

# REVISTA AIDIS

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

## APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA IQA<sub>c</sub> EM BACIAS HIDROGRÁFICAS PARANAENSES

Alana Deduck Cicilinski <sup>1</sup>  
\* Jorim Sousa das Virgens Filho <sup>1</sup>  
Rodrigo Yoiti Tsukahara <sup>2</sup>

## APPLICATION OF THE WATER QUALITY INDEX IQA<sub>c</sub> IN PARANA STATE WATERSHEDS

Recibido el 25 de julio de 2019; Aceptado el 7 de mayo de 2020

### Abstract

*The main objective of this research was to analyze water quality in the watershed of Tibagi river and Cinzas river, located in the State of Parana, Brazil by applying the CONAMA Water Quality Index (IQA<sub>c</sub>). Ponderations were made from a viewpoint of more and less rainy annual periods, as well as a seasonal perspective. Georeferenced maps were elaborated using the Inverse Distance Weighted (IDW) interpolation method, in order to obtain the spatial distribution of the estimated values. With the view to compare the results obtained by rainfall periods and seasons, statistical analyzes were carried out at a significance level of 1%. From the results obtained in this study, it can be concluded that the water quality in the evaluated area complies with the minimum water quality requirements in Brazilian legislation for Class 2 rivers. It was observed that the seasonal factor had no significant influence in water quality.*

**Keywords:** IQA<sub>c</sub>, surface water quality, water quality monitoring.

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

<sup>2</sup> Fundação ABC- Pesquisa e Desenvolvimento Agropecuário, Castro, Paraná, Brasil.

\* *Autor correspondente:* Laboratório de Estatística Computacional e Aplicada, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Av. Carlos Cavalcanti, 4748, Bloco L, Sala 104-A, Bairro Uvaranas, Ponta Grossa, Paraná, CEP 84020-080, Brasil. Email: [jvirgens@uepg.br](mailto:jvirgens@uepg.br)

## Resumo

*Esta pesquisa teve como objetivo principal analisar a qualidade da água nas Bacias Hidrográficas do Rio Tibagi e do Rio das Cinzas, localizadas no Estado do Paraná, Brasil por meio da aplicação do Índice de Qualidade da Água CONAMA (IQAc). Foram realizadas ponderações sob um ponto de vista pluviométrico de períodos anuais mais chuvoso e menos chuvoso, e numa perspectiva sazonal. Foram elaborados mapas georreferenciados, utilizando o método de interpolação do Inverso da Distância Ponderada (IDW), a fim de obter a distribuição espacial dos valores estimados. Com a finalidade de comparar os resultados encontrados, foram realizadas análises estatísticas ao nível de significância de 1%. Pôde-se concluir que a qualidade da água na área avaliada está em conformidade com os requisitos mínimos de qualidade da água que constam na legislação brasileira para rios Classe 2. Foi constatado que o fator sazonal não exerceu influência significativa na qualidade da água.*

**Palavras chave:** IQAc, monitoramento da qualidade da água, qualidade da água superficial.

---

## Introdução

Os recursos hídricos apresentam importância vital, em diversos setores da economia, como agricultura, geração de energia elétrica, silvicultura, indústria da pesca, entre outros, além da necessidade da água potável para consumo humano direto. Contudo, a expansão das atividades antropogênicas coloca em risco a qualidade dos corpos hídricos. De acordo com Giri e Qiu (2016) o crescimento populacional ocasiona mudanças e intensificação no uso do solo, uma vez que, uma maior demanda de terras para habitação é necessária, bem como terras para cultivo de alimentos e para o desenvolvimento de infraestrutura, relacionado principalmente à transportes e urbanização. Essa interferência do ser humano contribui para introdução de compostos na água, afetando sua qualidade.

O suprimento e a qualidade da água também são impactados por mudanças climáticas globais. De acordo com Tundisi e Tundisi (2008), os principais impactos do aquecimento global deverão estar relacionados com o aumento de drenagem, mudanças na precipitação pluviométrica, aumento no nível dos rios, alterações no padrão do uso do solo e deslocamento da população em função das alterações climáticas locais e regionais.

A ocupação do solo por atividades agropecuárias também pode alterar sensivelmente os sistemas naturais. Merten e Minella (2002) descrevem que a poluição hídrica, proveniente da prática agrícola, pode ocorrer de forma pontual ou difusa. A forma pontual refere-se, por exemplo, à contaminação causada pela criação de animais em sistemas de confinamento, onde grandes quantidades de dejetos são produzidas e lançadas diretamente no ambiente ou aplicadas nas lavouras. Por outro lado, a poluição difusa é aquela causada principalmente pelo escoamento superficial e pela lixiviação, visto que a contaminação dos recursos hídricos se dá pela grande quantidade de sedimentos que chegam até os ambientes aquáticos por meio da erosão hídrica.

Para avaliar e monitorar a qualidade da água, uma importante ferramenta utilizada é o Índice de Qualidade da Água (IQA). De acordo com Tyagi *et al.* (2013) pode se afirmar que o objetivo de um IQA é dar um único valor à qualidade da água de uma fonte e reduzir um maior número de parâmetros em uma equação simples, resultando em uma fácil interpretação dos dados de monitoramento da qualidade da água. Dentro deste contexto, Sutadian *et al.* (2016), descreve que este método permite agregar diversos parâmetros de qualidade da água em uma informação útil, simples e de fácil entendimento, podendo ser utilizado tanto por autoridades quanto pelo público.

Ao longo dos anos, diferentes formas de cálculo para o IQA foram desenvolvidas. Poonan *et al.* (2013) demonstra em seu trabalho que é extremamente difícil desenvolver um índice de qualidade de água com aceitação universal e, sugere que pesquisadores desenvolvam índices de acordo com as características específicas locais.

Diversas são as pesquisas de monitoramento de qualidade da água ao redor do planeta que utilizam modelos de IQA como ferramenta de avaliação. Dede *et al.* (2013) realizaram um estudo na bacia de Kirmir, uma das principais fontes de água potável da capital da Turquia, Ankara, a qual está suscetível a poluição proveniente de atividades humanas, pecuária, atividades agrícolas e instalações geotérmicas. Neste trabalho, foram avaliados os dados de qualidade da água obtidos de 10 estações de amostragem durante um período de monitoramento de um ano. Para facilitar a interpretação dos dados, cinco modelos diferentes de IQA foram aplicados para os parâmetros selecionados. Os modelos utilizados foram o Índice Canadense de Qualidade da Água (CWQI), Índice de Qualidade da Água de Óregon (OWQI), Índice de Toxicidade Aquática (ATI), Índice Geral de Poluição (OIP) e Índice Universal de Qualidade da Água (UWQI). Com os resultados encontrados os autores concluíram que os índices CWQI e QWI forneceram resultados mais razoáveis em comparação com os demais modelos analisados. No entanto, ainda segundo os autores, todos os modelos aplicados podem ser revisados e utilizados de acordo com suas vantagens e desvantagens.

