

# Qualidade das águas em resposta aos efeitos do uso da terra na área de influência direta de reservatório pelo emprego da análise multivariada

Water quality in response to the effects of land use in the direct influence area of a reservoir by employing multivariate analysis

Calidad de las aguas en respuesta a los efectos del uso de la tierra en el área de influencia directa de una represa, por el empleo del análisis multivariado



Hudson Moraes Rocha

Universidade Federal de Goiás - Jataí - Goiás - Brasil

[heitor@heitorpagliaro.com](mailto:heitor@heitorpagliaro.com)



João Batista Pereira Cabral

Universidade Federal de Goiás - Jataí - Goiás - Brasil

[heitor@heitorpagliaro.com](mailto:heitor@heitorpagliaro.com)



Francisco Fernando Noronha Marcuzzo

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

Serviço Geológico do Brasil - Porto Alegre - Brasil

[heitor@heitorpagliaro.com](mailto:heitor@heitorpagliaro.com)

**Resumo:** O processo de degradação das águas em reservatório relaciona-se diretamente com as trocas de matéria orgânica e inorgânica entre o rio, a planície e a bacia, cujos efeitos são alteração dos padrões e processos abióticos e bióticos dos ecossistemas aquáticos. Este trabalho objetivou aplicar Análise por Componentes Principais para analisar a inter-relação entre os tipos de uso e cobertura da terra em relação à

qualidade das águas do reservatório “Barra dos Coqueiros”. As coletas de água foram realizadas em julho/2016 (período seco), em 39 pontos distintos. Na definição do modelo de Análise por Componentes Principais, foram utilizadas 18 de um total de 36 variáveis de qualidade da água – físicas, químicas e biológicas. Os resultados obtidos demonstraram que os primeiros eixos explicaram 42,60% da variação total das características da água do reservatório. Nota-se que na Análise por Componentes Principais existe uma separação entre os pontos sob influência da área urbanizada e da agricultura/pastagem, em que o primeiro eixo da Análise por Componentes Principais sofre influência da poluição orgânica e de íons dissolvidos na água, e o segundo indica um componente associado à distribuição de sólidos no reservatório. O método empregado tem grande valia para a explicação da influência do uso e cobertura da terra na qualidade das águas.

**Palavras-chave:** Análise por Componentes Principais. Estatística multivariada. Reservatório. Variáveis físico-químicas da água.

**Abstract:** The process of water degradation in a reservoir relates directly to the exchanges of organic and inorganic matter between the river, the plain and its basin, whose effects are the alteration of the abiotic and biotic patterns and processes of aquatic ecosystems. The present work aimed to apply Principal Component Analysis in order to analyze the interrelationship between the types of land use and cover, in relation to the water quality of the “Barra dos Coqueiros” Reservoir. The water samples were collected in July 2016, (dry season), at 39 different points of the reservoir. 18 of 36 physicals, chemical and biological water quality variables were utilized to define the Principal Component Analysis model. The results obtained demonstrated that the first axes explained 42.60% of the total variation in physical-chemical characteristics of the water in the reservoir. The Principal Component Analysis plot shows a separation between the points under the influence of the urbanized area and those influenced by agriculture/pasturelands, with the first axis under the influence of organic pollution and ions dissolved in water, and the second indicating a component associated with the distribution of solids in the reservoir. The utilized method has a great value for the explanation of the influence of land use and cover on water quality.

