determinar compostos presentes normalmente em baixas concentrações, principalmente quando se trata de ambientes aquáticos.

Um protocolo analítico empregando a técnica de extração e pré-concentração em fase sólida (SPE) e análise por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas, técnicas que fornecem alta detectabilidade e permitem a análise simultânea de vários compostos, foi desenvolvido no âmbito do Grupo de Química Ambiental da Universidade Federal do Paraná. O desenvolvimento e aplicação desse protocolo analítico teve o intuito de possibilitar a determinação de contaminantes emergentes em água tratada de amostras coletadas na cidade de Curitiba. Foram escolhidos 15 contaminantes emergentes de diferentes classes, dentre eles: os fármacos ibuprofeno (IBU) e paracetamol (PARAC), o herbicida atrazina (ATZ), os alquilfenóis octilfenol (OCT) e nonilfenol (NON), o agente antimicrobiano empregado em produtos de higiene pessoal triclosan (TCS) e seu produto de degradação metiltriclosan (MTCS), o plastificante bisfenol A, os hormônios naturais e sintéticos 17 β -estradiol (E2), estrona (E1), estriol (E3), progesterona (PGN), testosterona (TTN) e 17 α -etinilestradiol (EE2), e a cafeína (CAF).

Para realizar o estudo, soluções padrão dos contaminantes foram preparadas em metanol e mantidas sob refrigeração a -20 °C. As substâncias ibuprofeno-D3, estradiol-D3 e bisfenol A-D3 foram empregadas como padrões sub-rogados e a atrazina-D5 foi utilizada como padrão interno.

Amostras de água tratada foram coletadas nos bairros Rebouças (P1) e Jardim das Américas (P2), sendo o abastecimento realizado à época pelo Sistema Iguaçu/Iraí. Foram realizadas três coletas em dias distintos no P2 e apenas uma coleta no P1. Para realizar as coletas foram selecionadas torneiras cuja água era proveniente diretamente do sistema de abastecimento de água, ou seja, não entra em contato com o reservatório da res-

pectiva edificação. Previamente à coleta da amostra, a água foi escoada por cerca de um minuto, sendo este volume de água descartado, e em seguida, 4,0 L de água tratada foram coletados em frasco âmbar. As amostras de água foram prontamente transportadas ao laboratório para processamento.

De cada amostra foi retirada uma alíquota de 1,0 L, que foi fortificada com os padrões sub-rogados, homogeneizada e deixada em repouso por 30 min. Posteriormente, as amostras foram submetidas ao procedimento de extração em fase sólida. Para tal, foram utilizados cartuchos Oasis HLB (Hydrophilic-Lipophilic-Balance) da Waters®. Os cartuchos foram condicionados com duas alíquotas de 3,0 mL de metanol, seguidas de duas alíquotas de 3,0 mL de água ultrapura.

Após as etapas de condicionamento e lavagem realizou-se a extração da amostra, sendo todo o volume percolado pelo cartucho a uma vazão de $6,0 \text{ mL min}^{-1}$, controlada por uma bomba peristáltica. Após o término da extração, os cartuchos úmidos foram reservados e armazenados a 4°C , por no máximo 7 dias. Os analitos foram eluídos com duas alíquotas de 2,5 mL de metanol seguidas de uma alíquota de 2,0 mL de acetonitrila.

O eluato foi evaporado em concentrador a vácuo e, para aumentar a volatilidade dos analitos e acentuar sua resposta analítica, o extrato da amostra passou por uma etapa de derivatização, onde 20 μL do reagente derivatizante e N,O-bis(trimetilsilil)trifluoroacetamida (BSTFA) com 1% de trimetilclorosilano (TMCS) foram adicionados ao extrato seco e submetidos a aquecimento em forno micro-ondas doméstico, empregando uma potência de 840 W por 5 min. Tais parâmetros foram previamente otimizados por planejamento fatorial 2^3 . Após a derivatização, o reagente derivatizante foi evaporado à secura sob fluxo de N_2 , e o extrato derivatizado foi ressolubilizado em hexano contendo $1000 \mu\text{g L}^{-1}$ de padrão interno.

As análises foram realizadas em cromatógrafo a gás acoplado a espectrômetro de massas do tipo armadilha de íons (FocusGC/PolarisQ, Thermo Scientific), equipado com um autoamostrador A3000 (Thermo Scientific) e uma coluna DB-5MS (30 m x 0,25 mm x 0,25 μm , Agilent Technologies). O gás de arraste empregado foi gás hélio, a uma vazão de $1,0 \text{ mL min}^{-1}$, e a injeção da amostra foi realizada no modo *splitless*, sendo a aquisição dos dados realizada no modo de monitoramento de íon selecionado (SIM)

As curvas analíticas foram adquiridas em triplicata a partir de soluções padrão dos analitos e padrões sub-rogados nas seguintes concentrações: 0, 1, 5, 10, 25, 50, 75 e $100 \mu\text{g L}^{-1}$. O padrão interno foi adicionado a uma concentração de $1000 \mu\text{g L}^{-1}$. Os ensaios de precisão instrumental,

repetibilidade e precisão intermediária foram similarmente realizados a partir de soluções padrão nas concentrações de 25, 50 e 100 $\mu\text{g L}^{-1}$. Os ensaios de recuperação foram realizados a partir da fortificação de alíquotas de água ultrapura com os contaminantes (50 e 100 ng L^{-1}) e os padrões sub-rogados, submetidas posteriormente ao procedimento de extração e análise descrito.

CONTAMINANTES EMERGENTES EM CURITIBA

As coletas de água tratada foram realizadas em dois pontos amostrais em de Curitiba: P1 – Bairro Rebouças e P2 – Bairro Jardim das Américas, sendo que para o último foram realizadas três coletas em dias distintos. Nestas amostras foram identificados octifenol, ibuprofeno, bisfenol A e cafeína, sendo estes identificados em ambos os pontos amostrais, em todas as amostras coletadas, com exceção ao octifenol, que foi detectado apenas na amostra P1.

A concentração média de cafeína nas amostras foi de 13,06 ng L^{-1} , que por sua vez é aproximadamente o dobro da concentração média observada na coleta realizada em 2011 (6,10 ng L^{-1}) e cerca de dez vezes inferior à concentração média observada na coleta realizada em 2012 (116,30 ng L^{-1}) no estudo do INCTAA (CANELA *et al.*, 2014). A cafeína ganha um destaque devido identificação em todas as amostras de água tratada de Curitiba em 2015 e nas amostras de água de abastecimento de 21 capitais avaliadas, caracterizando sua ubiquidade nos sistemas de abastecimento nacionais.

A detecção de cafeína, ibuprofeno, bisfenol A e octilfenol em amostras de água de abastecimento reflete a contaminação de mananciais de Curitiba, mesmo que os três últimos contaminantes não tenham sido quantificados no presente estudo. Tal fato indica uma deficiência no saneamento básico da cidade e ineficiência na remoção de tais contaminantes em estações de tratamento de água. Estas imperfeições ficam evidentes no caso da cafeína, uma vez que ampla detecção deste composto de origem antrópica demonstra uma possível contaminação dos corpos hídricos por esgoto doméstico.

Por fim, acreditamos que a realização de trabalhos desta natureza apresenta uma contribuição inequívoca para uma melhor compreensão sobre a presença de contaminantes emergentes em amostras de águas destinadas ao abastecimento público, um problema reconhecido pela própria Organização Mundial da Saúde e um desafio para o alcance dos objetivos de desenvolvimento sustentável, até 2030.

REFERÊNCIAS

- ANNUNCIACÃO, D. *et al.* Éteres Difenílicos Polibromados (Pbde) Como Contaminantes Persistentes: Ocorrência, Comportamento No Ambiente E Estratégias Analíticas. **Química Nova**, v. 41, n. 7, p. 782–795, 2018.
- ARCEGA-CABRERA, F. *et al.* Fecal sterols, seasonal variability, and probable sources along the ring of cenotes, Yucatan, Mexico. **Journal of Contaminant Hydrology**, v. 168, p. 41–49, 2014.
- ARPIN-PONT, L. *et al.* Occurrence of PPCPs in the marine environment: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 6, p. 4978–4991, 2016.
- AUGUSTO, L. G. DA S. *et al.* O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1511–1522, 2012.
- BARBOSA, M. O. *et al.* Occurrence and removal of organic micropollutants: An overview of the watch list of EU Decision 2015/495. **Water Research**, v. 94, p. 257–279, 2016.
- BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **RESOLUÇÃO RDC Nº166, DE 24 DE JULHO DE 2017. ANVISA**, 2017.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005** https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_ltrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf acesso em 28/10/2022.
- BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Produtos agrotóxicos e afins comercializados em 2009 no Brasil: uma abordagem ambiental**. Brasília: IBAMA, 2010.
- BRAZIL, G. **GEO Brazil: water resources: component of a series of reports on the status and prospects for the environment in Brazil**. Brasília: National Water Agency - United Nations Environment Programme., 2007.
- CANELA, M. C. *et al.* **Caféina em águas de abastecimento público no Brasil / Instituto Nacional de Ciências e Tecnologias Avançadas – INCTAA**. São Carlos: Editora Cubo, 2014.
- CHEN, C. E. *et al.* Desorption kinetics of sulfonamide and trimethoprim antibiotics in soils assessed with diffusive gradients in thin-films. **Environmental Science and Technology**, v. 48, n. 10, p. 5530–5536, 2014.
- CHOWDHURY, J.; MANDAL, T. K.; MONDAL, S. Genotoxic impact of emerging contaminant amoxicillin residue on zebra fish (*Danio rerio*) embryos. **Heliyon**, v. 6, n. 11, p. e05379, nov. 2020.
- CÔRTEZ, P.L.; TORRENTE, M.; ALVES FILHO, A.P.; RUIZ, M. S. R.; DIAS, A.J.G.; RODRIGUES, R. Crise de abastecimento de água em São Paulo e falta de planejamento estratégico. **Estudos Avançados**, v. 29, n. 84, p. 5–26, 2015.
- FONTANA, A. R. *et al.* Determination of polybrominated diphenyl ethers in water and soil samples by cloud point extraction-ultrasound-assisted back-extraction-gas chromatography-mass spectrometry. **Journal of Chromatography A**, v. 1216, n. 20, p. 4339–4346, 2009.

- GEISSEN, V. *et al.* Emerging pollutants in the environment: A challenge for water resource management. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 3, n. 1, p. 57–65, 2015.
- GOUVEIA, P. *et al.* Predicting health risk from exposure to trihalomethanes in an Olympic-size indoor swimming pool among elite swimmers and coaches. **Journal of Toxicology and Environmental Health - Part A: Current Issues**, v. 82, n. 9, p. 577–590, 2019.
- IBGE. **Atlas de saneamento 2011 Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística** -. Rio de Janeiro: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2011.
- ISMAIL, N. A. H. *et al.* Quantification of multi-classes of endocrine-disrupting compounds in estuarine water. **Environmental Pollution**, v. 249, p. 1019–1028, 2019.
- KIGUCHI, O.; SATO, G.; KOBAYASHI, T. Source-specific sewage pollution detection in urban river waters using pharmaceuticals and personal care products as molecular indicators. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 22, p. 22513–22529, 2016.
- LI, W. C. Occurrence, sources, and fate of pharmaceuticals in aquatic environment and soil. **Environmental Pollution**, v. 187, p. 193–201, 2014.
- LÍDIA, A. *et al.* Applicability and relevance of water scarcity models at local management scales : Review of models and recommendations for Brazil. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 72, n. September 2017, p. 126–136, 2018.
- MACHADO, K. C. *et al.* A preliminary nationwide survey of the presence of emerging contaminants in drinking and source waters in Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 572, 2016.
- MNIF, W. *et al.* Effect of endocrine disruptor pesticides: A review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 8, n. 6, p. 2265–2303, 2011.
- MÖLLER, A. *et al.* Large-scale distribution of dechlorane plus in air and seawater from the Arctic to Antarctica. **Environmental Science and Technology**, v. 44, n. 23, p. 8977–8982, 2010.
- MONTAGNER, C. C. *et al.* Caffeine as an indicator of estrogenic activity in source water. **Environmental Sciences: Processes and Impacts**, v. 16, n. 8, p. 1866–1869, 2014.
- MONTAGNER, C. C.; JARDIM, W. F. Spatial and seasonal variations of pharmaceuticals and endocrine disruptors in the Atibaia River, São Paulo State (Brazil). **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 22, n. 8, 2011.
- MONTAGNER, C. C.; VIDAL, C.; ACAYABA, R. D. Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: Cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. **Química Nova**, v. 40, n. 9, p. 1094–1110, 2017.
- MORENO-GONZÁLEZ, R. *et al.* Seasonal distribution of pharmaceuticals in marine water and sediment from a mediterranean coastal lagoon (SE Spain). **Environmental Research**, v. 138, p. 326–344, 2015.
- MÜLLER, A. B.; AVELLÁN, T.; SCHANZE, J. Risk and sustainability assessment framework for decision support in ' water scarcity – water reuse ' situations. **Journal of Hydrology**, v. 591, n. August, p. 125424, 2020.
- MUNIZ, P. *et al.* Sewage contamination in a tropical coastal area (São Sebastião Channel, SP, Brazil). **Marine Pollution Bulletin**, v. 99, n. 1–2, 2015.

- NATIONS, U. **United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). World Population Prospects 2019: Highlights (ST/ESA/SER.A/423)**. New York: [s.n.].
- PACE, A. *et al.* Loggerhead sea turtles as sentinels in the western Mediterranean: antibiotic resistance and environment-related modifications of Gram-negative bacteria. **Marine Pollution Bulletin**, v. 149, p. 110575, dez. 2019.
- SAMPAIO, T. R. **Micropoluentes emergentes em águas de abastecimento público: estratégia analítica para priorização de mananciais e diagnóstico preliminar no DF**. [s.l.] UNB, 2018.
- SNIS. **25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS**. Brasília, ed. [s.l.] Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS, 2020.
- SNOW, D.D. *et al.* Detection, Occurrence and Fate of Emerging Contaminants in Agricultural Environments. **Water Environment Research**, v. 90, n. 10, p. 1348–1370, 2018.
- SOUSA, J. C. G. *et al.* A review on environmental monitoring of water organic pollutants identified by EU guidelines. **Journal of Hazardous Materials**, v. 344, p. 146–162, 2018.
- STACKELBERG, P. E. *et al.* Efficiency of conventional drinking-water-treatment processes in removal of pharmaceuticals and other organic compounds. **Science of the Total Environment**, v. 377, n. 2–3, p. 255–272, 2007.
- SZYMCZYCHA, B. *et al.* Submarine groundwater discharge as a source of pharmaceutical and caffeine residues in coastal ecosystem: Bay of Puck, southern Baltic Sea case study. **Science of the Total Environment**, v. 713, 2020.
- THOMAS, K. V. *et al.* Screening for selected human pharmaceuticals and cocaine in the urban streams of Manaus, Amazonas, Brazil. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 50, n. 2, 2014.
- URÍK, J.; VRANA, B. An improved design of a passive sampler for polar organic compounds based on diffusion in agarose hydrogel. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 15273–15284, 2019.

PARTE 4

ESTUDOS INTERDISCIPLINARES ARTICULADOS COM RECURSOS HÍDRICOS

12. PROJETO TONS DA TERRA: A TINTA ECOLÓGICA E DE BAIXO CUSTO À BASE DE SOLOS DA AMAZÔNIA

Fernanda Tunes Villani¹, Gyovanni Augusto Aguiar Ribeiro²,
Guilherme Tunes Villani Mendes³, Henrique Tunes Villani Mendes⁴,
Ingrid Vieira Silva⁵, Albert Reis Furtado⁶, Caio Cezar Campus⁷

¹ pesquisadora e docente do Instituto Federal do Amazonas. E-mail: fernanda.villani@ifam.edu.br

² pesquisador e docente do Instituto Federal do Amazonas. E-mail: gyovanni.ribeiro@ifam.edu.br;

³ mestrando do Curso de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

E-mail: guituvime@gmail.com;

⁴ graduando do Curso de Geologia da Universidade Federal do Amazonas.

E-mail: henriquetvillani@gmail.com;

⁵ mestranda do Curso de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

E-mail: ingriidvieirasilva@gmail.com;

⁶ mestrando do Curso de Geologia da Universidade Federal do Amazonas. E-mail: reisalbertf@gmail.com;

⁷ graduando do Curso de Licenciatura em Química no Instituto Federal do Amazonas.

E-mail: caiocezarccbc@gmail.com

INTRODUÇÃO

A necessidade artística do homem em se expressar e se comunicar, levou ao desenvolvimento da tinta desde a Pré-História, através da arte rupestre, até os dias atuais. Pesquisadores afirmam que ao menos há 30 ou 40 mil anos o ser humano adquiriu a capacidade intelectual e artística para criar símbolos. Isso permite o conhecimento dos hábitos e da cultura dos povos da antiguidade pelos pesquisadores modernos. Os pigmentos utilizados eram materiais facilmente encontrados na natureza, como argilas, minerais, carvão, ossos carbonizados e vegetais misturados aos aglutinantes para dar viscosidade e fixar o pigmento. Para esse fim, triturava-se os elementos sólidos e se adicionava clara de ovo, sangue, excrementos (principalmente de morcegos), gordura animal, bem como ceras e resinas vegetais (UEMOTO, 1993; FAZENDA, 2005).

Na Universidade Federal de Viçosa foi criado em 2004 o Projeto Cores da Terra, no qual os professores e estudantes de vários cursos ensinavam

aos comunitários a fabricação de tinta de terra ecológica usando solo, água e cola, resgatando e aperfeiçoando a técnica milenar.

Inspirados no Cores da Terra, iniciamos em 2012 no Instituto Federal do Amazonas - IFAM o Projeto Tons da Terra, usando as argilas coloridas do Estado do Amazonas, para a produção de tinta ecológica. Aprovado em 2012 em edital da Pró-reitoria de Extensão-PROEX/IFAM o Projeto Tons da Terra tinha como objetivo levar à comunidade uma alternativa para se produzir a tinta ecológica, de baixo custo, de fácil produção e isenta de substâncias tóxicas nocivas ao homem e ao meio ambiente.

Desde então a equipe do projeto vem realizando oficinas em comunidades nos municípios de Manaus, Presidente Figueiredo, Autazes e Iranduba, do Estado do Amazonas onde são repassadas as teorias envolvidas no processo e a prática de produção da tinta partindo de uma fórmula geral (CORES DA TERRA, 2007) para pintura em paredes, tecidos e papel.

Com a realização das oficinas de extensão, a equipe do projeto sentiu a necessidade de pesquisar, e obter dados científicos, a respeito de questões levantadas sobre a tinta produzida a partir dos solos amazônicos e aprovamos o projeto em editais da Pró-Reitoria de Pesquisa e Inovação-PPGI-IFAM.

Paralelamente à extensão e a pesquisa, a equipe do projeto passou a diversificar a metodologia do ensino dentro do IFAM nas disciplinas História da Química, Educação Ambiental, Química Geral, Química Analítica, Química Ambiental, em diferentes níveis de ensino, produzindo a tinta em sala de aula e laboratórios (VILLANI *et al.*, 2017).

De acordo com as Normas Brasileiras, NBR-5840, 5804, NBR5803 NBR-7351, uma tinta típica contém: pigmentos (adicionam cor), solventes (servem de veículo, facilitando a aplicação), ligantes ou resinas (ajudam a fixar a tinta sobre a superfície) e aditivos (possuem diferentes funções melhoradoras).

A Tinta Tons da Terra é produzida com solos da Amazônia (pigmento), água (solvente) e cola PVA, goma de tapioca ou leite de Amapá (fixadores).

OBJETIVOS

Produzir uma tinta ecológica e de baixo custo a partir dos solos da Amazônia resgatando e aperfeiçoando a técnica milenar de produção de tinta de terra, consolidando o grupo de pesquisa do IFAM e capacitando multiplicadores, para atender os três pilares da educação: Ensino, Pesquisa e Extensão.

METODOLOGIA

Ensino

Com a finalidade de tornar as aulas de Química mais atrativa o grupo de pesquisa leva o Projeto Tons da Terra para as salas de aula em Escolas Municipais, Estaduais, Escolas Particulares e Institutos Federais no Estado do Amazonas.

A partir de Planos de Aulas elaborados por estudantes dos cursos Superiores de Licenciatura em Química do IFAM e Geologia da UFAM com o auxílio dos professores das escolas e coordenadores do Projeto Tons da Terra, as aulas acontecem em dois momentos. Para cada série e nível do ensino a abordagem teórica é modificada adaptando-se aos conteúdos programáticos delas.

Nas aulas interdisciplinares o responsável pelo tópico que está sendo ministrado relaciona ao máximo os conteúdos com a produção de tinta e com a realidade dos alunos, a fim de que o conteúdo adquira um sentido para cada estudante. Quando o estudante consegue associar as informações das aulas com a sua vivência o ensino é facilitado, pelo fato dele enxergar a sua presença no cotidiano.

A química por ser uma disciplina desafiadora, tanto na educação básica quanto no ensino superior, requer muito esforço dos alunos, principalmente quando eles não compreendem a sua importância. Com a junção das oficinas e aulas expositivas os estudantes ressignificam a química e aprendem seus conteúdos com mais facilidade. Para que isso se concretize as aulas são executadas em dois momentos.

No primeiro momento ocorre a oficina de produção de tinta onde os estudantes manipulam os solos e pintam em várias superfícies. Nessa fase o estudante aprende fazendo “*learning by doing*” tendo contato direto com o solo e produzindo sua própria tinta e isso adquire um novo significado para eles, pois estimula a curiosidade para o entendimento sobre o porquê a tinta se fixa na superfície e não sai com a água, de onde vem as cores dos solos e outras curiosidades. O ato dos próprios estudantes produzirem a tinta e pintarem agrega valor pessoal àquele conhecimento, melhorando o ensino-aprendizado e aumentando o interesse nas aulas relacionadas através da multidisciplinariedade.

Estudantes cheios de curiosidade e animados com a prática passam então para o segundo momento em que os futuros professores iniciam as aulas em Datashow explicando a formação dos solos a partir dos pro-

cessos de intemperismo pelos quais as rochas e minerais são submetidos durante o ciclo das rochas. O solo é um dos produtos dos processos intempéricos, gerado por desagregação, fragmentação e alterações químicas, onde minerais secundários como argilominerais e óxidos/hidróxidos de ferro e/ou alumínio fazem parte junto aos minerais primários, de um perfil de alteração.