Em Assam, na Índia, Bora e Goswami (2017) realizaram um monitoramento de três anos no Rio Kolong, localizado no distrito de Nagaon, que enfrenta graves degradações provenientes da intervenção humana, principalmente em decorrência de um aterro que atravessa sua cabeceira. Neste monitoramento foi avaliado o status da qualidade da água de modo sazonal a partir de um IQA, cujo qual foi calculado segundo o método do índice aritmético ponderado, amplamente utilizado por vários pesquisadores, (Chauhan e Singh (2010), Chowdury, Muntasir e Hossain (2012), Balan, Shivakumar e Kumar (2012)). Os resultados mostraram qualidade da água inapropriada no período de monções, a qual foi atribuída ao aumento do escoamento superficial proveniente das aglomerações urbanas adjacentes. Os autores ainda destacam que estudos de

caso envolvendo IQA, fornecem informações valiosas sobre a adequação geral do rio no que se refere a qualidade da água.

Na região sul do Iraque, no rio Al-Gharraf, amostras de água foram coletadas mensalmente no período de 2015-2016, em 5 locais de monitoramento. O IQA foi verificado utilizando o método do índice aritmético ponderado, resultando em valores que indicam baixa qualidade da água. Quando examinado de acordo com o Índice Canadense de Qualidade da Água (CWQI) o modelo classificou a água do rio como “pobre para vida aquática” e “razoável para irrigação”. A qualidade da água também foi avaliada utilizando o Índice da National Sanitation Foundation, obtendo um resultado mediano. Os autores destacam a importância de se aplicar IQAs para uma interpretação simples dos dados de monitoramento e como auxílio para tomada de medidas que culminem numa melhora da qualidade da água local (Ewaid e Abed, 2017).

Wu *et al.* (2018) avaliaram a qualidade da água em 96 pontos de monitoramento na Bacia do Lago Taihu, uma das áreas mais desenvolvidas da China. Quatro amostras foram coletadas ao longo das quatro estações do ano, de Setembro de 2014 à Janeiro de 2016. De maneira geral, a qualidade da água foi avaliada como moderada, por meio da aplicação do índice proposto por Bascarán (1979) também utilizado por Pesce e Wunderlin (2000), Debels *et al.* (2005) e Abrahão *et al.* (2007) e, apresentou diferença significativa entre as estações, sendo que os melhores resultados encontrados foram no outono, seguido da primavera, verão e inverno respectivamente. Os autores relatam que as influências antropogênicas e o uso da terra provavelmente foram responsáveis pelas variações espaciais observadas na qualidade da água. Além disso, os resultados obtidos neste trabalho foram, segundo os autores, aceitáveis e comparáveis aos de estudos anteriores realizados em partes da Bacia do Lago Taihu. A consistência destes resultados demonstra a alta aplicabilidade do método IQA como ferramenta de avaliação da qualidade da água nesta bacia.

No Brasil, existem diversas pesquisas relacionadas ao monitoramento e avaliação da qualidade da água por meio de IQAs como as realizadas por Bonnet *et al.* (2008); Santiago e Santos (2016); Piratoba *et al.* (2017); Trindade *et al.* (2017). Uma das mais recentes, realizada por Medeiros *et al.* (2017), ocorreu no rio Murucupi, localizado em uma área urbana e intensamente industrializada no Estado do Pará. O rio Arapiranga, um rio próximo e com menor área urbanizada nas imediações, também foi avaliado a fim de comparações. Oito pontos foram monitorados em cada rio no ano de 2009. O cálculo do IQA se deu por meio do IQACETESB (uma variação do IQA da National Sanitation Foundation) e, aos valores estimados foram aplicadas técnicas estatísticas para comparação dos resultados em períodos secos e chuvosos. Os autores consideraram o IQA como uma ferramenta importante na avaliação da qualidade da água. A eficiência do IQA e das técnicas estatísticas utilizadas para avaliar a qualidade da água dos rios Arapiranga e Murucupi foram confirmadas com base na observação das diferenças significativas entre os períodos mais

chuvosos e menos chuvosos. O rio Murucupi foi mais afetado por atividades antropogênicas devido à proximidade da cidade de Barcarena, onde a influência urbana era mais evidente, enquanto que o rio Arapiranga foi menos influenciado por tais atividades.

Diante do exposto e tendo em vista a importância do monitoramento da qualidade da água frente às atividades antropogênicas, o objetivo desta pesquisa foi analisar a qualidade da água nas Bacias do Rio Tibagi e do Rio das Cinzas, localizadas no Estado do Paraná, utilizando para tanto a aplicação do IQAc (Índice de Qualidade da Água Conama), que foi proposto por Cicilinski (2018).

### Material e métodos

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Estatística Computacional e Aplicada (LECA), na Universidade Estadual de Ponta Grossa, estado do Paraná, Brasil.