**Keywords:** Principal Component Analysis. Multivariate statistics. Reservoir. Physicochemical variables of water.

**Resumen:** El proceso de degradación de las aguas en embalses está directamente relacionado con los intercambios de materia orgánica e inorgánica entre el río, la llanura y su cuenca, cuyos efectos son la alteración de los patrones y procesos abióticos y bióticos de los ecosistemas acuáticos. El presente trabajo tuvo como objetivo aplicar el Análisis de Componentes Principales para analizar la relación entre los tipos de uso y cobertura de la tierra con la calidad de las aguas del embalse “Barra dos Coqueiros”. El muestreo de agua fue realizado en julio de 2016 (estación seca), en 39 puntos diferentes de la represa. Para la definición del modelo de Análisis de Componentes Principales fueron utilizadas 18 de un total de 36 variables de calidad de agua - físicas, químicas y biológicas. Los resultados obtenidos por el Análisis de Componentes Principales muestran que los primeros ejes explican 42,60% de la variación total de las características físico-químicas del agua del embalse. Se nota que en el gráfico del Análisis de Componentes Principales existe una separación entre los puntos influenciados por el área urbanizada y por la agricultura / pastoreo, en que el primer eje del Análisis de Componentes Principales se observa la influencia de la polución orgánica y de iones disueltos en el agua y el segundo indica una componente asociada con la distribución de sólidos en el embalse. En este sentido, el método utilizado ha probado ser de gran valor para la explicación de la influencia del uso y la cobertura de la tierra sobre la calidad de las aguas.

**Palabras clave:** Análisis de Componentes Principales. Estadística multivariada. Embalse. Variables fisicoquímicas del agua.

## Introdução

A construção de barragens, em rios, desempenha importante papel no desenvolvimento econômico, na geração de energia e no controle de enchentes em regiões do país em que a disponibilidade hídrica é historicamente elevada (ESTEVEZ, 2011; MAZUR; et al., 2017).

Nos ambientes de águas superficiais, as mudanças abruptas do ambiente lótico (rio) para o lêntico (lago) alteram as características físicas, químicas e biológicas da água, causando prejuízos à saúde humana, à biodiversidade e afetando diretamente o funcionamento dos ecossistemas aquáticos (ALLAN, 2004; BENSTEAD; DOUGLAS, PRINGLE, 2003; MUGNAI; NESSIMIAN; BAPTISTA, 2010).

No Brasil, o enorme potencial hídrico permitiu a implantação de reservatórios para a geração nacional de energia elétrica e para o abastecimento público d'água (MELO et al., 2017; PEREIRA et al., 2016; SILVA et al., 2009). O aumento da demanda de energia elétrica, decorrente do crescimento econômico do país, proporcionou a expansão da construção de várias Usinas Hidrelétricas (UHEs) e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) nos rios da região Centro-Oeste do Brasil (CABRAL et al., 2015; WACHHOLZ; CABRAL, 2012).

Contudo, o aumento das atividades antrópicas em bacias hidrográficas no Centro-Oeste pelo desenvolvimento dos setores agropecuário, sucroenergético e hidroelétrico tem alterado a circulação da água no interior e na superfície dos solos (BATISTA et al., 2017; SILVEIRA, 2009). A substituição e a redução ou a remoção das coberturas vegetais naturais do Cerrado, especialmente das áreas de APPs e matas ciliares, facilitam o rápido escoamento da água da chuva, carreando resíduos químicos (agrotóxicos, fertilizantes e esgotos), juntamente com o sedimento, alterando os processos naturais e a saúde dos organismos dos ecossistemas aquáticos e a qualidade das águas (NOGUEIRA et al., 2015; ROCHA et al., 2015; TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

O processo de degradação das águas em reservatório está diretamente relacionado com as trocas de matéria orgânica e inorgânica entre o rio, a planície e a sua bacia, cujos efeitos são a alteração dos padrões e processos abióticos e bióticos dos ecossistemas aquáticos (GUMBO; DZAGA; NETHENGE, 2016; ROCHA, 2018). Conforme o tempo de residência das águas dentro

de um reservatório, aumenta-se a carga de nutrientes devido à barreira física constituída pela construção da barragem, e a menor velocidade de escoamento da água causa profundas modificações nas comunidades aquáticas, nas condições físicas e químicas do meio e no nível de produção do sistema (WARD; STANFORD, 1983; ESTEVES, 2011).

