

AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO EM RIOS UTILIZANDO ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA: UM ESTUDO DE CASO NO RIBEIRÃO SÃO JOÃO EM PORTO NACIONAL –TO

Aurean de Paula CARVALHO¹; Ângelo Ricardo BALDUINO², Girlene Figueiredo MACIEL³; Aurelio Pessoa PICANÇO³

- (1) Mestrando do Programa de pós-graduação de Engenharia Ambiental da UFT e Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Porto Nacional, Avenida Tocantins, A.I. - Loteamento Mãe Dedé - CEP 77500-000 - Porto Nacional – TO. Endereço eletrônico: aurean@ifto.edu.br.
- (2) Professor Mestre do Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos, Rua 02 Quadra 07 S/N Jardim dos Ipês CEP: 77500-000, Porto Nacional– TO. Endereço eletrônico: angelo@ifto.edu.br.
- (3) Professor Doutor da Universidade Federal do Tocantins, Universidade Federal do Tocantins, Avenida NS 15, 109 Norte - Plano Diretor Norte, CEP: 77001-090, Palmas- TO. Endereços eletrônicos: maciel@uft.edu.br; aureliopicanco@uft.edu.br.

Introdução
Características da Área de Estudo
Materiais e Métodos
Metodologia de Campo
Metodologia de Laboratório
Cálculo do Índice de Qualidade de Água (IQA)
Análise dos Parâmetros
Resultados e Discussão
Índice de Qualidade de Água
Potencial hidrogeniônico
Temperatura
Oxigênio dissolvido
Fósforo total
Nitrogênio total
Demanda Biológica de Oxigênio
Turbidez
Coliformes Termotolerantes
Resíduo seco
Conclusão
Referências Bibliográficas

RESUMO - Neste trabalho utilizou-se o Índice de Qualidade de Água (IQA) com o objetivo de avaliar a qualidade da água do Ribeirão São João, em Porto Nacional, no estado do Tocantins. O estudo foi conduzido no ano de 2014 e 2015, quando foram avaliados parâmetros físicos, químicos e biológicos. Os resultados obtidos demonstraram que o IQA variou de 49,74 a 80,72 e a água pode ser classificada como boa maior parte do estudo, embora alguns parâmetros quando comparados com a legislação ambiental ficaram em desacordo com os padrões determinados pela Resolução do CONAMA para a classe dois de água doce.

Palavra-chave: IQA, Água, Ribeirão São João.

ABSTRACT - In this study it has used the Water Quality Index (WQI) with the objective to evaluate the water quality of the Ribeirão São João, in Porto Nacional, in Tocantins. The study was conducted in 2014 and 2015, when the physical, chemical and biological parameters were analysed. The results showed that the water of the river can be classified as good for most of the study, although, some parameters when compared with the environmental laws were not in accordance with the standards established by the Resolutions of the CONAMA to class two freshwater.

Keywords: IWA, Water, River São João.

INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são importantes para a estrutura socioeconômica por proporcionar oportunidades para o desenvolvimento de atividades agrícola, industrial, turismo, aquicultura, transportes, pecuária, recreativas, dentre outras. Sem dúvida há uma grande variedade de utilizações para a água, contudo a adequação do uso de uma água depende do tipo e quantidades de algumas substâncias presentes na mesma, que de alguma forma, podem afetar o uso estabelecido ou pretendido. As diferentes substâncias presentes em uma água são

expressas através de parâmetros de qualidade e são classificadas em três categorias: físicas, químicas e biológicas. Entretanto nem todas as variáveis de qualidade são prejudiciais para todos os usos. Algumas podem exercer efeitos deletérios ou ser relevante para uma única utilização, mas podem de todo não ser importante ou ter efeito prejudicial significativo para outros usos, visto que cada uso da água tem requisitos de qualidade diferente.

A qualidade da água desempenha um papel vital em todos os aspectos da vida do ser

humano e sobrevivência de ecossistema. A interpretação dos dados para avaliar sua qualidade pode ser difícil, muitas vezes requerendo procedimentos demorados. Entretanto, as avaliações de qualidade são instrumentos necessários para monitorar e avaliar o desempenho de operação de tratamento água e auxiliar no planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. No entanto o estudo da qualidade da água envolve a previsão de sua poluição e isso apresenta dificuldade de entendimento e limitações na aplicação. Assim, determinar a qualidade da água é uma questão difícil por comportar múltiplos aspectos, tais como os processos físicos, químicos, biológicos e suas interações, tornando-a complexa, onerosa e apresentando dificuldade na aplicação em tempo real. Todavia buscando descomplicar a interpretação e sintetizar as informações obtidas nas avaliações de inúmeros parâmetros de qualidade, nos últimos 40 anos, vários instrumentos foram desenvolvidos visando auxiliar na gestão de qualidade das águas, incluindo modelos matemáticos, abordagens de otimização e sistemas de gerenciamento integrado, dentre outros. Juntamente com o aumento no uso dessas ferramentas sofisticadas, diversos índices de qualidade da água (IQAs) vêm sendo desenvolvidos e utilizados em todo o planeta. Mundialmente, o IQA_{NSF} tem sido o mais utilizado para classificação de água em localidades onde ainda não existem índices definidos. No Brasil, este mesmo IQA após sofrer adaptações passou a ser utilizado pela CETESB. A popularidade desses Índices de Qualidade de Água (IQAs) vem de sua estrutura pragmática, avaliações matemáticas complexas de grande quantidade de dados de caracterização de água que são transformadas num valor de escala simples. Esse valor é facilmente compreendido pelos planejadores, gestores e o público em geral (CARVALHO et al., 2011). Por ser uma ferramenta que permite uma rápida e sistemática avaliação das características da água em relação às suas fontes poluidoras, o IQA passou a ser largamente aplicado no diagnóstico da qualidade das águas de superfície, áreas costeiras, aquicultura, controle e gerenciamento dos recursos hídricos. Geralmente, os resultados são calculados pelo somatório ou

produtório ponderado das qualidades de água correspondentes aos parâmetros selecionados. E a partir deste cálculo se definem os níveis de qualidade do corpo d'água que variam de péssima a ótima, relacionando um intervalo de variação de IQA (0 – 100) a uma cor de referência. Normalmente, objetiva fazer uso uma análise estatística com base em valores de limite pré-definidos e estabelecidos por órgãos governamentais.

No Brasil, vários trabalhos utilizando o IQA vêm sendo realizado buscando atingir os mais variados objetivos, como o estudo de Lucena et al. (2008) que através deste índice classificaram, durante o ano de 2007, nove grandes reservatórios destinados ao abastecimento público, localizados no Estado da Paraíba. Já o estudo de Lima et al. (2015) realizado em Guamar/RN, tinha como objetivo de realizar um diagnóstico das condições da Lagoa de Baixo visando à caracterização ambiental. Este mesmo índice foi utilizado Carvalho et al. (2011) para avaliar a qualidade da água do açude Soledade, em Soledade, no estado da Paraíba e por Kemerich et al. (2011) com o objetivo determinar a vulnerabilidade natural à contaminação da água subterrânea na região do Bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro em Santa Maria – RS. Também Carvalho et al. (2015) utilizaram o Índice de Qualidade de Água (IQA) com o objetivo de avaliar a qualidade da água utilizada para o fim de abastecimento doméstico, irrigação e abastecimento de atividades agroindustriais em Brejinho de Nazaré, no estado do Tocantins.

