

Adaptação do índice de qualidade de água da National Sanitation Foundation ao semiárido brasileiro¹

Adapting the National Sanitation Foundation water quality index to the Brazilian semiarid

Kássia Crislayne Duarte Ferreira^{2*}, Fernando Bezerra Lopes³, Eunice Maia de Andrade⁴, Ana Célia Maia Meireles⁵ e Gerlange Soares da Silva⁶

RESUMO - Conhecer a qualidade da água de um reservatório utilizado para consumo humano é importante. Os índices de qualidade de água são utilizados para facilitar a compreensão dessa qualidade. Este estudo teve como objetivos adaptar e comparar o índice de qualidade de água da National Sanitation Foundation, às condições físicas, químicas e biológicas das águas de reservatórios artificiais em regiões com clima semiárido tropical, bem como a variabilidade espaço-temporal do mesmo. Foram realizadas doze coletas de água de abril de 2008 a abril de 2010 em sete pontos amostrais distribuídos no reservatório Orós, na região centro sul do estado do Ceará. Os atributos de qualidade de água monitorados utilizados para cálculo e adaptação do índice foram: pH, temperatura, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, nitrato, sólidos totais, turbidez e coliformes termotolerantes. A partir delas, empregou-se a Análise de Componente Principal para determinação dos pesos a serem associados aos parâmetros presentes no índice de qualidade de água e adaptá-lo a reservatórios de regiões de clima semiárido. As águas do reservatório foram classificadas como de qualidade regular durante a maior parte do período de estudo. Apesar de variar com o regime de chuvas, foi observado efeito da sazonalidade sobre a qualidade da água. Observou-se que o índice adaptado para regiões de clima semiárido é estatisticamente diferente dos índices de outras regiões. Entretanto, observou-se diferença apenas na sensibilidade e nos pesos dos atributos determinantes da qualidade de água.

Palavras-chave: Água-qualidade. Reservatórios. Águas superficiais.

ABSTRACT - Knowledge of the water quality of a reservoir used for human consumption is important. Water quality indices are used to facilitate understanding of this quality. This study aimed to adapt and compare the water quality index of the National Sanitation Foundation to the physical, chemical and biological conditions of artificial reservoirs in regions with tropical semiarid climate and its spatio-temporal variability. Twelve water samples were taken between April 2008 to April 2010 in seven sampling points distributed in Orós reservoir in the southern of Ceará. Water quality attributes that were monitored and used for calculation and adjustment of the index were: pH, temperature, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, total phosphorus, nitrate, total solids, turbidity and fecal coliform. From them, we used the Principal Component Analysis to determine the weights to be associated with the parameters of the water quality index and adapt it to reservoirs of semiarid climates. The water quality of the reservoir was classified as regular for most of the study period. Although varying with rainfall, there was effect of seasonality on water quality. It was observed that the index adapted to semiarid climate regions is statistically different from indices from other regions. However, the difference is observed only in sensitivity and weights of determining attributes quality.

Key words: Water-quality. Reservoir. Surface Water.

DOI: 10.5935/1806-6690.20150007

* Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 03/08/2013; aprovado em 08/12/2014

Parte da Dissertação de Mestrado da primeira autora

²Mestranda em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil, Bolsista pelo CNPq, kassia-crislayne@hotmail.com

³Pós-Doutorando/PNPD/CAPES do Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC, Fortaleza-CE, Brasil, lopesfb@yahoo.com.br

⁴Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC, Fortaleza-CE, Brasil, bolsista do CNPq, eandrade@ufc.br

⁵Pós-Doutoranda/CNPq, Université du Maine, França, ameireles2003@yahoo.com.br

⁶Mestranda em Solos e Qualidade de Ecossistemas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia/UFRB, Cruz das Almas-BA, Brasil, Bolsista pela CAPES, gerlangesoares@hotmail.com

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o uso e ocupação do solo de forma desordenada limita a disponibilidade de água para usos múltiplos (VIALLE *et al.*, 2011). Esse fato é mais agravante em regiões secas onde a limitação da disponibilidade hídrica é um processo natural. No semiárido brasileiro a aridez e a distribuição irregular da precipitação pluviométrica no tempo e no espaço levou à prática da construção de reservatórios de captação e de armazenamento das águas superficiais.

As águas represadas estão sujeitas à deterioração de sua qualidade devido à alta taxa de evaporação e aos aportes de nutrientes oriundos da agricultura e esgotos domésticos (LIU *et al.*, 2011).

A qualidade da água reflete os efeitos agregados de vários processos ao longo do caminho percorrido pela mesma e é influenciada pelas características da bacia hidrográfica (MASSOUD, 2012). Portanto, é importante avaliar a qualidade de água para adequá-la ao seu respectivo uso (SINGH; MALIK; SINHA, 2005).