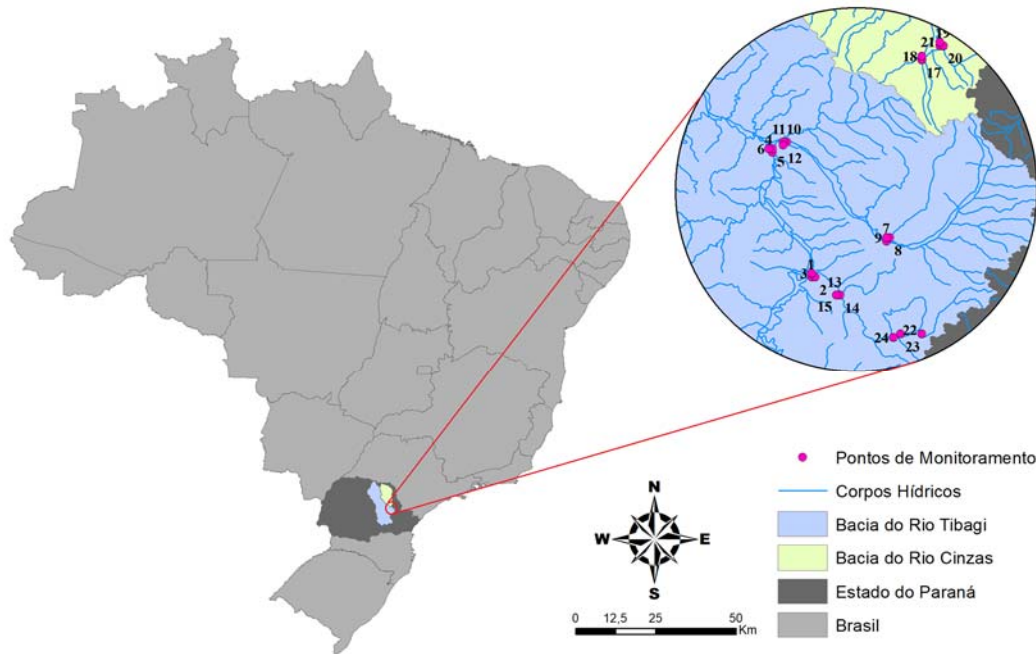
Localizado no Estado do Paraná, o Rio Tibagi possui 550 quilômetros de extensão. Sua nascente está situada na Serra das Almas entre os municípios de Ponta Grossa e Palmeira a 1100 metros de altitude. Sua área de drenagem é de 25239 km<sup>2</sup>; e a bacia divide-se da seguinte forma: 1º Planalto ou Alto Tibagi (de 1120 a 700 m de altitude); 2º Planalto ou Médio Tibagi (de 700 a 300 m de altitude) e 3º Planalto ou Baixo Tibagi (de 400 a 300 m de altitude). A principal atividade econômica desenvolvida na região é a agropecuária. Na metade sul da bacia as culturas de soja, milho, feijão e trigo ocupam uma área igual à de pastagens, havendo ainda áreas com reflorestamento. Na metade norte, região da terra roxa, a agricultura é mais intensiva com cultivos de soja, milho, trigo e café. Esta Bacia Hidrográfica é relativamente industrializada, com pólos em Londrina e Ponta Grossa. Em Telêmaco Borba, situa-se uma das maiores indústrias de celulose do país (SEMA, 2015).

Também no Estado do Paraná, encontra-se o Rio das Cinzas. Este rio nasce na Serra de Furnas e sua bacia hidrográfica conta com uma área de 9653.86 km<sup>2</sup>. A principal atividade econômica é a agropecuária, com destaque para a cultura da cana de açúcar e pastagens. As indústrias da região são predominantemente do setor agroindustrial com destaque para destilarias de álcool, usinas de açúcar, frigoríficos, laticínios e outros (SEMA, 2015).

O foco da pesquisa se dá nas regiões sul e sudeste da bacia do Rio Tibagi, correspondente à unidade hidrográfica do Alto Tibagi, e na porção sul da bacia do Rio das Cinzas.

Foram utilizados dados de qualidade da água cedidos pela Fundação ABC – Pesquisa e Desenvolvimento Agropecuário, cuja sede está localizada no município de Castro-PR, e que monitora a qualidade da água nas Bacias hidrográficas do Alto Tibagi e Cinzas desde 2014 conforme Tsukahara *et al.* (2016).

Foram definidos 24 pontos de monitoramento da água distribuídos pelas bacias hidrográficas dos rios Tibagi e Cinzas, localizados entre as longitudes 49°55'O e 50°25'O e as latitudes 24°12'S e 25°1'S, considerando critérios sociais, políticos, geográficos e ambientais, conforme a presença de cooperativas da Fundação ABC, os quais são apresentados na Figura 1.



**Figura 1.** Mapa do Estado do Paraná, onde são destacas as bacias hidrográficas dos rios Tibagi e Cinzas com os respectivos pontos de amostragem.

Os seguintes parâmetros de qualidade da água foram analisados: Cor ( $\text{mg.Pt.Co.L}^{-1} = 1 \text{ uH}$ ), Fósforo ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), Nitratos ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), Nitritos ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), Nitrogênio Amoniacal ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), Oxigênio Dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), Potencial Hidrogeniônico, Sólidos Dissolvidos Totais ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) e Turbidez (UNT). As coletas e análises foram realizadas mensalmente pela Fundação ABC, no período de julho/2014 a junho/2016. As amostras foram acondicionadas em caixas térmicas com gelo (temperatura abaixo de 4°C) e recepcionadas pelo Laboratório de Qualidade de Água da Fundação ABC em prazo inferior a 24 horas. As determinações analíticas seguiram os métodos padronizados (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater) recomendados pela APHA - American Public Health Association (APHA, 2012).

Após a organização e consistência dos dados, procedeu-se o cálculo do  $\text{IQA}_c$ , proposto por Cicilinski (2018), por meio da Equação 1:

$$IQA_c = k \frac{\sum_{i=1}^N C_i \cdot P_i}{\sum_{i=1}^N P_i}$$

**Equação 1**

Onde:

$IQA_c$ : Índice de Qualidade das Águas. Um número entre 0 e 100

$C_i$ : valor percentual correspondente ao parâmetro;

$P_i$ : peso correspondente a cada parâmetro;

$k$ : constante de ajuste em função do aspecto visual das águas, com os seguintes valores: 1.00 para águas claras sem aparente contaminação; 0.75 para águas com ligeira cor, espumas e turbidez aparente não natural; 0.50 para águas com aparência contaminada e forte odor; 0.25 para águas negras que apresentam fermentações e forte odor.

É importante destacar que o IQAc (Cicilinski, 2018) é um novo índice que se fundamentou na legislação brasileira por meio da Resolução nº 357, do CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA (CONAMA, 2005). Os valores referentes à  $C_i$  e  $P_i$  para o cálculo do IQAc, levando em consideração as condições e padrões estabelecidos para corpos hídricos Classe 2, são fornecidos pela Tabela 1, sendo que aos limites máximos ou mínimos permissíveis (de acordo com o parâmetro) foi atribuído  $C_i$  igual a 60.00.

**Tabela 1.** Parâmetros considerados para o cálculo do IQAc com seus respectivos pesos ( $P_i$ ), valores percentuais ( $C_i$ ) e valores analíticos.

