

CLASSIFICAÇÃO DOS RIOS DA AMAZÔNIA: UMA ESTRATÉGIA PARA PRESERVAÇÃO DESSES RECURSOS

CLASSIFICATION OF AMAZONIAN RIVERS: A STRATEGY FOR THE PRESERVATION OF THESE RESOURCES

**Maria do Socorro Rocha da Silva^{1,2}; Sebastião Átila Fonseca
Miranda²; Roberto Naves Domingos³; Sergio Luiz Rodrigues
da Silva¹; Genilson Pereira Santana¹**

¹UFAM-AM, CEP - Av. General Rodrigo Octávio Jordão Ramos, 3000, Campus
Universitário, Coroado I - Manaus/AM. ssilva@inpa.gov.br.

²INPA, Av. Cosme Ferreira, 2936 - Petrópolis, CEP 69083-000, Coroado I - Manaus,
AM.

³UNESP- Centro de Estudos Ambientais - CEA, Av. 24A-1515, CEP 13506-900,
Campus de Rio Claro, SP.

RESUMO

A classificação dos rios da Amazônia vai auxiliar na gestão e preservação desses recursos. O estudo avaliou as variáveis, cor, pH, oxigênio dissolvido (OD), turbidez e íon amônio (NH_4^+) nos rios da Amazônia e comparou aos padrões estabelecidos na classe 2 da Resolução nº 357/2005, do CONAMA. Foram coletadas 228 amostras em 17 locais ao longo do rio Amazonas e em 39 tributários, no período de outubro/2008 a novembro/2011. No rio Amazonas e tributários, o pH variou de 4,51 a 7,53 e OD com valores inferiores a 5,0 mg/L. Nos rios de águas pretas, que nascem nos escudos das Guianas e do Brasil Central, as águas são, em sua maioria, ácidas com $\text{pH} < 6,0$ e a cor apresenta valores acima 75 mg Pt/L, devido à presença de substâncias húmicas e fúlvicas originadas da decomposição vegetal. Os valores de NH_4^+ nas águas dos rios da Amazônia não excederam 0,9 mg/L, sendo que a Resolução nº 357/2005, estabelece para $\text{pH} < 7,5$ valores de no máximo 3,7 mg/L. É importante conhecer a dinâmica desses rios e compreender suas características diferenciadas.

Palavras-chave: Bacia Amazônica. Gestão de recursos hídricos. Qualidade da água.

ABSTRACT

The classification of Amazonian rivers will help in the management and preservation of these resources. This study intends to assess the variables: color, pH, dissolved oxygen (DO), turbidity and ammonium ion (NH_4^+) in Amazonian rivers, and compare them to the standards established in the class 2 of the CONAMA Resolution No. 357/2005. Along the Amazon River and the 39 tributaries, in the period Oct/2008 to Nov/2011, proceeded to collect of the 228 samples, on 17 sites. On the Amazon River and tributaries the pH varied from 4,51 to 7.53 and DO showed values

under 5.0 mg/L. On black water rivers, that arise in the sources situated on the Guyana and Central Brazil shields, the waters are mostly acidic with pH < 6.0, and color showing values above 75 mg Pt/L, due to the presence of humic and fulvic substances originated from vegetal degradation. The NH₄⁺ values found in the Amazonian rivers, did not exceed 0.9 mg/L, and the Resolution No. 357/2005, establishes for pH <7,5 maximum values of 3.7 mg/L. It is important to know the dynamics of these rivers, to understand their differentiated characteristics.

Keywords: Amazon Basin. Water resources management. Water quality.

1. INTRODUÇÃO

A água tem sido tema de várias discussões ao redor do mundo por ser um recurso natural reconhecidamente limitado, apresentando algumas características que a torna um dos elementos mais importantes, tais como: ser essencial aos seres vivos e, portanto, indispensável ao ser humano e vital aos ecossistemas aquáticos (REBOUÇAS, 1999).

A Lei Federal nº 9.433/97 representou o marco fundamental no processo de mudança do ambiente institucional regulador dos recursos hídricos no Brasil, organizando, em âmbito nacional, o setor de planejamento e a gestão de recursos hídricos (BRASIL, 1997). Esta Lei institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH) e integra este último, ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH (criado em 1998) e a Agência Nacional das Águas – ANA (criada em 2000) (BRASIL, 2000). Esta Lei, ao mesmo tempo acolheu também normas já existentes como a que tratava sobre enquadramento de corpos de água em classes (na ocasião a Resolução CONAMA nº 20/1986) (BRASIL, 1986).

A Resolução CNRH nº 91/2008, em seu Artigo 2º, refere-se ao enquadramento como sendo o estabelecimento de classes de qualidade que correspondem a exigências a serem alcançadas ou mantidas em um corpo de água, visando à proteção dos níveis de qualidade dos recursos hídricos, o bem estar humano e o equilíbrio ecológico. O enquadramento dos rios, segundo os usos preponderantes, é instrumento de gestão referido na Lei nº 9433/97, sendo requisito fundamental para reduzir a degradação ambiental, conhecer o funcionamento das grandes bacias, o uso e qualidade de suas águas, assim como, o processo de manejo e gerenciamento ambiental, buscando a sustentabilidade socioambiental (GOMES, 2011).

A região amazônica caracteriza-se por possuir uma grande diversidade de ambientes aquáticos reunidos em uma mesma bacia hidrográfica. Esta variedade de ambientes está relacionada com a dimensão da área de drenagem e a forte relação com os fatores ambientais, relevo, pedologia, solo, clima e aos diferentes tipos de vegetação presentes no entorno dos rios e igarapés, responsáveis pela notável diferença na composição física e química das águas, o que levou vários autores a definir diferentes tipos de água nesta região (SIOLI, 1950, 1951; GIBBS, 1967; STALLARD e EDMOND, 1983; REBOUÇAS, 1999).