Ao avaliar a qualidade das águas superficiais, deve se empregar métodos de compreensão fácil para que a informação possa ser transmitida aos usuários deste recurso. O uso de índices de qualidade de água tem sido uma alternativa para acompanhar as alterações na qualidade de água ao longo de uma bacia hidrográfica ou do tempo, sejam elas de origem antrópica ou natural (DONADIO; GALBIATTI; PAULA, 2005; LOPES *et al.*, 2008).

A National Sanitation Foundation (NSF) desenvolveu um índice de qualidade de água (IQA) para comparar a qualidade dos corpos hídricos e monitorar as alterações temporais ou espaciais na qualidade da água, refletindo a sua contaminação por ações antrópicas, tais como esgoto doméstico, resíduos industriais ou agropecuários (ANDRADE *et al.*, 2005; LOPES *et al.*, 2008; SÁNCHEZ *et al.*, 2007). O IQA desenvolvido pela NSF varia de zero (pior qualidade) a 100 (melhor qualidade) e utiliza nove atributos (oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fósforo total, temperatura, turbidez e sólidos totais) com seus pesos (W_i) respectivos (CASTRO JUNIOR; SOBREIRA; BORTOLOTTI, 2007).

Em modelos empíricos os pesos de cada atributo variam de acordo com a região devido a fatores climáticos, condições geológicas e usos da terra. Portanto, o emprego de modelos empíricos em regiões distintas da qual ele foi desenvolvido devem ser ajustados às condições locais (HURLEY; SADIQ; MAZUMDER, 2012).

Tomando por base esta premissa, o objetivo deste trabalho foi adaptar e comparar o índice de qualidade de

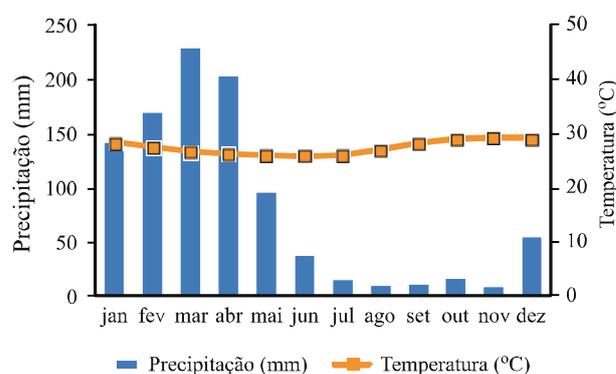
água desenvolvido pela National Sanitation Foundation às condições físicas, químicas e biológicas das águas de um reservatório artificial em região de clima semiárido tropical, bem como a variabilidade espaço-temporal do mesmo.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo é o reservatório Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira (conhecido como açude Orós), com volume de 1,94 bilhões de m³ e localizado na bacia do Alto Jaguaribe, nos municípios de Orós, Quixelô e Iguatu, Ceará. A classificação climática da região é BSw'h', segundo a classificação de Köppen, de clima semiárido quente com precipitações máximas de outono e temperatura média mensal do mês mais frio sempre superior a 18 °C. A precipitação anual da região, segundo a série histórica de 1974 a 2010, é 998 mm (Figura 1). A partir dos dados de precipitação, considerou-se como período chuvoso da região aquele com precipitação maior que 50 mm, compreendido entre os meses de dezembro e maio; e o período seco compreendendo os meses de junho a novembro.

Figura 1 - Dados médios de temperatura e precipitação (série histórica de 1974 a 2010) na estação meteorológica do município de Iguatu, CE (FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 2012)



Monitoramento

Sete pontos de amostragem (Figura 2) foram selecionados em função dos usos da terra nas margens e dos usos da água no reservatório. Doze coletas foram realizadas nestes pontos, de abril de 2008 a abril de

2010. Os atributos físicos, químicos e biológicos (Tabela 1) foram analisados de acordo com American Public Health Association (2005), baseando-se nos atributos indicadores de qualidade da água sugeridos pela NSF, ou seja: oxigênio dissolvido (OD), coliformes termotolerantes (CTT), pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrato, fósforo total, temperatura, turbidez e sólidos totais (ST).

Peso do IQA

O IQA descrito neste trabalho utilizando os pesos calculados e adaptados para as condições do semiárido foi nomeado Manejo de Água e Solo do Semiárido (MASSA) e baseou-se no índice criado pela NSF, com a utilização das nove variáveis consideradas indicativas de qualidade desse índice. Os

Figura 2 - Localização da Área de Estudo e dos Pontos de Amostragem de Atributos de Qualidade de Água no reservatório Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira, Orós, CE