É consenso que o monitoramento da qualidade de um recurso hídrico busca obter informações quantitativas e qualitativas das características das águas através de amostragem, sendo realizado para se atingir propósitos específicos, como conhecimentos das condições biológicas, físicas, químicas, ecológicas, enquadramentos em classes ou para fiscalização (detecção de infrações aos padrões de qualidade da água estabelecidos em lei) (CARVALHO et al., 2009).

Seguindo esta linha, este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade da água através do IQA e correlacionar os valores obtidos nas análises de água com os padrões determinados pela legislação ambiental.

METODOLOGIA

O monitoramento da qualidade da água foi realizado no Ribeirão São João recurso hídrico que serve de fonte de abastecimento para a população de Porto Nacional. A Bacia Hidrográfica do Ribeirão São João situa-se na margem direita do reservatório da Usina Hidrelétrica Luis Eduardo Magalhães, Rio Tocantins, no município Porto Nacional, região central do Estado do Tocantins, zona metropolitana de Palmas. Segundo Silva (2010), a Bacia Hidrográfica está localizada no polígono compreendido pelas seguintes coordenadas $10^{\circ}46'43''$ e $10^{\circ}41'20''$ de latitude sul e $48^{\circ}14'16''$ e $48^{\circ}24'51''$ de longitude oeste, possui uma área de 82 km² (Figura 1). Porto Nacional ocupa área de 4.464,11 Km², o que corresponde a 1,61% da área total do Estado do Tocantins, tem uma população estimada de 49.146 habitantes (IBGE, 2015), dista aproximadamente 62 km de Palmas, capital do Estado.

O Ribeirão São João possui sua nascente, numa altitude aproximada de 601m (SILVA, 2010) suas águas percorrem o sentido Leste-

Oeste, atravessando várias propriedades rurais e alguns bairros representativos, tais como: Jardim Querido, Jardim Umuarama, Santa Helena e Vila Nova até desaguar no reservatório, numa altitude de 212m acima do nível do mar.

O clima da região é classificado como sendo do tipo C2wa'a' (Método de Thornthwaite) clima úmido subúmido com pequena deficiência hídrica, evapotranspiração potencial média anual de 1.500 mm, distribuindo-se no verão em torno de 420 mm, ao longo de três meses consecutivos com temperaturas mais elevadas (TOCANTINS, 2015). A concentração das precipitações ocorre durante a estação chuvosa, no período compreendido de novembro a abril, correspondendo, aproximadamente, 80% da pluviosidade. A vegetação natural dominante na área da bacia corresponde ao cerrado. Já em relação aos aspectos pedológicos, predomina na região o Latossolos com menores porções de solos Litólicos e Hidromórficos.

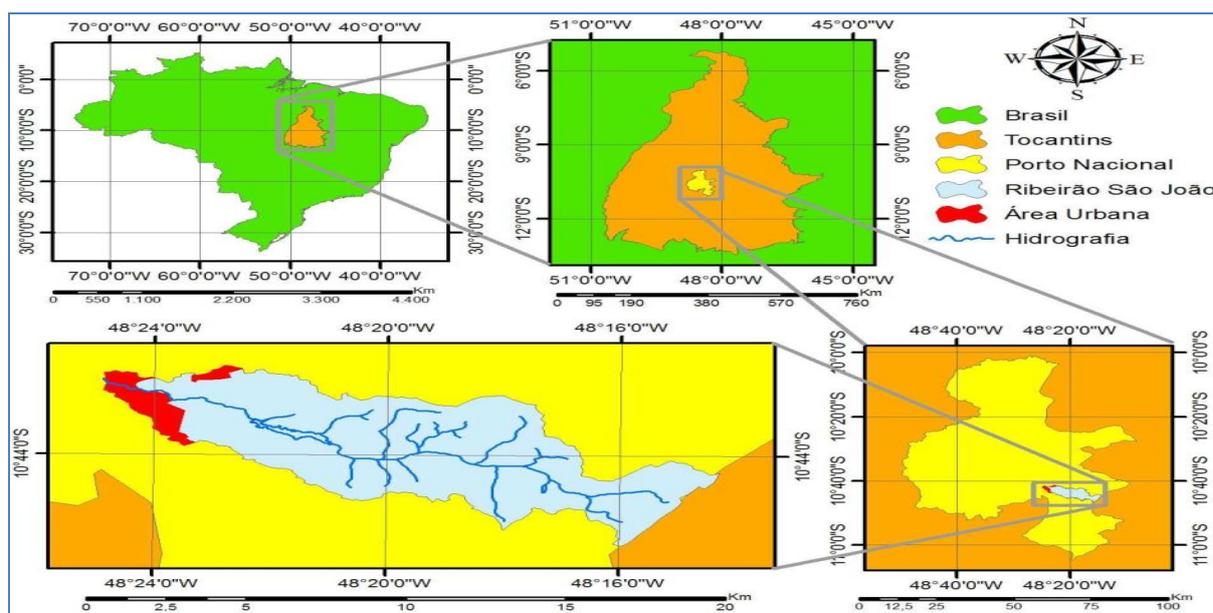


Figura 1. Bacia Hidrográfica do Ribeirão São João

Fonte: SILVA (2010).

Para a definição dos pontos de coleta de água, foram realizados estudos bibliográficos relacionados à área e visitas de campo com o intuito de obter informações que auxiliassem na

definição dos pontos de coleta e apontassem as possíveis causas da contaminação da água.

Durante a visita de campo foi determinada a localização dos pontos que é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Localização dos pontos de coleta de água no Ribeirão São João em Porto Nacional

Ponto	Latitude (S)	Longitude (W)	Local de referência
I	10°44'16,34"	48°17'38,17"	Próximo à nascente (Fazenda Pilão)
II	10°43'04,52"	48°22'19,77"	Represa da Saneatins –Odebrecht ambiental
III	10°42'09,02"	48°23'46,46"	Próximo à foz

A metodologia adotada para análise de água foi dividida e exposta em duas partes em função dos parâmetros, na seguinte ordem: primeiro, a metodologia de campo e depois a metodologia de laboratório. Os parâmetros de qualidade de água estudados neste trabalho foram: temperatura, oxigênio dissolvido (percentual de saturação), pH, nitrogênio total, fósforo total, coliformes termotolerantes, resíduo seco, turbidez e demanda bioquímica de oxigênio.

Metodologia de campo

As medidas de campo foram feitas, *in situ* e realizadas com aparelhos portáteis.

A temperatura da água e oxigênio dissolvido (percentual de saturação) foram determinados *in situ* com termômetro de mercúrio e oxímetro SL 520.