Por se tratar de uma densa rede de drenagem, viabilizar na Amazônia um sistema de gestão de qualidade das águas, é uma tarefa difícil, ainda mais tendo que se adaptar à legislação atual sobre recursos hídricos. Apesar de todas estas dificuldades, foi criado o primeiro comitê de bacia da região Norte (Tarumã). A criação deste comitê representa um marco inicial, um avanço, mas são necessários mais articulações e esforços até que se chegue ao enquadramento do rio Tarumã, entre outros da Amazônia, afim de facilitar a gestão e impedir o avanço da degradação das águas desta região hidrográfica.

Este trabalho objetivou identificar variáveis pH, oxigênio dissolvido, cor, turbidez e o íon amônio nas águas de rios da Amazônia brasileira e tributários e comparar com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005).

2. MATERIAL E MÉTODOS

A Bacia Amazônica está localizada na região Norte da América do Sul, onde seu principal rio, o Amazonas, nasce nos Andes peruano, percorre uma extensão de 6.571 km até a foz, recebendo águas de aproximadamente 1.100 tributários (KUHN et al., 2009).

Amostragens das águas foram realizadas durante o período de outubro/2008 a novembro/2011. Foram amostrados 17 pontos ao longo do rio Amazonas, e em 39 tributários, totalizando 228 amostras (Figura 1). As coletas foram feitas sempre pela manhã, entre 8:00 e 12:00 horas, com auxílio da garrafa tipo Van Dorn (capacidade de 2 L), na superfície da água nos locais apresentados nas tabela 1 e 2. Em seguida foram acondicionadas em garrafas de polietileno de 1 L previamente lavadas com solução apropriada. Os frascos com amostras foram transportados em caixas térmicas contendo gelo até o Laboratório de Química Ambiental do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (LQA/INPA), para determinações das variáveis químicas.

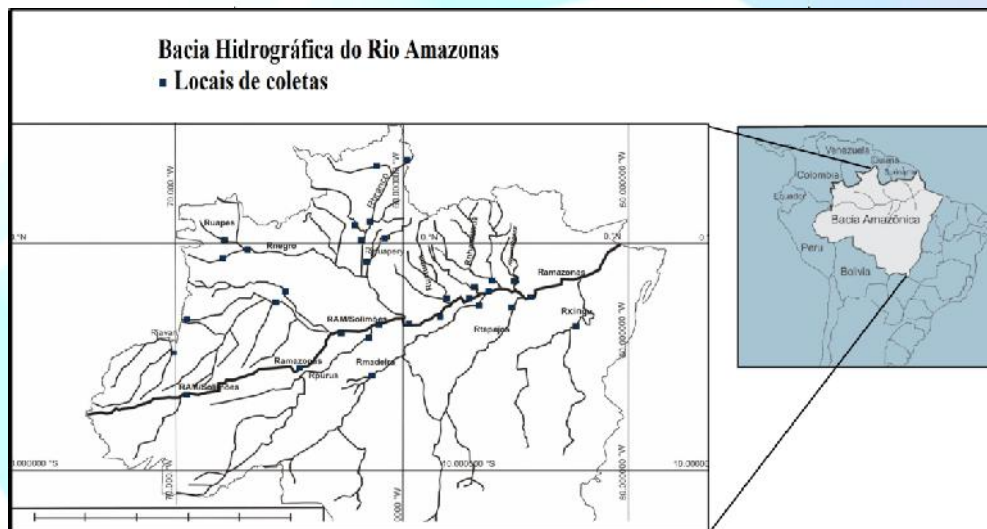


Figura 1. Localização dos pontos de coletas na calha principal do rio Amazonas e em seus principais afluentes. **Fonte:** (Modificado ANEEL, 2013).

O pH e a temperatura foram medidos no momento da coleta com auxílio dos aparelhos da marca DIGIMED. Para o oxigênio dissolvido (OD), as amostras foram acondicionadas em frasco de Winkler, fixadas com azida e sulfato manganoso e, em seguida, tituladas com tiosulfato de sódio, segundo método de Winkler modificado (GOLTERMAN et al., 1978; APHA, 2005);

A turbidez foi medida em turbidímetro marca AIFAKIT e os valores expressos em unidades nefelométricas (UNT). Para a cor e íon amônio, as amostras foram filtradas usando filtro de fibra de vidro com 0,47 mm de diâmetro, marca Whatman GF/C e determinadas em espectrofotômetro marca FEMTO modelo 700 plus. O padrão para cor foi o de platina-cobalto com leitura em 450 nm e os valores expressos em mgPt/L, e para o íon amônio (NH_4^+) utilizou-se o sistema FIA, com leitura a 635 nm (GOLTERMAN et al., 1978; MACKERETH et al., 1978; APHA, 2005).

Para avaliar a composição das águas dos rios da Amazônia, foi utilizada a estatística descritiva do R, com os dados organizados inicialmente com ajuda do boxplot, por meio do retângulo construindo quartis, incluindo a existência de valores extremos (GOTELLI e ELLISON, 2011), obtendo-se o gráfico Stripchart, que também indica a média de cada variável, fazendo uma comparação por região.

A organização dos dados ao padrão de distribuição normal e à homocedasticidade entre variâncias foi previamente analisada com os métodos Shapiro-Wilk e F-Test, respectivamente. Com base na inferência realizada sobre estas análises se optou pela aplicação do método de Monte Carlo com aleatorização de dados, combinado com o coeficiente de correlação produto-momento (coeficiente de Pearson).