Argilominerais e óxidos de ferro estão intimamente relacionados no processo de suas formações naturais. Suas composições mineralógicas e propriedades físicas correspondem a condições de intemperismo, que são processos de sedimentação e alteração por meio dos quais esses minerais são associados, formando diversos tipos de lateritas, ferrólitos, ocres além de solos e argilas de diversas colorações.

Qualquer tipo de solo possui três componentes principais: partículas sólidas, água e ar. As partículas sólidas podem apresentar teores diferentes de areia, silte e argila que estão relacionadas aos tamanhos dos grãos (SBCS, 2013).

A granulometria contribui diretamente na estabilidade, características químicas e físicas e no predomínio de processos químicos ou físicos de alteração dos solos, sendo esses fatores importantes para a qualidade das tintas. Solos enriquecidos em argilas possuem propriedades características como alta coesão, baixa permeabilidade, alto índice de plasticidade e alta compressibilidade (PINTO, 2006; TEIXEIRA *et al.*, 2009)

Os solos são coloridos devido aos teores de elementos químicos presentes. Nos solos amazônicos, a coloração dos horizontes se dá através do teor e distribuição de óxidos de ferro que alternam principalmente entre Goethita, $\text{FeO}(\text{OH})$ e Hematita, Fe_2O_3 , sendo a Goethita o óxido mais comum, tingindo uma matriz argilosa branca onde há o predomínio da caulinita que faz parte do grupo de argilas 1:1 presente em solos altamente intemperizados.

As diversas cores dos solos são derivadas da presença destes minerais nos perfis de solo (Figura 1). No Latossolo Amarelo, o principal mineral responsável pela cor é a Goethita e no Latossolo Vermelho a Hematita. A completa ausência ou baixa concentração desses minerais em um perfil de solo pode resultar em solos de coloração acinzentada, e serve como indicador de más condições de drenagem (ambiente redutor), ocasionando redução e remobilização do Fe^{+3} , formando os chamados Gleissolos (EMBRAPA, 2018).

A tinta se fixa nas superfícies através das interações moleculares (ligações de H, interações dipolo-dipolo, dipolo-induzido e íon-dipolo), e por ligações químicas entre os componentes e as superfícies.

Para finalizar os futuros professores mostram para os alunos vários exemplares de rochas e minerais com seus respectivos nomes e fórmulas químicas e solos com diferentes composições e cores.

Durante todo o processo o professor avalia as etapas do ensino-aprendizado observando as reações, a motivação e o comportamento dos alunos frente à nova metodologia (ZABALA, 1998).

Pesquisa

Coleta e preparo dos Solos

Os solos são geralmente coletados ao longo da Br 174 desde o município de Manaus até o quilômetro 200, no município de Presidente Figueiredo, onde pode ser encontrado uma enorme variedade de cores devido à diversidade geológica da região. São coletados solos também em Iranduba, Manacapuru e Autazes. Após a coleta, os solos são levados para o Laboratório de Química Analítica do Campus Manaus Centro, onde são processados para os devidos fins. Lá é feito a limpeza, secagem, destorroamento, peneiramento e armazenamento. Os solos também podem ser coletados no fundo do quintal das casas, nos cortes em estradas, solos oriundos da perfuração de poços artesianos e construção de piscinas, evitando sempre os danos causados ao ambiente, como por exemplo, a erosão.

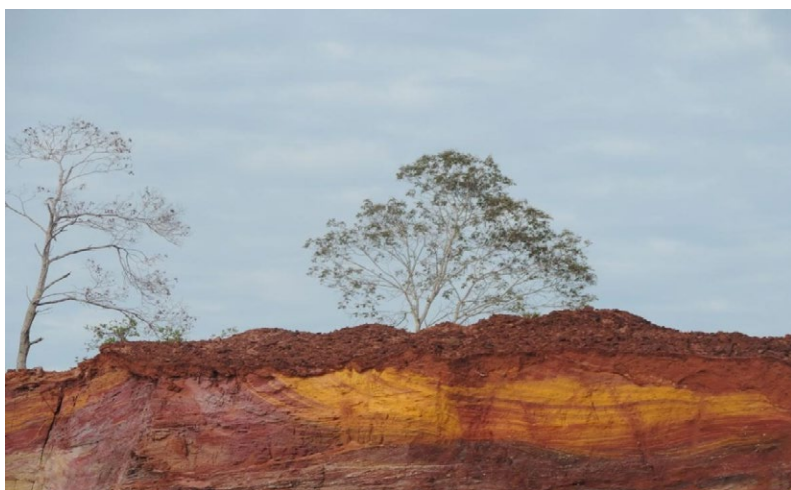


Figura 1. Perfil de solo com diferentes tonalidades, localizado na Vila de Alter do Chão – Santarém-PA. Fonte: Autores (2020).

Produção da Tinta

As Figuras 2, 3 e 4 mostram as etapas da produção das tintas desde a coleta do solo, o preparo (limpeza, peneiramento e destorroamento), a mistura com a água (dispersão das partículas e solubilidade dos pigmentos) e a adição de cola branca, goma de tapioca ou leite de amapá, usados como fixador.

Análise granulométrica e mineralógica

A análise granulométrica tem por objetivo estabelecer as proporções de areia, silte e argila, classificando assim as dimensões dessas frações em cada solo coletado, verificando quais as implicações destas variações na fabricação das tintas. Já a análise mineralógica dos solos é realizada a fim de identificar a assembleia de minerais associados a cada tipo de solo, etapa importante da definição química dos solos associados, buscando entender quais os componentes que estão por trás dos diferentes tipos de tintas produzidas.



Figura 2. Coleta de solo (a), limpeza, destorroamento e peneiramento (b).Fonte: Autores (2021).



Figura 3. Componentes utilizados para a produção da tinta ecológica na proporção 1;1;1/2 de solo (a), água (b) e cola (c). Fonte: Autores (2021).



Figura 4. Etapas da produção da tinta ecológica, mistura do solo e água (a), adição de cola (b) e tinta pronta (c).Fonte: Autores (2021).

Após a separação granulométrica, as frações de maiores granulometrias – areia média ou superior e areia fina foram analisadas através de uma lupa, a fim de realizar um reconhecimento mineralógico prévio, e estimar as quantidades de cada mineral através de gráficos de porcentagens estimadas. A verificação desta mineralogia é baseada nos estudos macroscópicos de minerais, tendo em vista a assembleia estimada por conta da geologia local e foi realizada no Serviço Geológico do Brasil -CPRM. As frações de silte e argila foram separadas e retiradas uma amostra de 2g em um recipiente, adequadamente fechado e enviado ao Laboratório de Técnicas Mineralógicas da UFAM, para o processamento no aparelho Difratômetro de Raios X. A Figura 5 mostra os principais solos estudados com suas cores características utilizados para as análises e produção das tintas.

Dispersão das partículas de Solo

Dispersão Física

Com a finalidade de se reduzir as partículas do solo no menor tamanho possível para se produzir uma tinta mais fina, quebrar os agregados e separar as diferentes frações dos solos mecanicamente, permitindo a mais completa umectação da superfície externa/interna de cada partícula, foi confeccionado um dispersor físico dentado que consiste em um disco serrado com as bordas alternadas (CORES DA TERRA, 2007).

Dispersão Química



Figura 5. Principais solos estudados e suas cores características. Solo Branco-1; Solo Bege-2; Solo Amarelo-3; Solo Laranja-4; Solo Vermelho-5 e Solo Roxo-6 coletados em diferentes perfis ao longo da BR 174 Manaus-Presidente Figueiredo – AM. Fonte: Autores (2021).

A fim de separar quimicamente as partículas dos solos e liberar mais facilmente os compostos responsáveis pela pigmentação para que a tinta tenha uma cobertura mais eficiente e duradoura, foram testadas soluções aquosas de hidróxido de sódio (NaOH) e cloreto de sódio (NaCl) como dispersantes químicos. Adicionamos 25mL da solução dispersante, nas concentrações 0%, 3%, 6% e 9%pv, em 25g de solo e agitamos com mixer por 3 minutos. Em seguida adicionamos 12,5mL de cola PVA e agitamos novamente. Posteriormente fizemos a aplicação das tintas em superfícies de madeira e deixamos secando por um mês. Após a secagem completa da tinta nas superfícies fizemos o teste de resistência à abrasão úmida sem pasta abrasiva, determinado pela ABNT NBR 15078:2004 o qual consiste na avaliação da capacidade que uma película de tinta possui de resistir ao desgaste mecânico provocado por escovação.

Fixadores

As tintas naturais de terra possuem em sua formulação fixadores como a cola branca PVA. Além desta foram testadas a goma de tapioca ou grude e resinas naturais retiradas das árvores, como o Leite de Amapá. De acordo com Cores da Terra (2007), para se produzir o grude basta fazer um mingau dissolvendo o polvilho ou goma de tapioca em água quente ou dissolvendo o polvilho em uma solução de soda cáustica. Para testarmos a melhor concentração de NaOH, foram pesados 10 gramas de goma de tapioca dissolvidas em 100 mL de solução de NaOH nas concentrações de 0%, 3%, 6% e 9% p/v.

O uso de Leite de Amapá teve sua patente requerida, junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial - INPI, portanto não poderemos informar detalhes do uso desse fixador na tinta.

Todos os fixadores foram adicionados após a mistura de uma parte do solo e a mesma proporção de água e meia porção do fixador (1:1:1/2).

Aditivos

Os aditivos são substâncias químicas usadas na fabricação das tintas com a função de melhorar a qualidade delas.

Em algumas tintas convencionais são usadas substâncias químicas antimicrobianas como o sulfato de cobre e sais de prata que encarecem bastante o produto. Nossa pesquisa foi feita usando solução de diferentes concentrações de cravo e canela, substâncias naturais comprovadamente antimicrobianas, para evitar o crescimento de bolores nas superfícies pintadas e nas tintas armazenadas em prateleiras.

Como testemunha utilizamos solução de sulfato de cobre, menos dispendioso que os sais de prata, para termos meio de comparação com a eficiência do uso do cravo e da canela, nas mesmas concentrações de 0%, 5%, 15% e 20% p/v.

Todas as formulações de tinta usando cravo, canela e sulfato de cobre foram testadas em diversas superfícies como alvenaria, madeira, cimento, tecidos e em papel. As amostras pintadas foram colocadas em lugares fechados com diferentes níveis de umidade. Os frascos contendo as tintas prontas foram armazenados em prateleiras por um ano para verificação da durabilidade delas (teste da prateleira).

Outro aditivo muito utilizado na fabricação de tintas é óleo de linhaça puro. De acordo com Fazenda (2005), o óleo de linhaça além de dar brilho, proporciona maior durabilidade à tinta.

Na nossa pesquisa utilizamos óleo de soja reciclado e óleo de andiroba. Foram testadas as tintas produzidas com óleos nas concentrações de 2,5%; 5,0%, 7,5% e 10,0% p/v em madeira, alvenaria e tecidos.

Com a finalidade de testarmos a qualidade das tintas em alvenaria e madeira, pintamos a parede externa de uma casa com um mosaico de cores em 2016. Durante 4 anos observamos a durabilidade, poder de cobertura, resistência às chuvas e incidência solar (Figura 6).

Extensão

Dependendo do tempo disponível para as atividades extencionistas normalmente elas ocorrem em duas etapas. Na primeira, a comunidade participa de uma roda de bate papo onde os coordenadores e estudantes envolvidos, interagem com os comunitários da região para tomarem



Figura 6. Estado atual de uma parede pintada experimentalmente há 4 anos. Fonte: Autores (2021).

conhecimento do modo de preparo da tinta de terra, seguida de uma abordagem teórica sempre ministrada de maneira simples para que eles possam entender os termos técnicos utilizados.

Na segunda etapa as pessoas são convidadas para irem aos locais de coleta dos solos e preparo das tintas que são utilizadas nas seguintes proporções: uma parte de solo, uma parte de água e meia parte de cola 1:1:1/2 respectivamente. No entanto se a tinta ficar muito rala podemos adequar adicionando mais solo na tinta ou aumentar o número de demãos na superfície pintada. De acordo com Cores da Terra (2007), para a produção de um latão de tinta de 18 litros precisamos de 8 Kg de solo, 8 litros de água e 4 litros de cola. Essa quantidade é suficiente para pintar aproximadamente uma área de 78 m² e o custo fica em média 50% mais barato que as tintas convencionais. Uma alternativa que torna a tinta mais barata é substituir a cola PVA, pela mistura de goma de tapioca ou grude diminuindo ainda mais o custo da tinta em torno de 70%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensino

Estimamos que desde o início do Projeto, 13 Escolas no Estado do Amazonas já foram contempladas com a nova metodologia de ensino. Considerando que cada escola possui nove níveis de Ensino Fundamental e três níveis do Ensino Médio, com aproximadamente uma turma em cada nível de ensino contendo em média 30 alunos, contabilizamos que em torno de cinco mil alunos aprenderam a fabricar a tinta de terra e o funcionamento de todo o processo. Desse total esperamos que pelo menos uma boa parte dos estudantes sejam potenciais multiplicadores da técnica de produção de tinta de terra, transmitindo aos familiares, amigos e a comunidade em geral os conhecimentos adquiridos por eles em sala de aula.

A curiosidade e a motivação levaram os alunos a vários questionamentos o que fez com que as turmas participassem ativamente das aulas e da pintura, possibilitando o dinamismo da atividade.

A integração entre os temas permitiu o exercício da multidisciplinaridade no ensino, com a demonstração das fórmulas dos minerais constituintes de solos e seus elementos responsáveis pelas diferentes colorações, além das interações moleculares e ligações químicas que proporcionam a resistência da tinta nas superfícies pintadas.

Além do conhecimento teórico e prático obtido pelos alunos, eles foram capazes de manifestar esse conhecimento produzindo tinta e utilizando-a em artes, com pinturas de telas, tijolos, bolsas, gessos, como mostra a Figura 7.

Seis estudantes de graduação do Curso de Licenciatura em Química do IFAM defenderam suas monografias, para conclusão do Curso Superior, com temas voltados ao ensino de Química e Educação Ambiental através do Projeto Tons da Terra. Um estudante de mestrado do Curso de Geologia da UFAM, apresentou a dissertação baseada na fabricação de tintas de argilas do Amazonas, e um estudante do curso técnico em Meio Ambiente escreveu seu Trabalho de Conclusão de Curso, no IFAM, baseado na granulometria e mineralogia dos solos utilizados na fabricação das Tintas Tons da Terra.

Pesquisa

O Solo Branco, que apresenta o predomínio de caulinita em sua composição mineralógica, possui 81 % de frações de areia média a superior, caracterizando-a granulometricamente como arenosa. O Solo Roxo, predominantemente constituído por hematita e em menor quantidade, por illita e caulinita, é composto por 75% de silte médio, silte fino e eventualmente argilas, mostrando uma característica siltosa do solo coletado. Os



Figura 7. Realização de oficina com estudantes em diferentes escolas públicas. Fonte: Autores (2021).

outros solos, Bege, Amarelo, Laranja e Vermelho possuem um padrão de distribuição granulométrica semelhante, onde os finos estão em uma faixa de porcentagem 25% a 30% e os mais grosseiros variando entre 70% e 75%. Dentre os finos, o silte é a predominância, e as frações menores ficam em uma faixa de 2% a 4%, com poucas variações significativas, representados pela fração argila. Além disso, nesses solos os teores de hematita vão se alterando com ilita e suas cores vão clareando e mudando a tonalidade. Teores bem próximos aos encontrados nessas análises foram verificados em solos do Estado de Minas Gerais, (CARDOSO *et al.*, 2016).

Dispersão das partículas de Solo

Dispersante Físico

A qualidade de uma tinta está diretamente relacionada à disposição das partículas sólidas (pigmento) em relação ao fixador, que pode se apresentar como uma dispersão ou uma suspensão coloidal. Para a produção de uma tinta de alta qualidade deve ser utilizada a suspensão coloidal, pois ela permite uma pintura mais uniforme o que é difícil de verificar se nas dispersões que acabam por necessitar de mais demão para cobrir a superfície (FIORINI, *et al.*, 2021). O uso do dispersor físico além de acelerar o processo da fabricação das tintas garantiu grande eficiência na redução das partículas do solo, melhorando a qualidade da tinta.

Dispersantes Químicos

A dispersão química se dá a partir da repulsão entre as partículas através da substituição dos cátions divalentes por íons de Sódio que cria um aumento da dupla camada difusa, SANTOS (2005). Sabe-se que o cátion responsável por dispersar as partículas de solo é o Na^{+1} , proveniente tanto do meio alcalino NaOH como salino NaCl (CARDOSO, F., 2015). Os resultados mostraram que tanto o uso de NaOH quanto de NaCl na concentração de 6% foram consideradas pelos testes realizados, o mais eficaz na dispersão para os tipos de solos estudados. Porém recomenda-se o uso de NaCl por ser um sal neutro e de mais fácil acesso pela população. Os solos utilizados foram o Roxo (siltoso), o Amarelo (argiloso) e o Branco (arenoso). A pintura realizada em madeira com o Solo Roxo destacou-se com uma pintura homogênea resistente ao teste de abrasão usando-se como dispersante a solução de NaCl a 6% quanto a de NaOH a 6%.

Fixadores

A qualidade da cola branca (PVA) influencia muito na qualidade da tinta, que além de durarem em média 4 anos, tanto nas pinturas externas quanto nas internas possuem uma cobertura mais homogênea. Comprovamos que a qualidade das colas influencia na qualidade das tintas. Cola de baixa qualidade normalmente possuem alto teor de água e fungam com muita facilidade, fatores que estão diretamente relacionados ao custo. Já as colas de melhor qualidade são mais concentradas, com menor teor de água e a durabilidade e a qualidade das tintas são superiores, podendo ser armazenadas na prateleira por vários meses em recipientes bem lacrados, apesar de terem um custo mais elevado. A durabilidade das tintas produzidas com goma de tapioca é menor do que a fabricada com PVA de boa qualidade. Entretanto, para as pinturas em interiores a durabilidade pode variar de 2 a 3 anos.

Dentre as concentrações de hidróxido de sódio (NaOH), a tinta que obteve melhor desempenho foi a de 6%, dissolvendo por completo a goma de tapioca. Porém, quando se dissolveu a goma de tapioca diretamente em água sem adição de NaOH, obtivemos um mingau de grude cremoso de melhor dissolução da goma e uma facilidade em sua aplicação além de um excelente brilho e uma ótima adesão da tinta nas superfícies. Pelo teste de abrasão foi a tinta que melhor resistiu ao esfregado com bucha e água. Ao optar em fabricar a tinta usando grude, recomendamos dissolver a goma de tapioca à quente, para torná-la mais ecológica e mais barata sem fixadores químicos como a soda cáustica (NaOH), apesar de RUIZ (2005) citar que os dispersantes de sódio são os melhores, principalmente sendo provenientes de um meio alcalino e GOMES (2005), dizer que o uso de sódio é mais econômico e podem vir de uma fonte salina.

Aditivos

A Indústria de tinta trabalha usando a Prata como agente antimicrobiano, conhecido como de maior eficácia dentre todos, atingindo 99,9% de eficiência na redução de microrganismos. A Prata apresenta uma alta estabilidade química, o que faz aumentar o tempo de validade das tintas.

Outros estudos realizados (BURTON e ENGELKIRK, 2005) mostram que o Sulfato de Cobre possui ações antimicrobianas, como a Prata, porém com uma eficiência menor. O CuSO_4 é reconhecido como um agente bactericida e fungicida, assim como o cravo da Índia, que apresenta em sua composição o princípio ativo do Eugenol, substância também antimicrobiana. O uso de Eugenol como antipútridos se torna interessante, pois

possui as mesmas funções que outros agentes bactericidas e fungicidas mesmo sendo uma substância natural. Outra opção de antimicrobianos natural é a canela, que também apresenta o Eugenol em sua composição, porém em concentrações menores que o cravo da Índia. Por serem substâncias naturais e de menor custo optou-se por fazer testes usando soluções de cravo e de canela nas concentrações de 0, 3, 6 e 9% p/v. A melhor concentração de aditivos naturais usada foi a de 9% para todos os solos estudados. Com o uso dessa concentração, não houve crescimento de microorganismos nos potes onde as tintas prontas foram armazenadas por 12 meses. As placas de madeira pintadas e armazenadas em ambientes úmidos não apresentaram crescimento microbiano. O uso de sulfato de cobre foi eficiente a partir da concentração de 3% p/v, porém como o projeto prima por uso de substâncias naturais, recomenda-se o uso de cravo ou canela para a produção das tintas.

Não conseguimos produzir tintas de boa qualidade utilizando óleo de soja reciclado. Por esse motivo passamos a utilizar o óleo de soja puro e o óleo de andiroba. Utilizando 7,5% de óleo de soja ou de andiroba, nos solos siltosos como o Solo Roxo, obtivemos um brilho mais intenso e uma maior facilidade na hora da aplicação da tinta em madeira. Para os solos argilosos a melhor concentração foi de 10% de óleo para se obter bons resultados nas placas pintadas. Na alvenaria e nos tecidos, a adição de óleo não apresentou bons resultados. Tintas fabricadas com solos mais arenosos não ficaram boas com a adição de óleo. Como o óleo de andiroba é mais caro e de difícil obtenção sugerimos o óleo de soja puro na fabricação de tintas quando se deseja mais brilho na madeira.

Após 4 anos observando uma parede pintada, experimentalmente notamos que, as tintas fabricadas com os solos argilosos e siltosos possuem uma maior durabilidade e manteve a beleza nas intensidades das cores. O solo branco muito arenoso, não resistiu aos fatores climáticos da região amazônica com grande intensidade de chuvas e calor, sendo quase que totalmente lavado da parede (Figura 8).

O banco de madeira por acumular água da chuva por mais tempo, resistiu à pintura por um tempo menor. Em 3 anos as cores desbotaram e houve descascamento da pintura. Isso não aconteceu com as madeiras pintadas no mesmo período e que ficaram colocadas encostadas na parede deixando que a água da chuva escorresse. Porém houve um desbotamento das cores.