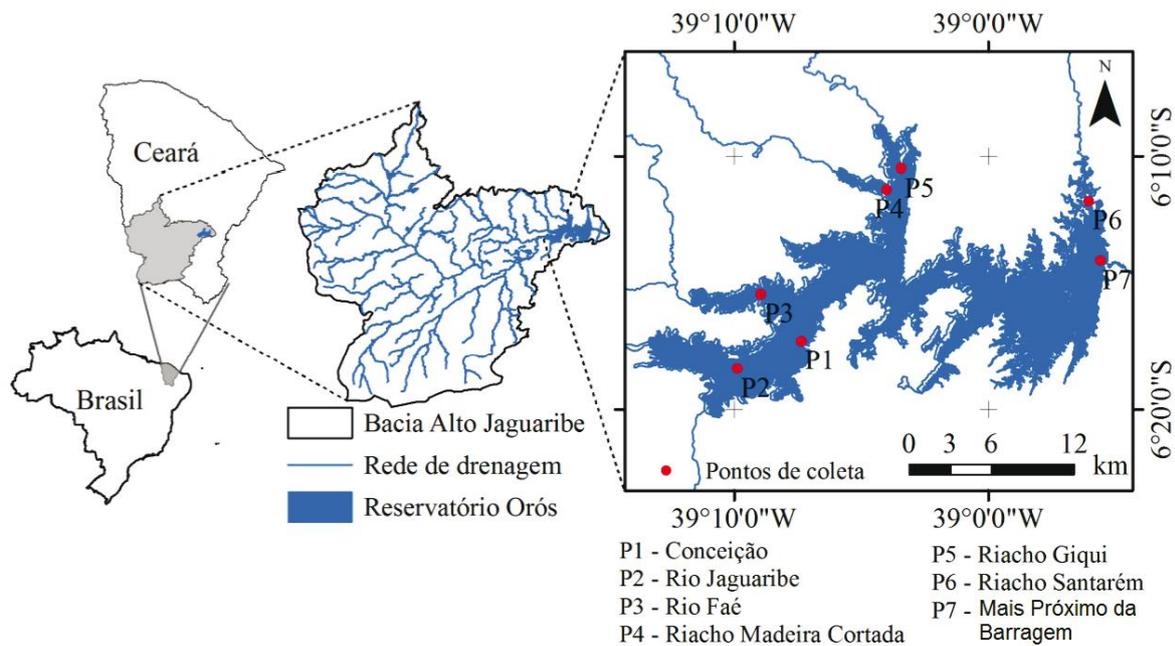


Tabela 1 - Variáveis físicas, químicas e biológicas monitoradas no reservatório Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira, Orós, CE e métodos utilizados segundo American Public Health Association (2005)

Análise	Método
pH	Potenciométrico
Nitrato (mg L ⁻¹)	Espectrofotométrico
Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)	Método de Winkler - Azida modificada (Iodometria)
Demanda bioquímica de oxigênio (mg L ⁻¹)	Frascos padrões - Iodometria
Fósforo total (mg L ⁻¹)	Espectrofotométrico
Coliformes termotolerantes (Unidades Formadoras de Colônia - UFC/100 mL)	Tubos múltiplos
Turbidez (Unidades Nefelométricas de Turbidez - UNT)	Turbidimétrico
Sólidos Totais (mg L ⁻¹)	Gravimétrico
Temperatura (°C)	Termométrico

resultados foram comparados com os índices e pesos adaptados pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) e os originais da NSF.

Os pesos (W_i) de cada parâmetro do IQAMASSA, ou seja, os fatores de influência de cada variável na qualidade de água foram determinados pelo emprego da Análise de Componentes Principais (ACP) dos parâmetros de IQA avaliados. A metodologia de ACP se compõe das seguintes etapas: preparação da matriz de correlação; extração dos fatores comuns e rotação dos eixos relativos aos fatores comuns (SANDS; PODMORE, 2000). Para a análise dos dados foi utilizado o programa Statistical Package for the Social Sciences 16.0 (SPSS, 2007), por apresentar versatilidade no manuseio das operações necessárias à obtenção de componentes principais, contando, inclusive, com o tratamento prévio de padronização e escalonamento dos dados. Monteiro e Pinheiro (2004) sugeriram a aferição da consistência dos dados pelo método Kayser Mayer Olkim (KMO). Por esse método, compara-se a magnitude dos coeficientes de correlação observados com os coeficientes parciais de correlação, produzindo o índice KMO, gerado pela Equação 1:

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} x \sum r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} x \sum r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} x \sum a_{ij}^2} \quad (1)$$

em que: r_{ij} - coeficiente de correlação simples entre a variável i e j ; a_{ij} - coeficiente de correlação parcial entre a variável i e j .

Silveira e Andrade (2002) propuseram intervalos como critério de qualificação para o resultado do KMO (Tabela 2).

Tabela 2 - Intervalo de validade do teste KMO para aplicação no modelo de Análise de Componentes Principais, propostos por Silveira e Andrade (2002)

Intervalo	Qualificação
$KMO < 0,50$	Inaceitável
$0,50 < KMO < 0,70$	Admissível
$0,70 < KMO < 0,90$	Adequado
$KMO > 0,90$	Excelente

A extração dos fatores (pesos de cada parâmetro) foi definida pela variância da combinação linear das variáveis observadas. O primeiro fator extraído representa a combinação linear que explica a variância máxima existente na amostra; o segundo, a combinação linear com a máxima explicação da variância remanescente e assim sucessivamente (PALÁCIO, 2004). A correlação de cada

variável com os fatores é expressa (Equação 2), em termos algébricos, por:

$$X_i = A_{i1}f_1 + A_{i2}f_2 + \dots + X_i = A_{ii}f_i \quad (2)$$

em que: (X_1, X_2, \dots, X_i) - expressam a combinação linear dos fatores (f); A - representa as cargas fatoriais; ξ - termo residual da variância não explicada pelos fatores.

