

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

ABORDAGEM SOBRE O COMPORTAMENTO DO IQA A PARTIR DA DEGRADAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NA AMAZÔNIA

* Rodrigo Silvano Silva Rodrigues¹
Lindemberg Lima Fernandes¹
Claudio José Cavalcante Blanco¹
Luiza Carla Girard Mendes Teixeira¹
Germana Menescal Bittencourt¹

APPROACH ON THE APPLICATION OF IQA IN THE AMAZON

Recibido el 5 de abril de 2019; Aceptado el 4 de mayo de 2020

Abstract

The occupation and use of the soil by agricultural activities and of extractivism, for example alter the physical-chemical and biological processes in the natural systems. These changes can be evaluated through environmental quality monitoring, specifically by monitoring the quality of waters when occurring in a river basin, since the river is an integrator of the phenomena occurring in the watershed slopes. The article aims to understand the interactions between water quality and degradation in the Legal Amazon. The research was done in an exploratory way on the Water Quality Index (WQI) in the Legal Amazon, taking into account the main economic activities of the region that are linked to the deforestation process, where only the large hydrographic basins are monitored, limiting planning and management of its water resources. WQI is a practical and objective tool, as an initial indication of water quality and degradation. There are still few studies using the WQI on Amazon water quality, environmental agencies should establish control and inspection with the greatest possible rigor to strengthen the tripod of sustainable development (environment, society and economy), not allowing economic growth to be uncontrollably ahead of social and environmental development in Brazil.

Keywords: Legal Amazon, management of water resources, water quality.

¹ Universidade Federal do Pará, Brasil.

* *Autor correspondente:* Instituto de Tecnologia, Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Pará. Rua Augusto Correa, 01 – Guamá, Belém, Pará, 66.075-110, Brasil. Email: rssl@ufpa.br

Resumo

Diversas atividades antrópicas podem ocasionar alteração significativa os processos físico-químicos e biológicos nos sistemas naturais, a exemplo da ocupação e uso do solo por atividades agropecuárias e de extrativismo. Estas alterações podem ser avaliadas através de monitoramentos da qualidade ambiental, especificamente pelo monitoramento da qualidade das águas quando ocorridas em uma bacia hidrográfica, uma vez que o rio é um integrador dos fenômenos ocorrentes nas vertentes da bacia. O artigo tem como objetivo compreender as interações entre qualidade e degradação hídrica na Amazônia Legal. A pesquisa foi realizada de forma exploratória sobre o Índice de Qualidade da Água (IQA) levando-se em consideração as principais atividades econômicas da região, que estão ligadas ao processo de desmatamento, acentuando-se a essa problemática o fato de apenas as grandes bacias hidrográficas serem monitoradas, limitando o planejamento e a gestão de seus recursos hídricos. O IQA é uma ferramenta prática e objetiva, como um indicativo inicial sobre a qualidade e degradação hídrica. Ainda há poucos estudos utilizando o IQA sobre a qualidade hídrica amazônica. Órgãos ambientais devem estabelecer um controle e fiscalização com o maior rigor possível para o fortalecimento do tripé do desenvolvimento sustentável (meio ambiente, sociedade e economia), não permitindo que o crescimento econômico fique descontroladamente à frente do desenvolvimento social e ambiental no Brasil.

Palavras chave: Amazônia Legal, gestão de recursos hídricos, qualidade da água.

Introdução

Entre usos importantes da terra destaca-se a agricultura, pastoreio, vegetação natural, vida selvagem, pecuária, desenvolvimento residencial, retenção de água e infraestrutura de transporte, associados a estes usos o crescimento da população é uma das principais causas dos conflitos cada vez mais frequentes sobre os usos da terra que estão ocorrendo em todo o mundo (Seeboonruang, 2012).

O aumento nas atividades urbanas, agrícolas e industriais preocupa especialistas quanto às questões ambientais e, em particular, no que diz respeito à poluição da água. Para Seeboonruang (2012) a degradação da qualidade da água pode resultar de múltiplas atividades de uso da terra, incluindo fontes pontuais e não pontuais. A poluição é responsável por afetar a integridade biológica dos sistemas aquáticos, a degradar a qualidade da água e a afetar a saúde humana direta e indiretamente (Wong y Hu, 2014).

Giri e Qiu (2016) definem a qualidade da água como uma medida que pode avaliar o uso da água para diferentes propósitos (consumo, agricultura, indústria, recreação e habitat) usando vários parâmetros físicos, químicos e biológicos, variando com base na localização, tempo, clima e a presença de fontes de poluição.

A avaliação da qualidade da água é uma das principais tarefas para garantia da segurança hídrica, por conseguinte, devem ser desenvolvidos métodos de avaliação eficazes e critérios de avaliação concretos para avaliar o risco dos recursos hídricos, a fim de garantir a segurança da água para o desenvolvimento sustentável e a saúde pública (Wong y Hu, 2014).

De acordo com Augusto *et al.* (2012), o uso e a ocupação do solo, assim como também a proteção do manancial são elementos importantes para serem considerados na qualidade final da água das bacias.

Na região amazônica somente as grandes bacias hidrográficas são monitoradas, limitando o planejamento e a gestão dos recursos hídricos na região, onde pequenas comunidades não têm meios para utilização sustentável dos recursos hídricos, o que dificulta o desenvolvimento socioeconômico da região (Blanco *et al.*, 2008).

O IQA é uma técnica de classificação que fornece a influência de uma composição de parâmetros de qualidade da água. A qualidade da água e sua adequação para fins de consumo podem ser examinadas determinando seu índice de qualidade para consumo humano (Ramakrishnaiah *et al.*, 2009).

Este índice é uma ferramenta comum para a avaliação quantitativa da qualidade da água (Feng *et al.*, 2015), converte dados de concentração de poluentes em valores de subíndices e, em seguida, combina o valor de uma pontuação única (Dobbie y Dail, 2013, Fox, 2014). A principal vantagem do IQA é sua capacidade de comunicação resumida e clara (Feng *et al.*, 2015). Ramesh *et al.* (2010) sintetizam que o IQA é uma ferramenta matemática para integrar os dados complexos de qualidade da água em um escore numérico que descreve o estado geral da qualidade da água.

Para obter informações de maneira relativamente simples com uma visão global, índices de qualidade da água têm sido popularmente aplicados em diversas pesquisas no monitoramento da qualidade da água de água doce nos últimos anos. Estes índices geralmente levam em conta os parâmetros gerais da água, como oxigênio dissolvido, pH, temperatura, turbidez e concentrações de amônia, entre outros (Lobato *et al.*, 2015).

Diversos estudos aplicam técnicas estatísticas para propor especificamente o IQA utilizando ponderações para cada parâmetro de qualidade da água analisada, bem como, estudos de avaliação da qualidade da água foram realizados aplicando técnicas estatísticas como análise de componentes principais (Whittaker *et al.*, 2012).

Comprovadamente o IQA é um método prático que considera variáveis ambientais críticas que representam as condições de poluição no corpo hídrico (SIMÕES *et al.*, 2008), além disso o índice facilita comparações entre diferentes locais de amostragem e identificar as mudanças nas tendências da qualidade da água (Sun *et al.*, 2016).