Dentre os vários métodos estatísticos utilizados em estudos sobre os impactos antrópicos em reservatórios, indicados pelos aspectos físicos, químicos e biológicos dos solos, dos sedimentos e das águas dos rios de uma bacia hidrográfica, a Análise dos Componentes Principais (ACP) destaca-se por descrever a variação espacial das variáveis físicas, químicas e biológicas da qualidade da água em reservatório, por reduzir o número de variáveis em virtude da frequência de amostragem, utilizando somente aquelas variáveis que permitem uma análise mais precisa em relação à qualidade das águas e por identificar possíveis fontes de contaminação (LEE et al., 2015; MAZUR et al., 2017; ZEINALZADEH; REZAEI, 2017).

A utilização da ACP permite compreender o status ecológico do reservatório em relação às alterações da qualidade da água, sedimentação, operação e funcionamento do mesmo (LOPES et al., 2014; GAJBHIYE; SHARMA; AWASTHI, 2015; BARAKAT et al., 2016; WANG et al., 2019).

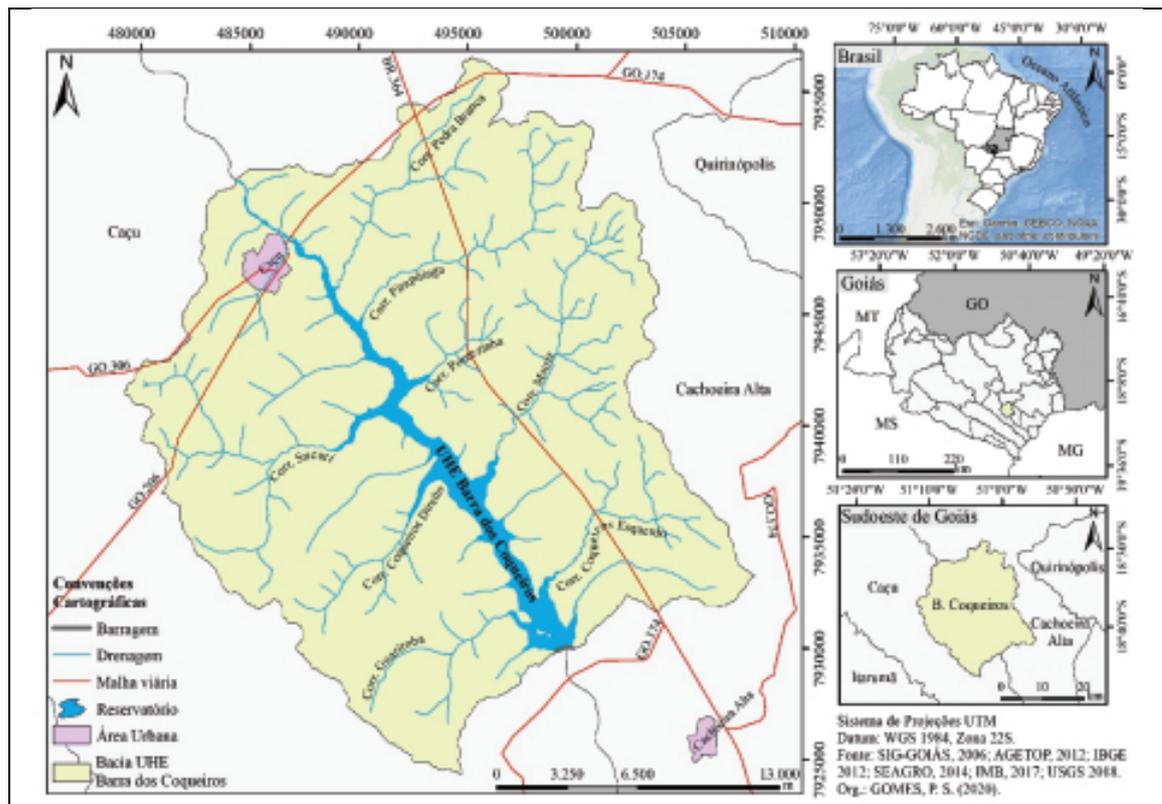
Partindo do pressuposto de que as atividades antrópicas têm influência direta na qualidade da água do reservatório da Usina Hidrelétrica Barra dos Coqueiros (UHEBC), diante dos desmatamentos das margens, lançamentos de esgotos, lixo e pela intensa atividade econômica e industrial (ROCHA; CABRAL; BRAGA, 2014; PEREIRA et al., 2016), o presente trabalho objetivou analisar a inter-relação entre os tipos de uso e cobertura da terra e a distribuição espacial dos teores dos parâmetros físicos e químicos das águas do reservatório.