Parâmetros	Peso ( $P_i$ )	Valor Percentual ( $C_i$ )										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
		Valor analítico										
N Amon	3	>6.0	6.00	5.50	5.00	4.50	4.00	3.70	3.00	2.50	2.00	≤1.00
Nitrito	2	>3.00	3.00	2.50	2.00	1.50	1.25	1.00	0.50	0.25	0.20	≤0.15
Nitrato	2	>100	100	50	30	20	15	10	8	6	4	≤2
Fósforo	2	>0.30	0.30	0.25	0.20	0.15	0.13	0.10	0.085	0.065	0.050	≤0.025
pH	1	1	2	3	4	5	5.5	6	6.5	8	7.5	7
SDT	2	>4.000	4.000	3.000	2.000	1.000	750	500	400	300	200	≤100
Turbidez	2	>350	350	280	230	180	130	100	50	20	18	≤15
Cor	2	>210	210	190	160	130	100	75	60	45	30	≤15
OD	4	0	1	2	3	3.5	4	5	6	6.5	7	≥7.5

N Amon (Nitrogênio amoniacal), Nitrato, Nitrito, Fósforo, SDT e OD (mg/L); pH (unidade), Turbidez (UT), Cor (mg Pt L<sup>-1</sup>)

Neste cálculo considerou-se que o valor de  $k$  (constante de ajuste em função do aspecto visual das águas) não varia ( $k = 1$ ) para todas as situações. A mesma condição foi proposta por Debels *et al.* (2005) e Abrahão *et al.* (2007), uma vez que essa constante tende a superestimar a poluição do corpo hídrico devido a uma impressão visual, a qual não apresenta necessariamente uma correlação com a poluição objetiva medida, como demonstrado na pesquisa de Pesce e Wunderlin (2000).

A partir dos resultados obtidos do  $IQA_c$ , que foram avaliados mensalmente, foram realizadas ponderações sob um ponto de vista pluviométrico de períodos anuais mais chuvoso e menos chuvoso, bem como numa perspectiva sazonal (estações do ano). Foi considerado que os meses de Outubro a Março compõe o período pluviométrico mais chuvoso (PMAC), sendo que o período menos chuvoso (PMEC) é composto pelos meses de Abril a Setembro. Para a avaliação sazonal dos valores alcançados, os seguintes meses foram considerados representativos de cada estação do ano: Janeiro a Março (Verão), Abril a Junho (Outono), Julho a Setembro (Inverno) e Outubro a Dezembro (Primavera).

Com o objetivo de obter a distribuição espacial dos resultados encontrados de  $IQA_c$  para a região determinada, tanto no período pluviométrico quanto por estações do ano, foram elaborados mapas georreferenciados por meio do software ArcGIS (versão 10.5.1), onde se utilizou o método de interpolação do Inverso da Distância Ponderada (IDW). Também utilizando o software ArcGIS, foi elaborado um mapa de uso e ocupação do solo da área de estudo, com base em dados obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018).

Para comparar os resultados encontrados por período pluviométrico e por estações do ano, foram realizadas análises estatísticas ao nível de significância de 1%, com o auxílio do software R. Na comparação dos valores encontrados por período pluviométrico realizou-se o teste  $t$  de Student, quando da constatação da normalidade dos dados. Quando da não normalidade dos dados, aplicou-se o teste não-paramétrico de Mann-Whitney (M-W), que compara as medianas dos grupos. Na comparação dos valores encontrados sazonalmente (por estações do ano), inicialmente foram verificados os pré-requisitos para realização da Análise de Variância (ANOVA) como a normalidade dos dados e dos resíduos (desvios) executados por meio do teste de Shapiro-Wilk, bem como a homogeneidade das variâncias, que foi avaliada pelo teste de Bartlett. Quando do não atendimento de um dos pré-requisitos para condução da ANOVA, os dados foram analisados pelo teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis (K-W).

### Resultados e discussão

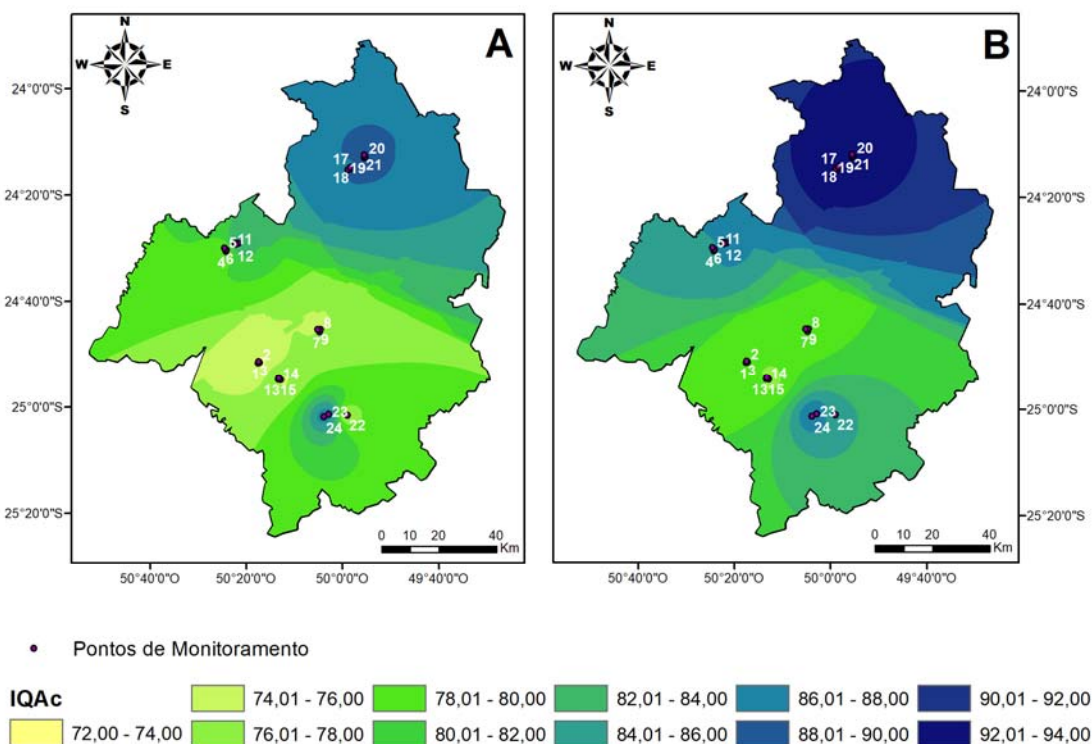
Avaliando os dados mensalmente, pôde-se observar que apenas o ponto de monitoramento 2 apresentou resultados inferiores a 60.00, nos meses de Dezembro de 2014 ( $IQA_c=53.50$ ), Março de 2015 ( $IQA_c=56.50$ ) e Fevereiro de 2016 ( $IQA_c=46.00$ ) os quais pertencem ao PMAC. O melhor resultado é referente ao ponto de monitoramento 19 e ocorreu no mês de agosto de 2014 ( $IQA_c=98.33$ ), no PMEC.