Diante do exposto, o artigo tem como objetivo compreender as interações entre qualidade e degradação hídrica na Amazônia Legal. No contexto deste objetivo, destaca-se o IQA, como

ferramenta para interpretar facilmente estas informações ambientais de fundamental importância para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, bem como as principais atividades econômicas desenvolvidas na região.

Gestão de recursos hídricos no Brasil

Behmel *et al.* (2016) abordam que dada a crescente pressão sobre os recursos hídricos, a gestão integrada de recursos hídricos vem sendo cada vez mais adotada para alcançar metas destinadas a prevenir e gerenciar a poluição da água. Ainda segundo os autores, um dos principais desafios é obter uma avaliação confiável da qualidade da água superficial através de programas de monitoramento da qualidade da água, para que os gestores possam entender, interpretar e usar estas informações como apoio para tomadas de decisão de acordo com a destinação do recurso hídrico, tendo as bacias hidrográficas como foco nesta gestão.

A utilização da água pela sociedade humana visa a atender suas necessidades pessoais, atividades econômicas (agrícolas e industriais) e sociais. No entanto, essa diversificação no uso da água, quando realizada de forma inadequada, provoca alterações na qualidade da mesma, comprometendo os recursos hídricos e por consequência seus usos para os diversos fins. A qualidade da água é aspecto indispensável, quando se trata dos seus principais usos, em especial, para fins como o abastecimento humano. Este uso tem sofrido restrições significativas em função de prejuízos nos rios provenientes das ações naturais e antrópicas, as quais alteram os aspectos de qualidade e quantidade de água disponível para o uso humano (Souza *et al.*, 2014).

A gestão de recursos hídricos abrange informações de várias fontes e áreas de conhecimento técnicas, jurídicas e institucionais que têm seus aspectos conceituais, ideológicos e éticos e novos modelos administrativos, diferentes formas de pensar e novos fenômenos como crises econômicas, mudanças climáticas e atividades antropogênicas que mudam continuamente o meio ambiente (Araújo *et al.*, 2015).

Segundo a Lei Federal nº 9.433 de 08/01/1997 que institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), a bacia hidrográfica é o instrumento de gestão nos planos de recursos hídricos elaborados no país, servindo para o planejamento das intervenções humanas (Brasil, 1997).

Por definição, bacia hidrográfica, é como um conjunto de terras limitadas por divisores de águas contendo uma rede de drenagem que escoar a água para um único ponto denominado exutório; sendo que o sistema de drenagem da bacia é composto de nascentes dos cursos de água, principais e secundários, denominados afluentes e subafluentes (Targa *et al.*, 2012; Tucci, 2001; Watrin *et al.*, 2009).

As bacias hidrográficas são unidades fundamentais para o gerenciamento dos recursos hídricos e para o planejamento ambiental, sendo identificadas como unidades de planejamento administrativo para fins de conservação dos recursos naturais (Pegado, 2010, Vittala *et al.*, 2008).

Os componentes das bacias hidrográficas coexistem em permanente e dinâmica interação, respondendo às interferências naturais e àquelas de natureza antrópica, o que afeta os ecossistemas como um todo (Souza y Fernandes, 2000, Souza *et al.*, 2012).

Legislação ambiental aplicada ao controle da qualidade hídrica superficial

A Resolução CONAMA nº 20/1986 é pioneira no estabelecimento de faixas para o controle de poluição hídrica, fixando padrões específicos de qualidade das águas para fins de balneabilidade ou recreação de contato primário, dividindo as águas do território nacional em águas doces (com salinidade $\leq 0.5\%$), salobras (com salinidade entre 0.5% e 30%) e salinas (com salinidade $\geq 30\%$), classificadas segundo seus usos preponderantes em um total de nove classes (Quadro 1).

Quadro 1. Classificação das águas doces em função dos usos preponderantes.

Uso	Classe									
	Especial	Doces				Salinas		Salobras		
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Abastecimento doméstico	X (a)	X (b)	X (c)	X (c)						
Preservação e equilíbrio natural das comunidades aquáticas	X									
Proteção das comunidades aquáticas		X	X			X		X		
Recreação de contato primário		X	X			X		X		
Irrigação		X (d)	X (e)	X (f)						
Criação natural e/ou intensiva de espécies (aquicultura)		X	X			X		X		
Dessedentação de animais				X						
Navegação					X		X (g)		X (g)	
Harmonia paisagística					X		X		X	
Recreação de contato secundário							X		X	
Usos menos exigentes					X					

Nota: (a) sem prévia ou com simples desinfecção; (b) após tratamento simplificado; (c) após tratamento convencional; (d) hortaliças consumidas cruas e frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; (e) hortaliças e plantas frutíferas; (f) culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; e (g) navegação comercial. Fonte: Brasil (1986).

No Brasil, a legislação específica sobre manejo de recursos hídricos é denominada Lei das Águas, Lei 9,433 de 1997 (Brasil, 1997), que instituiu a PNRH e criou o Sistema Nacional de Gestão de Recursos Hídricos (SINGREH).

De acordo com esta lei, os princípios fundamentais da PNRH são que a água é um bem público e um recurso natural finito com valor econômico; a gestão da água deve permitir múltiplos usos da

água, ser descentralizada e incluir a participação do governo, usuários e comunidades; em caso de escassez de água, a água deve ser utilizada para consumo humano e pecuário; e o SINGREH e a PNRH têm jurisdição sobre as bacias hidrográficas.

A PNRH inclui os seguintes instrumentos: planos de recursos hídricos; Classificação das águas com base na sua utilização primária; Concessão de direitos de uso de água; Cobrança pelo uso de recursos hídricos; e sistemas de informação para recursos hídricos.

No ano 2000, o CONAMA, por meio da Resolução CONAMA nº 274 (Brasil, 2000) revogou os artigos 26 a 34 da Resolução nº 20 (BRASIL, 1986), definindo os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. Posteriormente, estas resoluções foram revogadas pela Resolução nº 357 (Brasil, 2005), que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, e o grande diferencial: estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 define o estabelecimento de uma meta ou objetivo de qualidade da água (classe) a ser, obrigatoriamente, alcançado ou mantido em um segmento do corpo d'água, de acordo com os usos preponderantes pretendidos, ao longo do tempo (Brasil, 2005).

Segundo a CETESB (2007), no Brasil ao menos sete índices são usualmente utilizados como indicadores de qualidade das águas de acordo com os usos preponderantes da água, ou seja, os usos mais exigentes a que a água fora destinada. São eles o Índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática e de comunidades aquáticas (IVA); Índice de qualidade das águas brutas para fins de abastecimento público (IAP); Índice de balneabilidade (IB); Índice da comunidade bentônica (ICB); Índice de estado trófico (IET); Índice da comunidade fitoplanctônica (ICF); e Índice de qualidade das águas (IQA).

A necessidade de adequações para avaliar diferentes usos da água, além de possíveis ajustes em índices já conhecidos, gerou outros. “Todos estes índices contemplam um grau de subjetividade, pois dependem da escolha das variáveis que constituirão os indicadores principais das alterações da qualidade de água” (Toledo y Nicolella, 2002).

Indicadores de qualidade da água

Assegurar volumes suficientes de água doce com qualidade adequada para satisfazer uma variedade de utilizações (ou fins específicos) é uma medida necessária para apoiar o desenvolvimento econômico e a saúde dos ecossistemas (Schewe *et al.*, 2014).