Metologia de laboratório

As amostras foram coletadas em frascos específicos para cada parâmetro; em seguida foram analisadassegundo os métodos descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros e Técnicas Analíticas Utilizadas

PARÂMETROS	TÉCNICA ANALÍTICA	UNIDADE
Turbidez	APHA (2005), Medida Direta	NTU
pH	APHA (2005), Medida Direta	Escala
DBO	APHA (2005), Diferenciação	mg/L
Fósforo Total	APHA (2005), Diferenciação	mg/L
Resíduo seco	APHA (2005), Evaporação	mg/L
Nitrogênio Total	APHA (2005), Diferenciação	mg/L
Coliformes Fecais	APHA (2005), Colilert	NMP/100 ML

Cálculo do índice de qualidade de água (IQA)

O IQA foi calculado pela forma matemática ponderada multiplicativa da qualidade da água correspondente aos parâmetros: temperatura da amostra, pH, percentual de saturação de oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (5 dias, 20°C), coliformes fecais, nitrogênio total, fósforo total, sólidos totais e turbidez. Sendo exposto pela equação:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \text{ (Equação 1)}$$

Onde:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

qi: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva curva média de variação de qualidade específica para cada parâmetro, em função da sua concentração ou medida;

wi: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro ou subnível, um número entre 0 e 1 (Tabela3), atribuído em função de sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

em que:

n: número de parâmetros que entram no cálculo de IQA.

Tabela 3. Parâmetros e pesos para cálculo do IQA

Parâmetros	Peso
Oxigênio dissolvido	0,17
Coliformes fecais	0,15
pH	0,12
DBO ₅	0,10
Nitrogênio total	0,10
Fosfato total	0,10
Temperatura	0,10
Turbidez	0,08
Resíduo seco	0,08

Fonte: Adaptada de ANA, 2015.

A classificação da qualidade foi realizada de acordo com faixas de IQA utilizadas nos seguintes Estados: AL, MG, MT, PR, RJ, RN,

RS, por apresentarem faixas mais restritivas do que as utilizadas em São Paulo (Figura 2).

Figura 2. Classificação da qualidade das águas

QUALIDADE DA ÁGUA	FAIXA DE IQA
Ótima	91 - 100
Boa	71 - 90
Razoável	51 - 70
Ruim	26 - 50
Péssima	0 - 25

Fonte: Adaptada de ANA, 2015

Análise dos parâmetros

Para visualização do comportamento de cada parâmetro estudado, utilizou-se estatística descritiva, bem como de sua correlação com os

valores determinados em normas brasileiras, e os resultados obtidos são apresentados através de gráficos Boxplot feitos utilizando o software Minitab 16.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH é um parâmetro importante pois determina a adequação da água para diversos fins. Seus resultados variaram de 6,3 a 7,9, indicando que a água do Ribeirão São João apresenta tendência de oscilação do neutro para o levemente ácido (figura 3). O

aumento do valor de pH pode ser devido às baixas atividades fotossintéticas que reduzem a assimilação de dióxido de carbono e bicarbonatos (DRICHE et al., 2015, RUBIO-ARIAS, 2015). Vale destacar, que os valores se encontram dentro da faixa permitida para água doce classe dois.

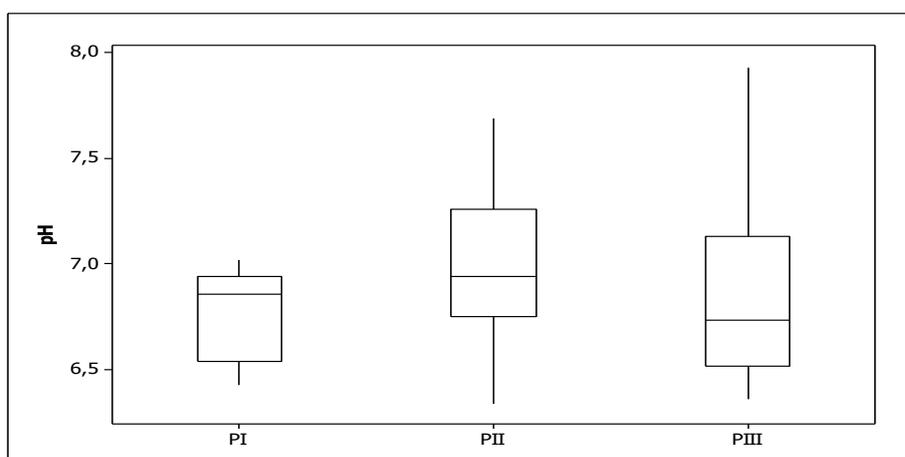


Figura 3. Bloxplot do pH ao longo do Ribeirão São João no período de setembro/2014 a fevereiro/2015

Temperatura

A temperatura é um fator importante porque influencia as características químicas e bioquímicas da massa de água. Os resultados mostraram que a maior temperatura apresentou valor de 28,5 °C que sempre ocorreu no Ponto Dois (PII) e a mínima registrada foi de 21,8°C no Ponto Um (PI) conforme pode ser visto na figura 4. Estes valores mais baixos no ponto (figura 4) podem está relacionados á preservação da mata ciliar uma vez que este ponto fica na nascente com expressiva presença

de vegetação. Também foi observado que na estação seca, a temperatura da água foi mais alto, isto se deve ao baixo nível da água e elevada temperatura da atmosfera. Estudos similares realizados em águas superficiais no estado do Tocantins obtiveram valores semelhantes ao deste trabalho, como Carvalho (1997); Dourados (2008); registraram variações entre 21,3 e 32,4 °C. Estes resultados demonstram que os valores obtidos estão dentro da faixa comum nesta área do território nacional.

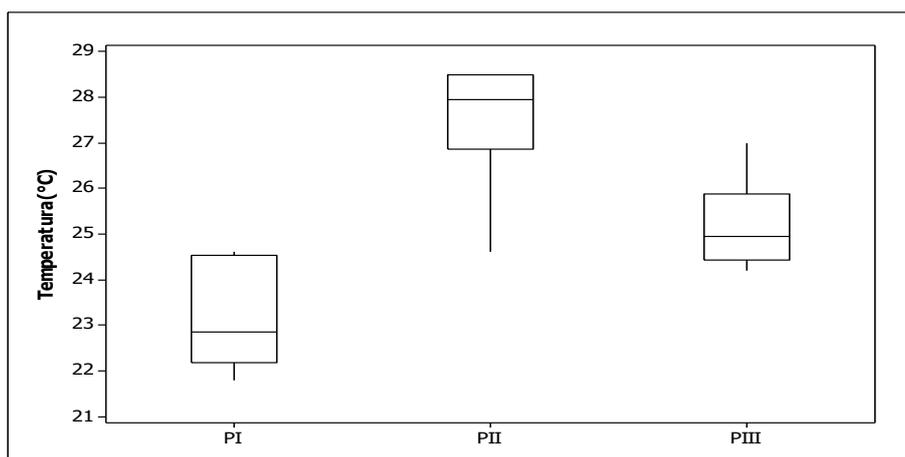


Figura 4: Bloxplot da temperatura da água ao longo do Ribeirão São João no período de setembro/2014 a fevereiro/2015

Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido (OD), ao longo do período monitorado, variou de 4,8 a 5,3mg/L. Os valores mais baixos sempre ocorreram em PI (Figura 5), também foi possível verificar que neste ponto os valores apresentaram simetria, possivelmente, a razão para isto se deve, a descargas de matéria orgânica e nutriente recorrente, já que este ponto se encontra na zona urbana. As concentrações de oxigênio

dissolvido, abaixo de 5 mg/L, mostraram condições próximas a anaerobiose decorpo hídrico, que normalmente, pode está associado ao metabolismo microbiano durante a degradação da matéria orgânica (YSA & JIMOH, 2015; HOSSAIN et al., 2013). Os dados obtidos demonstram que em 61,1% das análises, os valores de OD ficaram abaixo de 5 mg/L, limite mínimo que é estabelecido pela

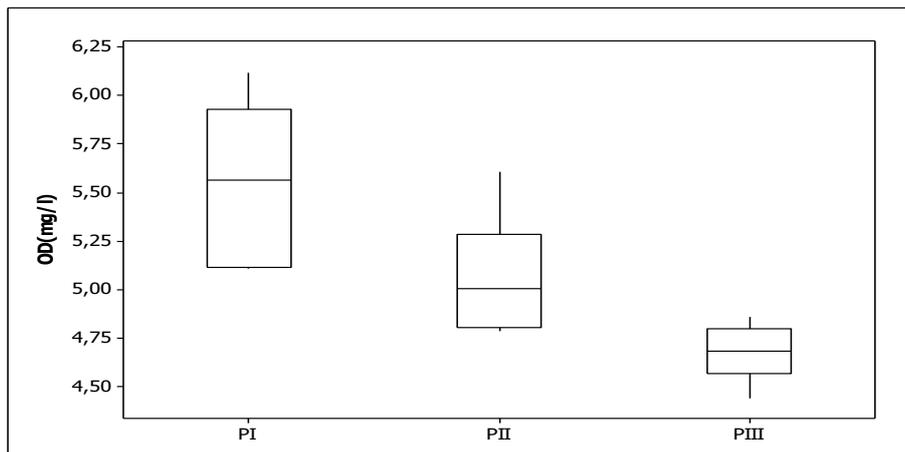


Figura 5. Bloxplot do oxigênio dissolvido ao longo do Ribeirão São João no período de setembro/2014 a fevereiro/2015

Fósforo total

As principais fontes de fósforo para o ambiente aquático são as rochas, esgotos domésticos e fontes agrícolas de origens dispersas (POMPÊO & MOSCHINI-CARLOS, 2003). Os resultados das concentrações de fósforo total variaram de 0,01 a 0,14 mg/L (figura 6). Vale destacar que as concentrações mais elevadas deste parâmetro foram registradas nos meses de dezembro (2014), janeiro e fevereiro (2015) e podem estar associadas a descargas de águas residuais domésticas juntamente com o carreamento de

nutrientes via escoamento superficial, detergentes superfosfatados, abatedouros, agricultura existentes na bacia hidrográfica (CARVALHO et al., 2009; Von Sperling, 2005), ressuspensão do sedimento do fundo do rio, (Barros, 2008; Koski-Vahala & Hartikainen, 2001; McDowell et al., 2001). Ao comparar os valores de fósforo total com os padrões definidos na Resolução CONAMA 357 de 2005, foi somente nos pontos dois e três (PII e PIII) que as concentrações estiveram acima do limite estabelecido para rios Classe 2.

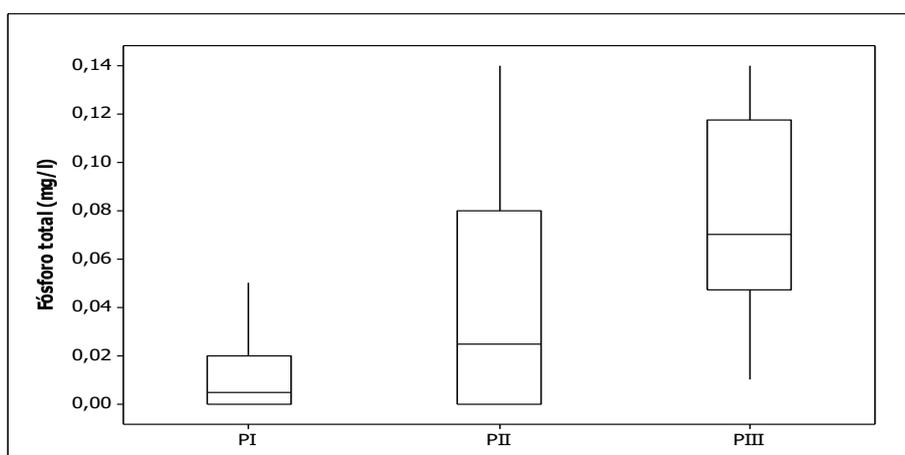


Figura 6. Bloxplot do fósforo total ao longo do Ribeirão São João no período de setembro/2014 a fevereiro/2015

Nitrogênio total

Em relação ao nitrogênio que é um dos elementos mais importantes no metabolismo do ecossistema aquático, devido, principalmente, a sua participação na formação de proteínas, apresentou valores máximo de 8,64 mg/L e

mínimo de 4,06 mg/L. O nitrogênio total conforme pode ser visto na figura 8 apresentou comportamento similar ao fósforo com os maiores valores nos pontos dois e três (PII e PIII).

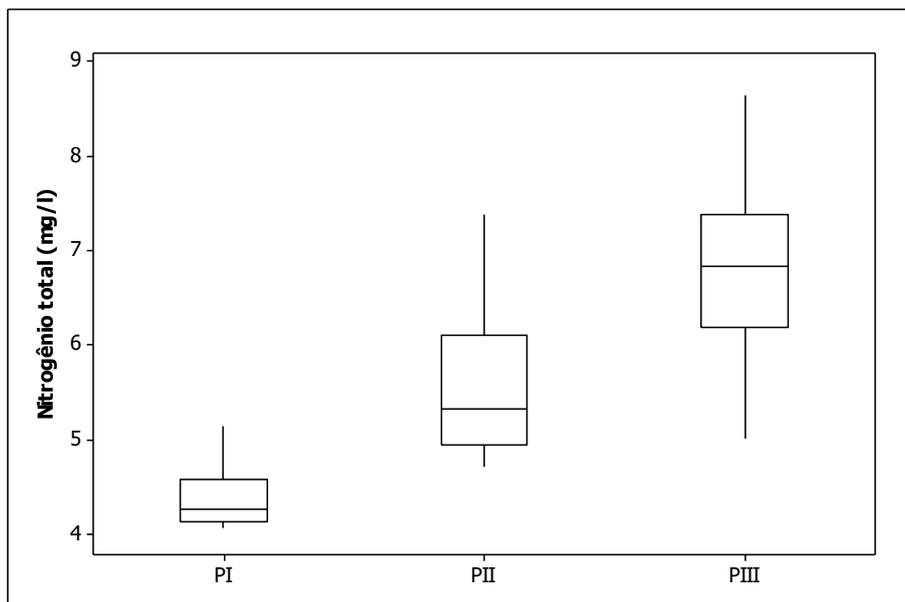


Figura 7. Bloxplot do nitrogênio total ao longo do Ribeirão São João no período de setembro/2014 a fevereiro/2015