Uma vez que aos limites legislativos permissíveis de cada parâmetro foi atribuído  $C_i= 60.00$ , uma estimativa de  $IQA_c$  igual ou acima deste valor significa que, de maneira geral, o corpo hídrico encontra-se dentro do enquadramento Classe 2. Valores estimados de  $IQA_c$  abaixo de 60.00



demonstram que o local avaliado está, por via de regra, aquém das exigências estabelecidas pela legislação brasileira para rios Classe 2.

A Figura 2 representa a interpolação dos dados de  $IQA_c$  estimados para os períodos pluviométricos. Percebe-se que os melhores resultados são apresentados na região norte da área de estudo, referente à Bacia do Rio das Cinzas, tanto no PMAC (Figura 2A) quanto no P MEC (Figura 2B), onde constam os pontos de monitoramento 16, 17, 18, 19, 20 e 21. Os resultados estimados para estes pontos no PMAC encontram-se entre 88.00 e 90.00. Analogamente, no P MEC, os resultados calculados para os pontos de monitoramento mencionados estão entre os valores 92.00 e 94.00. Estes pontos encontram-se num contexto de uso do solo classificados como: Usos diversificados, Lavouras + Matas e/ou Florestas, Lavouras + Pastagens, Matas e/ou Florestas e Área entre 50% e 25% de ocupação por estabelecimentos agropecuários, como pode ser observado na Figura 3. Desta maneira, esta é a região de estudo com maior cobertura de Matas e/ou Florestas quando comparada com as demais regiões avaliadas. Conforme Meneses *et al.* (2015), que explorou a relação do uso do solo e suas mudanças na bacia hidrográfica Zêzere (Portugal), pontos com maior ocupação de florestas conduzem a uma maior proteção da qualidade da água.



**Figura 2.** Mapa da interpolação dos resultados de  $IQA_c$  na área de estudo para os períodos pluviométricos PMAC (A) e P MEC (B).

Por meio da Figura 2A, pode-se notar que os resultados mais baixos de IQA<sub>c</sub> no PMAC ocorreram nos pontos 2 e 14, onde o uso do solo é voltado para Lavouras + Matas e/ou Florestas área entre 50% e 25% de ocupação por estabelecimentos agropecuários, conforme Figura 3.

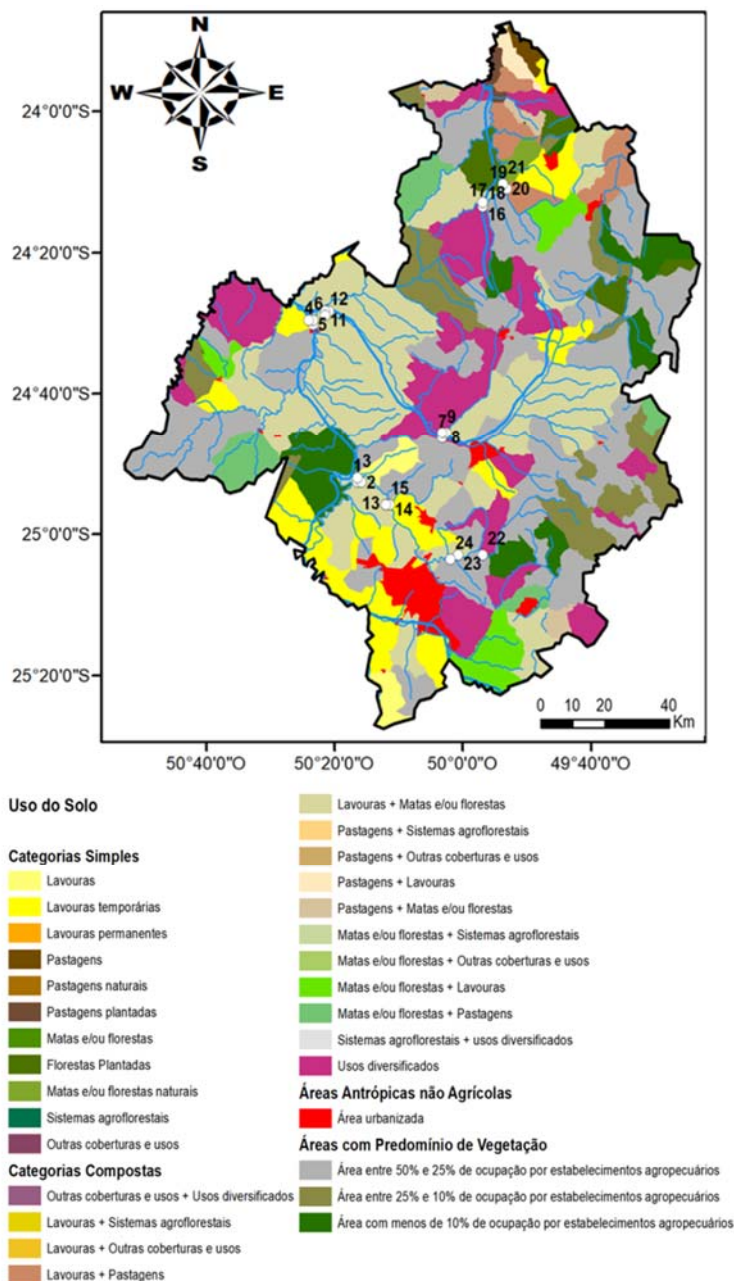


Figura 3. Mapa de ocupação e uso do solo da área de estudo.

A Figura 2B, por sua vez, mostra que os resultados de  $IQA_c$  mais baixos no P MEC aconteceram nos pontos 3, 14 e 15, onde o solo também é utilizado para Lavouras + Matas e/ou Florestas e área entre 50% e 25% de ocupação por estabelecimentos agropecuários, como apresentado na Figura 3. Percebe-se que a porção mais a sudoeste da área de estudo denota os valores de  $IQA_c$  mais baixos, com resultados entre 72.00 e 78.00 para o P MAC (Figura 2A) e entre 72.00 e 80.00 para o P MEC (Figura 2B). Contudo, apesar destes valores serem os menores estimados, pode-se afirmar que estes pontos de monitoramento se encontram dentro do enquadramento Classe 2, uma vez que todos os resultados superam o valor de 60.00.