Monitorar a qualidade da água e tomar decisões qualitativas e quantitativas com base em dados reais tornou-se um desafio para engenheiros ambientais em todas as etapas do processo, desde

a coleta, armazenamento e processamento até análise e interpretação dos resultados (Lermontov *et al.*, 2009).

A água contém diversas características provenientes do ambiente natural ou incorporados a partir de atividades antrópicas associadas a seus usos múltiplos. A partir destas características (físicas, químicas e biológicas) é possível avaliar sua qualidade.

Os parâmetros que compõem as características físicas da água são: temperatura, sabor, odor, cor, turbidez, sólidos (em suspensão ou dissolvidos) e condutividade elétrica. Os parâmetros químicos incluem pH, alcalinidade, acidez, dureza, cloretos, ferro e manganês, nitrogênio, fósforo, fluoretos, oxigênio dissolvido, matéria orgânica, demanda bioquímica e química de oxigênio, componentes inorgânicos e orgânicos. Dentre os parâmetros que representam suas características biológicas têm-se vírus, bactérias (sobretudo coliformes) e algas.

Índices de qualidade da água são amplamente utilizados como um método prático para observar e representar problemas da poluição de água, pois não requer um número enorme de diferentes parâmetros para seu desenvolvimento e validação, apenas a concentração de um número limitado de parâmetros, possibilitando simplesmente olhar um único número e escala correspondente para entender a qualidade da água de forma eficaz (Akkoyunlu y Akiner, 2012).

Existem diferentes ferramentas para controle e gestão de bacias hidrográficas, sendo o IQA uma delas (Akkoyunlu y Akiner, 2012). Um IQA é comumente calculado a partir dos resultados da análise de componentes principais usando o produto da proporção de variação e as cargas para cada variável (Whittaker *et al.*, 2012).

Poonam *et al.* (2015) sintetizaram o histórico do desenvolvimento do IQA. A categorização da qualidade da água começou em meados do século XX por Horton em 1965 (Horton, 1965). Em 1970, Brown *et al.* (1970) desenvolveram um índice geral de qualidade da água.

Em 1982, Steinhart *et al.* (1982) aplicaram um novo índice de qualidade ambiental para resumir informações técnicas sobre o estado e tendências no ecossistema dos Grandes Lagos. O Grupo de Tarefas de Qualidade da Água do Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente introduziu o IQA no Canadá, em meados da década de 1990.

Na Índia, o trabalho pioneiro em IQA foi feito por Bhargava, onde a qualidade da água é expressa como um número (variando de 0 para água extremamente poluída até 100 para a água absolutamente não poluída) representando o efeito integrado dos parâmetros que amplificam a carga de poluição (Bhargava, 1983).

Nos países em desenvolvimento, o maior desafio foi desenvolver estratégias de controle de poluição com análise de custo como fator limitante devido aos recursos restritos. Portanto, Ongley em 1998 sugeriu, para tais situações, apenas alguns parâmetros críticos devem ser usados para avaliar o IQA (Ongley, 1998; Ongley y Booty, 1999).

Alguns índices de qualidade da água frequentemente usados em domínios públicos são o US National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI), Índice de Qualidade da Água do Fluxo da Flórida (FWQI), Índice de Qualidade da Água da Colúmbia Britânica (BCWQI), Índice de Qualidade da Água do Oregon (OWQI) e o Índice Canadense de Qualidade da Água (CCME WQI) que foi certificado pelo Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente (Said *et al.*, 2004).

Poonam *et al.* (2015) abordam sobre a categorização de índices de qualidade da água em quatro grupos principais (Quadro 2).

Quadro 2. Categorização de índices de qualidade da água.

Categoria	Objetivos
Índices públicos	Avaliação da qualidade da água, independente do tipo de consumo
Índices específicos de consumo	Avaliar a qualidade da água considerando o tipo de consumo e aplicação (consumo, industrial, preservação do ecossistema, etc.)
Delineamento ou planejamento de índices	Auxiliar a tomada de decisões e planejamento em projetos de gestão da qualidade da água
Índices estatísticos	Avaliar os dados através de métodos estatísticos e de maneira impessoal

Fonte: Poonam *et al.* (2015).

Poonam *et al.* (2015) enfatizam que a não utilização da avaliação por métodos estatísticos é uma abordagem de opinião de especialistas, subjetiva, devido aos pesos diferentes para as mesmas variáveis, levando a diminuir a objetividade e a comparabilidade dos índices, ainda assim, muitos índices alternativos foram desenvolvidos, porém, os pressupostos de subjetividade no desenvolvimento dos índices podem ser reduzidos usando abordagens estatísticas, que também podem ser usadas para identificar parâmetros importantes na determinação da qualidade de um corpo de água, bem como a extensão de sua significância.

Por meio de uma revisão literária, Poonam *et al.* (2015) apresentam o procedimento básico para desenvolvimento do IQA, partindo da seleção de variáveis com base no monitoramento de

amostras de água para geração de dados brutos. Uma vez que os dados brutos são gerados, as variáveis são transformadas por meio de diferentes abordagens estatísticas, onde vários parâmetros têm diferentes unidades a fim de classifica-los numa escala comum e geração de subíndices.

A ponderação é atribuída a cada parâmetro com pesos (através da opinião de especialistas) de acordo com sua importância e impactos potenciais na qualidade da água (alguns índices desenvolvidos não utilizam atribuição de peso), desse modo é possível agregar subíndices para gerar um valor de índice cumulativo, e, finalmente, a avaliação e classificação da qualidade da água é feita (Poonam *et al.*, 2015). Os autores delineiam o cálculo do IQA em quatro etapas: 1) selecionar um conjunto de variáveis para descrever a qualidade da água; 2) variáveis de diferentes unidades são convertidas na mesma escala; 3) às variáveis são atribuídas ponderações com base na sua importância relativa para a qualidade da água; 4) gerar o IQA usando agregação ponderada ou método de agregação não ponderada.

De acordo com Dobbie e Dail (2013), um índice composto é uma combinação de múltiplas fontes de informação medidas de forma a fornecer um resumo que não é diretamente mensurável considerando cinco etapas fundamentais para sua construção, a saber, (1) a definição de um quadro teórico para apoiar a composição do índice; (2) selecionar, limpar e manipular os dados indicadores brutos; (3) padronização dos dados; (4) ponderação e agregação dos indicadores; e (5) avaliação da robustez e sensibilidade do índice.

Classificação do IQA-CETESB em rios da Amazônia Legal

Em 1970, a partir do estudo realizado pela US National Sanitation Foundation, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) adaptou e desenvolveu um Índice de qualidade da água, o IQA-CETESB.

Este índice é composto por nove parâmetros com objetivo de avaliar a qualidade das águas, tendo como determinante principal a sua utilização para o abastecimento público, considerando aspectos relativos ao tratamento dessas águas.

A criação do IQA baseou-se numa pesquisa de opinião junto a especialistas em qualidade de águas, que indicaram as variáveis a serem avaliadas, o peso relativo e a condição com que se apresenta cada parâmetro, segundo uma escala de valores “rating”. Das 35 variáveis indicadoras de qualidade de água inicialmente propostos, somente nove foram selecionados. Para estes, a critério de cada profissional, foram estabelecidas curvas de variação da qualidade das águas de acordo com o estado ou a condição de cada parâmetro (CETESB, 2016).