Figura 8. Imagens de um sobrado antes (a) e depois (b) da pintura com as tintas Tons da Terra, Manaus-AM. Fonte: Autores (2021).

Extensão

Durante as oficinas realizadas notamos o entusiasmo dos participantes, em todas as faixas etárias. Senhoras muito empolgadas preparam suas tintas para pintarem seus artesanatos e melhorarem a renda familiar. Senhores animados produzem tintas rápidas e de baixo custo para pintarem suas casas como mostra a Figura 9. Jovens e crianças fazendo pinturas e criando maneiras de se expressarem através da arte. Estudantes tendo ideias para desenvolverem seus trabalhos de conclusão de cursos e criando novas linhas de pesquisa a serem desenvolvidas em trabalhos de mestrado e doutorado, juntos aos professores.

O Projeto Tons da Terra tem sempre participação marcante como a pintura das paredes de madeira de uma biblioteca comunitária indígena na Aldeia Moyray em Autazes (Figura 9); participação na Virada Sustentável do Amazonas no MUSA; participações nos Seminários das águas da Amazônia, promovidas pelo INPA e CEPEAM; participação na Feira Norte do Estudante, que ocorre anualmente no Shopping e Centro de Convenções Plaza; na Semana de Geologia da UFAM, com oficinas teóricas e práticas; participação no Congressos Norte e Nordeste de Pesquisa e Inovação CONNEPI em Salvador, Recife, São Luís; participação nas Semanas de Ciência e Tecnologia e Semana de Extensão nos Campi de Presidente Figueiredo, Zona Leste e Centro do IFAM.

O Projeto Tons da Terra aproveita as pinturas dos participantes, feitas em tecido de algodão cru, que são transformadas em bolsas contendo material escolar. Estudantes vulneráveis economicamente recebem esse material em Escolas Públicas do interior e da capital, como mostra a Figura 10.



Figura 9. Pintura de Biblioteca Comunitária na Aldeia indígena Moyray, Autazes-AM. Fonte: www.ifam.edu.br- Pró Reitoria de Extensão (2021).



Figura 10. Estudantes de uma escola em Iranduba recebendo a bolsa contendo material escolar. Fonte: Autores (2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do conhecimento adquirido através da prática do Projeto Tons da Terra, o processo de ensino-aprendizagem dos alunos envolvidos foi estimulado e demonstrou eficiência nos resultados, uma vez que despertou o interesse, a curiosidade e a vontade de aprender mais sobre a química e áreas correlatas. Além disso, o processo de ensino ganhou uma nova dinâmica, o que facilitou o trabalho do professor.

Para os estudantes do Curso de Geologia e Licenciatura em Química foi um aprendizado importante em termos do trabalho do professor em formação. Mostrou que o ensino de Ciências/Química pode (e deve) ser realizado com pesquisa, oferecendo melhores condições para formar professores mais críticos e conscientes de seu trabalho, que também sejam produtores de conhecimento, e tenham oportunidades de elaborar e desenvolver metodologias de ensino que garantam a participação efetiva dos alunos.

A postura crítica e questionadora desenvolvida nos alunos mostra que o projeto deve continuar, pois ao ser capaz de produzir algo belo e com significado para si mesmo e admirados por outros, os alunos passaram a confiar mais em suas potencialidades, crescendo socialmente, culturalmente e intelectualmente.

Durante os oito anos de pesquisa do Projeto Tons da Terra, dezesseis estudantes do IFAM foram contemplados com bolsas de Iniciação Científica e Bolsas de Extensão melhorando a qualidade de ensino, o que proporcionou melhoria do currículo na área de pesquisa e extensão. Alguns desses alunos tiveram a oportunidade de apresentar o trabalho em outros estados, em Congressos, enriquecendo ainda mais seus conhecimentos e suas experiências.

Criou-se uma nova linha de pesquisa que deu oportunidade aos professores e alunos do instituto em desenvolver a pesquisa tecnológica e inovadora, bem como consolidar a indissociabilidade entre o ensino, a pesquisa e a extensão no IFAM.

O Projeto Tons da Terra teve uma grande repercussão na mídia escrita e telejornalística, onde foi mostrada a reportagem na Rede Globo em janeiro de 2016 no Programa “Como Será” em rede nacional e em jornais e telejornais da região amazônica, divulgando e ensinando as pessoas como se produzir uma tinta natural, ecológica e de baixo custo e em 2012 ganhou reconhecimento da Fundação Banco do Brasil como uma das melhores Tecnologias Sociais apresentadas para a Região amazônica.

REFERÊNCIAS

- BURTON, G.R.W.; ENGELKIRK, P. G.: **Microbiologia, para ciências da saúde**. 5 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005.
- CARDOSO, F. DE P.; ALVARENGA, R. DE C. S. S.; CARVALHO, A. F. DE; FONTES, M. P. F. **Processos de produção e avaliação de requisitos de desempenho de tintas para a construção civil com pigmentos de solos**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 167-183, 2016.

- CARDOSO, F. **Desenvolvimento de processos de produção e avaliação do Desempenho de tintas para a construção civil manufaturadas com pigmentos de solos.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa, 154 pgs. Viçosa, MG, 2015.
- CORES DA TERRA: **Fazendo tinta de terra.** Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, 2007. Apostila.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018.
- FAZENDA, J.M.R. **Tintas e vernizes: Ciência e tecnologia.** 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
- FIORINI, A, C & CARDOSO, F. CORES DA TERRA: Produção de tintas com pigmentos de solos. Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, SBCS, 2021.
- GOMES, C.M. **Defloculação de massas cerâmicas triaxiais obtidas apartir do delineamento de misturas.** Cerâmica, n. 51, p. 336-342, 2005.
- PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2006.
- RUIZ, H. **Incremento da Exatidão da Análise Granulométrica do Solo Por Meio da Coleta da Suspensão (silte + argila).** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 29, p. 297-300, 2005.
- SANTOS, P. S. **Tecnologia de argilas.** v. 1: Fundamentos. São Paulo: Edgard Blucher, 1975.
- SBCS - Sociedade Brasileira de Ciência Do Solo. Santos, R.D.; Lemos, R.C.; Santos, H.G.; Ker, J.C.; Anjos, L.H.C; Shimizu, S.H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** Viçosa, MG, 2013.
- TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M; TAIOLI, F. **Decifrando a terra.** São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009, 623 p.
- UEMOTO, K. L. **Pintura a base de cal.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas: Associação dos Produtores de Cal, 1993.
- VILLANI, F.T.; RIBEIRO, G.A.A.; FERREIRA, D.C.O.; COSTA, M.M.C. Projeto Tons da Terra: Ensinando Ciências e Química por meio da Produção de Tinta de Terra amazônica. **Experiências em Ensino de Ciências.** 2017, Volume 12 Porto Alegre.
- ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar.** Porto Alegre: Artmed, 1998, 224p.

13. TRABALHO E TECNOLOGIAS SOCIAIS NAS PRÁTICAS SOCIOCULTURAIS DAS MULHERES RIBEIRINHAS EM CAAPIRANGA/AM

Débora Cristina Bandeira Rodrigues[†], Maria Isabel Barros Bellini¹,
Thamirys Souza e Silva², Camila Fernanda Pinheiro do Nascimento³,
Evelyn Barroso⁴

[†] *in memoriam*

¹ pesquisadora e docente da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

E-mail: maria.bellini@pucls.br

² mestranda do Programa de Pós-Graduação em Serviço Social e Sustentabilidade na Amazônia da Universidade Federal do Amazonas. E-mail: thamyassocial@gmail.com

³ mestranda do Programa de Pós-Graduação em Serviço Social e Sustentabilidade na Amazônia da Universidade Federal do Amazonas. E-mail: camilanascimento.seso@gmail.com

⁴ mestranda do Programa de Pós-Graduação em Serviço Social e Sustentabilidade na Amazônia da Universidade Federal do Amazonas. E-mail: evelyn_barroso_@hotmail.com

INTRODUÇÃO

As comunidades amazônicas são compostas por uma complexa rede de relações sociais nas quais se articulam forças políticas, econômicas e socioculturais, constituindo processos de resistência para garantir o acesso aos recursos necessários à reprodução da vida material e social, instituídas conforme a trajetória sócio-histórica dos atores sociais que habitam nestas áreas.

Nesse contexto, é importante destacar que os complexos culturais dos povos amazônicos influenciam no desenvolvimento do trabalho, os conhecimentos e técnicas tradicionais, o saber fazer e utilizar dos recursos naturais locais, caracterizam-se como componentes relevantes para o estudo das tecnologias sociais. Com base neste entendimento, é possível afirmar que a cultura dos povos amazônidas determina, em grande medida, o modo de ser e viver na região, sendo através desta que a vida é delineada. Nas comunidades tradicionais não indígenas da Amazônia, as práticas socioculturais apresentam riquezas incalculáveis, mantendo tradições seculares ao mesmo tempo em que promovem mudanças sociais significativas no interior destas sociedades.

Nas comunidades tradicionais não indígenas da Amazônia, a partir do estabelecimento da relação homem-natureza, das experiências empíricas, são gerados os conhecimentos, que permitem ao homem sua própria (re)produção, provendo “*as condições que lhes permitem perpetuar-se enquanto espécie*” (ANDREY, 1996, p.09).

Nesse processo, as práticas pautadas na cultura asseguram constante (re)produção dos conhecimentos, saberes e práticas, sendo estes ampliados a partir da ação humana e suas experiências, mantendo elementos essenciais da cultura, ao mesmo tempo em que incorpora novos elementos, garantindo dinamicidade e permanência em um complexo paradoxo transmitido por várias gerações.

O desafio que se coloca é pensar as práticas socioculturais enquanto elemento balizador de criação, construção e utilização de tecnologias sociais, a partir do trabalho desenvolvido, para a subsistência material, cultural e social, pelas mulheres ribeirinhas da comunidade de São Lázaro. Dessa forma, o artigo pretende visibilizar as formas de trabalho e tecnologias sociais construídas neste contexto, contribuindo no processo de acesso efetivo a bens e serviços sociais, ao mesmo tempo em que pretende subsidiar políticas públicas adaptadas a realidade local, voltadas para esse segmento social.

As reflexões apresentadas no artigo são resultantes do projeto de pesquisa intitulado: *Organização e Trabalho das Mulheres Ribeirinhas amazônicas: um estudo nas comunidades de Santa Luzia e São Lázaro no Grande Lago de Manacapuru/AM*, financiado pelo CNPq edital 032/2012, bem como subprojetos de iniciação científica desenvolvidos pelo programa PIBIC/UFAM e Trabalhos de conclusão de Curso.

A pesquisa foi desenvolvida com o apoio do Grupo Interdisciplinar de Estudos Socioambientais e Desenvolvimento de Tecnologias Sociais na Amazônia: Grupo Inter-Ação, vinculado ao Departamento de Serviço Social da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), cadastrado no Diretório 5.0 do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

MODOS VIVENDI E CULTURA EM COMUNIDADES RIBEIRINHAS NO AMAZONAS

Na primeira metade do século XVIII, a ideia de cultura foi cunhada para distinguir as realizações humanas dos fatos “duros” da natureza. Desse modo de acordo com Bauman, “Cultura” significava aquilo que os seres humanos podem fazer; “natureza” aquilo a que devem obedecer (1925 *apud* MEDEIROS, 2012). Para Chauí (1999), a construção da ideia de natureza pode ser visualizada enquanto objeto cultural, ou seja, a partir da perspectiva de cultura de um povo pode-se apreender sua concepção e formas de relação com a natureza.

Tendo como referência esta linha de pensamento, a cultura está ligada à natureza, no que concerne aos modos, à forma de realizar as atividades, os costumes. Na perspectiva posta por Vannuchi (1999), cultura é tudo aquilo que não é natureza, toda ação humana na natureza e com a natureza é cultura e tudo que é produzido pelo ser humano é cultura.

Na leitura de Rodrigues (2001), a cultura pode ser entendida, enquanto construção histórico-social de um povo, a partir do estabelecimento das relações sociais dos indivíduos entre si e com a natureza, desse modo, a cultura sofre modificações a cada período da sua temporalidade, exprimindo o estágio de desenvolvimento espiritual e racional dos diversos tipos de sociedade (p.50). Nesta ótica de abordagem, a constituição e mesmo as transformações por que passa a cultura é resultado de um processo histórico das relações que são estabelecidas pelos homens em sociedade, localizadas no tempo e espaço.

Vale salientar que cada realidade cultural tem sua lógica interna, a qual deve ser conhecida pelos agentes externos para melhor compreensão das práticas, costumes, concepções e as transformações pelas quais estas passam. Conforme Santos (2006), é preciso relacionar a variedade de procedimentos culturais com os contextos em que são produzidos. Para o referido autor as variações nas formas de família, nas maneiras de habitar, de se vestir ou de distribuir os produtos do trabalho, são construídas com base na cultura de cada povo e resultado de sua história, relacionam-se intrinsecamente com as condições materiais e imateriais de sua existência. A cultura, portanto, é um fator de grande relevância na vida social de um povo, ela está diretamente ligada à educação, à ciência, à religião e o modo como a sociedade está organizada em suas bases.

No que concerne as formas de organizações e práticas socioculturais das populações ribeirinhas da Amazônia é possível afirmar que estas encontram-se pautadas nos conhecimentos dos povos indígenas que historicamente habitavam a região, sendo posteriormente influenciadas pela cultura dos povos europeus e nordestinos do Brasil.

De acordo com Fraxe (2004), a cultura das populações tradicionais não indígenas da Amazônia, vem secularmente se propagando e sendo registrada na memória social destes grupos, estabelecidas de forma duradoura e persistente ao longo do tempo. Os conhecimentos e práticas que fundamentam a cultura se mantém, sobretudo, por meio da tradição oral, principal elemento fundante de sociedades agrárias. Dados da pesquisa visibilizam que a oralidade é o principal instrumento de repasse das tradições de pais para filhos nestas áreas.

Na perspectiva de alguns autores (CHAVES, 2004; MORÁN, 1990; WAGLEY, 1988) a dinâmica organizacional das comunidades amazônicas está intimamente ligada às práticas culturais dessas populações, a realidade das comunidades vai para além da dimensão política e econômica. Nesta linha de análise, conforme Rodrigues (2001)

[...] a realidade das populações tradicionais, em particular, a das populações ribeirinhas é caracterizada pela modalidade peculiar de organização no que se refere à relação que os ribeirinhos estabelecem com a natureza e entre si, como a forma de comunicação, o uso das representações dos lugares e tempos de suas vidas na relação com a água, seus sistemas classificatórios da fauna e flora formando um extenso patrimônio cultural (RODRIGUES, 2001, p.59).

No que se refere à organização sociopolítica e a participação, alguns autores (BARROSO, 2010; BINDÁ, 2003), afirmam que no contexto comunitário a capacidade de organização e mobilização é fortalecida diante da necessidade de enfrentamento e busca de alternativas por problemáticas comuns ao local.

Nas comunidades ribeirinhas da Amazônia, estudos (CASTRO, 1997; CHAVES, 2001) apontam que existe uma complexa rede de relações sociais estabelecidas na qual se articulam forças políticas, econômicas e culturais necessárias à reprodução da vida material e social instituídas conforme a trajetória sócio-histórica de constituição das comunidades. Nesse sentido, o desenvolvimento do trabalho, e consecutivamente das tecnologias sociais está, em certa medida, relacionado com as práticas culturais de determinado complexo social. Nas comunidades tradicionais da Amazônia há compreensão de que essa rede de relações sociais entre o trabalho e as práticas socioculturais influenciam no cotidiano comunitário.

TRABALHO E TECNOLOGIAS SOCIAIS EM COMUNIDADES TRADICIONAIS NO AMAZONAS

A abordagem marxista compreende que o homem é na sua realidade o conjunto das relações sociais, a concepção de homem como indivíduo social é colocada como uma das categorias fundantes de sua análise. Desse modo, é atribuído ao sujeito, como ser social, um papel ativo, submetido a diversos condicionantes, sendo considerado os diferentes elementos que compõe a realidade na qual o sujeito encontra-se inserido, o qual pode ser reconhecido na e pela sua atividade (SCHAFF, 1983).

Pautado nesta linha de análise, o homem se constitui como sujeito ativo de sua construção sócio-histórica, é protagonista nas relações sociais a

partir de sua relação direta com a natureza e com outros homens, transformando a natureza ao mesmo tempo em que se transforma a si mesmo, sobretudo pelo trabalho. Nesse contexto de análise, emerge a discussão em torno da relação homem-natureza e da produção material resultante dessa relação, na qual o homem utiliza os recursos naturais para suprir suas necessidades existentes sejam elas individuais ou coletivas.

Na perspectiva apresentada por alguns autores (DIEGUES, 2001; CASTRO, 1997), na contemporaneidade alguns povos preservam relações místicas homem-natureza, mantendo as representações simbólicas do meio natural, as formas de relações e organizações sociais estabelecidas, pautadas na interação com o meio ambiente a partir da cultura. Vale destacar que estas formas singulares de vivência influenciam, em grande medida, o modo e instrumentos de trabalho desenvolvidos por esses atores sociais.

Na leitura apresentada por Castro (1997, p. 23) “[...] *as atividades produtivas contêm e combinam formas materiais e simbólicas com as quais os grupos humanos agem sobre o território*”, ou seja, de acordo com seus conhecimentos, que se fundamenta no saber tradicional da área e seu arcabouço mítico, o indivíduo utiliza os recursos naturais disponíveis na comunidade a fim de suprir suas necessidades básicas e garantir a sua (re)produção material e imaterial, identificadas no desenvolvimento de atividades produtivas, para a subsistência ou lazer em comunidades tradicionais. Pautado nesta compreensão e a partir de estudos desenvolvidos na Amazônia, pode-se afirmar que em algumas comunidades tradicionais as práticas socioculturais e relações de trabalho encontram-se alicerçadas em valores estabelecidos na cultura.

Os pressupostos supracitados permitem compreensão do trabalho das mulheres de comunidades tradicionais não indígenas do Amazonas no sentido ontológico, no qual o trabalho é a forma originária do ser social, do agir humano, é inerente ao ser humano, sendo a partir do trabalho, não apenas deste, mas fundamentalmente por ele que as atividades humanas sociais se materializam no concreto.

Na abordagem proposta, o trabalho é compreendido como inerente e essencial ao homem, sendo através do trabalho que o homem mantém sua relação natureza-sociedade. Importante destacar que no contexto das comunidades tradicionais da região amazônica, o desenvolvimento do trabalho e o espaço em que se desenvolvem as atividades produtivas, vai para além de garantir a subsistência das famílias, assume significado social e cultural, nas casas de farinha, no roçado, na pesca, no extrativismo as relações sociais são fundamentadas, os problemas comunitários

são discutidos, alternativas se constroem nestes espaços, se constituem, ainda, em local de aprendizado dos valores culturais para os mais jovens, os conhecimentos e práticas são repassados de forma coletiva (WAGLEY, 1988; CASTRO, 1997).

Para Wagley (1988), o trabalho na Amazônia é realizado de maneira diferenciada, em geral desenvolvido de forma familiar, coletiva e comunitária com os vizinhos mais próximos, afirmando a participação coletiva nas atividades produtivas e das relações sociais fomentadas pela prática cultural das comunidades. Nestes contextos há uma relação intrínseca entre trabalho e relações sociais pautados nos valores culturais, os quais formam o complexo *modus vivendi* das comunidades amazônicas.

As comunidades investigadas apresentaram uma particularidade no que tange ao trabalho, nestas as mulheres assumem papel de protagonismo no processo de plantio e produção da farinha, componente essencial na dieta alimentar das famílias, e comercialização do excedente para geração de renda. Nestas áreas, as mulheres são as principais responsáveis pelo fortalecimento das relações sociais, repasse de conhecimentos tradicionais sobre uso e manejo de plantas medicinais e dos valores culturais para os mais jovens da comunidade, dentre outros aspectos da teia social que envolve o dia a dia das comunidades (WAGLEY, 1988; CASTRO, 1997; CHAVES, 2001; RODRIGUES, 2009).

Neste contexto, as mulheres são detentoras de um “sabe fazer” singular, construído, sobretudo, a partir do estabelecimento da relação Sociedade-Natureza, tendo suas bases fincadas na tradição oral, sobretudo de base indígena (TORRES, 2005). É possível afirmar que a mulher ribeirinha historicamente assume papel preponderante em seu contexto sociocultural, perpetuando a cultura, as práticas sociais tradicionais e a realidade do *modus vivendi*, contribuindo com o lugar em que vive e interagindo no espaço de seu cotidiano, com características próprias (CAMPOS, 2009; RODRIGUES, 2009), entre as quais se podem destacar:

[...] a profunda ligação com o lar e dedicação a família; relacionamento do saber individual (família) e o social (comunidade); forte presença na agricultura, principalmente familiar. Esta possui uma significação do lugar em que vive e interage, construindo formas de participação no âmbito familiar e comunitário (CAMPOS, 2009, p. 94).

Um destaque no desenvolvimento do trabalho, também identificado nas pesquisas, diz respeito a construção de instrumentos e formas específicas para realização das atividades produtivas, as quais podem ser caracterizadas como Tecnologias Sociais, compreendidas como “*Conjunto de*

técnicas e metodologias transformadoras, desenvolvidas ou aplicadas na interação com a população e apropriada por ela, que representam soluções para a inclusão social e melhoria de vida” (ITS, 2004, p.130).

Os resultados dos estudos apontam a construção de instrumentos de trabalho com recursos locais de forma sustentável, com modos de trabalho que privilegiam a coletividade, tais como ‘mutirão, ajuri, puxirum’ entre outros, que denotam nas comunidades o trabalho de forma coletiva, promovem diminuição de desigualdades e melhoria das condições de vida.

O trabalho na Amazônia requer uma compreensão da totalidade dos espaços em sua pluralidade, assim “*a comunidade vai além de uma dimensão política e econômica, mas, sobretudo complementam-se pelos aspectos ‘socioculturais’ que estão permeados por relações de parentescos, étnicas, de gênero, de compadrio e de vizinhança*” (ESTERCI *apud* RODRIGUES, 2001, p. 57), assegurando a construção de saberes diferenciados necessários para (re)produção social e cultural dos povos que habitam esta região. A partir desse entendimento as tecnologias sociais podem ser identificadas, entendendo as práticas peculiares de gestão dos recursos naturais na região e a organização social dessas populações.