No tratamento estatístico foi utilizado o programa R (R Development Core Team, 2011), os dados submetidos à análise de Monte Carlo, em associação com análise de regressão ou correlação, consistindo na geração de diversos grupos aleatorizados a partir da variável dependente. O processo de aleatorização efetivamente quebra qualquer covariância entre as variáveis, e representa a hipótese nula de que a variável preditora têm algum efeito sobre a variável dependente. Para cada grupo aleatorizado foi recalculado o coeficiente de correlação produto-momento de Pearson e a probabilidade estimada para o p-valor corresponde à razão entre o número de vezes em que o coeficiente de correlação superou o valor observado e o número de conjuntos aleatorizados (GOTELLI e ELLISON, 2011).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas águas do rio Amazonas e tributários, o pH mostrou uma variação de ácido (4,51 - rio Içana), seguido de uma acidez um pouco moderada (5,30 - rio Nhamundá), a quase neutra (6,98 - rio Xingu) e chegando até pouco acima da neutralidade (7,53- rio Juruá), Tabelas 1 e 2. Esta faixa de pH (entre 4,0 e 7,8) foi encontrada também por Sioli (1956) e Junk (1983), nas águas desta região. O pH, em ambientes aquáticos, define o caráter ácido, básico ou neutro do meio. Nas águas naturais o pH pode ser influenciado pelos íons H^+ originados da dissociação do ácido carbônico: $H_2CO_3 = 2 H^+ + CO_3^{-2}$, que gera valores baixos de pH e das reações de íons carbonato e bicarbonato com a molécula de água, que elevam os valores de pH para a faixa alcalina.

As variáveis pH, cor, OD e turbidez foram organizadas em dois grupos, sendo o primeiro ao longo do rio Amazonas de Tabatinga a Santarém (AM_TBT_SANT) e o segundo grupo envolvendo os tributários da margem direita e esquerda (AM_TRIB). Cada grupo foi comparado com valores limites estabelecidos para a classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), com ajuda do Stripchart, sendo esta a melhor forma de comparar cada variável por região (Figura 2-A).

Observa-se que o primeiro grupo (AM_TBT_SANT) encontra-se na faixa do estabelecido pela legislação vigente, enquanto o segundo grupo (AM_TRIB_ME) apresentou valores fora dos limites estabelecidos para a classe 2. Nos tributários que nascem nos escudos das Guianas e do Brasil Central ou nas rochas sedimentares cretáceas da bacia, as águas apresentaram pH ácido, com valores abaixo de 6,0, estando este relacionado à presença de material orgânico (ácidos húmicos e fúlvicos) proveniente da decomposição da floresta (SIOLI e KLINGE, 1962; WALKER, 1995).

Nos rios da Amazônia o comportamento do OD é bastante heterogêneo na calha principal do rio Amazonas, a montante de Tabatinga até ao ponto situado a jusante de Santarém. Foram observadas variações de 1,96 (Anamá/AM) a 5,73 mg/L (rio Amazonas, montante de Itacoatiara). Nos tributários, o OD apresentou concentrações de 1,85 mg/L (rio Ariau) a 8,94 mg/L (rio Xingu) (Tabela 1 e 2). E um dos fatores que interferem na disponibilidade de OD na coluna da água e contribuem para o aumento da turbidez é a carga de sedimento em suspensão transportada pelo Amazonas e alguns tributários. O OD é uma variável essencial para as atividades e manutenção do metabolismo de organismos aeróbios.

Tabela 1 - Valores médios das variáveis pH, cor (mg de Pt/L), turbidez (NTU), oxigênio dissolvido (mg/L) e íon amônio (mg/L) ao longo do rio Amazonas, no período de novembro de 2008 a novembro de 2011.

REF.	Local de coletas	n	pH	Cor	Turbidez	OD	NH4
1	Rio Solimões/Peru	2	7,51	53,86	165,36	3,03	0,03
2	Rio Solimões/Tabatinga	3	7,16	35,91	126,45	4,64	0,16
3	Rio Solimões/F.Boa	2	6,53	47,87	64,40	2,34	0,02
4	Rio Solimões/Sto Antônio do Iça	2	6,26	65,83	15,99	2,17	0,29
5	Rio Solimões/Amaturá	2	6,35	52,74	8,45	2,63	0,23
6	Rio Solimões/Tonatins	2	6,25	45,63	15,99	3,86	0,26
7	Rio Solimões/ Coari	5	6,93	67,51	70,62	4,17	0,17
8	Rio Solimões/Codajás	4	7,17	69,38	42,12	3,07	0,18
9	Rio Solimões/Macapuru	10	6,76	65,73	61,55	4,92	0,20
10	Rio Solimões/ Irlanduba	8	6,47	58,72	53,34	4,22	0,17
11	Rio Solimões/MAO	3	6,93	60,59	35,27	3,42	0,18
12	Rio Solimões/ Marchantaria	2	6,86	77,42	50,05	4,48	0,31
13	Rio Amazonas/Anamá	1	6,67	64,33	15,08	1,96	0,20
14	Rio Amazonas/Itacoatiara	11	6,57	109,34	66,70	5,73	0,16
15	Rio Amazonas/Parintins	3	6,94	150,88	87,96	4,98	0,25
16	Rio Amazonas/Óbidos	4	7,21	115,01	48,04	4,97	0,17
17	Rio Amazonas/Santarém	7	6,87	89,20	68,39	4,82	0,23
	Média		6,79	72,35	58,57	3,85	0,19
	Min-Máx		6,25-7,51	35,91-150,88	8,45-165,36	1,96-5,73	0,02-0,31

Os tributários da margem direita localizados no baixo Amazonas, que tem suas origens no Planalto Brasileiro, classificados por Sioli (1950) como rios de águas clara, são bastante aerados, como exemplo os rios Xingu (8,94 mg/L) e Tapajós (7,03 mg/L) e se enquadram facilmente na classe 2 da Resolução CONAMA n° 357/2005 (BRASIL, 2005) (Figura 2-C).