Áreas tropicais passam anualmente por ciclos hidrológicos bem definidos, e esses recursos têm sido cada vez mais estudados para obter informações que possam auxiliar no monitoramento de

impactos ambientais causados por pressões antropogênicas e pode levar à tomada de decisões; entretanto, não foram construídos dados do IQA na literatura considerando a transparência da água ou o ciclo hidrológico da região amazônica (Lobato *et al.*, 2015).

A Amazônia Legal tem território de 5,217,423 km², equivalente a 61% do território brasileiro. Foi criada em 1953 para fins de planejamento político (Homma, 2008) e compreende integralmente os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins e, parcialmente, o Maranhão.

Vários estudos foram elaborados a fim de avaliar e classificar a qualidade da água na região amazônica, no Quadro 3 apresentam-se os principais estudos publicados em periódicos sobre esta avaliação. Na Figura 1 encontram-se espacializadas geograficamente as regiões onde os autores do Quadro 3 desenvolveram as pesquisas na Amazônia Legal.

De acordo com Brito *et al.* (2010), a classificação da qualidade da água na região amazônica pode estar muito mais associada às características naturais dos corpos de água, como exemplo, baixos valores de pH e baixas concentrações de oxigênio dissolvido, do que com agentes poluidores (esgoto não tratado, defensivos agrícolas) de origem doméstica, industrial ou agrícola.

Segundo Alves *et al.* (2012), valores de sólidos totais e turbidez, característicos de rios amazônicos, favorecem a diminuição do IQA. Aumentar a concentração de sedimentos reduz o nível de oxigênio na água e também altera a temperatura da água, resultando em um ambiente desfavorável ao organismo aquático (Malone, 2009).

A acidez, carga de matéria orgânica de origem vegetal e elevada turbidez das águas são características típicas dos rios amazônicos de águas brancas (Sioli, 1957), e o efeito combinado entre algumas variáveis torna as águas Amazônicas diferenciadas de outros rios do Brasil (Alves *et al.*, 2012). “As atividades regionais desenvolvidas modificam os usos múltiplos da água e seus aspectos espaciotemporais, desfigurando as paisagens, reduzindo sua biodiversidade” (Nascimento, 2011).

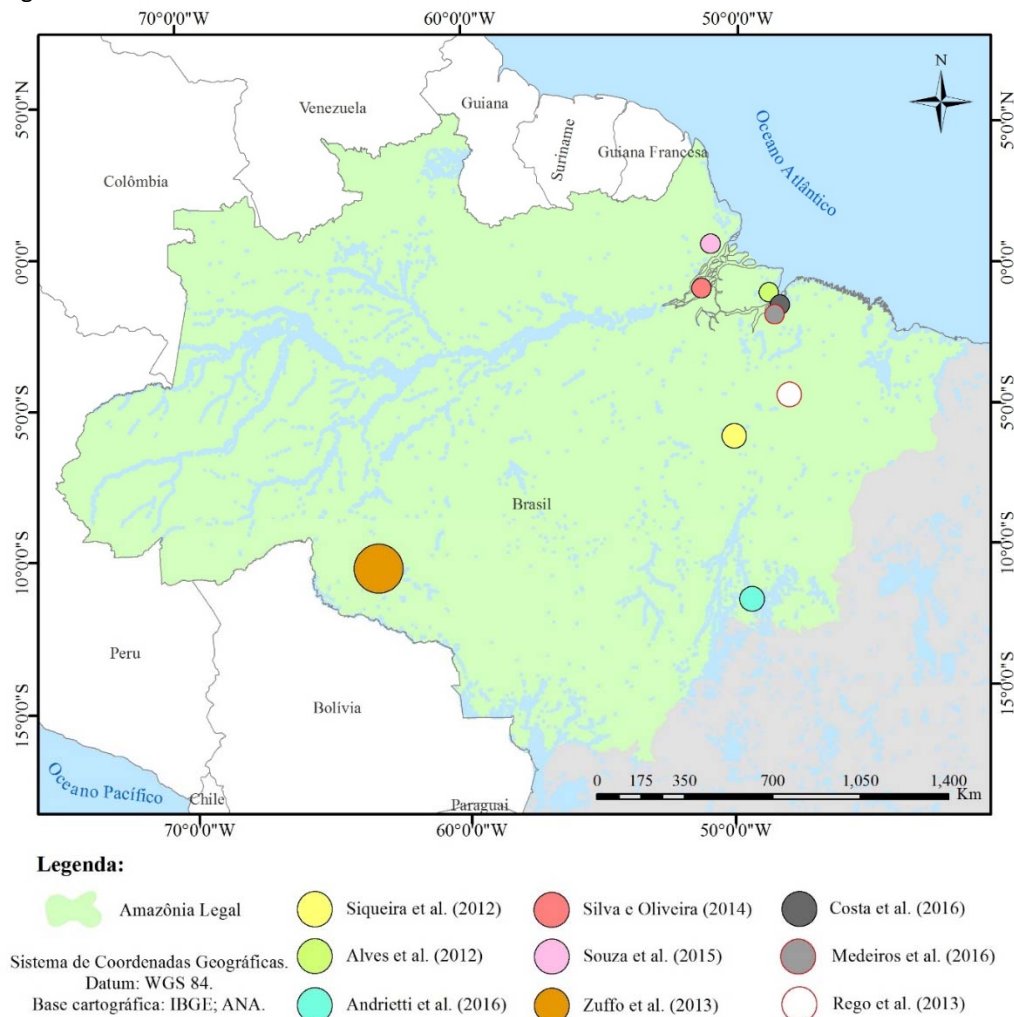
Segundo Margulis (2003) as principais atividades econômicas na Amazônia são agricultura, pecuária e madeireira, sendo extração de madeira, pecuária e lavouras, as principais atividades agropecuárias. Na Amazônia Legal, Fearnside (2003) e Alencar *et al.* (2004) enfatizam a extração madeireira, a pecuária e a agroindústria como principais atividades econômicas. Estas atividades estão diretamente ligadas ao processo de desmatamento na região.

De acordo com Selborne (2001), a agricultura é o maior consumidor de água doce, sendo responsável por cerca de três quartos do consumo mundial. Se a população aumentar em 65% nos próximos 50 anos, como é virtualmente certo, cerca de 70% dos habitantes do planeta

enfrentarão deficiências no suprimento de água, e 16% deles não terão água bastante para produzir sua alimentação básica.

Atualmente, os usos múltiplos das águas proporcionam desafios para a gestão dos recursos hídricos nacionais em todas as regiões, como: a expansão da geração hidrelétrica e da navegação; a expansão da fronteira agrícola; o controle da poluição e o déficit hídrico. Para Nascimento (2011) os usos múltiplos d'água nas atividades rurais e urbanas alteram as condições naturais dos rios, principalmente da sua dinâmica fluvial, com consequências de causa e efeito, podendo provocar impactos irreparáveis.

Figura 1. Espacialização geográfica das regiões onde os autores do Quadro 3 desenvolveram as pesquisas na Amazônia Legal.