Neste sentido, a comunidade é um espaço socialmente construído, é o lugar onde se realiza a produção e reprodução material e social dos segmentos sociais. Os laços com a localidade se constroem, antes de qualquer coisa pelo sentimento de pertencer a uma coletividade social, que se pode expressar pela participação nos diversos acontecimentos socioculturais que tecem a vida local (WANDERLEY *apud* CAMPOS, 2009).

Os estudos visibilizam a relevância das mulheres no contexto sócio comunitário, as formas que desenvolvem o seu trabalho com as técnicas e tecnologias utilizadas construídas e adaptadas ao contexto local de forma sustentável. A visibilidade das formas de trabalho e da identidade social dessas mulheres ribeirinhas contribui, ainda que pese seus limites, na discussão das tecnologias sociais como alternativas para o acesso a bens e serviços sociais, ao mesmo tempo em que pretende subsidiar políticas públicas específicas voltadas para esse segmento.

PRÁTICAS SOCIOCULTURAIS NO TRABALHO DAS MULHERES RIBEIRINHAS DE SÃO LÁZARO

A pesquisa teve como *locus* a comunidade de São Lázaro, mais conhecida entre os comunitários como Dominginhos, localizada na área rural do município de Caapiranga/AM, às margens do Grande Lago de

Manacapuru. A comunidade recebeu esse nome em homenagem ao Santo Padroeiro, uma vez que em sua maioria os moradores locais são cristãos Católicos. Oficialmente fundada no ano de 1980, conforme agente comunitária de saúde (comunicação pessoal, 2018) a comunidade conta com aproximadamente 43 famílias, média de 170 moradores.

Na comunidade, as mulheres assumem identidade política e laboral de agricultoras, são trabalhadoras e reconhecem a sua contribuição para o contexto familiar e comunitário. Isso ocorre, segundo Chaves (2001), porque, a cultura material dos ribeirinhos se dá no manejo das áreas em que se estabelecem, possuem íntima ligação com a natureza, os conhecimentos dessas populações ocorrem por meio das tecnologias tradicionais que vêm da cultura indígena.

As atividades do roçado se caracterizam pelo cultivo de culturas de subsistência, se caracterizam como uma das principais atividades produtivas das comunidades, cultivam a mandioca para produção da farinha, produto primordial para a cultura cabocla ribeirinha. De acordo com alguns autores (WAGLEY, 1988; ARAÚJO, 2003; PERONI, 2004) a mandioca é a espécie mais cultivada em toda região amazônica, pois o tubérculo é à base da alimentação das populações tradicionais.

O desenvolvimento do plantio que é característico das comunidades tradicionais, pode ser considerado uma tecnologia social por ser aplicável e replicável, por possuir um caráter sustentável¹, já que nos espaços utilizados são realizadas técnicas de manejo apropriadas e que garante a regeneração dos recursos naturais disponíveis na área.

Nestas comunidades, o processo de cultivo da mandioca é parte fundamental da cultura local, também da organização que gira em torno dos mutirões para a preparação dos roçados, o plantio da maniva², a queimada dessas áreas para preparar o solo, atividades estas que são todas feitas em conjunto pelos comunitários e familiares. Na realidade das comunidades, a economia gira em torno da produção artesanal da farinha que os moradores utilizam para a subsistência e para geração de renda. Segundo Rodrigues (2001):

1 A sustentabilidade aqui expressa é na perspectiva de Sachs (2007) que expõe uma proposta de desenvolvimento capaz de melhorar os impactos ecológicos e sociais. Um estilo de desenvolvimento particularmente adaptado às regiões rurais do Terceiro Mundo e trata de uma proposta que visava para além da perspectiva unicamente urbana do desenvolvimento.

2 Comumente chamada de mandioca e aipim, à Rama da mandioca é um arbusto lenhoso nativo da América do Sul da família das Euphorbiaceae.

Nas sociedades com modos de vida tradicionais, o trabalho não é apenas uma mercadoria. A forma de trabalho é essencialmente extrativista e agrícola, voltada para a produção familiar. Em geral, estes grupos sociais possuem uma fonte de renda monetária considerada baixa, advinda da comercialização de produtos excedentes, o que ocorre com frequência. Neste contexto, a utilização e dependência dos recursos naturais são constantes de fundamental importância (RODRIGUES, 2001, p.88).

Na ótica de pesquisadores da região (BARROSO 2010; LIRA 2008; CHAVES 2001; TORRES, 2012), a casa de farinha se constitui como o *locus* privilegiado dos processos de transformações necessárias para o fortalecimento das mulheres e conseqüentemente familiar e comunitário. Esta leitura das comunidades remete ao entendimento de que a casa de farinha se constitui como lugar de construção do processo sociabilidade e busca de alternativas viáveis para a melhoria das condições de vida de todos os moradores das comunidades.

Nas comunidades estudadas foi possível identificar que o trabalho para produção da farinha é o principal componente da organização cultural comunitária. Os espaços das casas de farinha são utilizados por mais de uma família, as quais se organizam para a produção, através de ajuda mútua, uma vez que são necessários vários processos, como pode ser visualizada na Figura 1.

A identificação do *modus vivendi* e trabalhos em comunidades tradicionais não indígenas da Amazônia, permiti afirmar que os equipamentos utilizados nas casas de farinha podem ser caracterizados como tecnologias sociais tradicionais, tendo em vista que esses são construídos pelos próprios comunitários com a utilização de recursos naturais locais, a partir dos conhecimentos sobre o uso e manejo dos elementos da fauna e flora disponíveis. Vale ressaltar que os equipamentos de trabalho da casa de farinha são construídos de forma coletiva, o que demonstra participação, apropriação e aprendizagem dos atores envolvidos.

Em cada uma das tecnologias sociais concernentes ao processo de plantio da mandioca e produção de farinha, foram identificadas formas particulares, próprias das comunidades tradicionais na Amazônia, baseadas nos conhecimentos a acerca do uso e manejo dos recursos naturais disponíveis nas comunidades. Essas particularidades expressam-se no caráter:

- a. (re)aplicável - pelas técnicas de manejo e construção das tecnologias sociais serem transmitidas para as gerações futuras através da tradição oral, sistema de aprendizagem característico dos povos tradicionais;

Figura 01. Tecnologia social – equipamentos da casa de farinha. Fonte: Pesquisa de campo (2014).



- b. Sustentável - onde os espaços são trabalhados através da técnica de manejo que garante a regeneração do solo pelo sistema de pousio e assim a sustentabilidade dos espaços utilizados para produção agrícola;
- c. Cultural - por enfatizar a participação dos membros familiares e a comunidade como um todo no sistema produtivo baseado na cultura dos povos da Amazônia;
- d. Adaptável à realidade local – enfatizando que apesar das técnicas e tecnologias sociais características de comunidades da Amazônia, as comunitárias de São Lázaro conhecem e utilizam os recursos disponíveis na comunidade para atenderem as necessidades cotidianas.

Nas áreas estudadas, as mulheres ao tempo em que produzem a farinha, demonstram domínio do conhecimento e técnicas de todo o processo, desde o plantio, produção, manutenção e troca dos equipamentos da casa de farinha, sendo, nesse contexto em específico, as responsáveis por difundir o saber fazer as gerações presentes, e assim garantir sua reprodução material, imaterial, social, econômica e cultural.

O que se pode destacar na comunidade de São Lázaro através da observação realizada é que no que concerne à casa de farinha, as mulheres são as protagonistas destes espaços, a partir do relato das mesmas, os homens da comunidade atuam em outras atividades.

Acerca do exposto, a cultura das populações amazônicas representa a síntese dos conhecimentos produzidos e assimilados pela sociedade sobre o meio em que vive, sendo esta mediatizada pela relação dos homens entre si, bem como por suas inter-relações com a natureza. Neste caso,

as relações homem-natureza encontram-se mediadas pela cultura, por experiências acumuladas pelos povos *“ao longo de gerações e pelos valores sociais e políticos que a sociedade impôs a tais relações”* (MORÁN, 1990 *apud* CHAVES, 2001).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No contexto amazônico é possível identificar diversas particularidades na relação das mulheres no âmbito familiar e comunitário. Existe uma complexa rede de interações sociais, intercâmbios de produção e formas de relações político-organizativas particulares. Segundo Chaves (2001) a combinação desses fatores institui um espaço de vida e trabalho, que fortalece a identidade sociocultural destas populações.

As práticas culturais comunitárias permeiam o cotidiano das mulheres na comunidade. Na Amazônia, Torres (2005) destaca que as diversidades sociais e culturais das relações estabelecidas entre a natureza e sociedade são multifacetadas, especialmente se tratando de gênero que, no caso das mulheres, possuem um papel social importante na organização, divisão do trabalho, da economia doméstica e comunitária.

Segundo Campos (2009) na comunidade elas não se reproduzem socialmente apenas no espaço doméstico, mas também no espaço comunitário e produtivo. Conforme relato de uma comunitária: “Acordo, faço o café pra mim e pro meu esposo aí quando acaba eu vou cuidar dos trabalhos de casa e depois vou pra roça, aí a gente vai capinar o roçado e cuidar pra crescer” (Sra. A). As mulheres do interior da Amazônia vivenciam um cotidiano com inúmeras tarefas, onde além das atividades domésticas, elas vão para o roçado, onde passam o dia realizando as atividades que se referem à agricultura.

A partir do entendimento do protagonismo dessas mulheres no seu “saber fazer” a essência da significação do seu trabalho, construído socialmente e historicamente respaldado na cultura local, configurando o seu modo peculiar de (re)produzir subsistência e renda, pois através de técnicas e tecnologias tradicionais, as mulheres da comunidade de São Lázaro garantem a reprodução material de sua família, onde, as Tecnologias Sociais contribuem para a melhoria da qualidade de vida.

Os resultados da pesquisa permitiram visualizar diversas particularidades em relação às mulheres da Comunidade de São Lázaro que são responsáveis por compor uma identidade familiar, social, cultural e política, dentre as quais se destacam:

- a. o protagonismo e a liderança das mulheres da comunidade em relação às atividades coletivas e produtivas;
- b. a forte presença na agricultura, o que foi observado nestas comunidades é que elas assumem o papel de agricultoras e estão diretamente desenvolvendo esta atividade, sobretudo no roçado para produção de farinha;
- c. conhecimento sobre técnicas de manejo dos recursos naturais disponíveis na comunidade de forma sustentável;
- d. detentoras de conhecimentos sobre as tecnologias sociais, sobretudo, processo de aprendizagem e construção das TS;
- e. na realidade local elas são agentes sociais atuantes no enfrentamento das desigualdades sociais.

A identificação dos diversos elementos que compõem as práticas culturais e tecnologias sociais utilizadas pelas mulheres ribeirinhas permite a melhor compreensão das formas de trabalho no interior das relações sociais, políticas, culturais, econômicas e ambientais destas comunidades. Assim, ressalta-se a necessidade da realização de um debate ampliado que envolva a sociedade civil e Estado que remeta para a elaboração de políticas públicas de inclusão das mulheres em programas específicos de geração de renda que atendam de fato as especificidades regionais considerando as identidades culturais.

REFERÊNCIAS

- ANDREY, M.A. *et al.* **Para apreender a ciência: uma perspectiva histórica.** 6 ed. Rio de Janeiro: Espaço e Tempo, 1996.
- ARAÚJO, André Vidal de. **Introdução à Sociologia da Amazônia.** Organização Tenório Talles. 2ª ed. Revisada – Manaus: Editora Valer. Governo do Estado do Amazonas. Universidade Federal do Amazonas, 2003.
- BARROSO, Silvana Compton. **Organização Sociopolítica nas Comunidades Ribeirinhas de Maués.** Universidade Federal do Amazonas. Dissertação de Mestrado em Serviço Social.132f,2010.
- BINDÁ, Francieleide Moreira Lima. **Estudo da Organização sociopolítica das comunidades ribeirinhas do rio Unini no Parque Nacional do Jaú/AM.** Universidade Federal do Amazonas. Dissertação de Mestrado. 2003
- CAMPOS, A.R. **Análise da atuação da mulher ribeirinha na comunidade Santo Antônio de Mucajá no Município de Maués/AM.** Anelise Rondon de Campos, Manaus, UFAM, 2009.
- CASTRO, E. **Território, Biodiversidade e Saberes de Populações Tradicionais.** In: Faces do Trópico Úmidos – conceitos e questões sobre desenvolvimento e meio ambiente/ Edna Castro, Florence Pítou (orgs). Belém: Cejup: UFPA-NAEA, 1997.

- CHAVES, M.P.S.R. **Uma Experiência de Pesquisa-ação para Gestão Comunitária de Tecnologias Apropriadas na Amazônia: estudo de caso do Assentamento de Reforma Agrária Iporá**. Tese de Doutorado, UNICAMP/ CIRED. 2001.
- CHAVES, M.P.S.R. *et al.* **As condições de vida e de uso dos recursos pelos moradores do Parque Nacional do Jaú**. Manaus: Ufam, 2004.
- DIEGUES, A.C.S.A. **O mito da natureza intocada**. 3.^a edição. São Paulo: Editora Hucitec, 2001.
- FRAXE, T.J.P. **Cultura cabocla-ribeirinha: mitos, lendas e transculturalidade**. São Paulo: Annablume, 2004.
- INSTITUTO DE TECNOLOGIAS SOCIAIS, ITS. **Reflexões sobre a construção do conceito de tecnologia social**. In Tecnologia Social: uma estratégia para o desenvolvimento. Rio de Janeiro: Fundação Banco do Brasil, 2004.
- LIRA, Talita de Melo. **Análise das condições de acesso aos programas de Assistência Social pelas comunidades de Mucajá e Ebenezer em Maués /Am.** – Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Serviço Social) UFAM,2008.
- MORÁN, Emilio F. **A ecologia humana das populações da Amazônia**. São Paulo: Vozes, 1990.
- PERONI, Nivaldo. **Agricultura de Pescadores**. In. Ecologia de Pesca da Mata Atlântica e da Amazônia. Organizadora Alpina Begossi. São Paulo: Hecitec: Nepam/ Unicamp: Nupaub/USP: Fapesp, 2004.
- RODRIGUES, D.C.B. **A Relação Homem – Natureza nas formas de Uso e Propriedade da Terra na Amazônia: Um Estudo Baseado nas Comunidades do Assentamento Iporá**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Natureza e Cultura da Amazônia da Universidade Federal do Amazonas, Manaus – AM: 2001.
- RODRIGUES, D.C.B. **Estudo para identificação de mecanismos de proteção aos conhecimentos das populações tradicionais: estudo de caso das comunidades Ebenézer e Mucajá em Maués/AM**. 2009. 160f. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Amazonas - UFAM, Programa Multi-Institucional de Pós-Graduação em Biotecnologia – PPGBIOTEC. 2009.
- SANTOS, J.L. **O que é cultura**. Coleção Primeira Passos. São Paulo: Brasiliense, 2006.
- SCHAFF, A. **História e verdade**. Tradução de Maria Paula Duarte; revisão de Carlos Roberto F. Nogueira. 2 ed. São Paulo: Martins Fontes, 1983.
- TORRES, I.C. **As novas amazônidas**. Manaus: Editora da Universidade Federal do Amazonas, 2005.
- TORRES, I.C. **Ethos das mulheres da floresta**. Organização: Iraildes Caldas Torres. – Manaus: Editora Valer/ FAPEAM, 2012.
- VANNUCCHI, Aldo. **Cultura brasileira**. Associação Jesuítica de Educação e Assistência Social - Edições Loyola,1999.
- WAGLEY, C. **Uma Comunidade amazônica: estudo do homem nos trópicos**. 3. ed. Tradução de Clotilde da Silva Costa. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1988.

14. A IMPORTÂNCIA DA FLORESTA AMAZÔNICA: UMA VISÃO SOBRE OS RIOS VOADORES PARA ALUNOS DA EDUCAÇÃO BÁSICA

Anthony Lopes

Técnico do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. E-mail: anthony@inpa.gov.br

INTRODUÇÃO

A floresta amazônica destaca-se pela sua rica biodiversidade e por representar um terço das florestas tropicais do mundo, além de conter mais da metade da biodiversidade do planeta. Estima-se que cerca de 20% de todas as espécies de animais e vegetais de todo planeta são encontrados ali (ANDRADE, 2019). É composta por habitats, paisagens e soma-se a este cenário a grande Bacia hídrica amazônica, a maior do planeta, tendo o rio Amazonas como o maior e principal rio que a constitui, possuindo mais de mil afluentes que tem grande influência (MATHEUS, 2020; REYDON, 2011).

O ciclo hidrológico que ocorre na Amazônia é capaz de interferir no clima brasileiro. De acordo com as pesquisas recentes outra forma de a água ser transportada para outras regiões é por meio do fenômeno atmosférico chamado de “rios voadores” (SALATI, 1983; REZENDE *et al.*, 2021). Demonstrando que são importantíssimos para o clima e que a floresta amazônica tem um papel essencial, agindo como um elemento reciclador da umidade (MOSS *et al.*, 2014).

Diante das contínuas ameaças ao meio ambiente e especialmente ao bioma amazônico, é necessário refletir sobre aspectos que envolvem a preservação dos elementos essenciais ao bem-estar humano, como as florestas e a água. Para isso, algumas questões precisam ser discutidas e enfrentadas, como: o que acontecerá se a floresta amazônica continuar sendo derrubada para dar lugar a pastos e áreas desmatadas, como vem acontecendo desde a década de 1980? Qual será o efeito a longo prazo sobre os rios voadores e, por consequência, sobre o clima do país? (MELLO *et al.*, 2017; FEARNside, 2020).

Sem a floresta amazônica, ou com sua sensível diminuição, o regime de chuvas no resto do país pode ser alterado drasticamente. Uma das descobertas recentes sobre os serviços ambientais prestados por ela foi a

de que ela regula o regime de chuvas, uma vez que os vapores orgânicos da floresta funcionam como “sementes de chuva.” (ARTAXO *et al.*, 2014).

De acordo com o Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia – LBA, o desmatamento da Amazônia, faz com que a quantidade de água absorvida pela superfície da terra, diminua nessas áreas e gradativamente vá substituindo a floresta, por pastos ou plantios a longo prazo, com objetivo de gerar riquezas imediatas com plantio de soja. A substituição da cobertura vegetal não é positiva, pois a alteração para outros tipos de cobertura vegetal não oferece os serviços essenciais que a floresta é capaz de produzir (LBA2, 2021; FEARNSSIDE *et al.*, 2020).

Entre as várias medidas individuais ou coletivas para proteger o meio ambiente, uma das mais relevantes é apostar na educação dos jovens para garantir um futuro saudável e sustentável, razão pela qual me senti motivado, enquanto gestor ambiental e servidor público, trabalhando num Instituto de Pesquisas como o INPA, que é amplamente reconhecido pela atuação na geração e disseminação de conhecimentos e tecnologias para preservação e desenvolvimento da Amazônia, a divulgar os trabalhos desenvolvidos através do projeto Rios Voadores.

O projeto foi desenvolvido pelo aviador-ambientalista Gérard Moss, conjuntamente com equipe de pesquisadores colaboradores, tais como professor Marcelo Moreira e professor Enéas Salati, o qual é financiado pela Petrobras, através do Programa Petrobras Socioambiental (RIOS VOADORES, 2021). O termo “rios voadores” designa cursos de água atmosféricos conforme observado na Figura 1, e foi popularizado pelo prof. José Marengo do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC).

Segundo Moss *et al.* (2014), o projeto consiste em coletar amostras de vapor de água para auxiliar pesquisas científicas sobre as massas de ar úmido que vêm da Amazônia trazendo umidade para outras regiões do Brasil, e para fazer as informações e as descobertas dos pesquisadores sobre o assunto cheguem a toda a população brasileira (RIOS VOADORES, 2021).

Sendo assim, a divulgação científica é muito importante para aumentar a abrangência do conhecimento sobre rios voadores e seus benefícios a sociedade. Tal divulgação precisa ser feita por diversas maneiras desde a utilização de redes sociais a rodadas de palestras e que assim, conscientize a população e seus governantes quanto a existência e relevância dos rios voadores que, além dos rios terrestres, são de importância fundamental para o ciclo das águas e preservação da vida na Amazônia, no Brasil e países próximos.



Figura 1. Pequenas nuvens que surgiram como resultado da evapotranspiração da floresta amazônica, em torno do Rio Juruá, AM. Fonte: Os rios voadores, a Amazônia e o clima brasileiro. Moss et al. (2014).

OBJETIVO

Divulgar a importância da preservação da natureza para benefícios futuros, incentivando a preservação do meio ambiente e o entendimento de como funciona o fenômeno dos rios voadores da Amazônia os quais influenciam o clima do planeta.

METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida no período de 2012 a 2018 em escolas do ensino fundamental II e médio, localizadas nos municípios de Manaus e Iranduba, conforme demonstrado na tabela 1.

Tabela 1. Ciclo de aulas expositivas dialogadas sobre os Rios Voadores da Amazônia 2012 a 2018. Fonte: elaborado pelo autor (2018).

EVENTO	INSTITUIÇÃO PARCEIRA	DATA	LOCAL
6ª. Conferência Latino Americana de Preservação ao Meio Ambiente	Instituto Brasileiro de Defesa da Natureza – IBDN	16 a 22/04 de 2012	Manaus, Am
Semana do Meio Ambiente	Secretaria de Estado de Educação e Qualidade de Ensino	05/06/2018	Manaus, Am
Show das Águas, Meio Ambiente e Cidadania	Fundação Rede amazônica	30/06 a 04/06 de 2016	Iranduba, Am
13ª. Semana Nacional de Ciência e Tecnologia	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia / Coordenação de Extensão	10/10/2016	Manaus, Am
Torneio de Robótica FIRST LEGO League	Confederação Nacional da Indústria/SESI LEGO Education	01 a 02/12/2017	Manaus, Am

As aulas foram divididas em duas etapas estratégicas, consistindo em: Primeira etapa - Ciclo de aulas expositivas dialogadas com duração de

50 minutos, foram utilizados recursos audiovisuais, como apresentação de slides e vídeos curtos que detalharam alguns aspectos específicos dos tópicos abordados.