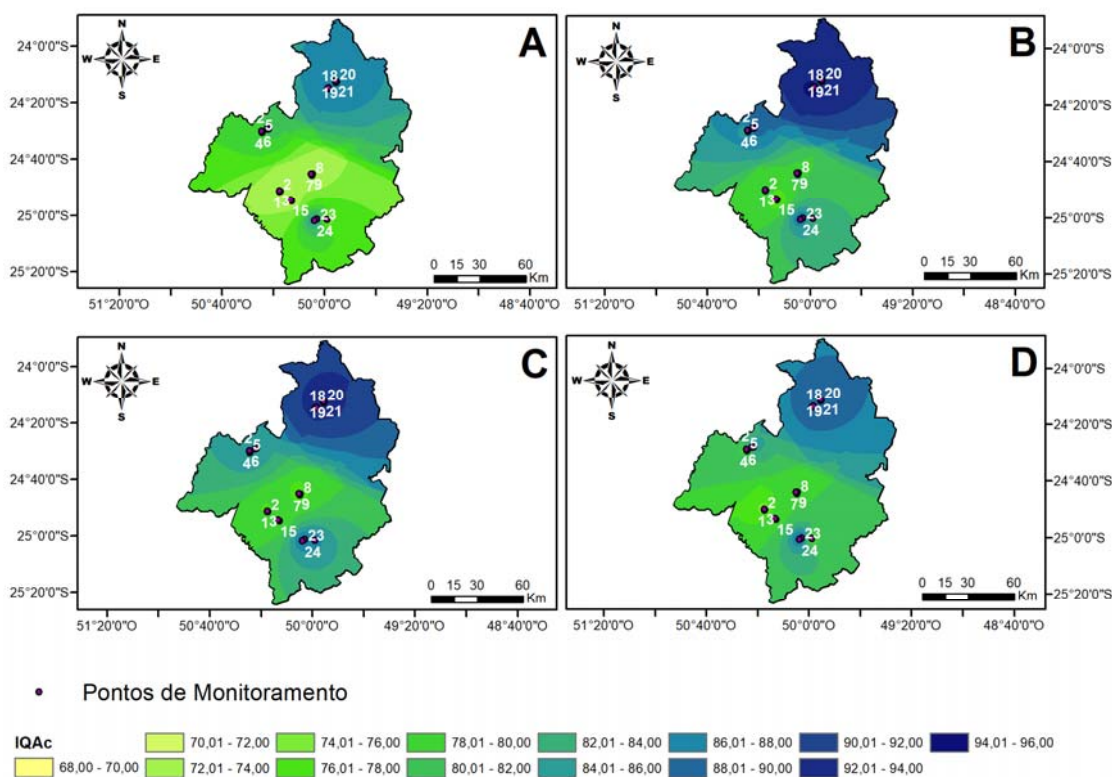
Pode-se notar por intermédio da Figura 2 que o  $IQA_c$  dos pontos localizados na região central da área de estudo, onde se encontram os pontos 7, 8 e 9 variam na faixa de 78.00 a 80.00 para o P MEC e de 74.00 a 78.00 para o P MAC. De acordo com a Figura 3, essa região apresenta uso Diversificado do solo e Lavouras + Matas e/ou Florestas. A região sul da área estudada, nas proximidades dos pontos 22, 23 e 24 tem o  $IQA_c$  variando no intervalo de 84.00 a 90.00 e uso do solo voltado a Lavouras + Matas e/ou Florestas e área entre 50% e 25% de ocupação por estabelecimentos agropecuários. Mais a noroeste, próximo aos pontos 4, 5, 6, 10, 11 e 12 os valores de  $IQA_c$  se apresentam entre 82.00 a 92.00 para o P MEC e entre 76.00 a 86.00 para o P MAC. Conforme a Figura 3, esta região apresenta Área Urbanizada, Lavouras + Matas e/ou Florestas e Usos Diversificados. De maneira geral, verificou-se que os resultados do  $IQA_c$  estimados para o P MEC se mostraram superiores em relação aos resultados no P MAC.

Os valores médios estimados em cada ponto de monitoramento foram comparados estatisticamente em relação ao período pluviométrico. Dos 24 locais monitorados, apenas 2 pontos (12 e 17) foram analisados pelos valores das medianas usando o teste de Mann-Whitney e os demais 22 pontos de monitoramento foram avaliados a partir dos valores das médias do  $IQA_c$  pelo teste  $t$ .

Quando avaliados pelos valores médios, os resultados dos períodos pluviométricos não diferiram estatisticamente em 19 pontos, sendo encontrada diferença significativa apenas nos pontos 5 ( $IQA_c$  P MEC=88.24 e P MAC=79.38), 21 ( $IQA_c$  P MEC=93.39 e P MAC=88.06) e 22 ( $IQA_c$  P MEC=84.11 e P MAC=74.43). Quando analisados pela mediana não houve diferença significativa entre os períodos nos dois pontos avaliados (12 e 17). Contrariamente, Pesce e Wunderlin (2000) em um estudo de verificação da qualidade da água em Córdoba, Argentina, por meio de IQAs adaptados do modelo de Bascarán (1979), verificaram diferenças significativas entre os resultados obtidos no período menos chuvoso (denominado pelo autor como período seco) e no período mais chuvoso (referido pelo autor como período chuvoso); sendo que o período menos chuvoso apresentou os piores resultados de qualidade da água. Abrahão *et al.* (2007) também utilizaram dois índices derivados do  $IQA_b$  (Índice de Qualidade da Água de Bascarán) para avaliar a qualidade da água em João Pessoa, nordeste do Brasil. O índice denominado pelos autores como  $IQA_{obj}$

(ObjectiveWaterQuality Index) retratou melhor qualidade da água no período mais chuvoso (de março a agosto); enquanto a outra variação, chamada IQA<sub>BA</sub> (BasaránAdaptedWaterQuality Index), verificou melhor qualidade da água no período menos chuvoso, embora em nenhuma das avaliações apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os períodos hídricos. Estes resultados demonstraram que a sazonalidade não exerce uma influência expressiva naquela localidade e estão em concordância com os resultados obtidos nesta pesquisa.