Fonte: Autores (2020)

Quadro 3. Classificação da qualidade da água, de acordo com o IQA-CETESB, em rios da Amazônia Legal.

Rio Localização	Descrição	Classificação	Referência
Parauapebas, localizado no centro-sul do Estado do Pará e cortando o município de mesmo nome.	20 pontos ao longo do rio Parauapebas, no trecho de maior urbanização com cerca de 400 m entre cada ponto, tendo extensão de aproximadamente 8 km. Todo mês de setembro dos anos de 2004, 2007 e 2009, durante o período de menor precipitação na região e fluxo básico do rio, águas superficiais (0.1 m) foram coletadas contra a corrente.	Regular	Siqueira <i>et al.</i> (2012)
Arari, localizado na porção leste da ilha do Marajó, norte do Brasil.	Quatro campanhas foram realizadas no rio Arari em 2009 com duas no período de descarga máxima e duas no período de descarga mínima. No trecho compreendido entre Santana e Cachoeira do Arari (43.7 km de comprimento) foram distribuídas três estações de coleta.	Período chuvoso: Ruim. Período menos chuvoso: Ruim / Regular.	Alves <i>et al.</i> (2012)
Caiabi, localizado na região médio Norte do Estado de Mato Grosso.	Foram selecionados 5 locais de coleta ao longo canal principal do rio, considerando os aspectos de logística e acessibilidade ao local de coleta nos meses de seca e de chuva.	Boa	Andrietti <i>et al.</i> (2016)
Araguari, em Ferreira Gomes, Estado do Amapá.	Oito pontos de coleta distribuídos na Reserva Particular de Patrimônio Natural Seringal Triunfo, no mês de dezembro 2012 representando o período seco e no mês de junho 2013 representando o período de cheia.	Período de cheia: Regular. Período de seca: Boa / Regular.	Silva; Oliveira (2014)
Caba Vida, município de Brejinho de Nazaré, parte central do Estado do Tocantins, zona metropolitana de Palmas.	Dois pontos de coletas, analisando os meses de outubro e novembro de 2012.	Regular / Ruim.	Pinto <i>et al.</i> (2015)
Estado de Rondônia	Vinte e quatro pontos distribuídos entre bacias hidrográficas estaduais. Com três campanhas entre os anos de 1996 e 1997	Boa	Zuffo <i>et al.</i> (2013)
Pedreira, dentro dos limites do Município de Porto Grande com Ferreira Gomes, Amapá,	Quatro campanhas amostrais divididas entre período de seca e de cheia, de 2013 a 2014.	Boa / Regular.	Souza <i>et al.</i> (2015)
Arapiranga, inicia-se na cidade de Abaetetuba, no norte do Brasil, e desagua no rio Pará junto à Vila de Beja.	A amostragem foi realizada em três pontos, em fevereiro, maio, agosto e novembro de 2012.	Boa	Costa <i>et al.</i> (2016)
Curupê-Dendê, nas proximidades das regiões industriais e portuárias da cidade de Barcarena.	A amostragem foi realizada em três pontos, em fevereiro, maio, agosto e novembro de 2012.	Regular	Costa <i>et al.</i> (2016)
Murucupi, nas proximidades das regiões industriais e portuárias da cidade de Barcarena.	A amostragem foi realizada em três pontos, em fevereiro, maio, agosto e novembro de 2012.	Ruim / Regular.	Costa <i>et al.</i> (2016)
Arapiranga, em Abaetetuba	A amostragem foi realizada em oito pontos.	Regular / Boa	Medeiros <i>et al.</i> (2017)
Murucupi, em Barcarena	A amostragem foi realizada em oito pontos.	Regular / Boa	Medeiros <i>et al.</i> (2017)
Pebas, em Rondon do Pará	A amostragem foi realizada em três pontos, considerando os períodos de estiagem e chuvoso.	Regular	Rego <i>et al.</i> (2013)
Ararandeua, em Rondon do Pará	A amostragem foi realizada em três pontos, considerando os períodos de estiagem e chuvoso.	Ruim / Regular	Rego <i>et al.</i> (2013)

Degradação hídrica em bacias hidrográficas

A base para a gestão dos recursos hídricos está na legislação que contém parâmetros que irão responder às políticas específicas (Araújo *et al.*, 2015). Assim, por meio da PNRH (Brasil, 1997), compreende-se que no Brasil se destaca a adoção da bacia hidrográfica como unidade físico-territorial de planejamento; o princípio dos usos múltiplos da água, no qual os recursos hídricos devem estar disponíveis em igualdade de oportunidades, para todos os usuários interessados em seu uso, dando prioridade em cada bacia ao uso que gera os maiores benefícios sociais líquidos; o reconhecimento da água como bem econômico, devido à sua escassez na natureza; e a gestão descentralizada, participativa e integrada do uso da água.

Entre os instrumentos adotados pela PNRH, destaca-se a importância dos Planos de Recursos Hídricos, do enquadramento dos corpos de água em classes segundo os usos preponderantes da água e do o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

A gestão dos recursos hídricos assume grande importância porque afeta quase todos os aspectos da economia, em particular: a produção de alimentos, saúde, segurança do abastecimento doméstico de água, esgotamento sanitário, indústria, energia e sustentabilidade ambiental (Carr *et al.*, 2012); os usos múltiplos da água devem ser planejados a fim de viabilizar a sustentabilidade ambiental (Augusto *et al.*, 2012).

Sánchez (2008) relaciona o uso dos ambientes naturais aquáticos, e a forma que os processos produtivos econômicos e a sociedade os utilizam, enfatizando sobre a importância de estar alerta quanto as repercussões degradadoras como a poluição, que possivelmente é o maior fenômeno que altera toda a natureza de forma danosa.

De acordo com explicações de Carrera-Fernandez (2000), o setor de geração energética brasileiro, por conta de um tratamento assimétrico estabelecido pelo Governo Federal, centralizava decisões sobre recursos hídricos até os anos de 1970, quando outros setores usuários (como a irrigação, o abastecimento urbano e, em certa extensão, a indústria) começaram a se posicionar contra esta priorização.

Ainda segundo o autor, dessa forma, começou a florescer no Brasil o chamado “princípio dos usos múltiplos”, segundo o qual os recursos hídricos devem ser acessíveis a todos os setores interessados em seu uso, dando-se o predomínio, em cada bacia ou região hidrográfica, ao uso que gerar os maiores benefícios sociais líquidos.

Segundo a Agenda 21 brasileira (1996), há poucas regiões no mundo ainda livres dos problemas da perda de fontes potenciais de água doce, da degradação na qualidade da água e da poluição das fontes superficiais e subterrâneas, onde os problemas mais graves que afetam a qualidade da água de rios e lagos decorrem, em ordem variável de importância, segundo as diferentes

situações, de esgotos domésticos tratados de forma inadequada, de controles inadequados dos efluentes industriais, da agricultura migratória sem controle e de práticas agrícolas deficientes.

Ao se admitir o “uso múltiplo” das águas dos mananciais criou-se um incentivador do aproveitamento ou exploração máxima das bacias hidrográficas, o que é incompatível com a necessidade prioritária para o consumo humano; a crítica à legislação atual se dá quando o uso para o consumo humano é colocado no mesmo plano de igualdade dos demais usos, diferentemente do Código de Águas, que o definia como o mais nobre dos usos (Augusto *et al.*, 2012).