O material didático para a apresentação foi elaborado com base no projeto rios voadores e o guia didático Rios voadores, a Amazônia e o clima brasileiro, que explicam aos alunos de forma clara o que são os rios voadores, como estão ligados a preservação da Amazônia e sua importante contribuição para as chuvas que irrigam gratuitamente nossas plantações (MOSS *et al.*, 2014; GUIMARÃES, 2014).

Os temas elaborados foram: 1. floresta amazônica: Características, localização, extensão e biodiversidade; 2. Bacia Hidrográfica da Amazônia: Características e principais Rios; 3. Rios Voadores da Amazônia: O que são e como se formam os rios voadores da Amazônia; 4. A floresta amazônica como prestadora de serviços ambientais; 5. Evapotranspiração, a Amazônia como berço das águas: Como as árvores contribuem para a formação dos rios voadores; 6. A floresta amazônica como importante regulador: como atua na formação dos rios voadores; 7. Perigos com a devastação da floresta amazônica e como contribuir para preservação do meio ambiente; e 8. Riscos e consequências causados pela não preservação do bioma; de que forma podemos contribuir para manutenção desse bioma.

Foram destacados como as principais considerações dentro dessa abordagem, os seguintes aspectos:

1. Floresta amazônica: Características, localização, extensão e biodiversidade

A floresta amazônica está localizada na região norte da América do Sul e sua área total (Grande Amazônia) tem aproximadamente, 7 milhões de Km² e recobre 9 territórios de países diferentes: Brasil, Venezuela, Colômbia, Peru, Bolívia, Equador, Suriname, Guiana e Guiana Francesa. A floresta amazônica é um patrimônio brasileiro, pois sua maior parte (60%) está presente em nosso território (VIEIRA *et al.*, 2019).

Destaca-se pela biodiversidade que contém. Cerca de 20% de todas as espécies de animais e vegetais de todo planeta são ali encontrados e nela também está localizada a maior Bacia hidrográfica do planeta, concentrando cerca de 1/5 de toda água doce da Terra (PEIXOTO *et al.*, 2016; GUIMARÃES, 2014).

2. Bacia Hidrográfica da Amazônia: características e principais rios

A Bacia amazônica se estende por cerca de 6,1 milhões de km², aporta ao oceano um volume de água de aproximadamente 6.6.10¹²m³.ano⁻¹, o que corresponde a cerca de 16% a 20% do total das águas doces. O principal rio da Bacia hidrográfica é o Rio Amazonas, possui mais de mil afluentes e é fonte de sustento para as pessoas que vivem em seus arredores (FILIZOLA *et al.*, 2011).

Os rios dessa Bacia possuem uma variedade de cores, como águas pretas, brancas e cristalinas, são caracterizadas pelo tipo de sedimentos suspensos nelas e o pH (PRANCE, 1980).

3. Rios Voadores da Amazônia: o que são e como se formam os rios voadores da Amazônia

Os rios voadores são “cursos de água atmosféricos”, estes fluxos aéreos de água, formados por massas de ar carregadas de vapor de água são ‘puxados’ do oceano Atlântico. Depois, empurrados por ventos, levam a umidade para outras regiões do Brasil e para outros países da América do Sul como Bolívia, Paraguai, Argentina, Uruguai e até mesmo o sul do Chile. Depois que a umidade é sugada do Atlântico, ela se desfaz sob a forma de chuva na floresta (RIOS VOADORES, 2021).

4. Evapotranspiração, a Amazônia como berço das águas: Como as árvores contribuem para a formação dos rios voadores

A floresta, e a Bacia amazônica, sofrem forte evaporação, tanto pelo calor do sol tropical, quanto pela ação da evapotranspiração (processo conjugado de transferência da água da superfície para a atmosfera, por evaporação direta, mais transpiração pelas plantas) e reenviam a água da chuva para a atmosfera na forma de vapor (Figura 2).

O ciclo se repete. O vento entra novamente em ação, empurrando a massa em direção à cordilheira dos Andes onde encontra uma barreira natural. Parte do vapor volta a cair em forma de chuva, alimentando as cabeceiras de vários rios formadores do Amazonas. Outra parte é desviada pela cordilheira em direção ao sul, atingindo as regiões de agricultura mais importantes do Brasil, o Centro-Oeste, e chega até países vizinhos. Entre os benefícios que a floresta oferece como prestadora de serviços ambientais, observa-se que o vapor, transportado para as regiões centro-oeste, sudeste e sul, pode alimentar as lavouras dessas áreas com chuvas (SALATI, 1983).



Figura 2. Os vapores orgânicos da floresta funcionam como “sementes de chuva”. Fonte: Os rios voadores, a Amazônia e o clima brasileiro. Moss et al. (2014).

A água evaporada que vem da Amazônia também será usada para o consumo urbano, já que parte dela infiltrará no solo, suprimindo os mananciais e terminando nos lagos e rios que abastecem as grandes cidades de regiões populosas. Até o funcionamento das principais usinas hidrelétricas depende, em grande medida, dos caudais de água trazidos pelos rios voadores (MOSS *et al.*, 2011).

Através do processo de evapotranspiração, uma árvore de grande porte pode bombear do solo para a atmosfera de 300 até 1.000 litros (ou mais) de água em um único dia (Figura 3), o que é bem superior à média de consumo diário de água no Brasil, que está calculado em 132 litros por habitante (MOSS *et al.*, 2014).

De acordo com Artaxo *et al.* (2014), a Amazônia é uma floresta tropical chuvosa, um gigantesco processador de vapor d’água. Na verdade, muitos cientistas acreditam que a própria floresta controla o clima sobre a região amazônica. Isso faz do ecossistema amazônico um ecossistema único no nosso planeta, onde o ciclo da chuva e do carbono são regulados por minúsculos elementos que existem na superfície das folhas das árvores chamados estômatos (NORA *et al.*, 2015).

Dessa maneira, a Amazônia é uma imensa fonte de vapor da água que inclusive irriga o agronegócio no Brasil central e muitas áreas do sul do

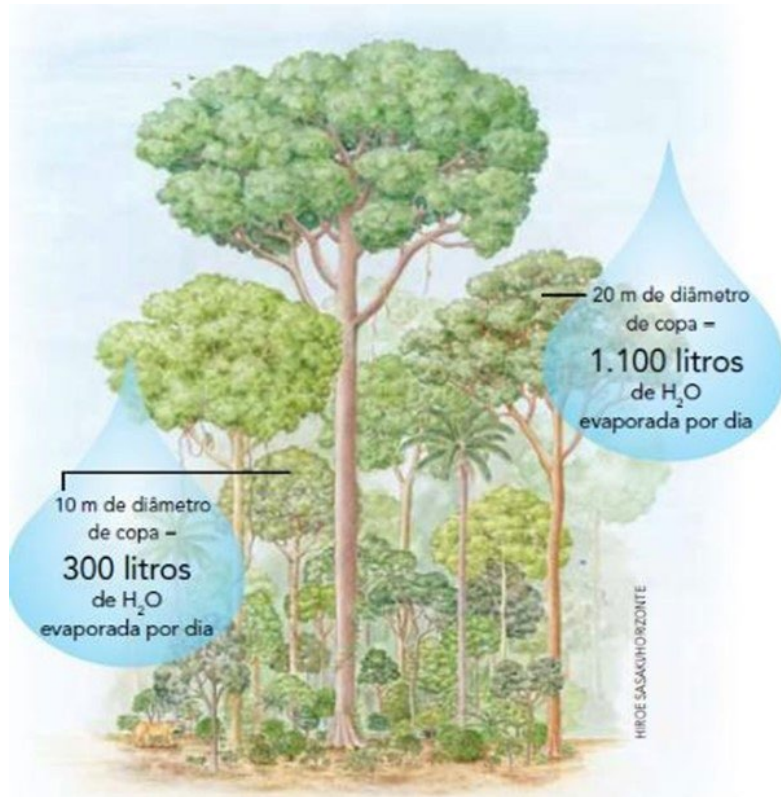


Figura 3. Evapotranspiração das plantas da floresta amazônica. Fonte: Os rios voadores, a Amazônia e o clima brasileiro. Moss *et al.*, 2014.

país. Então a Amazônia realiza serviços ecossistêmicos, absolutamente essenciais para a manutenção do clima do nosso planeta. Além disso, a floresta tem um segundo papel fundamental, o de armazenar nas raízes das árvores, uma quantidade equivalente a 100 giga toneladas de carbono, isso significa 10 anos de toda a queima de combustíveis fósseis de todo o planeta. A importância disso é que se desmatarmos esta floresta, este carbono vai para a atmosfera, agravando a já crítica situação das mudanças do clima em nosso planeta (NORA *et al.*, 2015).

A Amazônia é considerada berço das águas. Os cientistas conseguiram calcular a quantidade total de água que a floresta amazônica cede para a atmosfera por meio da evapotranspiração das árvores em um dia e trata-se de um número astronômico, em torno de 20 trilhões de litros por dia, ou 20 bilhões de toneladas de água (Figura 4 e Quadro 2). Para efeito de comparação, o rio Amazonas, o mais caudaloso do planeta, responsável por um quinto da água doce que os mares recebem, despeja diariamente no Oceano Atlântico 17 bilhões de toneladas, portanto abaixo do número produzido pelas árvores da floresta (NOBRE *et al.*, 2014).



Figura 4. Rios de nuvens sobre a floresta. Fonte: MCTIC. Conhecendo a Biodiversidade, Amazônia (2016).

Quadro 1 – Evapotranspiração das árvores na floresta amazônica. Fonte: Salati *et al.* (2006).

Diâmetro da Copa*	Capacidade de Evapotranspiração/Dia	Árvores com diâmetro acima de 10 m	Área ocupada de floresta por árvore	Área Florestal totalmente preservada	Total de H2O cedida para a atmosfera pela Evapotranspiração da Floresta/Dia
10 m	300 litros de H2O				
20 m	1.100 litros de H2O	600 bi	83 m2	5,5 milhões Km2	20 trilhões de litros ou 20 bilhões de toneladas de H2O

*Porte da árvore.

5. Perigos com a devastação da floresta amazônica e como contribuir para preservação do meio ambiente

Além do ar puro e da água limpa, a riqueza da biodiversidade é outra grande fonte de valores que um determinado bioma oferece, na forma de alimentos, fibras ou remédios naturais. A continuidade desses serviços depende, diretamente, da preservação e integridade do Bioma, pois, se ele se modifica, seja por ação natural ou do homem, seu papel no sistema também pode ser alterado. O desmatamento e toda forma de exploração descontrolada (Figura 5) reduzem a biodiversidade, causa erosão dos solos, degrada áreas de Bacias hidrográficas, libera gás carbônico para a atmosfera, reduz a umidade do ar, gera desequilíbrio social, econômico e ambiental (FEARNSIDE *et al.*, 2020).

A Amazônia é um dos biomas mais ameaçados do mundo e tem sido afetado de forma intensa ao longo dos anos. De acordo com o IBGE (2021), em 2018 a cobertura florestal da Amazônia equivalia a 75,7% de sua área original e nos últimos 18 anos desapareceram 269,8 mil km² de vegetação nativa. As queimadas, o extrativismo mineral e vegetal, o desmatamento descontrolado, a expansão da agropecuária, o crescimento populacional,

a poluição de rios e matas e a biopirataria, são os principais fatores de impacto ambiental negativo no bioma Amazônia (PRATES *et al.*, 2011).

6. Riscos e consequências causados pela não preservação do bioma; o que podemos contribuir para manutenção desse bioma

A redução da umidade na Amazônia, pode afetar o processo de formação dos rios voadores e assim contribuir para reduzir as chuvas na região centro-sul brasileira, e até mesmo em outros países, com sérias consequências para o equilíbrio do meio ambiente e reflexos na economia. A participação de todos é fundamental na proteção ao meio ambiente, e depende de cada um ser um educador ambiental, divulgando para a população dos grandes centros urbanos a valiosa contribuição da floresta amazônica para abastecer os recursos hídricos brasileiros e conscientizando e valorizando a preservação da Amazônia como essencial para as atividades econômicas do país, da agricultura à indústria, como também para a qualidade de vida da população (NOBRE, 2014).

A segunda etapa consistiu em um debate aberto para que dúvidas, perguntas, opiniões sobre a temática fossem dadas e discutidas com o aluno, educador e pesquisador.



Figura 5. Victor Moriyama - Imagem de área de queimadas na cidade de Altamira, Estado do Pará. Fonte: Greenpeace (2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados mostram que a série de encontros educativos com temas ambientais voltados a preservação, manutenção e a influência dos rios voadores foram significativos (Figura 6). A utilização de recursos audiovisuais que demonstraram os processos referentes aos temas, tornou eficiente a aula, pois os alunos acompanharam como o conjunto de fatores bióticos e abióticos formam o fenômeno atmosférico Rios Voadores e puderam dimensionar o grande impacto e importância que tem no clima do país.

Além disso, temas como biodiversidade e bacia hidrográfica amazônica, foram os mais comentados durante a aula, o que demonstra o conhecimento prévio que possuíam sobre o assunto. No momento do debate aberto, os alunos tinham o maior interesse em discutir 75% dos temas trabalhados. Foi constatado que não tinham conhecimento dos seguintes termos: rios voadores, serviços ambientais, evapotranspiração, formação dos rios voadores.

A segunda etapa de debate, foi uma estratégia para favorecer a expressão dos alunos, seus pensamentos, suas percepções, interpretações, uma vez que a aprendizagem envolve a produção/criação de novos significados, além de permitir o aprofundamento e ampliação da conscientização de todos. Assim, a pesquisa demonstrou que atividades educativas são fundamentais para promover maior comprometimento e interação da juventude com possíveis impactos na sociedade como um todo e que facilitam a assimilação dos conteúdos por parte dos alunos.



Figura 6. Palestra sobre os Rios Voadores da Amazonia realizada no SESI - Manaus, Am. Fonte: elaborado pelo autor (2018).

Segundo Ferreira *et al.* (2021), as escolas como espaços formais são fonte permanente de conteúdos transversais que possibilitam a exposição de problemas enfrentados pela comunidade, reflexão e a busca de soluções entre educando, educador e pesquisador, o que corrobora com os dados obtidos nesta pesquisa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As pesquisas científicas realizadas na última década têm demonstrado que as interações naturais da floresta amazônica com a atmosfera são importantes para a regulação de chuvas e do ciclo hidrológico nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil e em toda a América do Sul, já tendo sido comprovado que mais da metade da água das chuvas nessas regiões vem da Amazônia. O fenômeno dos “rios voadores” é responsável por “banhar” os Estados de Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná e Rio Grande do Sul.

A iniciativa do Projeto Rios Voadores é um importante passo para que todos possam conhecer cada vez mais a grandiosidade da região amazônica e o imprescindível papel da floresta, um patrimônio imensurável de riquezas, seja de biodiversidade, água ou de serviços ambientais.

Entre os objetivos das palestras embasadas no Projeto Rios Voadores, além de divulgar a valiosa contribuição da floresta amazônica para abastecer os recursos hídricos brasileiros e monitorar a trajetória dos rios voadores, buscamos possibilitar um melhor entendimento das consequências do desmatamento e das queimadas na Amazônia e seus impactos sobre o balanço hídrico do país no panorama das mudanças climáticas. Sobre tudo, trabalhamos para buscar uma maior conscientização e valorização da preservação da Amazônia como essencial para as atividades econômicas do país, da agricultura à indústria, e qualidade de vida da população.

Por reconhecer a responsabilidade de preservação dessa “usina ambiental”, entendemos que todos podemos nos juntar a essa causa e participar não apenas na difusão desse conhecimento, mas, sobretudo, fazendo nossa parte em prol da preservação do meio ambiente e especialmente do bioma amazônico, primordial para a continuidade da existência da biodiversidade.

REFERÊNCIAS

- ARTAXO, P.; MARENGO, J.A. *et al.* Perspectivas de pesquisas na relação entre clima e o funcionamento da floresta amazônica. **Ciência e Cultura** vol.66 no.3, São Paulo, 2014. FEARNSSIDE, P.M. Como sempre, os negócios: o ressurgimento do desmatamento na Amazônia brasileira. p. 363-368. In: FEARNSSIDE, P.M. (ed.) **Destruição e Conservação da Floresta amazônica**. Editora do INPA, v. 1, p. 368 ,2020.
- FERREIRA, E. FRENEDOZO, R.C. Ambientalização –desenvolvendo a Educação Ambiental em espaços formais de aprendizagem. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.4, p.37591-37604, 2021.
- FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L. Fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências**, v.41, n.4, p.566-576, 2011.
- GUIMARÃES, M. Dança da Chuva. **Revista Pesquisa Fapesp**, v. 226, p. 20-25, 2014.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 28 de junho 2021.
- LBA, **Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazonia**. Disponível em: <http://lba2.inpa.gov.br>. Acessado em 28 de junho de 2021.
- MATHEUS, A. C. Os elementos para o desenvolvimento de um regime transnacional sustentável de proteção jurídica dos conhecimentos tradicionais associados à biodiversidade amazônica. **Cadernos de Direito**, v. 19, n. 37, p. 89-102, 2020.
- MELLO, N. G. R.; ARTAXO, P. Evolução do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal. **Revista do Instituto de Estudos Brasileiros**, Brasil, n. 66, p. 108-129, 2017.
- MOSS, G.; MOSS, M. Caderno **Os rios voadores, a Amazonia e o clima brasileiro**. Editora Horizonte, São Paulo, 2014.
- VIEIRA, P. A.; BUAINAIN, A. M.; CONTINI, E. Amazônia Um mosaico em construção. **Revista de Política Agrícola**, n.4, p.134-136, 2019.
- NOBRE, A.D. O futuro climático da Amazônia: relatório de avaliação científica. **Articulação Regional Amazônica**. São José dos Campos, 2014.
- NORA, G. D.; SATO, M. Água e vento são meio sustento: aspectos teórico-conceituais a serem considerados na pesquisa em Educação Ambiental e mudanças climáticas. **Revista Ambientalmente Sustentável**, La Coruña, v. 2, n. 20, p. 235-247, jul./dec., 2015.
- PEIXOTO, A.L.; LUZ, J.R.P.; BRITO, M.A. (org.). **Conhecendo a biodiversidade**. Brasília: MCTIC, CNPq, PPBio, 2016.
- PRANCE, G. T. A terminologia dos tipos de florestas amazônicas sujeitas a inundações. **Acta Amazonica**, v. 10, n. 3, p. 495-504, 1980.
- PRATES, R. C.; BACHA, C.J.C. Os processos de desenvolvimento e desmatamento da Amazônia. **Economia e Sociedade**, Campinas, v. 20, n. 3 (43), p. 601-636, 2011.
- REYDON, B.P.O desmatamento da Floresta amazônica: causas e soluções. **Revista Política Ambiental**, n. 8, p.143-155, 2011.
- REZENDE, E. N.; VARTULLI, V. Os rios voadores e as mudanças climáticas ocasionadas pelo desmatamento da floresta amazônica: uma perspectiva a partir do constitucionalismo latino-americano. **Revista Brasileira de Direito Animal**, v. 16, n. 3, p.100-115, 2021.
- RIOS VOADORES. Disponível em: www.riosvoadores.com.br. Acesso em: 28 de junho de 2021.

- SALATI, E. *et al.* **Amazônia: desenvolvimento, integração e ecologia**. Brasiliense em coedição com o CNPq, São Paulo, Brasil, 1983.
- SALATI, E., SANTOS, A.A.; KLABIN, I. Temas ambientais relevantes. **Estudos Avançados**, v. 20, n.56, p.107-127, 2006.

15. POLÍTICA PÚBLICA DA ÁGUA: O EXEMPLO DA PESQUISA-AÇÃO SOBRE OCUPAÇÕES IRREGULARES EM ÁREAS PROTEGIDAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RESERVATÓRIO DO GUARAPIRANGA EM SÃO PAULO

Jacques Lolive¹, Cintia Okamura²

¹ pesquisador e diretor de Pesquisa em Ciência Política e Planejamento; Laboratório PACTE, CNRS, Universidade Grenoble-Alpes (França). E-mail: jacques.lolive@umrpacte.fr

² pesquisadora na área de Psicologia Socioambiental. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB); cintiaokamura@hotmail.com; cokamura@sp.gov.br

INTRODUÇÃO

As *políticas de água* são muito diferentes das políticas públicas tradicionais. De acordo com a definição clássica, uma política pública é um programa de ação próprio de uma ou mais autoridades públicas ou governamentais, implementadas pelos poderes públicos para atingir objetivos num domínio específico da sociedade. Ela abrange um amplo campo de possíveis intervenções, por exemplo: política econômica, política urbana, política da juventude, segurança etc. Pelo contrário, as políticas de água não dizem respeito diretamente à sociedade, são *políticas ecocentradas*, construídas em torno de uma entidade ambiental como uma Bacia Hidrográfica ou um rio.

Neste artigo, apresentaremos primeiramente, na introdução, alguns elementos de análise dessas políticas de água fornecidos pela ciência política e, na sequência, trazemos como exemplo uma pesquisa-ação franco-brasileira que está sendo realizada em São Paulo, inspirada nesses elementos, a qual propõe definir, experimentar e implementar uma política de água específica, qual seja uma política de gestão integrada e participativa na Bacia Hidrográfica do Reservatório Guarapiranga, em São Paulo.

Os politólogos (em particular Le Bourrhis, 2004) analisaram as características específicas da *política da água* explicitando as dificuldades na elaboração e na implementação dela. Faremos uma breve exposição, com base nas análises realizadas por Le Bourrhis, o qual argumenta que uma política da água é a emergência de uma nova maneira de perceber e agir coletivamente sobre a água. Dois conceitos permitem analisá-la.

Em primeiro lugar, a *publicização da água*, ou seja, a produção de significados compartilhados, não só no espaço administrativo, mas também no espaço público, possibilitando apreender e atuar coletivamente sobre esse elemento e os fenômenos relacionados. Este conceito prolonga as reflexões sobre a definição dos problemas públicos que se opera, sob a pressão de grupos concorrentes entre si, para definir o que constitui ou não um problema público e o que exige ou não uma maior intervenção das autoridades públicas.

Em segundo lugar, *as operações de objetivação* associadas à ação pública possibilitam gerar descrições confiáveis dos problemas públicos, bem como dos seus aspectos e finalidades. As objetivações em questão incluem as várias medidas, quantificações, estatísticas, mapas, inventários, modelos que as administrações públicas estão continuamente desenvolvendo para fins regulatórios. Essas produções técnico-científicas e burocráticas simplificam a realidade complexa, tornando-a controlável.