## Caracterização da área de estudo

A área de influência direta do reservatório da UHEBC está localizada no baixo curso do rio Claro, ao Sudoeste do estado de Goiás, entre os municípios de Caçu e Cachoeira Alta, nas coordenadas UTM E=479338m, E=509087m e N=7923981m,

mapeadas pelas folhas SE-22-Y-B e SE-22-Z-A (IBGE, 1978) (Figura 1).

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica da UHE Barra dos Coqueiros



Fonte: Gomes et al., 2020.

A UHEBC faz parte do complexo energético do Sudoeste Goiano de barragens localizadas no baixo curso do rio Claro, pertencentes à bacia do rio Paranaíba. A construção do reservatório começou no ano de 2007, com início da operação em 2010. O reservatório possui uma área inundada de 25,48 km<sup>2</sup>, com potência efetiva de 90 MW, operando no modo fio d'água (NOVELIS, 2005).

Segundo Nimer (1989), a região Centro-Oeste do Brasil tem clima caracterizado por invernos secos (menos chuvosos) e verões chuvosos. No trabalho publicado por Costa et al. (2012), verifica-se que a variação de precipitação média em todo o estado de Goiás, no mês de julho, em que ocorreu as coletas, vai de 5 mm no Norte do estado a 15 mm no Sul e Sudoeste, sendo julho o mês menos

chuvoso da média histórica (CARDOSO; MARCUZZO; BARROS 2014).

O clima na área de estudo, de acordo com as pesquisas realizadas por Marcuzzo, Faria e Pinto Filho (2012), por Lima e Mariano (2014) e por Lopes e Mariano (2018), para a bacia do Rio Claro, é classificado como Awa, tropical de savana, mesotérmico, indicando a ocorrência de um período chuvoso – que se estende de outubro a abril, com maiores concentrações de chuvas, que variam entre 80 a 500 mm mensais – e um período menos chuvoso de maio a setembro, em que a precipitação pode chegar a zero no mês de julho.

A temperatura média do mês mais quente é de 24°C e a máxima absoluta ocorre em torno de 38°C; a temperatura média do mês mais frio é de 18°C. A média anual da precipitação varia de 1400 a 1750 mm. Já em um trabalho específico sobre temperatura no estado de Goiás, Cardoso, Marcuzzo e Barros (2012) identificaram que os meses de junho e julho apresentaram a média geral de temperatura mais baixa para Goiás. Os autores verificaram que as temperaturas mais baixas se mantiveram entre 15,0°C e 18,0°C, na região Sudoeste, entre os municípios de Goiânia e Anápolis, além do eixo Nordeste-Sudeste na fronteira com Minas Gerais.

## Dados utilizados e amostragem das características físico-químicas das águas

As coletas de água foram realizadas em julho de 2016 (período seco – menos chuvoso), em 39 pontos de amostragem no reservatório (Quadro 1).

Quadro 1 - Descrição das categorias de análises observadas de cada ponto de amostragem em uma área total de 63,6 hectares (ha) (buffer) do reservatório Barra dos Coqueiros (GO) em 2016

ID	Latitude	Longitude	Água	Cidade	Agricultura	Pastagem	Solo exposto	Vegetação Arbórea	Vegetação Rasteira
1	485519	7949213	11,53	0,00	0,00	28,39	0,09	13,27	10,31
2	486185	7948808	8,30	0,35	0,00	27,30	4,15	14,98	8,51
3	486640	7948498	10,56	7,28	0,00	21,15	5,15	10,79	8,67

Qualidade das águas em resposta aos efeitos do uso da terra na área de influência...  
Hudson M. Rocha · João Batista P. Cabral · Francisco Fernando N. Marcuzzo