O número de fatores extraídos foi definido pelo critério das raízes características, eigenvalues (HAIR JÚNIOR *et al.*, 2005), onde se consideram somente componentes com autovalor superior a um, ou seja, o fator deve explicar uma variância superior àquela apresentada por uma simples variável. Para minimizar a contribuição das variáveis com menor significância no fator (HAIR JÚNIOR *et al.*, 2005) empregou-se o procedimento de transformação ortogonal varimax, ou simplesmente rotação da matriz das cargas fatoriais.

O valor do peso (W_i) de cada variável para o IQA MASSA foi ponderado em função do autovalor do componente (raiz característica) associado à explicabilidade de cada variável, em relação aos componentes principais extraídos (Equação 3). O autovalor é utilizado como termo de ponderação por expressar a capacidade dos fatores em captar em níveis diferentes as variâncias das variáveis (PALÁCIO, 2004).

$$W_i = \frac{(F_1 \cdot C_1) + (F_2 \cdot C_2) + \dots + (F_n \cdot C_n)}{(F_1 \cdot \sum_i C_1) + (F_2 \cdot \sum_i C_2) + \dots + (F_n \cdot \sum_i C_n)} \quad (3)$$

em que: W_i - peso a ser associado a cada parâmetro de qualidade de água; F_i - autovalor de cada fator; C_i - explicabilidade da variável em relação ao componente principal.

A qualidade de cada variável do IQA MASSA foi definida conforme a curva de qualidade, ou curva média de variação da variável. A qualidade relativa da i -ésima variável (q_i) varia de 0 a 100 e foi obtida do respectivo gráfico de qualidade padrão, em função de sua concentração ou medida (BROWN *et al.*, 1970). O q_i foi escolhido de acordo com o valor de cada determinação física, química e biológica, para cada ponto coletado (sete pontos), nos períodos chuvoso (dezembro a maio) e seco (junho a novembro) dos anos estudados. Após a obtenção dos pesos e a escolha do q_i , o IQA foi determinado por meio da equação 4. O IQA, conforme estabelecido por Brown *et al.* (1970), adaptado do índice da NSF, varia numa escala de 0 a 100, sendo dividido em cinco categorias, as quais estão representadas na Tabela 3.

$$IQA = \Pi \cdot q_i^{w_i} \quad (4)$$

em que: Π - produtório; q_i - qualidade relativa da i -ésima variável; W_i - peso relativo da i -ésima variável; i - número de ordem da variável.

respectivamente, para fins de comparação com o índice adaptado neste trabalho.

Tabela 3 - Categorias de classificação de qualidade de água de acordo com os valores do IQA (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2013)

Categoria	Ponderação
Ótima	$79 < IQA \leq 100$
Boa	$51 < IQA \leq 79$
Regular	$36 < IQA \leq 51$
Ruim	$19 < IQA \leq 36$
Péssima	$IQA \leq 19$

Teste de médias

Foi realizado o teste estatístico t de Student para três comparações: 1) entre os pesos dos três índices de qualidade (MASSA, NSF e CETESB); 2) entre as médias dos IQAs obtidos utilizando os três conjuntos de pesos (MASSA, NSF e CETESB); e 3) entre os períodos seco e chuvoso do IQA MASSA. Todas as comparações foram realizadas utilizando-se um nível de significância de 5%.

Comparação entre os índices

Os pesos determinados e utilizados pela CETESB e pela NSF e disponibilizados pela literatura foram aplicados na equação 4, em conjunto com os resultados das concentrações dos atributos utilizados neste trabalho, obtendo assim o IQA CETESB e o IQA NSF,

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As medidas de tendências centrais e de dispersão para as variáveis empregadas no estudo estão apresentadas na Tabela 4. O pH afeta o metabolismo de várias espécies e, para proteção das espécies aquáticas, deve estar entre 6,0 e 9,0, segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, valores padrões para Classe 2 de Águas Doces (BRASIL, 2005).

Os valores de turbidez estiveram abaixo do padrão de 100 UNT estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, apesar de apresentar variabilidade alta e heterogeneidade, o que pode ser observado no valor alto do Coeficiente de Variação (CV). Do mesmo modo, os dados de ST são heterogêneos, variando de 2 a 100 mg L⁻¹. Temperatura, pH e OD, por sua vez, apresentaram alta homogeneidade dos dados, com valores baixos de CV, tendo baixa variabilidade ao longo do período avaliado.