As dificuldades observadas na implementação das políticas de água podem ser explicadas por três fatores: 1) Primeiro, a *ausência de uma definição comum de “água”*: a água como objeto de intervenção e problema público é, concretamente, definida de maneira plural, dentro de um sistema de implementação composto por múltiplas redes de ação pública. Estas redes, em sua pluralidade, caracterizam-se pelo foco em diferentes objetos de intervenção e na busca de objetivos que não convergem entre eles e com a nova legislação. 2) Segundo - *o trabalho necessário de aprendizagem cognitiva e prática*: a formulação de uma nova política é acompanhada pela evolução das categorias descritivas e normativas vinculadas à ação pública em questão. Esta evolução corresponde a um trabalho de aprendizagem cognitiva e prática, que é o único capaz de apreender a água como “patrimônio comum” aos agentes públicos. 3) Finalmente, a *implementação pluralista e conflituosa*: as políticas públicas não resultam de uma burocrática de um programa central, mas tomam forma através de um conjunto de atividades entrelaçadas, que escapam ao controle exclusivo do Estado ou das instituições. São, portanto, assembleias de atores, administrativos e não administrativos, que participam do desenvolvimento de ações públicas.

Utilizamos estas análises para definir uma política da água específica, qual seja uma política de gestão integrada e participativa na Bacia Hidrográfica do Reservatório Guarapiranga, que propõe lidar com o problema complexo das ocupações irregulares em áreas de proteção aos mananciais.

As *ocupações irregulares* são um fenômeno característico da urbanização da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), cuja multiplicação tem causado uma importante *degradação ambiental*, pois a população precária ocupa ilegalmente áreas naturais protegidas, como no entorno do reservatório de água da Bacia do Guarapiranga, ameaçando a qualidade das águas que abastecem aproximadamente 20% da RMSP, cerca de 4 milhões de pessoas. Esta situação expressa *um antagonismo* entre o direito a um ambiente ecologicamente equilibrado e o direito à moradia. Como superar esse conflito? Tem-se constatado a necessidade do diálogo entre os porta-vozes desse conflito.

Para avançar em direção à “resolução” dessa problemática, a CETESB – agência governamental do Estado de São Paulo responsável pelas questões ambientais – propõe um projeto de pesquisa-ação, subsidiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), que tem como objetivo experimentar, com os moradores e as instituições concernidas, um programa de ações para a *gestão integrada e participativa* em duas áreas piloto na Bacia Hidrográfica do Guarapiranga. Esse programa propõe articular um componente de parceria (*fórum das instituições*) para promover a discussão entre as partes-envolvidas nos problemas (habitação, saúde e meio ambiente) a fim de definir e implementar soluções integradas; um componente participativo (*fórum dos moradores*) para empoderar e envolver os moradores das ocupações irregulares no processo; e um componente de saúde (*estudo microbiológico*) para analisar e informar sobre a contaminação microbiológica das fontes de água utilizadas pela população. A integração desse estudo microbiológico no programa pretende impulsionar a educação ambiental junto aos moradores das ocupações irregulares a fim de promover a sensibilização para o fato de que a degradação do meio ambiente resulta em impactos na saúde da população.

Neste artigo, centraremos o foco nos caminhos percorridos para a construção de uma política de água, por meio da aprendizagem e das reflexões oriundas dessa pesquisa-ação que está sendo realizada em São Paulo.

OBJETIVOS

Um dos objetivos da pesquisa que ora apresentamos refere-se a definir uma política pública que possa lidar com a situação problemática das ocupações irregulares em áreas de proteção aos mananciais.

Para tanto, o primeiro passo foi responder às quatro questões que descrevemos a seguir:

- Como analisar o problema das ocupações irregulares na Área de Proteção e Recuperação da Bacia Hidrográfica do Guarapiranga (APRM-GP)? Para compreender a força desse fenômeno sócio-metropolitano, formulamos a hipótese que as ocupações irregulares constituem uma *rede de interessamento* muito difícil de transformar.
- Como lidar com esse problema complexo? Definimos uma política pública *ecocentrada*, uma política da água, qual seja uma *política de gestão integrada e participativa* na Bacia Hidrográfica do Guarapiranga, cuja especificidade está na problemática das ocupações irregulares, que está resultando em uma série de ações voltadas à *regularização fundiária sustentável e participativa* (RFSP).
- Como definir e implementar esta política de água? Conduzimos uma *pesquisa-ação baseada no pragmatismo* para experimentar as condições de viabilidade dessa política, que diz respeito tanto à sua definição quanto à sua implementação.
- Como experimentar a definição e implementação desta política de água específica e inovadora? Propomos como dispositivo de experimentação uma *modelagem pragmática* que será baseada nos ensinamentos da *sociologia da inovação*.

Cada uma dessas respostas definiu uma etapa da metodologia da pesquisa que exporemos a seguir. Apresentaremos, na sequência, os primeiros resultados dessa pesquisa-ação, cujos trabalhos sofreram adaptações devido à pandemia COVID-19, e as perspectivas.

METODOLOGIA

A metodologia adotada para conduzir a pesquisa-ação baseou-se nos quatro movimentos definidos no capítulo anterior.

Analisar as ocupações irregulares como uma rede de interessamento

Nossa problemática inicial analisa as ocupações irregulares na “Área de Proteção e Recuperação da Bacia Hidrográfica do Guarapiranga (APRM-GP)” como uma rede de interessamento e esboça uma solução: construir uma rede de interessamento alternativa em torno da saúde.

Um primeiro estudo foi realizado com base nas análises acadêmicas sobre as ocupações irregulares a fim de compreender a força desse fenômeno sócio-metropolitano, criticado por quase todos, mas que a maioria dos políticos e governos parecem estar “resignados”. Chegamos às seguintes hipóteses: as ocupações irregulares constituem uma *rede de “interessamento”* (Callon e Latour, 1981) que associa atores bem diferentes como: os moradores das ocupações irregulares, as administrações que as defendem (por exemplo, a Defensoria Pública), os loteadores ilegais, certos políticos “em busca de voto”. Esta *rede de “interessamento”* se organiza de acordo com a seguinte problematização: *as ocupações irregulares nas áreas ambientais protegidas são uma solução para os problemas de habitação das populações pobres*. A combinação desses componentes heterogêneos se efetua conforme quatro modalidades de ação independentes, mas coordenadas, que alinham os interesses dos atores, que eram diferentes no início, e estabilizam a rede:

- a falta de políticas habitacionais que provoca as ocupações irregulares;
- a rentabilidade do mercado dos loteamentos ilegais, baseada na possibilidade da captura de valorização antecipada advinda da intervenção de regularização, que favorece o desenvolvimento das ocupações irregulares nas franjas urbanas e nas zonas ambientais protegidas (ABRAMO, 2009);
- o princípio do direito à moradia para as populações pobres que promove a regularização das ocupações, independentemente da área ocupada, e justifica as leis “complacentes”;
- as estratégias de clientelismo eleitoral que favorecem as ocupações irregulares que os políticos “trocam” por votos e, por vezes, orientam a escolha dos locais, inclusive em áreas ambientais protegidas.

A produção de uma nova realidade sócio-metropolitana, como as “ocupações irregulares”, trata-se de “*um processo pelo qual os vários elementos são capturados e articulados num sistema de interdependência e eventualmente levados a agir como um todo integrado cujas forças, no lugar de se neutralizar, convergem numa mesma direção se apoiando uns aos outros*” (QUÉRÉ, 1989, p. 106). Neste quadro constrangedor, há uma relação de causa e efeito entre a multiplicação de ocupações irregulares e a degradação ambiental (SAGLIO-YATZIMIRSKY, 2006, ABRAMO, 2009, VERÍSSIMO, 2011). A população precária, com o apoio dos loteadores ilegais, ocupa ilegalmente áreas que não interessam ao mercado imobiliário, porque elas são protegidas ou impossíveis de edificação, por exemplo, as áreas florestais do Norte ou no entorno de reservatórios de água ao Sul

do município de São Paulo. Esta situação expressa um antagonismo real entre dois direitos fundamentais: o direito a um ambiente ecologicamente equilibrado (ALVES JUNIOR, 2012) e o direito à moradia (SANTOS, 2013).

Como superar esse conflito? A experiência do Fórum Agenda 21 Macro Leste da cidade de São Paulo (OKAMURA, 2018), co-coordenada por um dos autores deste artigo, desde 2005, mostrou a necessidade do diálogo entre os porta-vozes desse conflito e ajudou a desenhar os contornos de uma possível solução: a *regularização fundiária sustentável e participativa* (RFSP). Nesse fórum, foi criado um grupo de trabalho, composto pelas instituições concernidas e representantes da comunidade, que começou a trabalhar com uma área piloto proposta pela Defensoria Pública, na perspectiva de construir um novo modelo de regularização fundiária com a participação dos moradores, buscando recursos para habitações sustentáveis e com soluções “inéditas” propostas pelos órgãos públicos para as áreas protegidas e regularização fundiária.

No entanto, com essa experiência, verificamos que proporcionar um espaço de participação não é suficiente para gerir esta situação controversa. Efetivamente, no caso da experiência do Fórum Agenda 21 Macro Leste, a participação se confrontou à *rede de “interessamento”* que estabiliza as ocupações irregulares sob sua forma atual, ou seja, antagonista com o ambiente, pois, quando o processo estava em estágio avançado, com o engajamento inédito e participativo das várias instituições envolvidas, junto com os moradores, os líderes da Associação de Moradores e a Defensoria Pública resolveram dar fim ao projeto. Uma vez que as “ocupações irregulares” constituem uma *rede de “interessamento”*, devemos propor uma outra estratégia de “*interessamento*”, o que não foi feito pelo Fórum Agenda 21 Macro Leste. Para superar esse conflito entre dois direitos fundamentais e incomensuráveis, precisamos de um novo elemento suscetível de criar uma nova ligação entre os parceiros desse diálogo conflituoso, interessar ambas as partes e favorecer a discussão sob novas bases.

Desta forma, colocamos como proposta e pressuposto: que o elemento que parecia faltar no debate da Agenda 21 poderia ser a contaminação microbiológica das águas, ou seja, nossa hipótese 2 se constitui no seguinte: é possível se apoiar na *contaminação microbiológica das águas* para definir uma estratégia de “*interessamento*” alternativa, explicaremos a seguir.

A degradação ambiental se traduz também por problemas de saúde que afetam os habitantes dessas ocupações irregulares. A falta de esgotamento sanitário e coleta de lixo, bem como algumas atividades do-

mésticas da população de assentados, contaminam recursos hídricos que, muitas vezes, são fontes de água para milhões de pessoas, o que afeta a saúde dos próprios assentados além de repercutir na saúde de populações distantes cujo abastecimento de água, mesmo que tratada, provém dessas fontes contaminadas³.

Esta problematização permite esboçar uma nova estratégia de *interessamento*. Propusemos para essa pesquisa um *estudo microbiológico* para analisar a contaminação microbiológica das águas de uma área piloto no Guarapiranga. Esta *pesquisa ação participativa* que envolve os representantes dos moradores, tanto quanto possível, nas diferentes etapas de sua realização pretende impulsionar a educação ambiental junto aos habitantes das ocupações irregulares, sensibilizando-os para o fato de que a degradação do ambiente ao qual eles contribuem também resulta em impactos na própria saúde desses moradores.

Definir uma política de água específica para lidar com o problema das ocupações irregulares

Sabemos que problemas tão complexos não serão resolvidos apenas por meio de ações para melhorar a saúde e que necessário se faz definir e implementar uma verdadeira política pública para lidar com o problema complexo das ocupações irregulares nas áreas de mananciais. De que política pública se trata? Esta política de gestão integrada e participativa na Bacia Hidrográfica do Guarapiranga refere-se a uma política da água. Como utilizar as análises teóricas da política de água, apresentadas na introdução deste artigo, para favorecer a emergência desta política da água específica que nos interessa? A nossa própria política da água deverá integrar na sua definição os requisitos impostos pelas características genéricas das políticas da água.

Primeiro, como propomos empregar uma política de água para lidar com o problema das ocupações irregulares, perguntamos qual *entidade ambiental* relacionada à água é afetada por esse problema? Responderemos: é a *Bacia Hidrográfica do Guarapiranga* que colocaremos no centro da nossa nova política; uma vez que ela continua sendo objeto de várias apropriações e modificações para prestar-se a diferentes objetivos huma-

3 Os impactos dessas situações são evidenciados pelo Programa de Monitorização das Doenças Diarreicas Agudas (MDDA) que mostra que entre os anos de 2000 e 2011 foram 33.397.413 novos casos da DDA no Brasil, sendo desses 5.529.431 (16,5%) no estado de São Paulo. Os dados do Programa revelam 53.551 óbitos por diarreia e gastroenterite de origem infecciosa presumível no Brasil e 6.872 (13%) no estado de São Paulo.

nos. A Bacia Hidrográfica do Guarapiranga foi transformada pela primeira vez, a partir de 1928, para integrar a Represa do Guarapiranga com sua zona de proteção aos mananciais e, concomitantemente, para abrigar clubes náuticos, restaurantes e outras amenidades associadas ao lazer náutico da população paulistana. Nova transformação ocorre depois da década de 1970, pois a construção de um polo industrial abrindo novos postos de trabalho atrai uma população considerável para a região. Por fim, entre as décadas de 1980 e 1990, surgem os loteamentos populares clandestinos ao redor da represa, que crescem desordenadamente tendo como uma das consequências o lançamento de esgoto não tratado na represa.

Segundo, considerando o requisito relativo à *ausência de definição comum de “água”*, implementaremos uma política de *gestão integrada* da Bacia Hidrográfica do Guarapiranga. Essa política coordenará essas diferentes redes de ação pública, que são os parceiros institucionais do projeto, e articulará as várias políticas setoriais que eles promovem. Para isso, implementamos um dispositivo de parceria, o *fórum das instituições* para promover uma discussão entre partes envolvidas nos problemas (principalmente habitação, saúde e meio ambiente) a fim de definir e implementar soluções integradas.

Em terceiro lugar, a *publicização da água* exige a organização de debates nos quais podem ser expressas não apenas as diferentes posições das instituições, que o fórum das instituições permite, mas também aquelas que existem no seio da população. Para tanto, estabelecemos um processo participativo que acompanhará a elaboração e a implementação da nova política pública, apoiando-se no *fórum de moradores* onde representantes da população e líderes comunitários estão sendo associados para empoderar e envolver os moradores das ocupações irregulares. Para responder melhor às preocupações dos moradores de ocupações irregulares, dedicaremos um dos eixos de nossa futura política pública à *regularização fundiária sustentável e participativa*.

Em seguida, o requisito referente às *operações de objetivação* chama a nossa atenção para a importância dessas operações na legitimação da nova política. Essas operações não dizem apenas respeito ao ambiente biofísico (medidas do fluxo de água, de poluição etc.), mas igualmente ao meio antrópico. A *especialização científica e técnica* constituirá uma dimensão importante de nossa política de gestão integrada e participativa para a Bacia Hidrográfica do Guarapiranga.

Enfim, a exigência do necessário trabalho de *aprendizagem cognitiva e prática* para acompanhar a formulação da nova política enfatiza a dimen-

são experimental da nossa proposta de nova política, que será baseada em um dispositivo experimental, a modelagem pragmática, aberto aos parceiros institucionais e à população, a fim de permitir identificar soluções e experimentar ações transformadoras na escala das áreas-piloto.

Assim, propomos experimentar a elaboração e implementação de uma política de gestão integrada e participativa da Bacia Hidrográfica do Guapiranga, cuja especificidade está no problema das ocupações irregulares que resultará em uma série de ações voltadas à regularização fundiária sustentável e participativa (RFSP). Descreveremos a elaboração concreta desta política nos capítulos seguintes.

Conduzir uma pesquisa-ação baseada no pragmatismo

Conduzimos uma pesquisa-ação baseada no pragmatismo para experimentar as condições de viabilidade desta política. Que postura de pesquisa propomos que seja compatível com a nossa problemática? Nossa abordagem de pesquisa é inspirada primeiro pela pesquisa-ação, cujos princípios foram formulados no final da década de 1940 por Kurt Lewin, um psicólogo americano especializado em psicologia social. Para Lewin, a experimentação é essencial para fundar uma proposição científica, mesmo nas ciências sociais. Defendendo que só se pode entender a realidade a que um conceito se refere agindo sobre ela, Lewin é levado a considerar um “experimento na vida cotidiana”, que o levará a definir a pesquisa-ação cujos princípios são enunciados pelo sociólogo Guy Le Boterf:

“A pesquisa-ação é um processo no qual os atores sociais não são mais considerados como meros objetos passivos de investigação, mas cada vez mais se tornam sujeitos que conduzem pesquisa com a colaboração de pesquisadores profissionais. Portanto, são os grupos sociais envolvidos que identificarão os problemas que desejam estudar, realizarão uma análise crítica e buscarão soluções [...] entre o pesquisador ou especialista e os atores, são estabelecidas relações de cooperação e educação mútua. O pesquisador aprende com a experiência dos atores, e os atores aprendem com as metodologias e técnicas do pesquisador” (LE BOTERF, 1983: 44, traduzido do francês pelos autores).

Essa postura, que associa atores sociais e pesquisadores, um desejo de mudança e uma intenção de pesquisar, coprodução de conhecimento e contextualização de conhecimento, nos convém. No entanto, em prol da coerência com outras reflexões sobre o problema, acoplamos, a fim de enriquecê-la, a postura pragmatista do compromisso (DEWEY, 1993) do pesquisador das ciências sociais com os processos de transformação da

sociedade. O envolvimento das ciências sociais nos processos de transformação da sociedade é uma consequência dessa postura pragmática, uma vez que a investigação como processo experimental básico implica que existe uma relação fundamental entre a investigação do senso comum e a investigação científica. Uma segunda razão que motiva esse compromisso é que “para ser verdadeiramente” claro “(isto é, para reivindicar o status de uma declaração científica), uma ideia deve ter levado em conta as consequências práticas que é capaz de produzir, que somente a experimentação pode revelar” (DAYNAC, 2002, p. 3). Em vez de analisar a correspondência, a adequação entre uma teoria e um objeto de estudo fixo no presente, o pesquisador contribui para as transformações recíprocas da teoria e do campo. Isso requer o envolvimento do pesquisador na evolução em curso.

Em resumo, nossa pesquisa é pesquisa-ação, um compromisso entre as propostas resultantes de análises teóricas e as possibilidades de ações oferecidas pela qualidade da parceria e participação que organizamos nas áreas piloto. Não realizamos uma análise geral da urbanização capitalista desigual que produz ocupações irregulares, mas desejamos “mais modestamente” enfrentar a situação concreta das ocupações existentes ao redor do reservatório de Guarapiranga, buscando melhorar a qualidade urbana e ambiental com quatro instrumentos de transformação: parceria interinstitucional, participação cidadã, educação ambiental e tecnologia social.

Desenvolver uma modelagem pragmática baseada na sociologia da inovação

Finalmente, estamos utilizando como dispositivo de experimentação uma modelagem pragmática baseada nos ensinamentos da sociologia da inovação.

A modelagem pragmática como dispositivo de experimentação

Nosso método é inspirado pelo pragmatismo. Para começar a resolver problemas excessivamente complexos, como o das ocupações irregulares nas áreas protegidas dos mananciais, desenvolvemos um dispositivo experimental, *a modelagem pragmática*, que funciona aqui como um quadro de interações reais que permite simplificar o fenômeno problemático, identificar soluções e experimentar ações transformadoras na escala de uma ou mais áreas-piloto que serão transpostas para outros lugares, antes de serem generalizadas, através da implementação de normas administrativas.

A modelagem abrange três operações.

1) A simplificação do fenômeno estudado, neste caso refere-se às ocupações irregulares nas áreas de mananciais, para que se possa intervir nele. Descreve a rede de atores principais e suas lógicas de ação que participam da produção do fenômeno, com hipóteses de funcionamento e transformação. Esta primeira fase corresponde à rede de interessamento e ao antagonismo entre os dois direitos fundamentais.

2) O estabelecimento de um quadro de interações que simule as inter-relações mais complexas da sociedade e que possibilita experimentar transformações dentro do modelo. Definimos quatro alavancas de transformação: participação, parceria, educação ambiental e tecnologia social. Serão colocados em prática quatro dispositivos de interação que utilizarão essas alavancas transformadoras: os dois fóruns de participação e parceria, a pesquisa participativa e o polo de tecnologia social. Cada um desses dispositivos nos permitirá definir e experimentar as ações do programa.

3) A experimentação em pequena escala (em áreas piloto), representando um território mais complexo, permite contextualizar e analisar os efeitos do contexto na ação. Escolhemos duas áreas piloto fortemente contrastadas, para contextualizar nosso programa de ação.

Assim, na segunda fase do projeto deverá ser trabalhada a questão da operacionalização dos resultados da pesquisa-ação, que serão traduzidos em uma norma administrativa a ser implementada na ação pública para transformar a situação em toda Área de Proteção e Recuperação da Bacia Hidrográfica do Guarapiranga.

Estabelecimento do dispositivo experimental

Um resultado importante dessa primeira fase da pesquisa refere-se ao estabelecimento do dispositivo experimental pela escolha das áreas piloto e pela implementação de dois fóruns que constituem as principais ferramentas para mudança.

Escolha das Áreas Piloto

Foram selecionadas duas áreas piloto contrastantes que correspondem a um conjunto de subacias hidrográficas: As subacias selecionadas fazem parte da Bacia Hidrográfica do Rio Caulim, localizada ao sul do município de São Paulo, na área de abrangência da Subprefeitura de Parelheiros. A definição dos critérios para a seleção das áreas piloto foi feita levando em consideração as discussões com a equipe do projeto e os parceiros.

Área piloto 1 responsável por grande parte da carga de fósforo no reservatório: 10,5%, corresponde ao centro de Parelheiros, caracterizada pela alta densidade de urbanização e seu caráter popular refletido na importância das ocupações irregulares antigas e consolidadas. Nessa área, há uma grande oportunidade de melhorar as redes e equipamentos de saneamento, porque uma parte significativa das casas não está conectada à rede de esgoto. Essa área oferece a possibilidade de ações de monitoramento pois possui um ponto de ~~controle para~~ monitoramento da evolução do controle da poluição, na saída da subacia. Nesta área piloto, teremos que enfrentar problemas com forte dimensão técnica e quantitativa.