Entretanto os resultados obtidos para todos os pontos sempre estiveram maiores do que o nível recomendado pela resolução CONAMA nº357/05 para água classe II. As possíveis fontes de nitrogênio são escoamento superficial, descarga de esgoto doméstico, fertilizantes, decomposição da matéria orgânica e resíduos agrícolas (CARVALHO et al., 2009; Von Sperling, 2005) e excrementos de animais. Esses locais apresentam vários problemas ambientais que geralmente tem uma relação direta entre as concentrações de nitrogênio e moradias irregulares, presença de animais domésticos, lixo descartados em locais inadequados, inundações de bairros, inexistência de rede de esgoto domésticos, problemas comuns e recorrentes nesta área. Assim cuidado especial deve ser dispensado a este parâmetro, uma vez que o nitrogênio em excesso contribui para o desenvolvimento de algas, sendo prejudicial quando ocorre em concentrações elevadas, visto que a degradação da qualidade da água devido ao nitrogênio amoniacal é uma preocupação pública e ambiental em todo o mundo; porque, ele é um importante nutriente que pode provocar a eutrofização (HOSSAIN et al., 2013; WANG et al., 2010).

Demanda biológica de oxigênio

A Demanda biológica de oxigênio (DBO) é um indicador para a quantidade das substâncias orgânicas biodegradáveis (Amadi et al., 2010) como plantas em decomposição, materiais de origem animal, produtos químicos orgânicos, águas residuais ou urbanas, escoamento de águas pluviais. A concentração de DBO da água analisada variou de 0,61 a 3,99 mg/L. Conforme pode ser visto na Figura 8 durante o período de estudo todos os valores de DBO sempre estiveram abaixo de 5 mg/l valor máximo estabelecido para rios de Classe 2, segundo a Resolução CONAMA 357/2005, isto não há evidência de poluição por matéria orgânica biodegradável para o ribeirão São João.

Turbidez

Já os valores medidos de turbidez (Figura 9) variaram de 0,9 a 8,3 UNT. A variação média está próxima aos valores (3,52 e 4,45 mg/L) observados por Carvalho et al., (2015) para este mesmo Ribeirão. A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece um limite superior de turbidez, para água doce classe dois, correspondendo a 100 UNT. Isso demonstra que o Ribeirão São João apresentou valores inferiores a esse limite, enquadrando-se na classe pré-estabelecida pela legislação brasileira. De acordo com este parâmetro não há poluição.

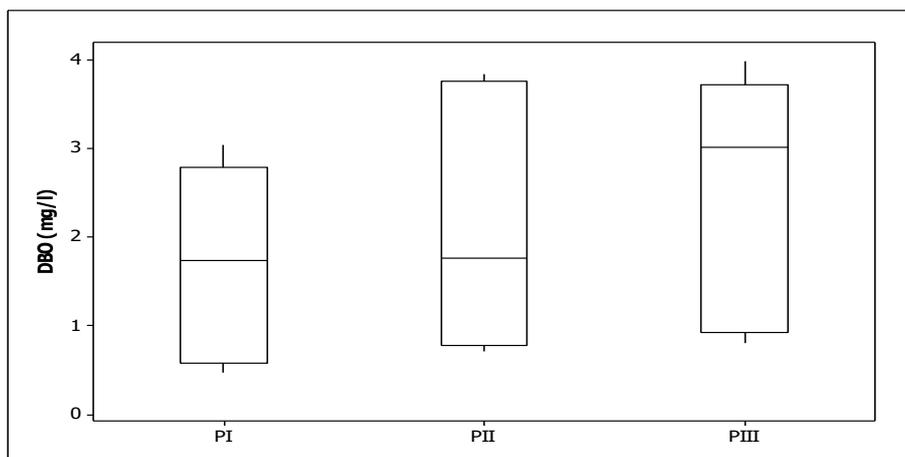


Figura 8. Bloxplot da DBO ao longo do Ribeirão São João no período de setembro/2014 a fevereiro/2015

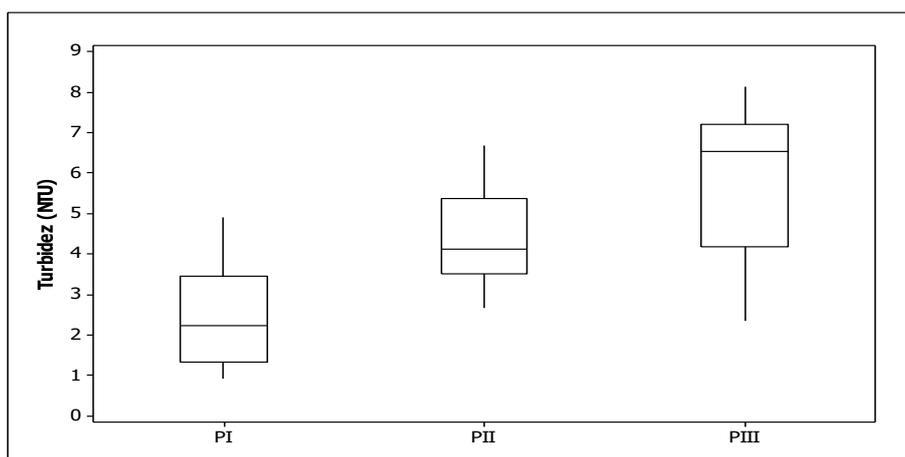


Figura 9. Bloxplot da turbidez ao longo do Ribeirão São João no período de setembro/2014 a fevereiro/2015

Coliformes termotolerantes

O grupo coliforme fecais constitui imenso número de bactérias encontradas na água, solo, e em fezes de seres humanos e outros animais. Grupo que é utilizado como indicador bacteriológico de poluição fecal. Apresentou altos índices em 33,3% das amostras analisadas, com valores acima do aceitável pela legislação brasileira (Resolução CONAMA 274/2000), demonstrando que a água do Ribeirão São João em PIII é imprópria para diversos usos, como: lazer de contato primário, pesca amadora, irrigação de hortaliças, dentre outros, usos estes que são comuns nesta bacia. A Figura 10 mostra similaridade e homogeneidade entre os três pontos, entretanto evidencia enorme diferença nas concentrações entre o Ponto (PIII) e demais, esta diferença pode estar relacionada a descargas de efluentes provenientes de residências instaladas na área de proteção permanente onde o Ponto três (PIII) está localizado, bem como a

processos de ressuspensão de sedimentos provocados durante atividades recreativas muito comum neste local. Um grande número de publicações têm mostrado que, há uma relação direta entre as atividades recreativas, náutica e a ressuspensão de microrganismos presente em sedimentos. É consenso que a ressuspensão de sedimentos pode elevar as concentrações de bactérias, dentro elas *E. coli*, já que os sedimentos além de servirem como abrigo, favorecem o desenvolvimento desses microrganismos e a ascensão dos mesmos na coluna d'água (Goya et al., 1977; Doyle et al., 1992; Buckley et al., 1998; Crabill et al., 1999; An et al., 2002; Smith et al., 2008; Rehmann and Soupir, 2009; Pachepsky & Shelton, 2011). Desta forma evento como esse pode ter contribuído significativamente para os baixos níveis de qualidade microbiológica das águas do Ribeirão São João.