A DBO esteve acima do padrão estabelecido (<5,0 mg L⁻¹) em 75% das coletas realizadas, demonstrando que há a possibilidade de lançamentos regulares de cargas orgânicas no reservatório. Além disso, a aquicultura demanda oxigênio, influenciando positivamente nos valores de DBO, principalmente no ponto 6 (Riacho Santarém). O padrão de 10 mg L⁻¹ para nitrato foi atendido em todas as coletas realizadas. Ao contrário deste, o nutriente fósforo total apresentou concentrações superiores ao padrão (0,050 mg L⁻¹), em 65% das coletas realizadas, o que pode ser atribuído ao lançamento de esgoto doméstico não-tratado (AYROZA,

Tabela 4 - Atributos estatísticos para as variáveis avaliadas no cálculo do IQA do reservatório Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira, Orós, CE

Variáveis	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)
pH	8,33	8,32	7,40	9,40	0,40	5
Nitrato (mg L ⁻¹)	0,10	0,08	0,01	0,32	0,07	77
OD (mg L ⁻¹)	6,15	6,24	2,05	9,53	1,73	28
DBO (mg L ⁻¹)	6,86	6,65	2,01	13,88	2,87	42
Fósforo Total (mg L ⁻¹)	0,08	0,07	0,01	0,49	0,07	87
CTT (UFC/100 mL)	8,05	3,00	1,00	33,00	9,96	124
Turbidez (UNT)	9,87	7,34	1,12	58,70	9,15	93
ST (mg L ⁻¹)	181,48	179,50	101,00	298,00	31,9	18
Temperatura (°C)	29,06	29,00	25,90	33,00	1,43	5

2012) e os fertilizantes agrícolas (LOPES *et al.*, 2014; SHRESTHA; KAZAMA, 2007). O esgoto doméstico possui alta concentração de fósforo em relação ao nitrato; neste efluente, as demais formas nitrogenadas (amônia, nitrito) possuem maior concentração.

Os coliformes estiveram dentro do padrão estabelecido de 200 UFC / 100 mL em todas as coletas. Por outro lado, o OD, cujos valores devem ser superiores a 5,0 mg L⁻¹, esteve dentro dos limites em 77,4% das coletas, enquanto que suas menores concentrações ocorreram em período mais quente, quando é menor a solubilidade e mais intenso o metabolismo do ambiente (AYROZA, 2012).

Os valores das análises físicas, químicas e biológicas de cada variável foram utilizados para a análise de componente principal, que resultou em uma matriz rotacionada de cargas fatoriais, utilizada para o cálculo dos pesos do IQA. O modelo da matriz das cargas fatoriais de melhor ajuste para os atributos de qualidade de água no reservatório Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira, Orós, CE, foi composto por quatro componentes, Tabela 5, seguindo os critérios do KMO igual a 0,540, considerado aceitável, Tabela 2, (SILVEIRA; ANDRADE, 2002), e do autovalor igual ou superior a um. Os mesmos critérios também foram usados por Palácio (2004), Andrade *et al.* (2005) e Lopes *et al.* (2014).

Os pesos de cada atributo representativo da qualidade de água (W_i) foram determinados conforme a equação 3 e Tabela 5. Os valores de explicabilidade das variáveis foram empregados em módulo para efeitos de cálculo.

De acordo com os pesos encontrados (Tabela 6), o pH é a variável que mais influencia a qualidade de água do reservatório Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira, Orós, CE, seguido pela DBO, pelo nutriente fósforo e pelos sólidos totais.

Tabela 6 - Pesos de cada variável do IQA MASSA (ordem decrescente)

Variável	Wi
pH	0,13
Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,12
Fósforo Total	0,12
Sólidos Totais	0,12
Oxigênio Dissolvido	0,12
Turbidez	0,12
Nitrato	0,10
Coliformes Termotolerantes	0,09
Temperatura	0,08

Apesar de ser a variável mais importante para a determinação da qualidade de água no reservatório, o pH, possui valores cuja interpretação é de alta complexidade devido ao grande número de fatores que podem influenciá-lo (LOPES *et al.*, 2008; PALÁCIO, 2004). A presença de solos alcalinos com elevados teores de cálcio (CEARÁ,

Tabela 5 - Matriz das cargas fatoriais rotacionadas das variáveis para cada componente

Variável	Componentes (Ci)			
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
pH	0,744	-0,275	0,050	0,116
Turbidez	-0,211	0,105	0,824	0,035
ST	0,180	-0,156	0,817	0,037
DBO	-0,632	-0,404	-0,032	0,061
Nitrato	-0,045	0,653	-0,109	0,286
Fósforo Total	0,181	0,293	0,256	0,649
CTT	0,001	0,808	0,043	-0,117
OD	0,855	0,015	-0,082	0,049
Temperatura	-0,022	-0,098	-0,073	0,847
Somatório	2,870	2,807	2,287	2,198
Autovalor (Fi)	1,869	1,518	1,442	1,114
Variância (%)	20,763	16,868	16,024	12,383
Variância Acumulada (%)	20,763	37,631	53,654	66,037

2009) na região pode explicar os valores mais altos do pH das águas do reservatório estudado.