A Resolução CONAMA n° 357/2005 estabeleceu que os valores de OD, nas classes 1, 2, 3, 4 não devem ser inferiores 6, 5, 4 e 2 mg/L, respectivamente (BRASIL, 2005). No maior rio do mundo, a maioria dos locais observados, o OD em vários locais encontram-se abaixo de 5,00 mg/L (Figura 2-C). Os baixos valores observados são considerados naturais e os organismos deste ambiente estão adaptados a esta condição.

É difícil encontrar ambientes lóticos com tão baixos teores de OD, a não ser em caso de ambientes que recebem cargas de matéria orgânica oriundas das atividades antrópicas. Como não se tem nesta região presença humana capaz de gerar tamanha carga orgânica, é de se entender que a matéria orgânica, cuja degradação promove a depleção de oxigênio, é oriunda da decomposição da serapilheira em várias partes da bacia, possivelmente arrastada pelas chuvas na direção dos rios, ou grandes áreas alagadas, o que talvez tenha fortes implicações no ciclo do carbono.

O OD é uma variável importante na avaliação da qualidade da água em quase todos os ambientes aquáticos, porém, para o rio Amazonas, com valores abaixo de 5,0 mg/L, o uso do oxigênio para o controle da qualidade de suas águas é inadequado. O Art. 38, § 2° da Resolução CONAMA n° 357/2005, privilegia a condição natural quando esta excede limites de classe, estando em desacordo com os usos preponderantes pretendidos (BRASIL, 2005). Tendo em vista a situação atual, se questiona: Qual o uso pretendido para as águas dos rios da Amazônia? Atualmente estas águas são usadas como importantes rotas de navegação e, com certeza, também são importantes para a preservação da vida aquática nos seus muitos mecanismos de sobrevivência. A navegação fluvial é o principal meio de transporte, tanto de cargas como de passageiros e, para este uso, a resolução supracitada não define muitas exigências. Quanto à preservação da vida aquática, este uso está estreitamente relacionado com as atividades de pesca, sendo esta região fortemente dependente destas atividades.

Tabela 2 - Valores médios das variáveis pH, cor (mg de Pt/L), turbidez (NTU), oxigênio dissolvido (mg/L) e íon amônio (mg/L) do rio Amazonas e tributários, no período de novembro de 2008 a novembro de 2011.

REF.	Local de Coleta	n	pH	Cor	Turbidez	OD	NH4	T°C
18	Rio Anaua	3	6,42	97,74	24,61	6,39	0,55	28,23
19	Rio Ariau	2	7,20	26,96	27,82	1,85	0,10	29,35
20	Rio Alalau	3	5,17	55,10	4,59	5,50	0,24	26,50
21	Rio Arapiuns	7	6,58	19,18	6,27	7,03	0,12	30,71
22	Rio Branco	16	6,57	55,40	16,93	6,21	0,30	29,45
23	Rio Cauamé	5	5,84	49,96	14,56	6,45	0,25	28,20
24	Rio Buiçu	1	6,24	53,11	3,12	3,87	0,01	29,40
25	Rio Bóia		5,88	45,26	36,92	6,30	0,01	29,25
26	Rio Caru	1	4,77	100,23	13,26	2,47	0,02	26,60
27	Rio Curua-Uma	1	5,99	18,70	0,78	6,29	0,00	33,10
28	Rio Curicuriari	1	5,90	5,90	0,80	3,72	0,01	26,20
29	Rio Içá	2	6,02	55,35	8,32	4,06	0,85	28,00
30	Rio Itapany	3	4,72	56,35	5,81	3,25	0,07	25,20
31	Rio Içana	4	4,52	132,59	2,72	5,19	0,61	26,78
32	Rio Grande	1	4,99	76,30	2,60	2,83	0,01	26,00
33	Rio Japurá	2	6,58	73,68	43,29	3,52	0,17	28,30
34	Rio Jauapery	4	6,09	72,56	25,29	5,65	0,41	28,68
35	Rio Javari	4	6,21	88,64	27,24	4,54	0,03	27,88
36	Rio Juruá	7	7,53	35,16	45,50	4,66	0,07	32,34
37	Rio Jutai	12	6,10	52,92	60,00	5,97	0,15	29,88
38	Rio Mucajai	4	6,67	69,75	30,62	6,14	0,36	29,33
39	Rio Madeira	8	7,12	78,33	127,49	7,13	0,37	28,62
40	Rio Manacapuru	1	6,05	104,72	29,40	8,80	<0,001	30,20
41	Rio Nhamundá	3	5,30	46,38	5,20	4,04	0,56	28,80
42	Rio Negro/Mana	5	4,95	129,59	5,14	4,36	0,31	29,88
43	Rio Negro/S. Gab	4	4,65	45,23	3,03	4,40		27,85
44	Rio Preto da Eva	3	5,16	44,63	4,51	6,84	0,19	27,77
45	Rio Purus	13	6,79	68,87	34,86	2,00	0,27	28,00
46	Rio Tacutu	4	6,64	58,72	13,63	6,19	0,40	30,03
47	Rio Sarabandy	1	4,68	43,38	5,98	4,47	0,40	25,00
48	Rio Tapajós	10	6,71	18,48	2,26	7,03	0,10	29,76
49	Rio Trombetas	2	5,17	24,31	2,60	7,65	0,14	28,00
50	RioTefé	3	5,90	56,85	5,55	ND	0,19	30,50
51	Rio UalpÉs	2	4,64	60,25	4,68	4,00	0,25	28,20
52	Rio Urubu	4	5,06	76,67	4,81	5,16	0,30	27,45
53	Rio Uraricoera	3	5,74	57,60	22,19	5,36	0,75	29,00
54	Rio Uatumã	3	6,32	20,44	1,91	6,98	0,22	31,90
55	Rio Viramundo	1	4,84	94,25	8,84	5,34	0,01	25,00
56	Rio Xingu	4	6,98	9,48	1,69	8,94	0,10	29,95
	Médias		5,83	58,79	18,22	5,18	0,24	28,56
	Min-Máx		4,51-7,53	5,90-132,59	0,78-127,38	1,85-8,94	0,001-0,85	25,0-33,10