Área piloto 2, também localizada em Parelheiros, mas muito diferente da anterior. É uma área rural com baixa densidade de urbanização, onde permanecem muitas áreas naturais, mas onde ocupações irregulares estão se desenvolvendo rapidamente. Nessa área, havia dois projetos inovadores para a proteção de espaços naturais, um projeto municipal do Parque Linear Ribeirão Caulim e um projeto piloto de sistema de zonas úmidas (wetland) para melhorar a qualidade da água. Estes dois projetos estão paralisados, mas, por meio da constituição e implementação do Fórum das Instituições, que abordaremos no próximo item, estuda-se a possibilidade de implementá-los. Nesta área, teremos que enfrentar problemas com forte dimensão social e qualitativa.

Lançamento do Fórum das instituições

Para o envolvimento das diversas instituições, foi realizado um trabalho intensivo de articulação, que consistiu em entrevistas, reuniões e trabalho de campo, do qual resulta o Fórum das Instituições, que foi criado para promover a discussão entre as partes interessadas concernidas nos problemas abordados pelo projeto (CETESB, SABESP, Secretarias estaduais e municipais da Habitação, da Saúde e do Meio Ambiente, Ministério Público, Polícia Ambiental etc.), a fim de iniciar um gerenciamento integrado nas áreas piloto.

O Fórum das Instituições foi lançado em 18/06/2019, primeiramente apenas com as instituições da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SIMA), e depois agregou a participação dos órgãos municipais. As reuniões apresentaram um avanço nas quais foram definidas as primeiras ações do programa para a regularização fundiária sustentável e participativa. A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) apresentou propostas para melhorar a rede de esgotos nas áreas piloto: estações de bombeamento, programa

“Córrego Limpo”, programa “Se Liga na Rede”. O Departamento de Planejamento Ambiental da Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente (DEPLAM/SVMA) propôs à SABESP apoio para a implementação do projeto municipal do Parque Linear Ribeirão Caulim e experimentar um sistema de zonas úmidas (*Wetland*) piloto para melhorar a qualidade da água do Rio Caulim. A Coordenadoria de Educação Ambiental da SIMA (CEA/SIMA) ofereceu apoio aos diversos projetos (parque linear, *Wetland* piloto, melhoria da rede de saneamento, proteção ambiental, estudo microbiológico etc.).

Reunião de lançamento do Fórum dos moradores

Para preparar o Fórum dos moradores, um trabalho de campo intenso foi realizado pela equipe do projeto a fim de conhecer os segmentos da sociedade civil e lideranças da região.

O lançamento do Fórum dos Moradores ocorreu na quinta-feira, 6 de fevereiro de 2020, com todos os líderes comunitários, cerca de cinquenta, da nossa área de estudo.

Os líderes comunitários de Parelheiros que participaram dessa reunião foram os representantes das ocupações consolidadas ou mesmo regularizadas situadas mais s ao centro. Observou-se um grande interesse por parte desses líderes em melhorar a qualidade ambiental de seu bairro e a maioria aprovou os objetivos do projeto. Algumas sugestões foram feitas em relação ao projeto tal como chamar os conselheiros das APAs (Áreas de Proteção Ambiental) para participarem do projeto, pois há muita tecnologia de saneamento que poderia ser discutida e aplicada na área, como banheiro seco, fossas biodigestoras, entre outras. Foram indicados locais que contribuiriam para a melhoria da qualidade ambiental, por exemplo, o córrego que passa ao lado da Subprefeitura e é afluente do Caulim, pois, segundo essas lideranças, exigiria uma obra muito pequena para ligar os esgotos na Estrada Ecoturística de Parelheiros e daria uma boa contribuição para a limpeza do córrego.

Para concluir esse primeiro encontro, o Subprefeito, presente nessa reunião, explica que é importante que o projeto tenha um modelo que mostre resultados de melhoria na qualidade das águas, e reforça que todos são responsáveis pelo seu sucesso.

Gerir o projeto de pesquisa de acordo com as regras da sociologia da inovação

Utilizamos a sociologia da inovação (LATOUR, 1992) para gerenciar o projeto de pesquisa-ação como um projeto inovador, ou seja, um projeto “frágil” que deve necessariamente ser fortalecido, redefinindo-o para interessar aliados. É por isso que nosso projeto experimental de políticas públicas, que definimos primeiro de acordo com a problemática inicial, teve que ser transformado para atender a novos objetivos, a fim de interessar as várias redes de ação pública pré-existentes para integrá-las em experimentação e, finalmente, em nova política pública.

Conforme exposto na problemática inicial, as ocupações irregulares constituem uma rede de “interessamento” muito difícil de transformar. Para transformar esta situação, propusemos uma estratégia alternativa de “interessamento” apoiando-se na contaminação microbiológica das águas. A objetivação do risco de contaminação será fornecida pela pesquisa sobre contaminação microbiológica que está sendo realizada por nossos parceiros da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (FSP-USP) integrada à nossa pesquisa-ação. A publicização do risco se baseará na maior integração possível dos representantes dos moradores no estudo microbiológico para torná-lo uma *pesquisa participativa de base comunitária* (HOULLIER, 2013), que funcionará como um dispositivo de interessamento envolvendo os moradores por intermédio da relação com a saúde de familiares e parentes. A rede alternativa de interessamento é, portanto, uma rede de ação pública que reúne as administrações municipais e estaduais da Saúde, FSP-USP, CETESB e Coordenadoria de Educação Ambiental para implementar *ações de educação ambiental baseadas em saúde*.

Este projeto inicial foi enriquecido com o objetivo de interessar os parceiros porta-vozes das redes de ação pública pré-existentes. Nessa fase, reuniões com especialistas possibilitou enriquecer a problemática. Assim, em entrevista e discussões com uma técnica, na ocasião assessora da diretoria da CETESB para assuntos relativos a mananciais, permitiu considerar melhor a dimensão técnica do projeto que por sua vez proporcionou maior envolvimento da CETESB e da SABESP. Para esses parceiros, a poluição do reservatório é a consequência das repercussões na rede hidrográfica das deficiências e disfunções das redes de saneamento. Essa situação problemática é objetivada pelo monitoramento da qualidade da água do reservatório. A solução proposta é, portanto, melhorar as redes de saneamento gerenciadas pela SABESP. A integração em nosso projeto

de pesquisa dessa rede de ação pública, que reúne os serviços da CETESB e da SABESP, permite implementar *ações de melhoria do saneamento*, que possui forte capacidade de interessamento, pois responde ao problema da falta do saneamento, que preocupa a subprefeitura de Parelheiros, onde estão localizadas nossas áreas piloto, e as populações de ocupações irregulares que estamos estudando.

Outro especialista, Coordenador do Comitê de Integração de Apoio às Áreas de Mananciais, nos familiarizou mostrando a visão dos funcionários da SIMA. Para o porta-voz dessa rede de ações públicas, o principal problema no Guarapiranga é o desenvolvimento das ocupações irregulares nas áreas de proteção dos Mananciais, que ameaçam o abastecimento de água potável da Região Metropolitana de São Paulo. As três soluções que ele propõe são a fiscalização integrada para bloquear o desenvolvimento de ocupações irregulares; o desenvolvimento local com atividades eco-compatíveis e lucrativas baseadas em recursos territoriais (agroecologia, agroturismo, clubes de lazer etc.) para ocupar áreas ameaçadas, e a conservação de espaços naturais para bloquear a urbanização. A fiscalização integrada utiliza operações de objetivação que integram as denúncias dos habitantes, as reuniões da Operação Integrada Defesa das Águas (OIDA), as cartografias satelitárias da SIMA para tornar visíveis os desmatamentos, as ocupações irregulares e sua evolução. Essa rede de ação pública, que reúne serviços da SIMA, Polícia Militar Ambiental, Guarda Civil Metropolitana, eleitos e ativistas do Partido Verde, associações de defesa ambiental, entre outros, permite implementar *ações de fiscalização integrada, ações de desenvolvimento territorial e ações de conservação*. Seu potencial de interessamento para a população reside no desenvolvimento econômico sustentável de parte das áreas de mananciais e no desenvolvimento de atividades de lazer em parques naturais.

Esse gerenciamento do projeto, com base no interessamento das várias redes de ação pública preexistentes, apresenta um problema específico: o risco de uma pesquisa-ação dividida entre diferentes objetivos divergentes ou até incompatíveis, e é por isso que não adotamos completamente cada uma dessas posições e fizemos uma triagem para poder torná-los compatíveis. Essas diferentes ações têm permitido compor gradualmente nosso *programa de ações*, que deverá respeitar um certo equilíbrio entre os componentes, com base em um compromisso entre o interessamento dos parceiros e a sustentabilidade do programa. Por exemplo, prestaremos atenção específica às ações de conservação, na medida em que a urbanização deve ser bloqueada nas áreas de proteção dos mananciais,

porque mesmo que essa urbanização fosse a mais sustentável possível ela comprometerá a produção de água pura em quantidade e qualidade, que depende da conservação de fontes de água e da vegetação.

RESULTADOS PROVISÓRIOS

Devido à pandemia COVID-19, nossa pesquisa foi adiada principalmente no que se refere ao trabalho de campo que teve que ser interrompido, especialmente porque os habitantes da periferia sul da RMSP - Região Metropolitana de São Paulo, local das áreas piloto, estavam entre os mais afetados pela pandemia. As reuniões dos fóruns tiveram que ser canceladas e depois de um período de adaptação passamos a realizar reuniões virtuais bem como entrevistas virtuais. Desta forma, neste artigo, apresentaremos os resultados provisórios.

Aprofundamento do diagnóstico inicial

Conduzimos um aprofundamento do diagnóstico inicial com os parceiros institucionais. Trata-se de três temas: a história das ocupações irregulares no Guarapiranga; a análise das regulamentações relativas ao Guarapiranga; e um tema imprevisto que foi revelado pelo trabalho de campo, a análise do funcionamento do PCC (Primeiro Comando da Capital) que atua fortemente na região em estudo.

História das ocupações irregulares no Guarapiranga

No diagnóstico inicial, já havíamos abordado a análise das ocupações irregulares que ocorreram no período de 1973-2003 na área do Guarapiranga (TASCHNER, 1993, SCAGLIUSI, 2013), a qual mostra, primeiro, *um forte avanço dos movimentos sociais* apoiados pelo PT (Partido dos Trabalhadores) e outras organizações de esquerda, durante a década de 80, que se traduziu por um pico de ocupações irregulares de terras em 1989 e 1990. Essas novas ocupações, em seguida, tomam um caráter coletivo e planejado, ao contrário das favelas tradicionais que também são ocupações, mas feitas de forma mais individualizada e progressiva.

A partir de 1994, um segundo pico de ocupações irregulares indica uma nova dinâmica social e espacial marcada pela intensificação das ocupações em áreas protegidas (parques e reservas, às margens da Serra da Cantareira e, especialmente, de reservatórios de água da capital como Billings e Guarapiranga) e por novas estratégias de ocupações irregulares que envolvem proprietários, “laranjas”, grileiros e supostas associações de moradores que são, na verdade, *agentes imobiliários disfarçados de*

movimento social organizado. O apoio ao direito à moradia dos “mais” pobres e os interesses eleitoreiros favorecem a aproximação com este novo movimento de ocupações irregulares associado aos loteadores ilegais. Esse movimento começa a envolver, além dos mais “pobres”, pessoas com rendimentos mais elevados.

O aprofundamento do diagnóstico inicial foi possível com a análise das entrevistas realizadas com os parceiros administrativos e com os moradores, somada às visitas ao campo, que confirmam uma terceira evolução a que assistimos, marcado pela *ascensão do Primeiro Comando da Capital* (PCC), a primeira organização do crime organizado no Brasil, atraído pela alta lucratividade do mercado dos loteamentos irregulares. A entrada do PCC marca uma aceleração brutal do processo de ocupações irregulares, porque esse novo ator possui uma capacidade financeira, organizacional e de imposição pela força, desproporcional em relação aos atores anteriores. As observações no campo, confirmadas pelos testemunhos, nos leva a hipótese de que o PCC passaria a agir como um *promotor integrado*, um interlocutor único que desenvolve um verdadeiro setor econômico das ocupações irregulares, desde a prospecção (parceiros evocaram o uso do helicóptero para escolher o terreno mais apropriado) até a venda de materiais de construção para os compradores (algumas lojas de material de construção são gerenciadas pelo PCC), através da apropriação, segurança do terreno escolhido, divisão, viabilização e venda das parcelas, consultoria jurídica, garantia de contratos, organização de compradores e negociação com as administrações. Finalmente, como os loteamentos irregulares são mercados informais, eles não se beneficiam da garantia das instituições, parece que o PCC compensou essa falta: ele também desempenharia o papel de uma “autoridade local” que usa violência e controle pela força para garantir transações no mercado dos loteamentos irregulares. Essas conclusões, que são apenas hipóteses, devem ser colocadas em perspectiva. De fato, se a bibliografia sobre o PCC é abundante, não encontramos nenhuma análise sobre sua entrada no mercado dos loteamentos irregulares, no máximo alguns artigos de imprensa. Informações sobre uma organização criminosa muito específica, construída com base no modelo de sociedades secretas (FELTRAN, 2018) são, portanto, difíceis de obter e verificar, e será necessário ter cuidado com qualquer conclusão precipitada ou até sensacional.

Análise dos regulamentos relativos ao Guarapiranga

No que diz respeito à história das regulamentações, nosso principal problema é explicar sua relativa ineficácia. Após o estudo preliminar da

legislação e das entrevistas realizadas, em particular com funcionários da Secretaria Municipal de Habitação (SEHAB), podemos ver a repetição de um ciclo em que a promulgação da legislação destinada a impor regras ao desenvolvimento urbano (rede viária, loteamento, moradia, infraestrutura etc.) é acompanhada por uma “anistia” de edifícios anteriores a isso, até que a legislação atualize as regras e ocorra nova anistia aos desenvolvimentos anteriores a este. Um outro resultado do diagnóstico refere-se à redefinição da regularização como *um processo de irreversibilização progressiva*. A regularização fundiária é apresentada do ponto de vista jurídico como todas as intervenções que “*incluem medidas legais, urbanas, ambientais e sociais destinadas a integrar núcleos urbanos informais no planejamento urbano e emitir títulos de propriedade para seus ocupantes*” (artigo 9 da lei federal 13.465 de 2017). Nossa pesquisa nos leva a analisar a regularização de outro ângulo. Considerando o habitual *modus operandi* das ocupações irregulares, desde a aquisição (legal ou não) de um terreno até seu parcelamento e ocupação pelos moradores, podemos considerar que as etapas sucessivas do processo configuram um processo de *irreversibilização* desta ocupação. A fase crucial para tornar o processo irreversível parece ser erigir uma habitação, mesmo que seja precária e temporária, e mostrar que é habitado. Esses dois suplementos de análise poderiam explicar a relativa ineficácia dos vários regulamentos relativos às ocupações irregulares no Guarapiranga.

Análise das causas da hegemonia do PCC nas periferias

Duas pesquisas (FELTRAN, 2018, HIRATA, 2018) com argumentos semelhantes pareciam ser particularmente relevantes. Para Hirata, a hegemonia do PCC nas periferias é baseada em uma construção ideológica: “*a vida social concebida como ‘uma guerra’ e os indivíduos pobres idealizados como ‘guerreiros’: nesse quadro, a receita para ser um ‘guerreiro’ impecável e transitar em meio ao conflito de cabeça erguida é adotar o ‘proceder’, um padrão ético que deve guiar pensamentos, palavras e ações. O ‘proceder’ baliza os passos dos trabalhadores honestos. E também daqueles que enveredaram pelos caminhos do crime, definindo para estes ‘a maneira certa de fazer a coisa errada’*” (ARANTES, 2019, p. 1). Essa ideologia é baseada em uma experiência urbana comum de moradores e criminosos. De fato, a vida em “lugares muito violentos, onde as fronteiras entre o legal e o ilegal, a vida e a morte são extremamente tênues – lugares em que *a sobrevivência na adversidade* era um desafio cotidiano”. Tanto a moradia na periferia quanto a organização criminosa do PCC são maneiras de “sobreviver na adversidade”.

Para Feltran, o PCC não se assemelha a outras facções criminosas, gangues americanas, máfias italianas, russas ou orientais. Para explicar como o PCC funciona, o modelo militar ou econômico não é suficiente (embora a face mercantil e militar seja evidente) devemos usar *o modelo de irmandades secretas* (Maçonaria). O PCC é “uma organização secreta visando o fortalecimento do crime e das periferias”. Seu desenvolvimento está ligado à formação de São Paulo, onde a urbanização capitalista funcionou desde o início como uma “máquina da desigualdade” entre centro e periferias. Nos anos 80, a reestruturação produtiva e as crises econômicas levaram centenas de milhares de trabalhadores à extrema pobreza, enquanto os anos 90 sofreram a explosão do número de homicídios e violência urbana. Três fatores em conjunto explicam esse crescimento: “desigualdade abissal, mercados ilegais pujantes e encarceramento massivo de pequenos operadores”. É lidando com esses três problemas que o PCC estabelecerá “sua *hegemonia político-moral nas cadeias e quebradas*”. Desenvolvimento acelerado dos presídios e número de presos^o(30 presídios em 1990; 170 presídios em 2018; 40 mil presos em 1993; 225 mil em 2017) permitirá a expansão da lógica PCC por todos os presídios do estado que ele irá cogerir de fato. O PCC promoverá sua lei nos presídios: interdição de estupros, homicídios considerados injustos e uso do crack nos presídios; interlocução com direção e agentes penitenciários; conseguir visitas de parentes e advogados e circulação de produtos; criação do Primeiro Estatuto. Também promoverá sua ordem às periferias pela pacificação (queda dos homicídios) e pela regulamentação do tráfico ilegal; atitudes consideradas como traição: “cagueta” (dar informações à polícia ou a outras facções), causar dano financeiro à facção; os conflitos são resolvidos pelo PCC por meio dos debates (“tribunais do crime”); regulação (tabelamento) dos preços nas “biqueiras” (ponto de venda de drogas); mínima exposição de armas e controle rigoroso do uso. “A hegemonia política do PCC é basicamente isso: regulação econômica e reivindicação do monopólio da força e da justiça no crime”. Pela oferta de ‘justiça’ e segurança eficientes a todos e regulação dos mercados ilegais, o PCC contribui para “estabelecimento de uma comunidade de pertencimento” nas periferias.

Não subscrevemos totalmente essa última concepção de um PCC, cujo poder hegemônico nas periferias e prisões permite a construção de uma verdadeira “contra-sociedade”, mas essas análises permitem explicar o controle do PCC no mercado de loteamentos irregulares dado sua experiência empresarial em mercados ilegais e, principalmente, as causas de sua liderança nas comunidades de ocupações irregulares de Parelheiros. Fomos confrontados muito cedo com essa hegemonia do PCC durante

nossa primeira visita a um local de ocupação ilegal no Guarapiranga, em 20 de julho de 2016, mesmo antes do lançamento desta pesquisa sobre ocupações irregulares. O líder comunitário que nos acolhe, Wanderley Lemes Teixeira, chamado de Manolo, é conhecido como um dos principais grileiros da região, é candidato ao cargo de conselheiro municipal em São Paulo pelo Partido Comunista do Brasil e ele é objeto de uma investigação pelo Ministério Público por suas supostas relações com o Primeiro Comando da Capital (PCC). Manolo, que foi considerado o líder do PCC na região de Guarapiranga, foi assassinado em condições pouco claras.

Primeiros resultados do dispositivo experimental

Um dos primeiros resultados do bom funcionamento do Fórum das Instituições foi a criação de um Grupo de Trabalho que reúne a CETESP, o Departamento de Planejamento Ambiental da Secretaria Municipal do Verde e Meio Ambiente da cidade de São Paulo, a SABESP, a Secretaria da Habitação e a Subprefeitura de Parelheiros, com a finalidade de tornar viável a implementação de dois projetos, o Parque Linear Ribeirão Caulim e o sistema de zonas úmidas (wetland) piloto. A implementação desses dois projetos de proteção de áreas naturais faz parte do programa de ações para a regularização fundiária sustentável e participativa (RFSP).

As visitas ao campo, ainda que limitadas por conta da pandemia COVID-19, somadas às entrevistas virtuais permitiram elaborar uma proposta de *Requalificação Urbana e Ambiental* para a quadra com *as Nascentes do Córrego Parelheiros e Ribeirão Caulim*, que refere-se a proposta de trabalhar com as pessoas dos aproximadamente 100 imóveis que estão sobre as nascentes do *Córrego Parelheiros e Ribeirão Caulim*, no sentido de ligação de esgotos destas casas na rede coletora mais e conscientização sobre a necessidade de manutenção das áreas verdes nos lotes para perenização das nascentes. O trabalho é desafiador, pois parte dos moradores estão em situação regular, mas a maioria redundante de ocupação de área possivelmente pública. Propomos experimentar nesse local uma abordagem de *recuperação urbanística e ambiental das áreas ocupadas*.

Para dar início ao projeto, foram realizadas entrevistas qualitativas junto aos moradores da quadra e, na sequência, foi instalado o Fórum dos Moradores das Nascentes dos Córrego Parelheiros e Ribeirão Caulim, tendo sido possível realizar encontros iniciais, com número limitado de participantes por conta da pandemia. O Fórum tem o intuito de construir e executar o projeto, elencando as prioridades a partir dos anseios dos

moradores, bem como proporcionar envolvimento e engajamento da população local.

Em relação ao *estudo microbiológico* que foi proposto como suporte para a comunicação de riscos e educação ambiental junto a moradores e escolas dos bairros próximos aos pontos da coleta nas áreas piloto, com a Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (FSP USP) procuramos encontrar alternativas para realizar essa pesquisa participativa de base comunitária, uma vez que, por conta das medidas restritivas decorrentes da pandemia, não foi possível trabalhar com os alunos das escolas. Desta forma, a alternativa encontrada foi realizar o estudo junto com representantes da população que seriam os multiplicadores nas suas comunidades, bem como representantes das escolas, como alguns professores.