A sub-bacia do Alto Jaguaribe é constituída de rochas do embasamento cristalino pré-cambriano, representado por gnaisses e migmatitos diversos, quartzitos e metacalcários, associados a rochas plutônicas e metaplutônicas de composição predominantemente granítica (CEARÁ, 2009). Os metacalcários liberam carbonatos, conferindo uma condição alcalina ao reservatório. Esse aumento de pH devido às características básicas do solo pode explicar a maior importância do atributo para a qualidade de água do reservatório.

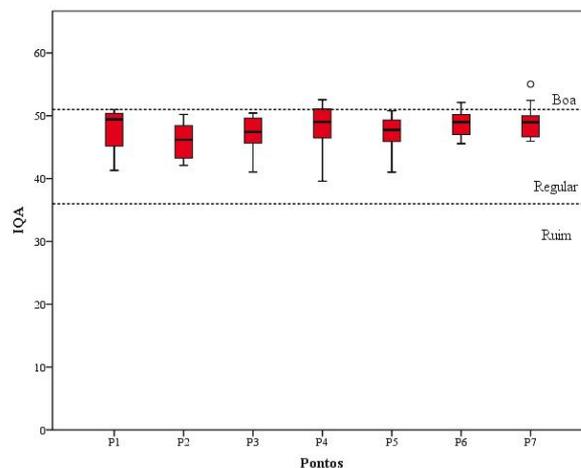
Os pesos de cada variável da qualidade da água obtidos neste trabalho (Tabela 7) foram diferentes dos pesos estabelecidos pela NSF (BROWN *et al.*, 1970) e pela CETESB (2013); entretanto, a diferença não foi estatisticamente significativa, segundo o teste t de Student ($p > 0,05$). Identifica-se, ainda, que das cinco variáveis de maior peso, pelo menos duas foram comuns aos índices. Tal fato mostra que, embora os índices tenham como suporte as mesmas variáveis, existe a necessidade de se determinar os pesos para as condições da região quando se trabalha com modelos empíricos (HURLEY; SADIQ; MAZUMDER, 2012; LAI *et al.*, 2013).

Os pesos estabelecidos pela CETESB (2013) apontam OD, CTT e pH como as variáveis mais influentes na qualidade de água. Para a NSF, as variáveis de maior influência são OD, CTT, DBO e, só então, pH, enquanto que para o índice MASSA as variáveis de maior influência foram pH, seguidas de DBO, fósforo total, sólidos totais, oxigênio dissolvido e turbidez, com o mesmo peso.

Os pesos foram utilizados para efetuar o cálculo do IQA de cada ponto amostrado a cada coleta. A mediana dos valores de IQA ao longo dos sete pontos (variação temporal) esteve sempre em torno de 48 (Figura 3), com

valores variando de 41 a 55. Além disso, 93% das amostras de água foram classificadas como de qualidade Regular e 7% como Boa. Valores baixos de IQA podem ser associados ao lançamento de esgotos domésticos sem tratamento prévio e à exploração agropecuária nas margens dos rios e reservatórios (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2012).

Figura 3 - Variação espacial do IQA MASSA no reservatório Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira, Orós, CE, ao longo dos sete pontos amostrados



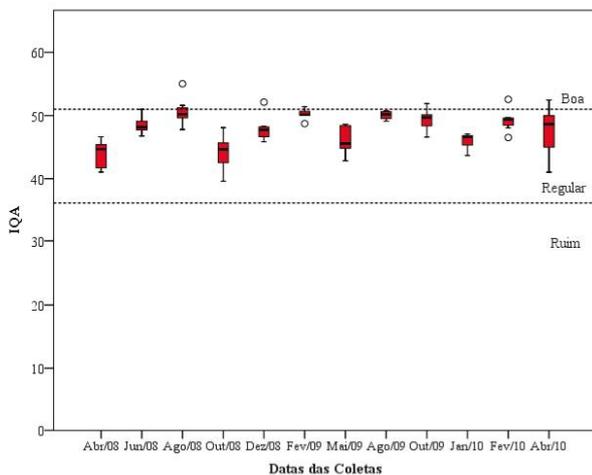
O ponto de coleta 4 apresentou a maior variação ao longo do tempo e o P6 a menor. O P7 (a montante da barragem) apresentou os melhores valores de qualidade, demonstrando a eficiência da autodepuração ao longo do reservatório, ou seja, sua capacidade de se recuperar após receber uma descarga de poluentes (SAINT *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2009).