ID	Latitude	Longitude	Água	Cidade	Agricultura	Pastagem	Solo exposto	Vegetação Arbórea	Vegetação Rasteira
4	486925	7948243	18,98	4,99	1,47	11,45	5,40	12,17	9,14
5	487675	7947621	21,22	0,00	0,00	11,34	11,66	12,33	7,05
6	488426	7947118	24,39	0,18	0,00	20,69	4,18	4,47	9,69
7	488491	7946729	28,54	0,00	0,00	13,75	3,81	8,74	8,76
8	488949	7946182	23,17	0,10	0,64	14,73	3,89	14,01	7,06
9	488627	7945782	29,67	0,00	0,17	16,05	3,31	6,51	7,89
10	489195	7945132	32,44	0,09	0,00	13,88	3,45	5,99	7,74
11	490105	7944758	21,85	0,09	0,00	11,29	4,52	24,47	1,38
12	489919	7944127	35,67	0,00	0,00	10,96	3,42	13,55	0,00
13	490424	7943719	34,92	0,00	0,00	10,12	3,31	9,97	5,27
14	490604	7943368	40,42	0,00	0,00	10,01	3,05	4,34	5,78
15	490206	7943016	20,85	0,27	0,00	29,46	3,92	4,87	4,23
16	491022	7942855	34,27	0,00	4,17	9,07	3,95	0,23	11,91
17	493214	7942243	14,03	0,00	0,00	12,21	13,47	14,38	9,51
18	492287	7941660	41,24	1,91	0,00	16,10	3,11	1,06	0,18
19	491085	7940949	38,14	0,00	0,00	12,85	3,48	0,64	8,49
20	490257	7940344	33,12	0,00	9,86	9,33	5,94	0,18	5,17
21	492218	7940414	39,82	0,00	0,00	10,67	3,41	5,18	4,52
22	492132	7939627	30,00	0,00	2,26	12,50	3,18	9,09	6,57
23	493632	7939424	29,42	0,00	0,00	16,27	0,56	11,82	5,53
24	493220	7938492	24,47	0,00	0,00	22,62	6,22	2,97	7,32
25	493469	7938107	45,84	0,00	0,00	11,43	4,25	1,08	1,00
26	492928	7937077	27,95	0,00	0,00	26,69	5,43	0,09	3,43
27	494554	7938590	25,44	0,00	0,00	25,80	3,67	1,80	6,89
28	496265	7938418	20,38	0,00	0,00	10,75	6,02	15,72	10,73
29	495705	7936587	41,92	0,00	0,00	11,58	2,79	0,81	6,49
30	495504	7935716	41,81	0,00	0,00	3,85	3,17	10,37	4,41
31	496517	7935618	35,33	0,00	0,00	20,38	5,13	0,06	2,70
32	496811	7934550	43,29	0,00	0,00	15,66	2,52	0,87	1,27
33	496351	7934269	40,86	0,00	0,00	15,35	2,88	1,23	3,28
34	497517	7933634	40,79	0,00	3,46	8,54	2,90	2,43	5,47
35	496882	7932804	25,40	0,81	6,62	20,32	5,53	0,79	4,12
36	498040	7932236	55,95	0,79	0,00	1,34	2,55	0,71	2,25
37	498507	7932781	30,41	0,56	0,00	19,62	3,11	8,07	1,83
38	498537	7931234	63,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
39	498042	7931229	54,55	0,00	0,00	6,57	2,33	0,15	0,00