Outra variável importante é a cor, que também apresentou grande variabilidade. Ao longo do rio Amazonas, a menor média de valores foi observada em Tabatinga (35,91 mg Pt/L), e a maior em Parintins (150,88 mg Pt/L). Nos tributários, o menor valor ocorreu no rio Curicuriari (5,90 mg Pt/L), e o maior no rio Içana (132,59 mg Pt/L). Nos rios de água preta, que nascem nos escudos das Guianas e no Brasil Central, é normal encontrar valores acima do permitido pela legislação ambiental (75 mg Pt/L). A cor nos rios de água preta está relacionada à presença de substâncias húmicas e fúlvicas originadas da decomposição vegetal (LEENHER et al., 1980; SIOLI, 1984).

Na Figura 2-B, quando comparadas às medidas de cor, observa-se que nos locais ao longo do rio Amazonas e na maioria dos rios de águas preta, há divergências com a legislação. Somente os tributários da margem direita do baixo Amazonas estiveram em conformidade com o estabelecido pela Resolução CONAMA n° 357/2005 (BRASIL, 2005).

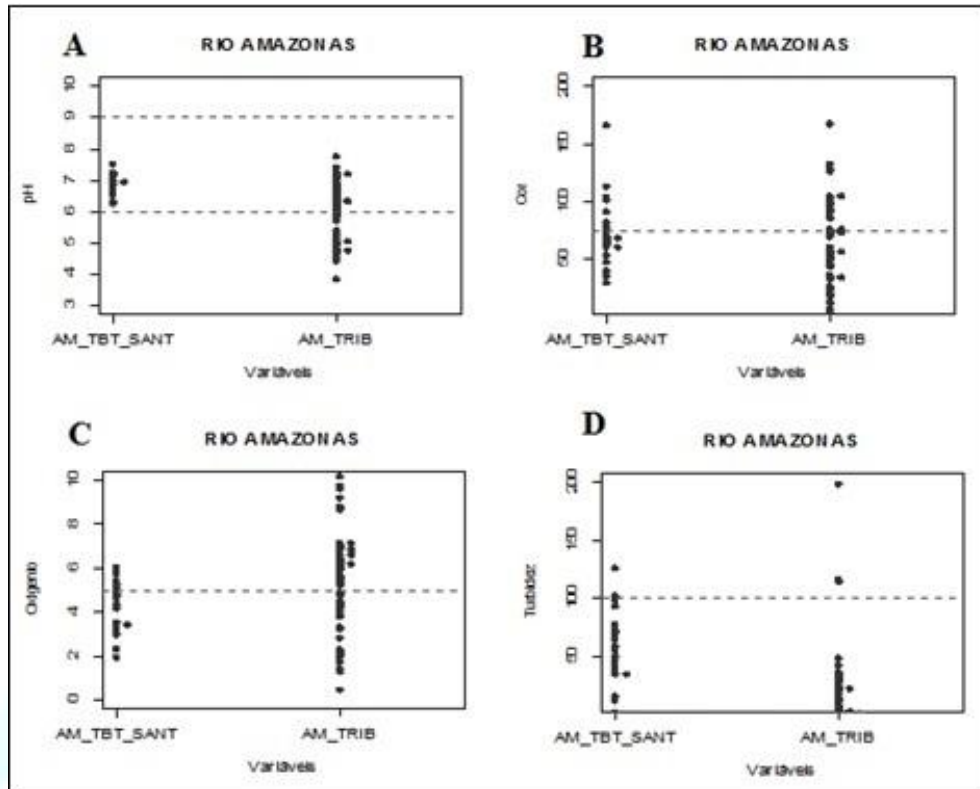


Figura 2. Distribuição do pH (A), cor (B), OD (C) e turbidez (D) no rio Amazonas de Tabatinga a Santarém (AM_TBT_SANT) e Tributários (AM_TRIB) e comparação com os valores estabelecido pela Resolução CONAMA/2005.

A turbidez também se mostrou bastante heterogênea variando de 8,45 (UNT) no rio Amazonas/Amaturá a 165,36 (UNT) no rio Amazonas/Peru, e nos tributários de 0,78 (rio Curua-Una) a 127,36 UNT (rio Madeira/Humaitá). Um dos fatores que contribuem para o aumento da turbidez é o fluxo de matéria em suspensão transportada pelo rio Amazonas até o oceano, da ordem de 800 milhões de toneladas por ano (GUYOT et al., 2007), e também as contribuições andinas, transportada principalmente pelos rios Solimões e Madeira (FILIZOLA e GUYOT, 2011).