Tabela 7 - Pesos de IQA determinados para cada variável no presente trabalho (MASSA) e pesos estabelecidos pela CETESB e NSF

Variável	Wi (MASSA)	Wi (CETESB)	Wi (NSF)
pH	0,15	0,12	0,11
Coliformes Termotolerantes	0,13	0,15	0,16
Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,12	0,10	0,11
Fósforo Total	0,12	0,10	0,10
Oxigênio Dissolvido	0,11	0,17	0,17
Nitrato	0,11	0,10	0,10
Turbidez	0,11	0,08	0,08
Temperatura	0,08	0,10	0,10
Sólidos Totais	0,07	0,08	0,07

Para identificar se a sazonalidade climática alterou a qualidade da água, investigou-se a variabilidade temporal das amostras (Figura 4). A maior variação do IQA MASSA ocorreu em abril de 2010, mês em que a precipitação pluviométrica foi de 268 mm. Embora os valores médios do IQA MASSA para os períodos seco e chuvoso tenham apresentado diferença estatisticamente significativa ao nível de 5%, não existe tendência do índice para o período seco ou chuvoso, sugerindo um sistema dinâmico complexo da qualidade das águas (GHARIBI *et al.*, 2012; ZAMBRANO *et al.*, 2009). A representação da dinâmica da qualidade de água não influenciada de forma regular pela estação climática é exemplificada nos valores de melhor IQA (ocorridos em fevereiro e agosto de 2009) e pior IQA (abril e outubro de 2008), sendo ambos os períodos secos, sem ocorrência de precipitação, e chuvosos (FUNCEME, 2012).

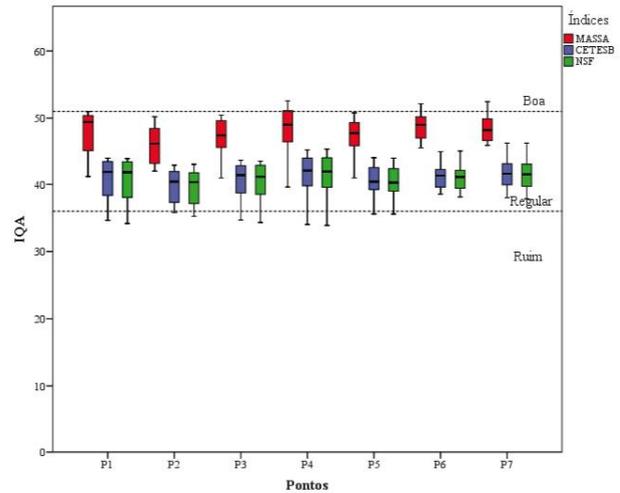
Figura 4 - Variação temporal dos valores de IQA MASSA no reservatório Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira, Orós, CE



O IQA calibrado para as águas do reservatório na região de clima semiárido (Figura 5) apresentou valores superiores aos determinados com os pesos da CETESB e da NSF. Tal fato confirma que IQA deve ter os pesos dos parâmetros calibrados em função do local que se deseja aplicá-los (AKKOYUNLU; AKINER, 2012; HURLEY; SADIQ; MAZUMDER, 2012).

As médias do IQA ajustado às condições de reservatórios de clima semiárido apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% dos valores médios do IQA determinados com os pesos da CETESB e da NSF.

Figura 5 - Comparação entre os índices de qualidade de água calculados (MASSA, CETESB, NSF) do reservatório Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira, Orós, CE



Essa diferença entre os pesos das variáveis e, conseqüentemente, entre os índices de qualidade pode ser explicada pela variação ambiental e pelos usos da terra e da própria água nos locais onde cada peso foi determinado.