A Figura 4 representa a interpolação dos valores de IQA<sub>c</sub> estimados nas estações do Verão (Figura 4A), Outono (Figura 4B), Inverno (Figura 4C) e Primavera (Figura 4D). Novamente, os melhores resultados obtidos foram verificados na região norte da área de estudo, onde estão localizados os pontos de monitoramento 16, 17, 18, 19, 20 e 21. Nesta porção, pertencente à Bacia do Rio das Cinzas, os resultados de IQA<sub>c</sub> variaram numa faixa de 86.00 a 94.00. Como destacado anteriormente, esta região da bacia apresenta usos diversificados do solo, Lavouras + Matas e/ou Florestas, Lavouras + Pastagens, Matas e/ou Florestas e Área entre 50% e 25% de ocupação por estabelecimentos agropecuários, como pode ser observado na Figura 3.



**Figura 4.** Mapa da interpolação dos resultados de IQA<sub>c</sub> na área de estudo para as estações do ano: Verão (A), Outono (B), Inverno (C) e Primavera (D).

Por meio da Figura 4A, notou-se que os menores valores estimados de  $IQA_c$  para o verão foram encontrados nos pontos 2 e 14. A Figura 4B, revela que os menores valores estimados de  $IQA_c$  para o outono foram nos pontos 14 e 15. Para o inverno, pode-se observar que os pontos 3 e 14 obtiveram os menores resultados (Figura 4C). Na primavera, Figura 4D, os valores menores de  $IQA_c$  estimados aconteceram nos pontos 2 e 3. É importante destacar que estes os pontos onde ocorreram os menores valores de  $IQA_c$  estão localizados à sudoeste da área avaliada e, são pertencentes a Unidade Hidrográfica do Alto Tibagi, onde o uso do solo é voltado especialmente à Lavouras + Matas e/ou Florestas e apresenta área entre 50% e 25% de ocupação por estabelecimentos agropecuários. Apesar dos resultados nesta área estarem inseridos nas menores faixas de  $IQA_c$  (de 68.00 a 76.00), os valores calculados estão em conformidade com o enquadramento de rios Classe 2, uma vez que todos os resultados superam o valor de 60.00. É provável que as medidas conservacionistas adotadas, somadas a cobertura vegetal desta região, interferem de maneira positiva no que diz respeito à conservação da qualidade dos corpos hídricos.

Constata-se pela Figura 4, que o  $IQA_c$  dos pontos localizados na região central da área de estudo, onde se encontram os pontos 7, 8 e 9 variam de 70,00 a 82,00 nas diferentes estações do ano. Nas proximidades dos pontos 22, 23 e 24, mais ao sul, o  $IQA_c$  se encontra no intervalo de 84,00 a 90,00. Os valores de  $IQA_c$  nas estações do ano se apresentam entre 76,00 e 94,00 à noroeste, em torno dos pontos de monitoramento 4, 5, 6, 10, 11 e 12.

É importante destacar que os valores obtidos para o outono (Figura 4B), de maneira geral, se mostraram superiores em relação às estimativas das demais estações do ano. O verão, por sua vez, regularmente apresenta resultados inferiores em relação às outras estações.

Os valores sazonais estimados para cada ponto de monitoramento foram comparados, com a finalidade de verificar diferenças estatísticas entre as estações do ano.

Dos 24 pontos de monitoramento, 21 foram avaliados a partir dos valores médios do  $IQA_c$  e apenas os pontos 10, 17 e 18 foram analisados pelos valores das medianas. Em todos os pontos, não foi encontrada diferença significativa entre as estações do ano, tanto do ponto de vista da média como da mediana, conforme o caso. Isto não corrobora com os resultados encontrados por Debels *et al.* (2005), que avaliaram a qualidade da água do Rio Chillán por meio da equação proposta por Bascarán (1979) e, constataram que as piores condições de qualidade da água ocorreram no verão (que é um período seco naquela localidade). Em análise similar, Wu *et al.* (2018) avaliaram a qualidade da água em uma das regiões mais desenvolvidas da China, na Bacia do Lago Taihu, por meio de uma adaptação do índice proposto por Bascarán (1979), apresentado em Pesce e Wunderlin (2000). A qualidade da água nesta pesquisa apresentou uma variação sazonal distinta, com os maiores valores de  $IQA_c$  apresentados no outono, seguido da primavera

e do verão (que não diferem estatisticamente), e os menores valores foram obtidos no inverno. Nesta região, o outono é geralmente seco e ensolarado, enquanto que o mês mais chuvoso é agosto, um dos meses que compõe o período de verão no hemisfério norte.

Uma pesquisa monitorando três anos no Rio Kolong, conduzida por Bora e Goswami (2017), em Assam na Índia, que apesar de ser uma região de rica biodiversidade ribeirinha, com alta navegabilidade e com uma atividade agrícola bem estabelecida, concluiu que a má qualidade da água no período de monções (período de chuvas intensas) é proveniente do aumento do escoamento superficial em decorrência das aglomerações urbanas adjacentes. Contrariamente, percebeu-se por meio dos resultados encontrados nesta pesquisa, que os valores estimados em diferentes períodos pluviométricos, de maneira geral, não apresentaram diferenças estatísticas. Analogamente, os valores sazonais encontrados também não diferiram estatisticamente.

Dentro deste contexto, nesta pesquisa, pode-se entender que as medidas conservacionistas adotadas na região avaliada, que apresenta uma ocupação do solo voltada para atividade agropecuária, parecem ser eficientes, uma vez que, o fator sazonal não exerceu uma influência significativa sobre a qualidade da água, expressa pelo índice IQA<sub>c</sub>.

### **Conclusão**

Diante dos resultados encontrados nesta pesquisa pode-se concluir que a qualidade da água, analisada por meio do IQA<sub>c</sub> na área avaliada, que está inserida nas Bacias do Rio Tibagi e do Rio das Cinzas, está em conformidade com os requisitos mínimos de qualidade da água que constam na legislação brasileira para rios Classe 2;

Na análise espacial dos resultados, foram identificados que os melhores valores de IQA<sub>c</sub> aconteceram nos locais mais ao norte da área avaliada, que estão inseridos na Bacia do Rio das Cinzas. Além do mais, foi constatado que o fator sazonal não exerceu influência significativa na qualidade da água, uma vez que na comparação tanto entre períodos pluviométricos (PMAC e P MEC) quanto entre as estações do ano, não foram verificadas diferenças estatisticamente significativas nos pontos de monitoramento;

A aplicação do IQA<sub>c</sub> como ferramenta de avaliação da qualidade da água se mostrou eficiente visto que sua metodologia de cálculo é prática, de fácil interpretação, e demonstrou grande confiabilidade nos resultados, tendo em vista que a mesma foi validada anteriormente perante outros índices comumente utilizados.