Diferentes atividades agrícolas degradam a qualidade da água, por exemplo, práticas agrícolas inadequadas, como o arado excessivo, perturbam as partículas do solo e essas partículas de solo chegam nas águas mais próximas através da erosão do solo pelo escoamento superficial (Giri y Qiu, 2016). Ocorre que partículas de solo são carregadas, por ação da água ou do vento, e são levadas pelo escoamento superficial aos corpos hídricos mais próximos.

As atividades agrícolas provocam impactos sobre o ambiente, tais como desmatamentos e expansão da fronteira agrícola, queimadas em pastagens e florestas, poluição por dejetos animais e agrotóxicos, erosão e degradação de solos, desertificação e contaminação das águas (Leite *et al.*, 2011). Perda da vegetação nativa/local e afugentamento da fauna são impactos ambientais consequentes da atividade de desmatamento. As consequências das emissões de misturas tóxicas como pesticidas, metais pesados, produtos industriais e uma variedade de outras substâncias, podem ser sérias no processo de degradação hídrica (Vega *et al.*, 1996).

A aplicação excessiva de fertilizantes, estrume e pesticidas para uma melhor produção agrícola, bem como a proteção das culturas pode ser prejudicial (Giri y Qiu, 2016). Aquino, Paletta y Almeida (2017) destacam que fertilizantes e pesticidas são responsáveis pela bioacumulação e pelo acúmulo de poluentes da água. Em mananciais superficiais, acordo com FAO (2020), a fertilização gera lixiviação de nutrientes provocando a eutrofização, o excesso de crescimento de algas ocasionando a desoxigenação de água e mortes de peixes; a difusão de estrume contamina águas receptoras por agentes patogênicos, metais, fósforo e nitrogênio, provocando a eutrofização e potencial contaminação; e pesticidas contaminam águas e biota causando impactos à saúde pública.

O excesso de nitrogênio e fósforo dos campos agrícolas entra em cursos de água através de escoamento superficial e o aumento desse teor de nutrientes acelera a eutrofização resultando na morte de peixes e outros organismos aquáticos (Carpenter, 2008).

Para exemplificar a interação entre atividades agrícolas e degradação hídrica, Batalha *et al.* (2014) avaliaram as condições físico-químicas e biológicas por meio do IQA-CESTEB em águas superficiais

no entorno da Flona Tapajós (oeste do Estado do Pará) e concluíram que os corpos hídricos são sensíveis às alterações no uso e cobertura do solo.

Os impactos ambientais relacionados aos poluentes (dejetos humanos, lixos, venenos, efluentes agrícolas e resíduos industriais) e ao uso intensivo do solo, segundo o modelo agrícola com dependência de agrotóxicos e de biotecnologia, mecanização, irrigação, monocultura e concentração de terras, afetam negativamente a disponibilidade e qualidade da água para consumo humano (Augusto *et al.*, 2012).

Augusto *et al.* (2012) afirmam que a baixa preocupação com a qualidade da água é uma questão crítica permanente, e que houve um retrocesso em relação ao “velho Código de Águas”, que era mais rigoroso do que a atual legislação.

Em uma visão geral, a demanda hídrica visa atender os usos múltiplos de maneira sustentável, porém, a heterogeneidade espaço-temporal, bem como a poluição, afeta diretamente esta relação. Como os recursos hídricos têm usos múltiplos, a água pode ser classificada como boa ou ruim de acordo com a atividade fim. Para que haja a definição da qualidade da água em determinado uso, alguns índices que agrupam os diversos parâmetros de qualidade de interesse foram desenvolvidos.

Giri e Qiu (2016) pontuam que as buscas por soluções para os problemas de degradação hídrica, bem como outras questões ambientais, baseiam-se nos seguintes fatores: i) educação ambiental, ii) formação de legislação ambiental, iii) uso de novas tecnologias e iv) aceitação da tecnologia pela sociedade.

Considerações finais

A legislação ambiental brasileira é considerada uma das mais completas do mundo, visando garantir a preservação do grande patrimônio ambiental do país. O que a torna menos efetiva é o fato destas leis não serem cumpridas da maneira adequada. No caso da Amazônia Legal, área importante do ponto de vista desenvolvimento socioeconômico, o grande desafio é operacionalizar o monitoramento ambiental devido as dificuldades relacionadas sua extensão territorial, baixa densidade democrática (comparada a outras regiões brasileiras), dificuldade de acesso, baixo contingente técnico disponível, entre outras.

A Amazônia Legal ainda carece de informações consistentes quanto a sua qualidade hídrica. Isso permite concluir que apesar da importância destas informações, sintetizadas pelo IQA, pouco se utiliza esta ferramenta como integrante da gestão regional.

Para que a gestão regional baseada na utilização do IQA se torne sustentável e efetiva, é indispensável a participação social ativa por meio das instituições e órgãos financiadores de ensino e pesquisa, de órgãos ambientais (a nível federal e estadual), que disponham de apoio financeiro e operacional de forma adequada e contínua, com suporte de comunidades (implementação de comitês de bacias), para geração e disseminação de informações para o monitoramento ambiental da qualidade hídrica na Amazônia.

Diante do exposto é primordial compreender que o IQA é e deve ser visualizado como o indicativo inicial da qualidade da água, como ponto de partida para análises mais criteriosas, sobretudo na Amazônia Legal, onde atividades de extrativismo, principalmente o mineral, são intensas. O IQA-CETESB foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta visando seu uso para o abastecimento público após tratamento, apresentando limitações, tendo em vista que não são analisadas variáveis como substâncias tóxicas (metais pesados, pesticidas, compostos orgânicos) e protozoários patogênicos.

A avaliação de toxicidade, junto com a análise dos parâmetros físico-químicos e biológicos são ferramentas essenciais na avaliação da saúde dos mananciais superficiais servindo como uma forma de alerta para possíveis problemas de degradação hídrica.

Visando garantir a proteção e preservação do patrimônio ambiental brasileiro, os órgãos ambientais devem estabelecer um controle e fiscalização com o maior rigor possível, conhecendo características das atividades executadas na região e considerando que estas atividades podem, caso haja problemas no controle ambiental, ocasionar em prejuízos ambientais imensuráveis como os já ocorridos recentemente devido aos rompimentos de barragens de rejeitos de mineração, por exemplo.

O tripé do desenvolvimento sustentável (meio ambiente, sociedade e economia) precisa ser fortalecido, tendo em vista que os problemas recentes indicam que a preocupação com o crescimento econômico está à frente do desenvolvimento social e ambiental no Brasil. Assim, devem ser estabelecidas medidas de controle eficazes e metas mitigadoras, superando os desafios e dificuldades regionais, com o intuito de reduzir a degradação hídrica, com uso de novas tecnologia e aceitação destas tecnologias pela sociedade.