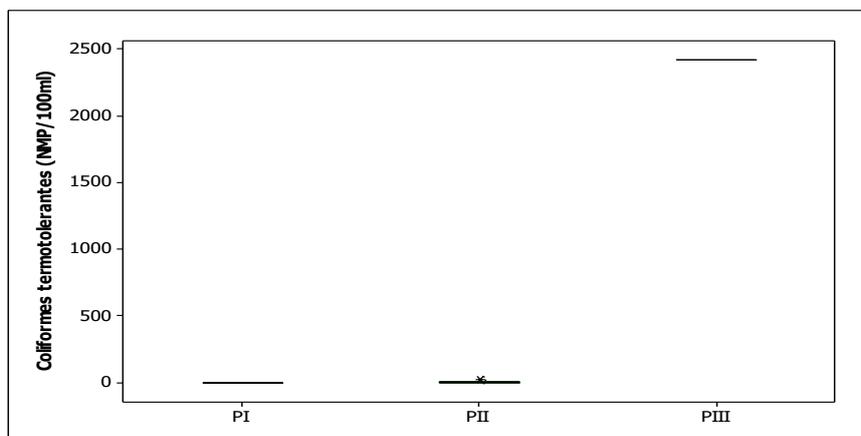


Figura 10. Bloxplot de coliformes fecais ao longo do Ribeirão São João no período de setembro/2014 a fevereiro/2015

Resíduo seco

O resíduo seco pode ter como origens principais resíduos de usos da população, sedimentos, vegetação, pedras, entre outros,

gerados pela energia da precipitação através da erosão e do transporte pelo escoamento. Os valores variaram de 5,42 ml/L a 11,96 ml/L (Figura 11) sendo considerados baixos.

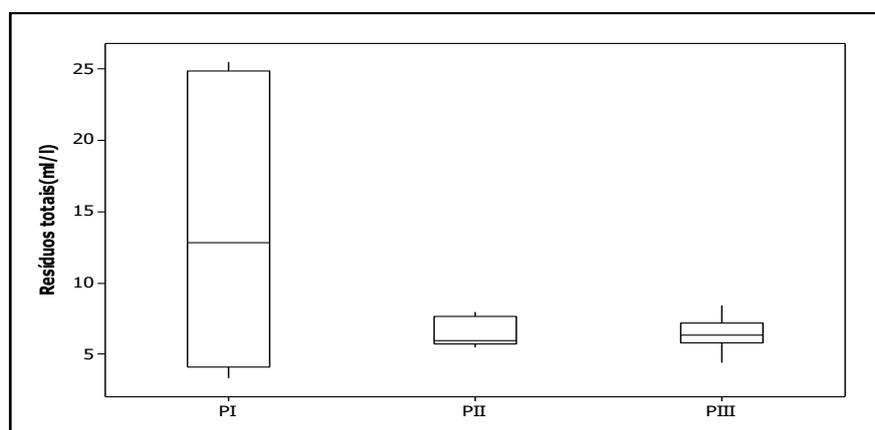


Figura 11. Bloxplot do resíduo seco ao longo do Ribeirão São João no período de setembro/2014 a fevereiro/2015

Índice de qualidade de água (IQA)

Os resultados dos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos das águas superficiais do Ribeirão São João foram utilizados no cálculo do IQA para o período de setembro/2014 a fevereiro/2015. A classificação da qualidade das águas do Ribeirão São João foi feita a partir dos valores praticados nos Estados AL, MG, MT, PR, RJ, RN, RS (ANA, 2015).

Observou-se que o comportamento do IQA apresentou uma variação de 49,74 a 80,72, durante o período estudado (Figura 12). O estudo revelou que segundo os valores obtidos para o IQA, a qualidade da água pode ser classificada como boa na maior parte do período. De modo geral observou-se que 55,4%, a maior parte dos valores mensais do IQA, podem ser classificados na categoria “boa”, 39%

na categoria “razoável” e 5,6% na categoria “ruim”.

Os baixos valores do IQA podem estar relacionados à descarga doméstica, atividades agrícolas e drenagem da bacia hidrográfica. Outro fator que influenciou intensamente o comportamento do IQA foi o uso do solo, uma vez que os pontos um e dois (PI e PII) que ficam na zona rural apresentaram valores mais elevados, conseqüentemente correspondem aos melhores índices. Entretanto o ponto três (PIII) que se situa na zona urbana sempre apresentou valores menores em todo o período estudado. Isso permite afirmar que a área onde predomina as atividades urbanas foi a responsável pelos níveis baixos de qualidade da água, em todas as estações (seca e chuvosa). Estudos similares como os de GAZZAZ et al. (2015), LIOU et al. (2015), OCAMPO-DUQUE et al. (2015) e RUBIO-ARIAS (2015) associaram as variações

nos valores do IQA á contribuições domésticas, drenagem da bacia que por sua vez provenientes de indústria, atividades afetam corpos d'água.

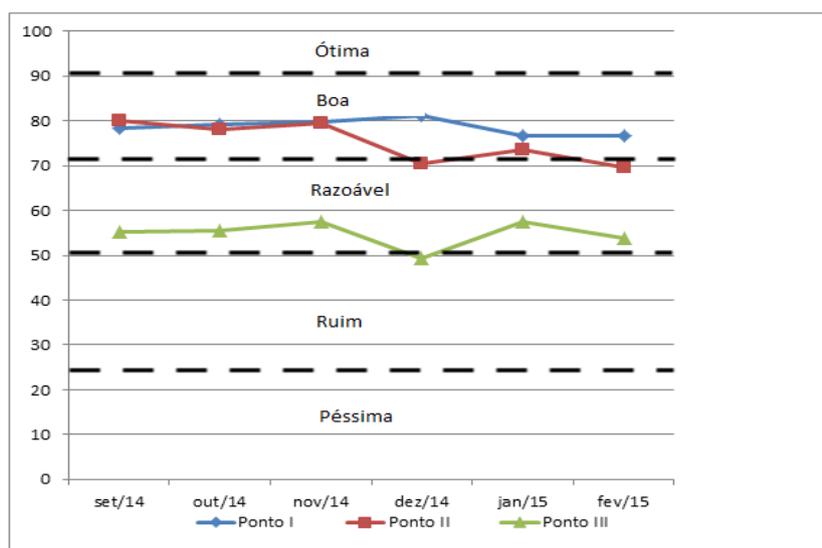


Figura 12. Variação do índice de qualidade das águas

Outro fato que ficou evidente quando se fez a análise espacial e temporal do comportamento do IQA, foi que o índice quando é utilizado isoladamente não reflete fidedignamente a

qualidade, entretanto permitiu a identificação de um trecho do rio que requer medidas urgentes a fim de restaurar o mínimo de qualidade da água para usos múltiplos.