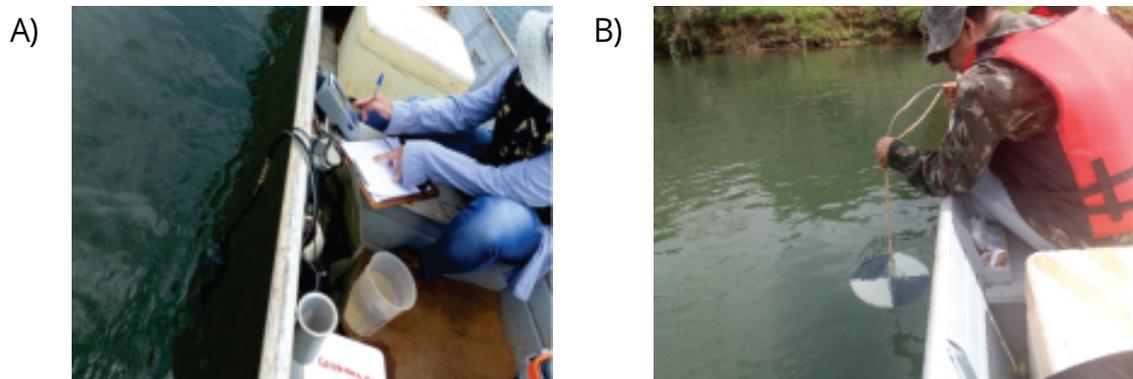
Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Os pontos de amostragens abrangeram todas as zonas aquáticas do reservatório, conforme as propostas de Thorton, Kimmel e Payne (1990) e Wachholz e Cabral (2012).

Para o mapeamento do uso e ocupação da terra, utilizaram-se imagens do satélite Landsat 8/Zona 22, com resolução espacial de 30 m, referentes à data de 08 de julho 2016 e disponíveis no banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As classes de cobertura e de uso da terra obedeceram a uma combinação de superfícies de uma escala regional, elaboradas a partir do nível II (subclasses), que abrange 12 itens, conforme descrito pelo Manual técnico de uso da terra do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013), em que as superfícies mais homogêneas na área de influência direta do reservatório foram determinadas pelo sensor Landsat 8 (30m x 30m). E, assim, a partir dos pontos amostrados no reservatório, foram gerados polígonos (buffers), com distância de 450 metros (m), para a extração dos valores das classes de uso da terra, de forma que, posteriormente, fosse possível mostrar a estrutura de correlação entre as variáveis físicas e químicas da água no diagrama de dispersão da ACP (Quadro 1).

As variáveis físicas e químicas das águas avaliadas, tais como temperatura da água ( $T_a$ ), potencial hidrogeniônico (pH), cloreto de sódio (NaCl), oxigênio dissolvido (DO), resistividade elétrica (Res), total de sólidos dissolvido (Tds), potencial de redução de oxidação (Orp), foram determinadas in situ (Figura 2A), com o uso do aparelho Oakton, modelo PCD650. A transparência da água (Trans) foi medida com o lançamento do disco de Secchi de 30 cm de diâmetro (Figura 2B) na coluna da água. A determinação de sólidos em suspensão (C<sub>ss</sub>) foi realizada de acordo os procedimentos previstos por Wetzel e Likens (1991). A quantificação da concentração das variáveis Ferro (Fe), Cobre (Cu), Alumínio (Al), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Fósforo (P), Cálcio (Ca), Nitrito (NO<sub>2</sub>) e Nitrato (NO<sub>3</sub>) foi determinada no Laboratório de Geociências Aplicadas (LGA) da Universidade Federal de Jataí (UFJ), com uso do equipamento multiparâmetro de bancada da AT100 Alfakit, seguindo-se as técnicas de análise da água descritas pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998).

Figura 2 - A) Amostragem in situ com o equipamento multiparâmetro das variáveis físicas e químicas das águas e; B) Medida de transparência da água por intermédio do disco de Secchi.



Fonte: Dados da pesquisa (2016).