Referências

- Agenda 21 (1996) Proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos: aplicação de critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso dos recursos hídricos. *Água em Rev: Suplemento das Águas*, 14-33. Disponível em:
http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:9cqVORv2x5oJ:ftp://ftp.ufv.br/def/disciplinas/E/NF448/aula_02_agenda21/agenda21/18%2520-%2520Recursos.pdf+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br

- Akkoyunlu, A., Akiner, M. E. (2012) Pollution evaluation in streams using water quality indices: A case study from Turkey's Sapanca Lake Basin. *Ecological Indicators*, **18**, 501–511.
- Alencar, A., Nepstad, N., Mcgrath, D., Moutinho, P., Pacheco, P., Diaz, M. D. C. V., Filho, B. S. (2004) Desmatamento na Amazônia: indo além da emergência crônica. Manaus, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM)
- Alves, I. C. C., El-Robrini, M., Santos, M. L. S., Monteiro, S. M., Barbosa, L. P. F., Guimarães, J. T. F. (2012) Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil) *Acta Amazonica*, **42**(1), 115-124.
- Andrietti, G., Freire, R., Amaral, A. G., Almeida, F. T., Bongiovani, M. C., Schneider, R. M. (2016) Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. *Revista Ambiente e Água*, **11**(1), 162 -175.
- Aquino, A. R., Paletta, F. C., Almeida, J. R. (2017) Vulnerabilidade ambiental. São Paulo: Blucher.112 pp. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/openaccess/9788580392425/completo.pdf>
- Araújo, R. S., Alves, M. G., Melo, M. T. C., Chrispim, Z. M. P., Mendes, M. P., Silva Júnior, G. C. (2015) Water resource management: A comparative evaluation of Brazil, Rio de Janeiro, the European Union, and Portugal. *Science of the Total Environment*, **511**, 815–828.
- Augusto, L. G. S., Gurgel, I.G. D., Câmara Neto, H. F., Melo, C. H., Costa, A. M. (2012) O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. *Ciência & Saúde Coletiva*; **17**(6), 1511-1522.
- Batalha, S. S. A., Martorano, L. G., Biase, A. G., Morales, G. P., Pontes, A. N., Santos, L. S. (2014) Condições físico-químicas e biológicas em águas superficiais do rio Tapajós e a conservação de Floresta Nacional na Amazônia, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, **9**(4), 647-663.
- Behmel, S., Damour, M., Ludwig, R., Rodriguez, M. J. (2016) Water quality monitoring strategies — A review and future perspectives. *Science of the Total Environment*, **571**, 1312-1329.
- Bhargava, D. S. (1983) Use of water quality index for river classification and zoning of Ganga River. *Environ. Pollut. Ser. B.*, England, **6**(1), 51–67.
- Blanco, C. J. C., Santos, S. S. M., Quintas, M. C., Vinagre, M. V. A., Mesquita, A. L. A. (2013) Contribution to hydrological modelling of small Amazonian catchments: application of rainfall–runoff models to simulate flow duration curves. *Hydrological Sciences Journal*, **58**(7), 1423-1433.
- Blanco, C. J. C., Secretan, Y., Mesquita, A. L. A. (2008) Decision support system for micro-hydro power plants in the Amazon region under a sustainable development perspective. *Energy for Sustainable Development*, **12**(3), 25–33.
- Brasil (1997) Lei 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição federal, e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Lex: Diário Oficial da União. Seção 1, p. 470. Brasília, 09 de janeiro 1997.
- Brasil (1986) Resolução CONAMA 20, de 18 de junho de 1986. Conselho Nacional de Meio Ambiente.
- Brasil (2000) Resolução CONAMA 274, de 29 de novembro de 2000. Conselho Nacional de Meio Ambiente.
- Brasil (2005) Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional de Meio Ambiente.
- Brito, J. G., Sousa, A. K. F., Mera, P. A. S., Alves, L. F. (2010) Avaliação da qualidade da água de rios da Amazônia central. Anais/Resumos da 62ª Reunião Anual da SBPC. Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, UFRN.
- Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., Tozer, R. (1970) *A Water Quality Index. Do we dare? Water and Sewage Works*, **117**(10), 339-343.
- Carrera-Fernandez, J. (2000) O Princípio dos Usos Múltiplos dos Recursos Hídricos: Uma Análise a partir da Bacia do Rio Formoso no Oeste Baiano. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, **31**(Especial), 810-835.
- Carpenter, S. R. (2008) Phosphorus control is critical to mitigating eutrophication. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, v. **105**, 11039-11040.
- Carr, G., Blöschl, G., Loucks, D. P. (2012) Evaluating participation in water resource management: A review. *Water Resources Research*, **48**(11), 1-17.

- CETESB. (2007) Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo: Anexo III - Índice de Qualidade das Águas. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. Governo do Estado de São Paulo – Secretaria do Meio Ambiente. 23 pp.
- CETESB (2016) *Relatórios de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo*, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo – Apêndice D. Índices de Qualidade das Águas. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente.
- Costa, B. N. S., Pinheiro, S. C. C., Amado, L. L., Lima, M. O. (2016) Microzooplankton as a bioindicator of environmental degradation in the Amazon. *Ecological Indicators*, **61**, 526-545.
- Dobbie, M. J., Dail, D. (2013) Robustness and sensitivity of weighting and aggregation in constructing composite indices. *Ecological Indicators*, **29**, 270-277.
- FAO. Food and Agriculture Organization. (2020) Chapter 1: Introduction to agricultural water pollution. Acesso em 08 mar 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/w2598e/w2598e04.htm#classes>
- Fearnside, P. M. (2003) A floresta Amazônia nas mudanças globais. Manaus, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)
- Feng, Y., Ling, L., Yanfeng, L., You, Z., Musong, C., Xigang, X. (2015) A dynamic water quality index model based on functional data analysis. *Ecol. Indic.*, **57**, 249-258.
- Fox, D. R. (2014) Probability weighted indices for improved ecosystem report card scoring. *Environmetrics*, **25**, 351-360.
- Giri, S., Qiu, Z. (2016) Understanding the relationship of land uses and water quality in Twenty First Century: A review. *Journal of Environmental Management*, **173**, 41-48.
- Homma, A. K. O. (2008) Expansão agropecuária e desmatamento na Amazônia: Quais os caminhos. In: COELHO, A. B., TEIXEIRA, E. C. e BRAGA, M. J. (Eds.) Recursos Naturais e Crescimento Econômico. 1. ed. Viçosa, MG: [s.n.], 125–176.
- Horton, R. E. (1965) An index number system for rating water quality. *J. Water Pollut. Control Fed.*, **37**, 300-306.
- Leite, S. P., Silva, C. R., Henriques, L. C. (2011) Impactos ambientais ocasionados pela agropecuária no Complexo Aluízio Campos. *Revista Brasileira de Informações Científicas*, **2(2)**, 59-64.
- Lermontov, A., Yokoyama, L., Lermontov, M., Machado, M. A. S. (2009) River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape river watershed, Brazil. *Ecological Indicators*, **9**, 1188-1197.
- Lobato, T. C., Hauser-Davis, R. A., Oliveira, T. F., Silveira, A. M., Silva, H. A. N., Tavares, M. R. M., Saraiva, A. C. F. (2015) Construction of a novel water quality index and quality indicator for reservoir water quality evaluation: A case study in the Amazon region. *Journal of Hydrology*, **522**, 674–683.
- Malone, S. J. (2009) Agricultural Nonpoint Source Pollution Management: Water Quality Impacts of Balm Road Treatment Marsh, Hillsborough County, Florida. Master of Science Thesis. University of South Florida, Tampa, Florida.
- Margulis, S. (2003) Causas do Desmatamento da Amazônia Brasileira - 1ª edição. Brasília: Banco Mundial.
- Medeiros, A. C., Faial, K. R. F., Faial, K. C. F., Lopes, I. D. S., Lima, M. O., Guimarães, F. M., Mendonça, N. M. (2017) Quality index of the surface water of Amazonian rivers in industrial areas in Pará, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, **123(1-2)**, 156-164.
- Nascimento, F. R. (2011) Categorização de usos múltiplos dos recursos hídricos e problemas ambientais. *Revista da ANPEGE*, **7(1-Especial)**, 81-97.
- Ongley, E. D. (1998) Modernization of water quality programs in developing countries: issues of relevancy and cost efficiency. *Water Qual. Int.*, **3(4)**, 37–42.
- Ongley, E. D., Booty, W. G. (1999) Pollution remediation planning in developing countries: Conventional modelling versus knowledge based prediction. *Water Int.*, **24**, 31-38.
- Pegado, R. S. (2010) Geotecnologia como instrumento de gestão de recursos hídrico: estudo da Bacia do Tucunduba, Belém (PA) 2010. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Pará, Belém.
- Pinto, C. U. O., Carvalho, A. P., Silva, D. G. K. C. (2015) Uso do IQA para caracterização da água usada como insumo produtivo pela Comunidade Quilombola Malhadinha. *Biota Amazônia*, **5(4)**, 1-3.