## Agradecimientos

*Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq pelo apoio financeiro e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-CAPES pela concessão de Bolsa.*

## Referências bibliográficas

- Abrahão, R., Carvalho, M., Silva Júnior, W. R., Machado, T.T.V., Gadelha, C.L.M., Hernandez, M.V.M. (2007) Use of index analysis to evaluate the water quality of a stream receiving industrial effluents. *Water SA*, **33**(4), 459-465.
- APHA, American Public Health Association (2012) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22 ed. Washington: APHA.
- Balan, I. N., Shivakumar, M., Kumar, P. D. M. (2012) An assessment of ground water quality using water quality index in Chennai, Tamil Nadu, India. *Chronicles of Young Scientists*, **3**(2), 146-150.
- Bascaran, M. (1979) Establishment of a methodology for the determination of water quality. *Boletín Informativo del Medio Ambient.*, **9**, 30-51.
- Bonnet, B. R. P., Ferreira, L. G., Lobo, F. C. (2008) Relações entre qualidade da água e uso do solo em Goiás: uma análise à escala da bacia hidrográfica. *Revista Árvore*, **32**(2), 311-322.
- Bora, M., Goswami, D. C. (2017) Water quality assessment in terms of water quality index (WQI): case study of the Kolong River, Assam, India. *Applied Water Science*, **7**, 3125–3135.
- Cicilinski, A. D. (2018) *Elaboração e Aplicação de um Índice de Qualidade da Água em Consonância com a Legislação Brasileira*, Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 77 pp.
- Chauhan, A., Singh, S. (2010) Evaluation of Ganga water for drinking purpose by water quality index at Rishikesh, Uttarakhand, India. *Report Opinion*, **2**(9), 53-61.
- Chowdhury, R. M., Muntasir, S. Y., Hossain, M. M. (2012) Water quality index of water bodies along Faridpur-Barisal road in Bangladesh. *Global Engineers and Technologists Review*, **2**(3), 1- 8.
- CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente (2005) *Resolução nº 357/2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Ministério do Meio Ambiente, Brasília.
- Debels, P., Figueroa, R., Urrutia, R., Barra, R., Niell, X. (2005) Evaluation of water quality in the Chillán river (Central Chile) using physicochemical parameters and a modified water quality index. *Environmental Monitoring and Assessment*, **110**, 301-322.
- Dede, O. T., Telci, I. T., Aral, M. M. (2013) The use of Water Quality Index Models for the Evaluation of Surface Water Quality: A Case Study for Kirmir Basin, Ankara, Turkey. *Water Quality, Exposure and Health*, **5**, 41-56.
- Ewaid, S. H., Abed, S. A. (2017) Water quality index for Al-Gharraf River, southern Iraq. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, **43**, 117- 122.
- 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.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2018) *Cobertura e Uso da Terra*. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/geociencias-novo-portal/informacoes-ambientais/cobertura-e-uso-da-terra/10867-cobertura-e-uso-da-terra.html?=&t=downloads>
- Medeiros, A.C., Faial, K. R. F., Faial, K. C. F., Lopes, I. D. S., Lima, M. O., Guimarães, R. M., Mendonça, N. M. (2017) Quality index of the surface water of Amazonian rivers in industrial areas in Pará, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, **123**, 156-164.
- Meneses, B. M., Reis, R., Vale, M. J., Saraiva, R. (2015) Land use and land cover changes in Zêzere watershed (Portugal)—Water quality implications. *Science of the Total Environment*, **527/528**, 439-447.

- Merten, G. H., Minella, J. P. (2002) Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. *Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável, Porto Alegre*, **3**(4), 33-38.
- Pesce, S. F., Wunderlin, D. A. (2000) Use of water quality indices to verify the impact of Córdoba city (Argentina) on Suquia river. *Water Research*, **34**(11), 2915-2926.
- Piratoba, A. R. A., Ribeiro, H. M. C., Morales, G. P., Gonçalves, W. G. (2017) Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. *Rev. Ambient. Água*, **10**(3), 435-456
- Poonan, T., Tanushree, B., Sukalyan, C. (2013) Water Quality Indices – Important tools for water quality assessment: a review. *International Journal of Advances in Chemistry*, **1**(1), 15-28.
- Santiago, B. E. C., de Jesus, T. B., dos Santos, L. B. O. (2016) Avaliação da qualidade da água no perímetro urbano de Riachão do Jacuípe, Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, **9**(4) 1058-1071.
- SEMA- Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (2015) *Bacias Hidrográficas do Paraná – 2ª ed.* Disponível em [https://www.paranagua.pr.gov.br/imgbank2/file/meio\\_ambiente/material-didatico/Revista\\_Bacias\\_Hidrograficas\\_2015.pdf](https://www.paranagua.pr.gov.br/imgbank2/file/meio_ambiente/material-didatico/Revista_Bacias_Hidrograficas_2015.pdf)
- Sutadian, A. D., Muttill, N., Yilmaz, A. G., Perera, B. C. J. (2016) Development of river water quality indices – a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, **188**(58), 29-57.
- Trindade, A. L. C., Almeida, K. C. B., Barbosa, P. E., Oliveira, S. M. A. C. (2017) Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, estado de Minas Gerais. *Eng. Sanit. Ambient*, **22**(1), 13-24.
- Tsukahara, R. Y., Loman Filho, E. J., Barth, G., Freitas, D. R., Povh, F. P. (2016) Monitoramento da Qualidade da Água nas Bacias Hidrográficas do Alto Tibagi e Cinzas. *XX Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água - RBMCSA*, Foz do Iguaçu, Brasil.
- Tundisi, J. G., Tundisi, T. M., Limnologia (2008) São Paulo: Oficina de Textos, 1ª ed. 632 pp.
- Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P., Dobhal, R. (2013) Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index. *American Journal of Water Resources*, **1**(3), 34-38.
- Wu, Z., Wang, X., Chen, Y., Cai, Y., Deng, J. (2018) Assessing river water quality using water quality index in Lake Taihu Basin, China. *Science of the Total Environment*, **612**, 914- 922.