CONCLUSÕES

Os resultados dos IQAs permitiram uma boa visualização espacial e temporal da qualidade da água do Ribeirão São João. A análise da qualidade da água foi importante, uma vez que foi capaz de detectar oscilações nos valores de IQA, que ocorreram nos três pontos amostrais, fato que se deve à dinâmica de uso do solo e da água em cada local. Tal fato indica que o IQA pode ser adotado como uma ferramenta para monitorar e estabelecer tendências, transmitir informação sobre a qualidade da água de uma bacia hidrográfica de forma fácil e compreensível para o público e os gestores locais, no entanto este índice representa uma visão resumida da qualidade da água. Vale destacar que ao ser analisado separadamente os resultados dos parâmetros considerados no cálculo do IQA com os limites estabelecidos pelas Resoluções do CONAMA n°274/2000 e n°357/2005, os dados revelaram que as águas

têm contaminantes que excedam os limites prescritos pelos padrões Brasileiros e que as oscilações de alguns parâmetros foram absorvidas pelos outros, situação esta que pode levar a diagnósticos não realistas das condições de um ambiente aquático. Resultados semelhantes foram registradas por outros pesquisadores em outros trabalhos ao longo do País, como por exemplo Carvalho et al., (2011) e Piasentin et al. (2009). Diante disso, medidas de caráter preventivo fazem necessárias e devem ser tomadas para garantir a segurança, restaurar e preservar a qualidade das águas deste valioso recurso para as gerações atuais e futuras. Isso pode ser feito através de programa de educação ambiental para as comunidades que vivem no entorno deste recurso hídrico e revitalização da mata ciliar, dentre outros.

REFERÊNCIAS

1. ANA – Agência Nacional de Águas. **Indicadores de Qualidade.** Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em: 15/05/2015.

2. AMADI, A.N., P.I. OLASEHINDE, E.A.; OKOSUN.; J. YISA, 2010. Assessment of the water quality index of Otamiri and Oramiriukwa rivers. **Physics International**. V.1, Issue 2. 116-123, 2010. Disponível em: <<http://thescipub.com/PDF/pisp.2010.116.123.pdf>> Acesso em: 15 out. 2015.
3. APHA – American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed. Washington D.C. APHA-AWWA-WPCF, 2005.
4. BARROS, F. M. **Dinâmica do nitrogênio e do fósforo e estado trófico nas águas do rio Turvo Sujo**. 2008. Tese (doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2008 b. Disponível em: <http://www.tede.ufv.br/tesesimplificado/tde_arquivos/12/TDE-2009-02-04T084442Z1517/Publico/texto%20completo.pdf> Acesso em: 11 de ago 2015.
5. BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA (2005). Resolução nº 357 - 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Resoluções CONAMA**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 15 mai. 2015.
6. BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA (2000). Resolução nº 274 – 29 de novembro de 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. **Resoluções CONAMA**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=272>. Acesso em: 15 mai. 2015.
7. Buckley, R.; Clough, E.; Warnken, W.; Wild, C., 1998. Coliform bacteria in streambed sediment in a subtropical rainforest conservation reserve. **Water research** 32, 1852–1856.
8. CARVALHO, A. de P.; SILVA, D. G. K. C.; BUENO, R. J.; SOUSA, A. M.; SILVA JÚNIOR, W. R. R.; CAVALCANTI JÚNIOR, G. B. Caracterização físico-química do rio Taquari em Araguatins / TO. **Revista Saúde**, Natal. n. 1, p. 29-35, jul-dez. 2004.
9. CARVALHO, A. de P.; MORAES NETO, J. M.; LIMA, V. L. A. de. ; SILVA, D. G. K. C. Estudo da degradação ambiental do açude de Bodocongó em Campina Grande – PB. **Revista Engenharia Ambiental**. Espírito Santo do Pinhal. v. 6, n. 2, p. 293-305, mai/ago 2009.
10. CARVALHO, A. de P.; MORAES NETO, J. M.; LIMA, V. L. A.; SILVA, D. G. K. C. Determinação espacial e temporal do IQA do açude Soledade em Soledade-PB. **Revista Engenharia Ambiental**. Espírito Santo do Pinhal. v. 8, n. 2, p. 138-147, abr/jun 2011.
11. CARVALHO, A. P.; BALDUINO, A.R.; NETO, P.F.; TARGA, M.S.; ALMEIDA, A.A.S. Caracterização físico-química das águas da bacia hidrográfica do ribeirão São João na fazenda pilão em Porto Nacional - Tocantins. **VIII Congresso Norte Nordeste de pesquisa e inovação**. Disponível em: <<http://ocs.connepi.ifba.edu.br/files/conferences/1/sc>hedConfs/1/papers/3341/submission/review/3341-5166-1-RV.pdf>. Acesso em: 10/05/2015.
12. CARVALHO, A. P.; PAULA, M. A. N. R.; BABUINO, A. R.; SILVA, R. L.; OLIVEIRA, J. F. G.; CASTRO, V. B. Determinação do IQA do ribeirão Caba Vida em Brejinho de Nazaré –TO. **VIII Congresso Norte Nordeste de pesquisa e inovação**. Disponível em: <<http://ocs.connepi.ifba.edu.br/files/conferences/1/sc>hedConfs/1/papers/3341/submission/review/3341-5166-1-RV.pdf>. Acessado em: 10/05/2015.
13. CARVALHO, A. P. **Diagnóstico da influência dos diferentes usos (solo e água) sobre a qualidade da água do Ribeirão Lajeando**. Palmas, 1997. TCC (Bacharelado em Engenharia Ambiental) Fundação Universidade do Tocantins.
14. CRABILL, C.; DONALD, R.; SNELLING, J.; FOUST, R.; SOUTHAM, G. The impact of sediment fecal coliform reservoirs on seasonal water quality in Oak Creek, Arizona. **Water Research**. v. 33, n. 9, p. 2163-2171, 1999.
15. Doyle, J.D., Tunnicliff, B., Kramer, K., Kuehl, R., Brickler, S.K., 1992. Instability of fecal coliform populations in waters and bottomsediments at recreational beaches in Arizona. **Water Research**. 26 (7), 979–988
16. DOURADO, J. C. **ANÁLISE da Bacia do Ribeirão São João, TOCANTINS: uma contribuição metodológica ao planejamento e gestão ambiental**. RIO DE JANEIRO, 2008. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
17. DRICHE, M.; ABDESSEMED, D.; G. NEZZAL, 2008. Treatment of Wastewater by Natural Lagoon for its Reuse in Irrigation. **Am. J. Eng. Applied Sci**. 1: 408-413. 2008. Disponível em: <<http://thescipub.com/pdf/10.3844/ajeassp>>. Acesso em: 14 mai. 2015
18. ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2ª Edição. Rio de Janeiro. Editora Interciência. 1998. 602-p.
19. GAZZAZ, N. M.; YUSOFF, M. K.; ARIS, A. Z.; JUAHIR, H. ; RAMLI, M. F. Artificial Neural Network Modeling of the Water Quality Index for Kinta River (Malaysia) Using Water Quality Variables as Predictors. **Marine Pollution Bulletin**, Vol. 64, No. 11, 2012, pp. 2409-2420. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.01.032>>. Acesso em: 15 out. 2015.
20. Goyal, S.M., Gerba, C.P., Melnick, G.L., 1977. Occurrence and distribution of bacterial indicators and pathogens in canal communities along the Texas Coast. **Applied and Environmental Microbiology** 34 (2), 139–149.
21. HOSSAIN, M.A.; SUJAU I.M.; NASLY, M.A. Water Quality Index: an Indicator of Surface Water Pollution in Eastern part of Peninsular Malaysia. **Research Journal of Recent Sciences**. Vol. 2(10). 10-17, Oct. 2013.
22. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, cidades@cidade**, Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat> Acesso em 20/03/2015.