A distribuição das médias das variáveis ambientais no rio Amazonas e tributários apresentou comportamento distintos para cada variável (Figura 2). Os pH ao longo do rio Amazonas (6,25 a 7,51) e nos tributários (4,51 a 7,53) quando comparados aos valores estabelecidos pela legislação vigente (Tabela 1) foram observadas variações significativas e alguns tributários com valores abaixo do limite permitido. As variáveis cor e oxigênio dissolvido mostraram semelhanças significativas estatisticamente entre o rio Amazonas e tributários, sendo que, em muitos locais os valores estiveram fora do permitido pela Resolução CONAMA n° 357/2005 (BRASIL, 2005). A turbidez na distribuição das médias por locais esteve em conformidade com a legislação vigente (Figura 2-D).

Nos rios da Amazônia os valores para o íon amônio mostraram similaridade em todos os locais. Ao longo do rio, a variação foi de 0,02 a 0,31 e nos tributários de <0,01 a 0,085 mg/L. O nitrogênio está presente nos ecossistemas aquáticos de várias formas, sendo o NH_4^+ a forma mais reduzida, estando sempre presente em ambientes lóticos e lênticos, onde esses compostos ocorrem tanto de origem natural, quanto antropogênica.

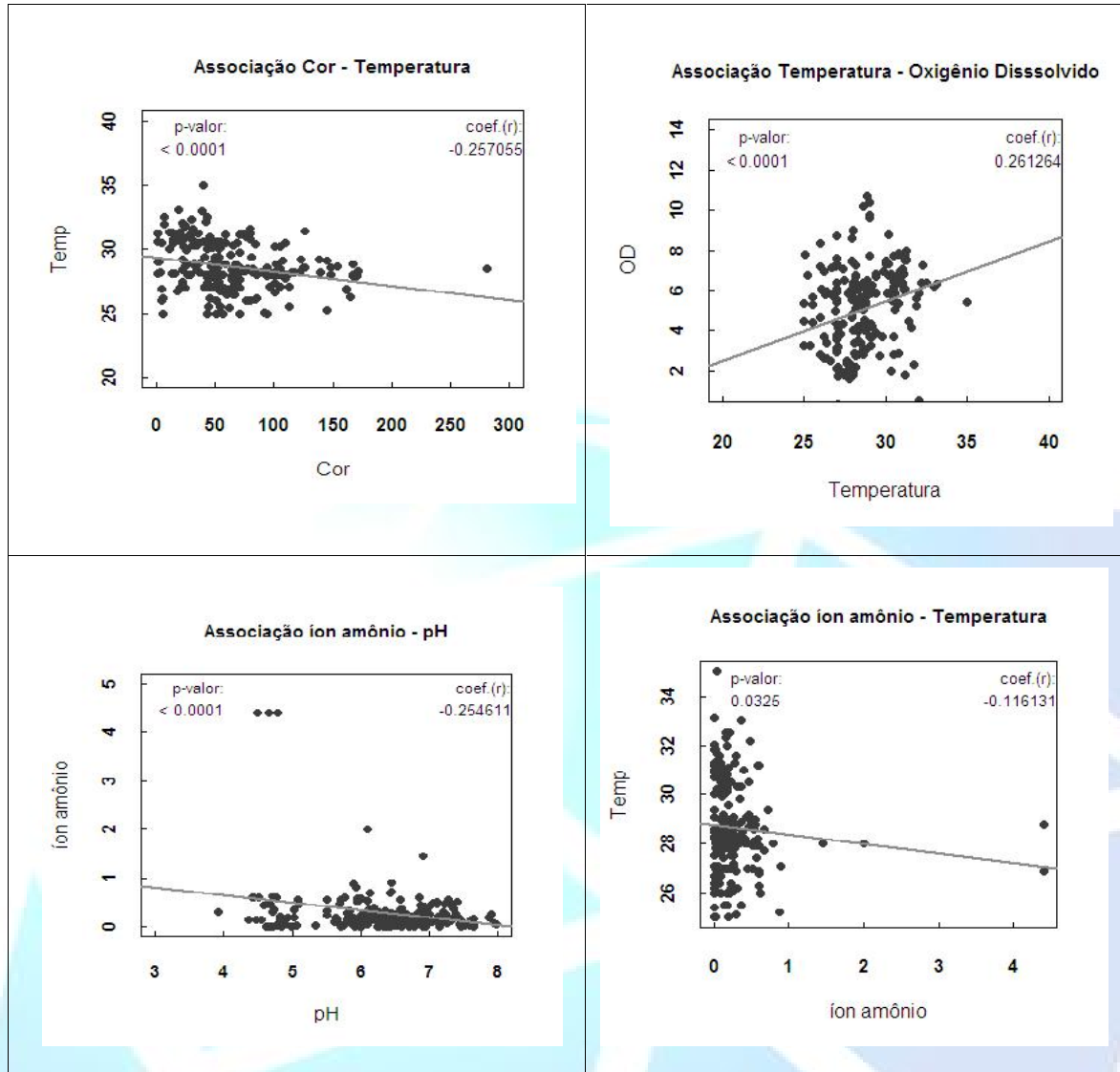


Figura 3. Associações entre variáveis, considerando a temperatura, OD e NH_4^+ como preditoras; parâmetros estatísticos: coeficiente de correlação de Pearson, p-valor estimado pelo método Monte Carlo com aleatorização de dados, com nível de significância considerado: < 0.05; unidades empregadas: cor (mg/Pt/L), OD (mg/L), íon amônio (mg/L) e temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

Os valores do NH_4^+ para águas doces de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, estão fortemente relacionados ao pH da água, nos ambientes aquáticos com $\text{pH} < 7,5$ são permitidos valores do íon amônio de até 3,7 mg/L (classe I e II) e 13,3 mg/L (classe III) (BRASIL, 2005). A forma de relacionar o íon amônio ao pH para os rios de águas pretas, onde o pH varia de 3,5 a 5,5, não é adequada. Pesquisas sobre os efeitos tóxicos do íon amônio sobre a fauna Hydropsychidae (insecta: Trichoptera) mostraram que concentrações acima de 3,35 mg/L foram letais para as larvas (SILVA et al., 2008; 2009). A forma de relacionar o pH ao NH_4^+ , portanto, não é justificada para as águas dos rios da Amazônia, com pH menor que 6,0.