## Análise dos Componentes Principais (ACP)

A primeira análise executada neste estudo foi a matriz de correlação de Pearson. Moore (2007), em seu trabalho de prática básica em estatística, disserta que a correlação de Pearson ( $r$ ) mensura a direção e o grau da relação linear entre duas variáveis quantitativas, ou seja, uma medida de associação linear entre variáveis, variando de -1 a +1, sendo determinado pela seguinte equação:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo,  $x$ , os valores de um conjunto de valores independentes e  $y$  outros conjuntos de valores independentes. O coeficiente de Pearson também pode ser definido como:

$$r = \frac{1}{n-1} \sum \left( \frac{x_i - \bar{X}}{S_x} \right) \left( \frac{y_i - \bar{Y}}{S_y} \right) \quad (\text{Equação 2})$$

Compreendendo que correlações ótimas negativas (-1) ou positivas (+1) são dificilmente encontradas. Conforme Cohen (1988), os valores do coeficiente de Pearson entre 0,1 e 0,29 podem ser considerados pequenos, entre 0,30 e 0,49 médios e valores entre 0,50 e 1 podem ser interpretados como grandes, sejam eles negativos ou positivos.

Os padrões de relação múltipla entre as amostras de água, de acordo com as categorias de uso e cobertura da terra, foram sintetizados por meio da ACP.

A ACP foi realizada por meio do programa R-Studio, usando pacote *vegan* - function *prcomp*. De acordo com Hongyu, Sandanielo e Oliveira Junior (2015) e Sampaio et al. (2017), a ACP pode ser descrita como o conjunto de  $p$  variáveis  $X_1, X_2, \dots, X_p$ , com médias  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p$  e variância  $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_p^2$ , respectivamente. As variáveis possuem covariância entre a  $i$ -ésima e  $k$ -ésima variável, definida por  $\sigma_{ik}$ , para  $i \neq k = 1, 2, \dots, p$ . Assim, as  $p$  variáveis são expressas na forma vetorial por:  $X = [X_1, X_2, \dots, X_p]^T$ , vetor de médias  $\mu = [\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p]^T$  e matriz de covariância  $\Sigma$ . Dessa forma, encontram-se os pares de autovalores e autovetores  $(\lambda_1, e_1), (\lambda_2, e_2), \dots, (\lambda_p, e_p)$ , em que  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p$ , associados a  $e_i$  e então o  $i$ -ésimo da componente é definido pela expressão:

$$Z_i = e_i^T X = e_{i1}X_1 + e_{i2}X_2 + \dots + e_{ip}X_p$$

(Equação 3)

Em que a variável  $Z_i$  é uma variável latente, não sendo mensurada a partir do experimento (HONGYU; SANDANIELO; OLIVEIRA JUNIOR, 2015).

## Resultados das análises dos componentes principais (ACP)

Na definição do modelo da ACP foram utilizadas 18 variáveis de um total de 36 variáveis. A extração da matriz de correlação de Pearson, que pode ser observada na Tabela 2, permitiu a identificação das melhores e das piores correlações entre as

variáveis físico-químicas da água.

Na análise a seguir, apresentadas na Tabela 2, considera-se que, quanto mais perto de 1 (independentemente se é negativo ou positivo), maior é o grau de dependência estatística linear entre as variáveis. Por exemplo, Dancey e Reidy (2006) apontam diferentes graus de “força” de correlação entre diferentes variáveis estudadas, a saber:  $r = 0,10$  até  $0,30$  (fraca relação);  $r = 0,40$  até  $0,6$  (moderada relação);  $r = 0,70$  até  $1$  (forte relação). Em contrapartida, no geral, considera-se que quanto mais próximo de zero for a correlação de Pearson, menor é a força da relação entre as variáveis da ACP estudado, que podem ser observadas na matriz da Tabela 2.

Tabela 2 - Correlações de Pearson entre as variáveis físicas e químicas da água do reservatório Barra dos Coqueiros do município de Caçu-Goiás. Período de estudo: julho de 2016 (período seco)