- Poonam, T., Tanushree, B., Sukalyan, C. (2015) Water Quality Indices - Important tools for water quality assessment: A review. *International Journal of Advances in Chemistry (IJAC)*, **1**(1), 15-29.
- Ramakrishnaiah, C. R., Sadashivaiah, C., Ranganna, G. (2009) Assessment of water quality index for the groundwater in Tumkur Taluk, Karnataka State, India. *Journal of Chemistry*, **6**(2), 523-530.
- Ramesh, S., Sukumaran, N., Murugesan, A., Rajan, M. (2010) An innovative approach of Drinking Water Quality Index - a case study from Southern Tamil Nadu, India. *Ecol. Indic.*, **10**, 857-868.
- Rego, A. G., Fernandes, L. L., Blanco, C. J. C., Barp, A. R. B. (2013) Evaluation of sustainability in the use of water within the Amazon deforestation area: a case study in Rondon do Pará, Pará State, Brazil. *Acta Scientiarum Technology*, **35**(2), 237-245.
- Sánchez, L. H. (2008) Avaliação de impactos ambientais: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 24 pp.
- Said, A., Stevens, D. K., Sehlke, G. (2004) An innovative index for evaluating water quality in streams. *Environ. Assess.*, **34**(3), 406-414.
- Schewe, J., Heinke, J., Gerten, D., Haddeland, I., Arnell, N. W., Clark, D. B., Colón-González, F. J. (2014) Multimodel assessment of water scarcity under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **111**, 3245-3250.
- Selborne, L. (2001) A Ética do Uso da Água Doce: um levantamento. Brasília: UNESCO. Disponível em: <https://www.unijales.edu.br/library/downebook/id:176>
- Seeboonruang, U. (2012) A statistical assessment of the impact of land uses on surface water quality indexes. *Journal of Environmental Management*, **101**, 134-142.
- Silva, E. S., Oliveira, J. C. S. (2014) Avaliação da qualidade da água da Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Seringal Triunfo, Rio Araguari, Ferreira Gomes-AP-Brasil. *Biota Amazônia*, **4**(2), 28-42.
- Simoës, F. S., Moreira, A. B., Bisinoti, M. C., Gimenez, S. M. N., Yabe, M. J. S. (2008) Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. *Ecol. Ind.*, **8**(5), 476-484.
- Siqueira, G. W., Aprile, F., Miguéis, A. M. (2012) Diagnóstico da qualidade da água do rio Parauapebas (Pará – Brasil) *Acta Amazonica*, **42**(3), 413-422.
- Sioli, H. (1957) pH values to Amazonian waters. *Bulletin of the Museum Paraense Emilio Goeldi*, **1**, 1-35.
- Souza, A. C. M., Silva, M. R. F., Dias, N. S. (2012) Gestão de recursos hídricos: o caso da bacia hidrográfica Apodi/Mossoró (RN) *Irriga*, Botucatu, Edição especial, 280-296.
- Souza, E. R., Fernandes, M. R. (2000) Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais. *Revista Informe Agropecuário*. Belo Horizonte, **21**(207), 15-20.
- Souza, J. R., Moraes, M. E. B., Sonoda, S. L., Santos, H. C. R. G. (2014) A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. *REDE - Revista Eletrônica do Prodepa*, **8**(1), 26-45.
- Souza, N. S., Oliveira, J. C. S., Silva, E. S. (2015) Avaliação da qualidade da água do Alto Rio Pedreira, Macapá, Amapá. *Biota Amazônia*, **5**(2), 107-118.
- Steinhart, C. E., Schierow, L. J., Sonzogni, W. C. (1982) Environmental Quality Index for the Great Lakes. *Water Resour. Bull.*, **18**(6), 1025-1031.
- Sun, W., Xia, C., Xu, M., Guo, J., Sun, G. (2016) Application of modified water quality indices as indicators to assess the spatial and temporal trends of water quality in the Dongjiang River. *Ecological Indicators*, **66**, 306-312.
- Targa, M. S., Batista, G. T., Diniz, H. N., Dias, N. W., Matos, F. C. (2012) Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, **7**(2), 120-142.
- Toledo, L.G., Nicolella, G. (2002) Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. *Scientia Agricola*, **59**(1), 181-186.
- Tucci, C. E. M. (2001) *Gestão da água no Brasil*. Brasília: UNESCO. Disponível em: http://r1.ufrj.br/lmbh/pdf/Outras%20publicacoes/LMBH_gestao_da_agua_no_Brasil.pdf
- Vittala, S. S., Govindaiah, S., Gowda, H. H. (2008) Prioritization of sub-watersheds for sustainable development and management of natural resources: Na integrated approach using remote sensing, GIS and sócio-economic data. *Current Science*, Índia, **95**(3), 345-354.

- Watrín, O. S., Gerhard, P., Maciel, M. N. M. (2009) Dinâmica do uso da terra e configuração da paisagem em antigas áreas de colonização de base econômica familiar, no Nordeste do estado do Pará. *Revista Geografia*, Rio Claro, **34**(3), 455-472.
- Whittaker, G., Lautenbach, S., Volk, M. (2012) What is a good index? Problems with statistically based indicators and the Malmquist index as alternative. International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs) 2012 International Congress on Environmental Modelling and Software Managing Resources of a Limited Planet, Sixth Biennial Meeting, R Seppelt, AA Voinov, S Lange, D Bankamp (eds.), Leipzig, Germany.
- Wong, H., Hu, B. Q. (2014) Application of improved extension evaluation method to water quality Evaluation. *Journal of Hydrology*, **509**, 539-548.
- Zuffo, C. E., Nascimento, G. F., Abreu, F. A. M., Cavalcante, I. N. (2013) Caracterização da Qualidade de Águas Superficiais em Rondônia. *Anuário do Instituto de Geociências*, UFRJ, **36**(2), 25-39.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.024>