23. KEMERICH, P. D. C.; SILVA, J. L. S.; DESCOVI FILHO, L. L. V. et al. Determinação da vulnerabilidade natural à contaminação da Água subterrânea no bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro em Santa Maria – RS. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v. 8, n. 3, p. 085-098, jul./set. 2011
24. KOSKI-VAHALA, J.; HARTIKAINEN, H. Assessment of the risk of phosphorus loading due to resuspended sediment. **Journal of Environmental Quality**. Madison, v. 30, p. 960-966, 2001. <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2001.303960x>
25. LIMA, A. M.; FERNANDES, SOUSA MELO, M. R., H. N. de; SOUZA MELO, J. L. de. Índice de qualidade de um corpo lântico receptor de efluentes tratados da indústria de petróleo. **II Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo & Gás**. Disponível em: <<http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/2/6164.pdf>> Acesso em: 12/05/2015.
26. LIU, S. M.; LO, S. L.; WANG, S. H. A Generalized Water Quality Index for Taiwan. **Environmental Monitoring and Assessment**, Vol. 96, No. 1-3, 2004, pp. 35-52. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1023/B:EMAS.0000031715.83752.a1>>. Acesso em: 15 out. 2015.
27. LUCENA, R. L.; MENEZES, M. F.; SASSI, R. Qualidade da água de reservatórios nas distintas zonas climáticas da Paraíba. **Revista de Geografia da UFC**, ano 07, número 14, 2008. p.87-97.
28. McDOWELL, R. W.; SHARPLEY, A. N.; CONDRON, L. M.; HAYGORTH, P. M.; BROOKES, P. C. Processes controlling soil phosphorus release to runoff and implications for agricultural management. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. v. 59, p. 269-284, 2001. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1014419206761>
29. OCAMPO-DUQUE, W.; OSORIO, C.; PIAMBA, C.; SCHUHMA-CHER, M.; DOMINGO, J. L. Water Quality Analysis in Rivers with Non-Parametric Probability Distributions and Fuzzy Inference Systems: Application to the Cauca River Colombia. **Environment International**, Vol. 52, 2013, pp. 17-28. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2012.11.007>> Acesso em: 15 out. 2015.
30. PACHEPSKY, Y. A. and SHELTON, D. R. Escherichia Coli and Fecal Coliforms in Freshwater and Estuarine Sediments. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, 41:1067-1110, 2011.
31. PIASENTIN, A. M.; SEMENSATTO JUNIOR, D. L.; SAAD, A. R.; MONTEIRO JUNIOR, A. J.; RACZKA, M. F. Índice de qualidade da água (iqg) do reservatório Tanque Grande, guarulhos (sp): análises sazonal e efeitos do uso e ocupação do solo. **Geociências**, v. 28, n. 3, p. 305-317, 2009
32. POMPÊO, M. L. M.; MOSCHINI-CARLOS, V. **Macrófitas aquáticas e perifiton, aspectos ecológicos e metodológicos**. São Carlos. Rima, 2003.
33. Rehmann, C.R., Soupir, M.R., 2009. Importance of interactions between the water column and the sediment for microbial concentrations in streams. **Water Research** 43 (18), 4579-4589.
34. RUBIO-ARIAS, H.; OCHOA-RIVERO, J. M.; QUINTANA I, R. M.; SAUCEDO-TERAN, R.; ORTIZ-DELGADO, R. C.; REY-BURCIAGA, N. I.; ESPINOZA-PRIETO, J. R. Development of a Water Quality Index (WQI) of an Artificial Aquatic Ecosystem in Mexico. **Journal of Environmental Protection**, 2013, 4, 1296-1306 Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4236/jep.2013.411151>> Acesso em: 15 out. 2015.
35. SHULTZ, M. T. A Critique of EPA's Index of Watershed Indicators. **Journal of Environmental Management**. Disponível em: <<http://www.napawatersheds.org/img/managed/Document/3407/Schultz%202001%20acritiqueofepasindexofwatershedIndicators.pdf>>. Acesso em: 14 mai. 2015
36. Smith, J., Edwards, J., Hilger, H., Steck, T. R. Sediment can be a reservoir for coliform bacteria released into streams. **Journal of General and Applied Microbiology** 54 (3), 173-179. 2008
37. SILVA, A. A. F. **Geoprocessamento aplicado à análise e mapeamento geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São João-TO**. Porto Nacional, 2010. TCC (Bacharelado em Geografia) Universidade Federal do Tocantins.
38. SPERLING, M. Von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3º Ed. DESA. UFMG, Belo Horizonte, 2005.
39. TOCANTINS. Secretaria do Planejamento. Superintendência de Planejamento e Gestão Central de Políticas Públicas: Diretoria Zoneamento Ecológico-Econômico. **Atlas do Tocantins: Subsídios ao Planejamento da Gestão Territorial**. 5. Ed. Palmas: Seplan, 2008. 62 p. Disponível em: [http://www.seplan.to.gov.br/download/20080929093220-atlas do Tocantins 2012 portugues.pdf](http://www.seplan.to.gov.br/download/20080929093220-atlas%20do%20Tocantins%202012%20portugues.pdf). Acesso em: 11 de fevereiro de 2015.
40. VON SPERLING, M.; **Introdução à qualidade das águas e aos tratamentos de esgotos**. 3ª Ed. Belo Horizonte - MG. Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.
41. WANG, F.; DING, Y.; GE, L.; REN, H.; DING, L. Effect of high-strength ammonia nitrogen acclimation on sludge activity in sequencing batch reactor. **Journal of Environmental Sciences**. 22(11), 1683-1688. 10 de mar. 2010.
42. YISA, J.; JIMOH, T. Analytical Studies on Water Quality Index of River Landzu. **American Journal of Applied Sciences**. 2010(7), 453-458. Disponível em: <http://www.researchgate.net/profile/Jimoh_Tijani_Oladajo/publication/46179150_Analytical_Studies_on_Water_Quality_Index_of_River_Landzu/links/5404d1600cf2bb434c1d201d.pdf>. Acesso em: 16 out. 2015.

Manuscrito recebido em: 30 de Setembro de 2015
Revisado e Aceito em: 30 de Junho de 2016