Para a coleta de água, foi discutido e acertado que o ponto inicial do estudo seria a quadra com *as Nascentes do Córrego Parelheiros e Ribeirão Caulim*, seguindo adiante com as coletas até a chegada na Guarapiranga. Assim, os participantes seriam envolvidos e sensibilizados acerca do tema das nascentes e a contaminação dos corpos d'água.

Foram no total 10 pontos para coleta de amostras de água, tendo cada um dos 10 pontos 2 amostras: uma em período de chuvas e outra em período de seca. Os dois indicadores selecionados para análise do estudo microbiológico foram os patógenos *Salmonella* (não tifoide) e *Escherichia coli* (mais conhecida como *E. coli*), ambos ótimos indicadores de contaminação das águas, pois a *e. coli* está presente em material fecal e a *salmonella* está presente em esgoto ou lodo de esgoto. Esses indicadores foram escolhidos para verificar o nível de contaminação fecal em diversos pontos ao longo do curso do Ribeirão Caulim, com a proposta de ser um instrumento de sensibilização das pessoas quanto ao risco que correm e a necessidade de ligação do imóvel na rede de esgotos.

As duas coletas foram realizadas, com o apoio dos representantes dos moradores e representantes das escolas e, depois, com os resultados, para o qual está sendo proposto um vídeo educativo, será feito um trabalho de educação ambiental acerca da veiculação de doenças hídricas, expondo os principais afetados, as crianças e os idosos.

Quais são as perspectivas da pesquisa para a etapa? Iniciar as ações de regularização fundiária sustentável e participativa e ações de desenvolvimento territorial, bem como lançar o trabalho educativo com o material do estudo microbiológico para preparar as ações de educação ambiental baseadas em saúde.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Cientistas políticos apontaram, com razão, as dificuldades de desenvolver políticas de água, que são políticas ambientais com foco ecológico. Neste artigo, propusemos apresentar uma abordagem que permita aumentar a viabilidade dessas políticas ambientais. Embora ainda inacabada, nossa pesquisa-ação permitiu identificar algumas condições favoráveis: uma pesquisa-ação que combina conhecimentos e competências de pesquisadores e técnicos; uma fase de experimentação necessária para promover a aprendizagem coletiva dos tomadores de decisão e implementadores; um quadro de parceria e participação para a elaboração e implementação desta política; e considerar a política da água como um projeto inovador que requer uma gestão inspirada na sociologia da inovação.

Uma vez terminada esta experimentação nas duas áreas piloto, o projeto terá continuidade em outras subacias do Guarapiranga, de características diferentes, para testar e melhorar os resultados obtidos. De fato, o objetivo da CETESB, através deste processo de pesquisa operacional, é a tradução dos resultados da pesquisa em normas de ação, sendo que o conjunto dessas normas de ação se constituirão nos dois protocolos operacionais relativos tanto ao gerenciamento das ocupações irregulares nas áreas de mananciais quanto à comunicação do risco de contaminação microbiológica, os quais serão o referencial de ação pública da CETESB que serão aplicados pela instituição em todo o estado de São Paulo. Assim, teremos alcançado o objetivo central do nosso projeto: realizar pesquisas na área de ciências sociais que possam transformar as políticas públicas.

REFERÊNCIAS

- ABRAMO, P. A cidade informal com-fusa: mercado informal em favelas e a produção da estrutura urbana nas grandes metrópoles latinoamericanas. In: ABRAMO, P. (Org.). **Favela e mercado informal: a nova porta de entrada dos pobres nas cidades brasileiras**. 1ed. Florianópolis: ANTAC, 2009, v. 1, p. 48-79. Disponível em: <https://issuu.com/habitare/docs/colecao10>
- ALVES JUNIOR, E. C. de D. O direito fundamental ao meio ambiente ecologicamente equilibrado e a sua devida proteção no ordenamento jurídico brasileiro. In: **Âmbito Jurídico**, Rio Grande, XV, n. 99, abr 2012. Disponível em: <http://www.ambito-juridico.com.br/site/?nlink=revistaartigosleituraeartigoid=11363>
- ARANTES, J. T. **Sobreviver na adversidade, relatório do livro de Hirata Daniel Veloso**, FAPEMA, março de 2019 <https://www.fapema.br/index.php/sobreviver-na-adversidade/>
- CALLON, M.; LATOUR, B. Unscrewing the big Leviathan: how actors macro-structure reality and how sociologists help them to do so. In KNORR-CETINA, K. D.; MULKAY, M. (eds.), **Advances in Social Theory and Methodology: Toward an Integration of Micro and Macro Sociologies**. London: Routledge, 1981. DAYNAC, M. **Pragmatisme, expertise**

- et énoncés scientifiques. Réflexions sur l'utilisation de l'expertise dans la formulation des énoncés scientifiques en sciences sociales.** Paris, Association française de Science des Systèmes, 2002 [En ligne]. <http://www.afscet.asso.fr/resSystemica/Crete02/Daynac.pdf>
- DEWEY, J. **Logique. La théorie de l'enquête.** Paris, Presses universitaires de France, 1993.
- FELTRAN, G. **Irmãos – Uma História do PCC.** 1ª ed. – São Paulo: Companhia das Letras, 2018.
- HIRATA, D.V. **Sobreviver na adversidade: mercados e formas de vida.** Edufscar, Editora da Universidade Federal de São Carlos, 2018.
- HOULLIER, F. Dir. **Les sciences participatives en France. État des lieux, bonnes pratiques et recommandations.** Rapport final, Ministre Éducation Nationale, Enseignement Supérieure et Recherche, Février, 2013.
- LATOUR, B. **Aramis ou l'amour des techniques.** Paris. La Découverte, 1992.
- LE BOURHIS, J. P. La publicisation des eaux. Rationalité et politique dans la gestion de l'eau en France (1964-2003). Thèse de science politique. Université Panthéon-Sorbonne - Paris I, 2004.
- LE BOTERP, G. La recherche-action: une nouvelle relation entre les experts et les acteurs sociaux ? **Pour**, 1983, n°90, p. 39-46.
- OKAMURA, C. Le théâtre et la littérature comme sources d'inspiration pour les sciences sociales. colóquio **Saisir le rapport affectif aux lieux**, Laffont G.-H. Laffont e Martouzet D. (dir.), Centre Culturel International de Cerisy-la-Salle, 2018, 15-22 de junho.
- QUÉRÉ, L. Les boîtes noires de Bruno Latour ou le lien social dans la machine. In: **Réseaux**, volume 7, n°36. Objets techniques, objets sociologiques. 1989, pp. 95-117 URL: <http://www.persee.fr/doc/reso0751-79711989num7361354>
- SAGLIO-YATZIMIRSKY, M.C. La croissance péri-urbaine de São Paulo: favelisation et dégradation environnementale. In: **Dynamiques périurbaines: population, habitat et environnement dans les périphéries des grandes métropoles**, V. Dupont e V. Golaz (dir.), Les numériques du CEPED, 2006.
- <http://www.ceped.org/cdrom/dynamiquesperiurbaines/html/saopaulo.htm>, online.
- SANTOS, C. B. dos. A moradia como direito fundamental In: **Âmbito Jurídico**, Rio Grande, XVI, n. 116, set 2013. Disponível em: <http://www.ambito-juridico.com.br/site/?nlink=revistaartigosleituraeartigoid=13677>
- SCAGLIUSI, F. L. A clandestinidade na ocupação do solo na cidade de São Paulo, **XV Encontro da associação nacional de Programas de Pós-graduação e Pesquisa em Planejamento urbano e regional.** Caderno de Programação e Resumos, Desenvolvimento, planejamento e governança: 30 anos da ANPUR, 22 mai 2013. Disponível em: <http://unuhoopedagem.com.br/revista/rbeur/index.php/anais/article/view/4131>. Acesso em 08 de agosto de 2021.
- TASCHNER, S. P. **Mudanças no padrão de urbanização: novas abordagens para a década de 90.** Anais: Encontros Nacionais da ANPUR [Online], 5 (1993), Disponível em: <http://unuhoopedagem.com.br/revista/rbeur/index.php/anais/article/view/1526>
- VERÍSSIMO, A. A. **Efeitos dos programas de regularização sobre o mercado de solo urbano: a formação das plus valias nas urbanizações informais.** junho de 2011. Disponível em: <http://www.iabrij.org.br/morarcarioca/wp-content/uploads/2011/06/AntonioVerissimo-efeitos-dos-programas-de-regularizacao-sobre-o-mercado-de-solo-urbano.pdf> . Acesso em 20 de outubro de 2020.

ORGANIZADORES E AUTORES

ORGANIZADORES

Denise Machado Duran Gutierrez

Possui Graduação em Psicologia pela Universidade de São Paulo (1983), Mestrado em Psicologia da Saúde pela Katholieke Universiteit van Brabant (1993) e Doutorado em Saúde da Mulher e da Criança pelo Instituto Fernandes Figueira - FIOCRUZ, R.J. (2009). Atualmente é professora associada da Universidade Federal do Amazonas. Tem experiência na área de Psicologia, com ênfase em Psicologia Clínica, atuando principalmente nos temas: cuidados em saúde, gênero e geração. Exerce o cargo de Coordenadora de Tecnologia Social no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA/Manaus) onde atua desenvolvendo projetos de inclusão social através da socialização do conhecimento científico.

Sérgio Roberto Bulcão Bringel

Graduação em Química-Universidade Federal do Amazonas (1974); mestrado em Energia Nuclear na Agricultura-Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (1980) e doutorado em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas) pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (1989). Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia- INPA; Professor da Universidade do Estado do Amazonas.

AUTORES

Albert Reis Furtado

Bacharel em Geologia na Universidade Federal do Amazonas (UFAM), experiência em Geomorfologia, Hidrografia, Sedimentologia, Geologia Estrutural, Petrografia e Geoprocessamento, desenvolvendo projetos na área de Gerenciamento de Bacias Hidrográficas. Mestrando em Geociências pelo programa de pós-graduação em geologia da UFAM na área de geologia sedimentar e meio ambiente. foco no ramo de pesquisa e descobertas no ambiente amazônico.

Ana Rosa Tundis Vital Trigo

Graduação em Tecnologia Florestal pelo Instituto de Tecnologia da Amazônia - UTAM (1987), mestrado em Ciências Florestais pela Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz (1996) e doutorado em Energia na Agricultura pela Universidade Estadual Paulista (2002). Atualmente é pesquisadora titular do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Tem experiência na área de Recursos Florestais e Engenharia Florestal, com ênfase em Hidrologia Florestal, atuando principalmente nos seguintes temas: ciclo hidrológico, bacia hidrográfica, ciclagem de nutrientes, balanço hídrico e ecossistema natural.

Anthony Lopes

Graduação em Gestão Ambiental pelo Centro Universitário de Ensino Superior do Amazonas (2013). Atualmente é Técnico do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). Tem experiência na área de Bioquímica, com ênfase em Bioquímica dos Microrganismos.

Amauri Antonio Menegario

Graduação em Química Industrial pela Universidade de Ribeirão Preto (1988), mestrado em Química (Química Analítica) pela Universidade de São Paulo (1994) e doutorado em Ciências (Energia Nuclear na Agricultura) pela Universidade de São Paulo (1998). É Pesquisador Nível III do Centro de Estudos Ambientais (CEA/UNESP) e Docente do Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente (Instituto de Geociências e Ciências Exatas) da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Atualmente é Coordenador Executivo da Unidade que pertence (CEA/UNESP). Tem experiência na área de Química (com ênfase em Química Analítica e Ambiental), atuando no desenvolvimento de métodos em Biogeoquímica.

Beatriz Isabella Cestaro

Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal do Paraná, na área de concentração de Química Analítica. Possui graduação em Química (Bacharelado e Licenciatura) pela Universidade Federal do Paraná (2016) e Mestrado em Química pela Universidade Federal do Paraná (2019), com ênfase em Química Analítica. Tem experiência na área de Química, com ênfase em Química Analítica.

Caio Cezar Campus

Graduando do Curso de Licenciatura em Química no Instituto Federal do Amazonas.

Camila Fernanda Pinheiro do Nascimento

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Serviço Social e sustentabilidade na Amazônia (PPGSS) da Universidade Federal do Amazonas

Cintia Okamura

Graduação em Ciências Sociais e mestrado em Psicologia Social pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo PUC-SP, Master em Psicologia Ambiental pela Université René Descartes - Paris V, França, doutorado em Psicologia Social pela Universidade de São Paulo IPUSP. Atualmente desenvolve ações de apoio às Agências Ambientais da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) no que se refere à interface com a população, licenciamento ambiental, comunicação e cultura de risco, plano de preparação da comunidade em situações de risco, participação, educação ambiental, entre outros.

Climéia Corrêa Soares

Graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Amazonas (1984). Atualmente é pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA. Tem experiência na área de Sistemática de Fitoplâncton; atuando principalmente nos seguintes temas: composição, diversidade, algas perifíticas, sistemas lóticos, lênticos de ecossistemas aquáticos da Amazônia brasileira.

Débora Cristina Bandeira Rodrigues *in memoriam*[†]

Pós-doutorado em Serviço Social pela PUCRS, doutora na área de Gestão da Inovação em Biotecnologia, professora Associada II do Departamento de Serviço Social e do Programa de Pós-graduação Serviço Social e Sustentabilidade na Amazônia da Universidade Federal do Amazonas. Pesquisadora do Grupo Interdisciplinar de Estudos Socioambientais e Desenvolvimento de Tecnologias Sociais na Amazônia (Grupo Inter-Ação/UFAM) e do Núcleo de Estudos e Pesquisa sobre trabalho, saúde e Intersetorialidade (NETSI/PUCRS).

Domitila Pascoaloto

Doutorado em Ciências, área de concentração Biologia de Água Doce e Pesca Interior (UFAM/INPA-1999); Mestrado em Ciências Biológicas, área de concentração Biologia Vegetal (UNESP,

"Campus" de Rio Claro - 1992) e Graduação em Ciências Biológicas (USP, "Campus" de Ribeirão Preto) (Licenciatura: 1987, Bacharelado: 1988). Atualmente é Pesquisadora Titular do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). Tem experiência em limnologia e ecologia de macroalgas de ambientes lóticos, atuando principalmente nos seguintes temas: limnologia, algas continentais, igarapés de terra-firme, recursos hídricos, qualidade da água, rios de água preta, organismos aquáticos, ecologia aquática na Amazônia, bioindicadores e educação ambiental.

Eduardo Antonio Rios Villamizar

Graduação em Engenharia Química pela Universidade de Los Andes da Colômbia (2002), Especialização em Estudos da Amazônia pela Universidade Nacional da Colômbia (2005), Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia pela Universidade Federal do Amazonas - UFAM (2008), e Doutorado pelo Programa de Clima e Ambiente do INPA-UEA (2013). É pesquisador colaborador no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), onde atua principalmente nos seguintes tópicos: recursos hídricos, hidrologia, qualidade da água, tratamento da água, áreas úmidas, bacias hidrográficas, mudanças climáticas, conservação e serviços ambientais, educação ambiental, ecossistemas aquáticos, limnologia.

Émerson Luis Yoshio Hara

Graduação em Química pela Universidade Estadual de Maringá (UEM), desenvolveu os projetos de mestrado e doutorado em Química Analítica na Universidade Federal do Paraná (UFPR). Em ambos os projetos de pós-graduação foram contempladas a otimização e a validação de técnicas de preparo de amostras, em escala reduzida, a fim de determinar contaminantes orgânicos em nível traço em matrizes ambientais.

Evelyn Barroso

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Serviço Social e sustentabilidade na Amazônia (PPGSS) da Universidade Federal do Amazonas

Fernanda Tunes Villani

Professora do Instituto Federal do Amazonas- IFAM-Manaus/Centro ministrando aulas de Química Geral, Química Analítica, Físico-Química, Instrumentação para o Ensino de Química, História da Química, nos Cursos Superiores e Médio Técnico Integrado. Coordenadora do Projeto Tons da Terra: A Tinta Ecológica e de Baixo Custo à Base de Solos da Amazônia. Desenvolve Atividades de Pesquisa e Extensão no âmbito do IFAM, orientando alunos dos cursos superiores e de ensino médio do instituto.

Genikelly Cavalcanti Machado

Graduada em Química Bacharelado (2003) e Química Licenciatura (2005) pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Mestre em Química Analítica pelo Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo (IQSC-USP) (2010). Doutora em Química Analítica pela Universidade Federal do Paraná (2015). Tem experiência na área de química analítica com conhecimento nos seguintes temas: preparo de amostras, desenvolvimento de métodos analíticos, sistemas cromatográficos e espectrometria de massas.

Guilherme Tunes Villani Mendes

Geólogo pela Universidade Federal do Amazonas, mestrando em geoquímica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com enfoque em gemologia e tratamento de rubi.

Giovanni Augusto Aguiar Ribeiro

Graduação em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ (2003) e mestrado em Agricultura no Trópico Úmido pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazô-

nia - INPA (2006). Atualmente é professor do Instituto Federal do Amazonas (IF-AM) e Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais do INPA. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Fitotecnia, Manejo e Fertilidade dos solos e Meio Ambiente.

Henrique Tunes Villani Mendes

Graduando do Curso de Geologia da Universidade Federal do Amazonas-UFAM

Ingrid Vieira Silva

Geóloga pela Universidade Federal do Amazonas (2019) e mestranda em Geociências na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Jacques Lolive

Doutorado em Ciência Política - Université Montpellier 1 (1997). Atualmente é pesquisador (directeur de recherche) - Centre National de la Recherche Scientifique. Tem experiência na área de questões ambientais: políticas públicas ambientais e sua avaliação, mobilizações associativas, risco e controvérsias ambientais, experimentações participativas e perspectivas ambientais sensíveis e estéticas.

Jennifer Marion Adeney

Graduação em Estudos Americanos e Educação pela University Of California, Santa Cruz (1994) e mestrado em Biologia da conservação pela Columbia University (2003). Tem experiência na área de Ecologia, com ênfase em Ecologia de Ecossistemas.

Márcio Luiz da Silva

Graduação em Geologia pela Universidade Federal do Amazonas (1997), mestrado em Conservação e Manejo de Recursos pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1999), doutorado em Geociências e Meio Ambiente pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2005) e Pós-Doutorado pela Universidade Federal do Ceará (2011). Atualmente é pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Líder do Grupo de Pesquisa RHANIA - Recursos Hídricos em Ambientes Naturais e Impactados na Amazônia e representante da Região Norte na Comissão Brasileira para Programas Hidrológicos Internacionais - COBRAPHI da Agência Nacional de Águas - ANA. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Geologia Ambiental, atuando principalmente nos seguintes temas: recursos hídricos subterrâneos e gestão de recursos.

Marco Tadeu Grassi

Graduação em Química, com mestrado em Química Analítica e doutorado em Química Ambiental pela UNICAMP e pós-doutorado pela University of Delaware (EUA), onde foi professor convidado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Recursos Hídricos (1994-1996). Professor no Departamento de Química da Universidade Federal do Paraná, onde atualmente exerce a função de chefe de departamento.

Maria do Socorro Rocha da Silva

Graduação em bacharelado em química pela Universidade Federal do Amazonas (1982), mestrado em Geofísica pelo Centro de Geociências (1996) e doutorado em Química Ambiental pela Universidade Federal do Amazonas. Atualmente é pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Tem experiência na área de Recursos Hídricos, com ênfase em Química Analítica, atuando principalmente nos seguintes temas: Hidroquímica, Química Ambiental e Avaliação de impactos de metais pesados em rios, igarapés e água subterrânea.

Maria Isabel Barros Bellini

Doutora em Serviço social. Professora do curso de Serviço Social e do Programa de Pós-graduação Serviço Social da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul/PUCRS e coordenadora do Núcleo de Estudos e Pesquisa sobre trabalho, saúde e Intersetorialidade (NETSI/PUCRS).

Maria Teresa Fernandez Piedade

Pós-Doutorado pela Universidade de Cambridge (1992) e pela Universidade de Essex (1995-1997), na Grã-Bretanha, doutorado (1988) e mestrado (1985) em Ecologia, e especialização em Botânica (1978), pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA, e graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de São Carlos (1975). Pesquisadora visitante em várias ocasiões em Instituições Internacionais (Instituto Max-Planck-Ploen e as Universidades de Goettingen e Kiel, Alemanha; Universidades de Cambridge, Essex e Strathclyde, Reino Unido). É pesquisadora do INPA e coordenadora da cooperação Brasil-Alemanha entre o MCTIC-INPA e a Sociedade Max-Planck.

Rafael Garrett Dolatto

Bacharel em Química (2005) pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), Mestre (2008) e Doutor (2015), ambos em Química Analítica pela UFPR. Possui experiência no desenvolvimento de métodos analíticos direcionados ao preparo de amostras para cromatografia analítica, em especial a cromatografia em fase líquida (LC) e gasosa (GC). Atualmente, desenvolve projeto de Pós-doutoramento em química analítica ambiental no âmbito do grupo de química ambiental da UFPR (GQA).

Rayssa Santos da Silva

Bacharel em Engenharia Ambiental pelo Centro Universitário do Norte - UNINORTE (2019). Bolsista PIBIC do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (2018-2019). Atualmente presta assessoria para empresas no ramo de consultoria e licenciamento ambiental.

Sebastião Átila Fonseca Miranda

Graduação em Licenciatura em Química pela Universidade Federal do Amazonas (1981), mestrado em Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (1985) e doutorado em Ecologia pela Escola de Engenharia de São Carlos (1997). Atualmente é Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Tem experiência na área de Química, com ênfase em Química Analítica.

Thamirys Souza e Silva

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Serviço Social e sustentabilidade na Amazônia (PP-GSS) da Universidade Federal do Amazonas, e pesquisadora do Grupo de Estudos socioambientais e desenvolvimento de tecnologias sociais na Amazônia.

Wolfgang Johannes Junk

Graduação em Zoologia, Botânica, Química, Oceanografia e Limnologia pela Universidade CAU em Kiel (Christian-Albrechts Universität/1966) e doutorado em Zoologia, Botânica, Química, Oceanografia e Limnologia pela Universidade de Kiel (Christian-Albrechts Universität/1970). Tem livre docência em Ecologia Tropical (1990), e Pesquisador Senior e líder do Grupo Ecologia Tropical no Instituto Max Planck para Limnologia em Ploen, Alemanha, o qual é pertencente à Sociedade Max Planck. Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA).



9 786556 330525



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO



UNIÃO E RECONSTRUÇÃO