CONCLUSÕES

1. O atributo que mais influencia a qualidade de água do reservatório Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira, Orós, CE, é o pH, variável que é afetada por vários fatores, entre eles a composição das rochas da região;
2. Há diferenças significativas entre o índice de qualidade utilizando os pesos determinados para a região climática semiárida e os índices de qualidade utilizando os pesos determinados para outras regiões, tais como os IQAs adaptados pela CETESB e desenvolvido pela NSF ($p < 0,05$). Entretanto, os índices seguem a mesma tendência, demonstrando diferenças apenas na sensibilidade e nos pesos dos atributos determinantes da qualidade de água;
3. As águas do reservatório Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira, Iguatu, CE, com IQA calculado pelo índice proposto (MASSA) podem ser consideradas de qualidade regular;
4. Foi observado efeito da sazonalidade sobre a qualidade de água.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade - INCTSal, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo apoio financeiro à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AKKOYUNLU, A.; AKINER, M. E. Pollution evaluation in streams using water quality indices: A case study from Turkey's Sapanca Lake Basin. **Ecological Indicators**, v. 18, p. 501-511, 2012.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington: Water Environment Federation, 2005. 1496 p.
- ANDRADE, E. M. *et al.* Índice de qualidade de água, uma proposta para o vale do rio Trussu, Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 36, n. 2, p. 135-142, 2005.
- AYROZA, D. M. M. R. **Características limnológicas em área sob influência de piscicultura em tanques-rede no reservatório da Uhe Chavantes, Rio Paranapanema, SE/S, Brasil**. 2012. 130 f. Tese (Doutorado em Aquicultura) - Centro de Aquicultura, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2012.
- BRASIL. Resolução nº 357, de 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. **Diário Oficial da União**, nº 053, 18 mar. 2005, p. 58-63.
- BROWN, R. M.; McCLELLAND, N.I.; DEININGER, R.A.; TOZER, R.G. A water quality index - do we dare?. **Water Sewage Works**, v. 117, n. 10, p. 339-343, 1970.
- CASTRO JUNIOR, R. M.; SOBREIRA, F. G.; BORTOLOTTI, F. D. Modelagem geoestatística a partir de parâmetros da qualidade da água (IQA-NSF) para a sub-bacia hidrográfica do rio Castelo (ES) usando sistema de informações geográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 3, p. 241-253, 2007.
- CEARÁ. Assembleia Legislativa. **Caderno regional da sub-bacia do Alto Jaguaribe. Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos**. Fortaleza: INESP, 2009. 119 p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Índices de qualidade de água**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%A1guas-superficiais/108-%C3%ADndices-de-qualidade-das-%C3%A1guas>>. Acesso em: 15 jan. 2013.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Qualidade das águas superficiais de São Paulo 2011**. São Paulo: CETESB, 2012. 356 p.
- DONADIO, N. M. M.; GALBIATTI, J. A.; PAULA, R. C. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 115-125, 2005.
- FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Redes de Monitoramento**. Disponível em: <<http://www.funceme.br>>. Acesso em: 10 nov. 2012.
- GHARIBI, H. *et al.* A novel approach in water quality assessment based on fuzzy logic. **Journal of Environmental Management**, v. 112, p. 87-95, 2012.
- HAIR JÚNIOR, J. F. *et al.* **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593 p.
- HURLEY, T.; SADIQ, R.; MAZUMDER, A. Adaptation and evaluation of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for use as an effective tool to characterize drinking source water quality. **Water Research**, v. 46, n. 11, p. 3544-3552, 2012.
- LAI, Y. C. *et al.* Development of a water quality modeling system for river pollution index and suspended solid loading evaluation. **Journal of Hydrology**, v. 478, p. 89-101, 2013.
- LIU, Y. *et al.* Cyanobacteria/cyanotoxin-contaminations and eutrophication status before Wuxi Drinking Water Crisis in Lake Taihu, China. **Journal of Environmental Sciences**, v. 23, n. 4, p. 575-581, 2011.
- LOPES, F. B. *et al.* Assessment of the water quality in a large reservoir in semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 437-445, 2014.
- LOPES, F. B. *et al.* Mapa da qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e Geoprocessamento. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 39, n. 3, p. 392-402, 2008.
- MASSOUD, M. F. Assessment of water quality along a recreational section of the Damour River in Lebanon using the water quality index. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, n. 7, p. 4151-4160, 2012.
- MONTEIRO, V. P.; PINHEIRO, J. C. V. Critério para implantação de tecnologias de suprimentos de água potável em municípios cearenses afetados pelo alto teor de sal. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 42, n. 2, p. 365-387, 2004.
- PALÁCIO, H. A. Q. **Índice de qualidade das águas na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu, Ceará**. 2004. 97 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.
- SAINT, G. M. *et al.* Variabilidade espacial de parâmetros e indicadores de qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do igarapé São Francisco, Rio Branco, Acre, Brasil. **Ecologia Aplicada**, v. 11, n. 1, p. 23-31, 2012.
- SÁNCHEZ, E. *et al.* Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. **Ecological Indicators**, v. 7, n. 2, p. 315-328, 2007.

SANDS, G. R.; PODMORE, T. H. A generalized environmental sustainability index for agricultural systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 79, n. 1, p. 29-41, 2000.

SHRESTHA, S.; KAZAMA F. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. **Environmental Modelling & Software**, v. 22 n. 4, p. 464-475, 2007.

SILVA, A. P. S. *et al.* Qualidade da água do Reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Peti, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 33, n. 6, p. 1063-1069, 2009.

SILVEIRA, S. S.; ANDRADE, E. M. Análise de componentes principais na investigação da estrutura multivariada da evapotranspiração. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 22, n. 2, p. 174-177, 2002.

SINGH, K. P.; MALIK, A.; SINHA, S. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti River (India) using multivariate statistical techniques - a case study. **Analytica Chimica Acta**, v. 538, n. 1/2, p. 355-374, 2005.

SPSS for Windows 16. Version 16.0. Chicago (IL), 2007. Programa de computador.

VIALLE, C. *et al.* Monitoring of water quality from roof runoff: Interpretation using multivariate analysis. **Water Research**, v. 45, n. 12, p. 3765-3775, 2011.

ZAMBRANO, L. *et al.* Spatial heterogeneity of water quality in a highly degraded tropical freshwater ecosystem. **Environmental Management**, v. 43, n. 2, p. 249-263, 2009.