A Figura 3 mostra as associações entre as variáveis analisadas, sendo estas associações significativas, porém qualitativamente fracas: pH x NH_4^+ ; pH x cor; pH x temperatura; cor x turbidez; cor x temperatura; turbidez x NH_4^+ e temperatura x OD. São inválidas as seguintes associações: cor x NH_4^+ ; cor x OD; pH x OD; turbidez x temperatura; turbidez x OD; NH_4^+ x temperatura e NH_4^+ x OD.

Na avaliação qualitativa realizada com base no critério definido por Callegari-Jacques (2003), no Quadro 1, sobre os coeficientes de correlação (r) na Tabela 3, é fraca associação entre o pH e o íon amônio. Com exceção da associação entre o pH e cor que apresentou uma correlação regular e significativa, todas as demais associações consideradas significativas pelo Método Monte Carlo, apresentaram um nível fraco de correlação (Tabela 4).

Tabela 3 - Coeficientes de correlação (r), obtidos como medida de associação entre as variáveis pH, cor, turbidez, íon amônio (NH₄⁺), temperatura (Temp.) e oxigênio dissolvido (OD), correspondentes aos dados coletados no rio Amazonas, durante o período de outubro de 2009 a novembro de 2011.

	pH	Cor	Turbidez	NH ₄ ⁺	Temp.	OD
pH		-0.146039*	0.415953*	-0.254610*	0.340425*	0.030326
Cor			0.266591*	0.086227	-0.257055*	-0.102620
Turbidez				-0.093113*	-0.000610	0.056404
NH ₄ ⁺					-0.116131	-0.036673
Temp.						0.261264*

* Associação confirmada pela análise de Monte Carlo (método por aleatorização) para p<0,05.

Quadro 1. Critério para avaliação qualitativa do coeficiente de correlação produto-momento de Pearson (r), para inferência sobre a intensidade de associação entre variáveis (Callegari-Jacques, 2003).

r	Avaliação
0,00	Nula
0,00 – 0,30	Fraca
0,30 – 0,60	Regular ou Moderada
0,60 – 0,90	Forte
0,91 – 1,00	Muito Forte
1,00	Plena ou perfeita

Tabela 4 - Sumário estatístico da análise Shapiro-Wilk, empregada para constatação da adequação ao padrão de distribuição normal, relativo aos dados obtidos para as variáveis pH, cor, turbidez, NH₄⁺, Temp. e OD, nas coletas realizadas nos rios da Amazônia, durante o período de outubro de 2009 a novembro de 2011.

	pH	Cor	Turbidez	NH ₄ ⁺	Temp	OD
W	0.9533	0.9198	0.7508	0.3856	0.9814	0.9794
p-valor	< 0.0001 *	< 0.0001 *	< 0.0001 *	< 0.0001 *	0.0030 *	0.0014 *

* Diferenças significativas (p<0,05); legendas: NH₄⁺: íon amônio; Temp: temperatura; OD: oxigênio dissolvido.

Os dados apresentaram uma distribuição incompatível com o padrão de distribuição normal; não tiveram homocedasticidade na associação entre variáveis; portanto invalidam qualquer tentativa de uso de estatística paramétrica, incluindo isto a Correlação de Pearson.

Com base na análise qualitativa dos coeficientes de correlação obtidos e das estimativas de probabilidade obtidas pelo método de Monte Carlo, é correto afirmar que as variáveis pH e íon amônio apresentaram uma fraca associação e o pH e a turbidez tiveram associação regular ou moderada.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho verificou-se 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 à condição natural), já que, o enquadramento visa gestão e, portanto, tomada de decisão diante de possíveis instalações de atividades econômicas causadoras de impactos ou mesmo, a própria urbanização. Atividades, por exemplo, que lancem na atmosfera óxidos de nitrogênio e enxofre (produtores de chuva ácida), terão que se submeter a exigências mais rigorosas, pois os efeitos de chuvas ácidas são detectados com maior dificuldade em águas naturalmente ácidas como é o caso de alguns dos rios da Amazônia (pH < 6, CONAMA 357/2005).

Outra questão diz respeito à baixas concentrações de oxigênio (inferior a 5,0 mg/L, limite mínimo na classe 2 - CONAMA) nos rios naturais, ou seja, 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 e, para se evitar possíveis danos ao ambiente, faz-se necessário uma fiscalização constante no que diz respeito aos lançamentos de efluentes.

A alteração do íon amônio (NH_4^+) de 1,0 mg/L na Resolução COMAMA nº 20/1976, para 3,7 mg/L (classe I e II, Resolução COMAMA nº 357/CONAMA) desconsiderou as águas naturais dos rios da Amazônia, que neste estudo não ultrapassaram a 0,9 mg/L, e concentrações elevadas, torna o ambiente impróprio para biota que está adaptada a baixas concentrações deste íon nestas águas e permitiria contaminações forte por estas substâncias sem infringir a Legislação. Portanto, quando se for partir para a gestão destes ambientes é necessário que se disponha de outros instrumentos normativos contendo restrições mais rigorosas inclusive vetando certas atividades econômicas.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo auxílio concedido para execução do projeto.

7. REFERÊNCIAS

APHA, American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21th ed. Washington, APHA-AWWA-WEF, 2005. 1085 p.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Bacia do Rio Amazonas. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/area.cfm?id_area=105. Acesso. 2013.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE- CONAMA. Resolução N° 20, de 18 de junho de 1986. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1986. p. 11356-11361.

BRASIL. Lei N° 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília, DF, 1997. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Seção 1 - 9/1/1997, p. 470.

BRASIL. Lei N° 9.984 de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA. Brasília, DF, 2000. **Diário Oficial da União** - Seção 1 - 18/7/2000, p. 6.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE- CONAMA Resolução N° 357, 17 de março de 2005. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 de março de 2005.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Resolução n° 91, de 05 de Novembro de 2008. Brasília, DF, 2008. **Diário Oficial da União**, de 06 de fevereiro de 2009, Brasília, DF.

CALLEGARI-JACQUES, S.M. **Bioestatística: Princípios e Aplicações**. Porto Alegre: Artmed. 2003. 365 p.

FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L. Fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Amazônia. **Revista de Geociências**, São Paulo, v.41, n. 4, p.566-576, dezembro 2011.

GOTELLI, N. J.; ELLISON, A. M. **Princípios de Estatística em Ecologia**. Porto Alegre: Artmed, p. 527, 2011.

JUNK, W.J. Recursos hídricos da região amazônica: utilização e preservação. **Acta Amazonica**, n. 9, p. 37-51, 1983.

KUHN, P.A.F.; DALLAROSA, R.L.G.; SOUZA, E.B.; SENNA, R.C. **Hidrologia da Amazônia dos Rios da Amazônia**. Coleção Caderno da Amazônia. Governo do Estado do Amazonas- Secretaria de Estado da Cultura. Manaus/AM, 2009, 80p.

GOLTERMAN, H.; CLYMO, R.S.; OHMSTAD, M.A.M. **Methods for physical & chemical analysis of freshwater**. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1978, 213 p.

GOMES, N.A. Ausência de Gestão Integrada entre Órgãos Governamentais Provocam Desperdício de Dinheiro Público e Impede a Revitalização do Igarapé Caranã. In: **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Maceio. p. 1-16, 2011.

GIBBS, R.J. The Geochemistry of the Amazon River System: Part I. The Factors that Control the Salinity and the Composition and Concentration of the Suspended Solids. **Geol. Soc. Of America Bulletin**, October. v. 78, n. 10, p. 1203-1232. 1967.

GUYOT, J.L.; JOUANNEAU, J.M; SOARES, L; BOAVENTURA, G.R.; MAILLET, N.; LAGANE, C. Clay Mineral Composition of River Sediments in the Amazon Basin. **Science Direct**. v. 71, n.2, p. 340–356, outubro, 2007.

LEENHER, J. A. Origin and Nature of Humic Substances in the Waters of the Amazon River Basin. **Acta Amazonica**. v. 10, n. 3, p. 513-526, 1980.

MACKERETH, F. J.H.; HERON, J.; TALLING, J.F. **Water Analysis: Some Revised Methods for Limnologists**. Freshw. Biol. Assoc. S.P. 36, 1978. 120 p.

MIRANDA, A.C. de; GOMES, H.P.; SILVA, M.O. **Recursos Hídricos: A Gestão as Águas, a preservação da vida**. Editora All Print. São Paulo-Brasil, 2006. 111p.

R Development Core Team. 2011. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em 07 jan. 2013.

REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. Escrituras. São Paulo, 1999. 717 p.

SILVA, C. F. P.; SILVA, M. S. R.; LOPES, M. J. N. Efeito Tóxico do Íon Amônio sobre as Larvas de Hydropsychidae (Inseto; Trichoptera). In: **XVIII Jornada de Iniciação Científica PIBIC**. Anais Manaus: CNPq/FAPEAM/INPA. p.571-573, 2009.

SILVA, D.L.; SILVA, M.S.R.; LOPES, M.J.N. Efeito Tóxico do Íon Amônio sobre a Fauna Hydropsychidae (Trichoptera). In: **XVII Jornada de Iniciação Científica PIBIC**. Anais Manaus: CNPq/FAPEAM/INPA. p. 357-360, 2008.

STALLARD, R.F., EDMOND, J.M. Geochemistry of the Amazon basin: 2. The influence of the geology and weathering environment on the dissolved load. **J. Geophys. Res.**, Washington. v. 88, p. 9671– 9688, 1983.

SIOLI, H. Das Wasser in Amazonasgebiet. **Forsh. Fortschr.**, v.26, p. 274-280, 1950.

SIOLI, H. Alguns resultados e problemas da limnologia amazônica. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Norte**, 24, 1951.

SIOLI, H. As águas do Alto Rio Negro. **Boletim Técnico Instituto Agrônomo do Norte**. v.32, p. 117-155. 1956.

SIOLI, H. The Amazon and its main affluents: Hydrography, morphology of the river courses, and river types. In: **The Amazon: Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin**. SIOLI, H. (ed.). Dordrecht. v. 56, p. 127-165, 1984.

SIOLI, H.; KLINGE, H. Solos, Tipos de Vegetação e Águas na Amazônia. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, n.1, p. 1-18, 1962.

WALKER, I. Amazonian streams and small rivers. In: TUNDISI, J. G.; BICUDO, C. E. M.; MATSUMURA-TUNDISI, T. (eds.) **Limnology in Brazil. Brazilian Academy of Sciences**. p. 168-193, 1995.

Manuscrito recebido em: 10/04/2013
Revisado e Aceito em: 16/08/2013