	Ta	Css	pH	Res	NaCl	Tds	Trans	DO	Orp	Fe	Cu	Al	Mn	Zn	P	Ca	NO2	NO3	
Ta	1																		
Css	0,47	1																	
pH	<b>0,63</b>	0,35	1																
Res	-0,36	-0,18	-0,31	1															
NaCl	<b>0,72</b>	0,38	0,49	<b>-0,70</b>	1														
Tds	0,27	0,22	0,18	<b>-0,69</b>	<b>0,84</b>	1													
Trans	<b>0,51</b>	-0,03	0,18	0,04	0,07	-0,24	1												
DO	<b>0,86</b>	0,37	<b>0,82</b>	-0,41	<b>0,66</b>	0,26	0,43	1											
Orp	<b>-0,58</b>	-0,25	<b>-0,83</b>	0,25	-0,42	-0,14	-0,25	<b>-0,68</b>	1										
Fe	-0,24	0,19	-0,20	-0,24	0,23	0,46	<b>-0,59</b>	-0,30	0,26	1									
Cu	-0,38	-0,08	-0,23	0,48	<b>-0,53</b>	-0,45	-0,20	-0,40	0,15	-0,32	1								
Al	-0,03	-0,05	-0,10	0,03	-0,12	-0,22	0,01	0,04	0,13	-0,13	-0,02	1							
Mn	0,38	-0,11	0,03	-0,03	0,15	-0,08	0,25	0,30	-0,07	-0,07	-0,28	0,11	1						
Zn	0,02	0,05	0,13	0,02	0,02	0,00	-0,05	0,12	-0,21	-0,07	0,20	0,08	-0,10	1					
P	-0,15	-0,14	-0,22	0,21	-0,16	-0,04	0,11	-0,25	0,13	-0,11	0,11	-0,19	-0,07	-0,01	1				
Ca	-0,09	0,06	0,18	0,05	-0,13	-0,10	-0,07	0,12	-0,16	-0,01	0,15	0,02	-0,02	0,19	-0,21	1			
NO2	0,12	-0,12	0,10	-0,02	0,13	0,21	0,26	0,11	-0,15	-0,14	-0,15	-0,18	0,22	-0,23	0,14	0,01	1		
NO3	0,28	0,18	0,18	-0,13	0,15	0,01	0,14	0,22	-0,20	-0,17	-0,02	-0,04	-0,08	-0,09	-0,11	0,13	-0,01	1	

Para as 39 observações, o valor mínimo de  $r$  para ser significativo foi de  $0,283$  para o nível de significância de  $0,05$ , isto é, o valor absoluto mínimo de  $r$  para se rejeitar a hipótese de que as variáveis não são correlacionadas (BARBETTA, 2007).

Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Conforme observado na Tabela 2, as correlações encontradas entre as variáveis de Ta e pH ( $0,63$ ) e Ta e NaCl ( $0,72$ ) apresentaram correlações moderadas e positivas relacionadas à solubilidade de íons presentes no ambiente aquático. As correlações entre Ta e DO

(0,86) foram forte positiva, mas, não eram esperadas essas correlações, por saber que a maior solubilidade de oxigênio dissolvido na água acontece em águas mais frias (SISTE; GIRAO; DUNCAN, 2011).

A concentração de DO em reservatórios varia verticalmente na coluna de água. Nossas amostragens de água foram realizadas na coluna superficial da água, havendo influência das variações horizontais ao longo do curso da água, de forma que se verificou que, o maior aquecimento da maior área superficial do espelho da água, ocasionou a elevação dos valores de temperatura da água. Rocha et al. (2019), estudando variações horizontais do rio Paraíso, em Jataí-GO, observaram uma correlação forte negativa entre temperatura e oxigênio dissolvido, em que foi encontrado o  $r = -0,823$ , afirmando que, à medida que o rio aumenta a sua magnitude de tamanho e volume de água, aumenta-se a quantidade de oxigênio dissolvido.

A partir da análise dos dados (Tabela 2), detectou-se uma correlação forte e positiva entre o pH e o DO da água ( $r = 0,82$ ). A relação desses parâmetros está associada com a produção de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e o consumo de oxigênio ( $O_2$ ) do ambiente aquático, em que a descarga de material orgânico na água faz com que aumente a proliferação de algas e, pelos processos de decomposição da biomassa produzida pelas algas, contribui para a diminuição das concentrações de oxigênio dissolvido e formação de gás sulfídrico, responsável pelo baixo pH da água (NOZAKI et al., 2014).

Encontraram-se correlações fortes entre as variáveis de Res e o NaCl; Res e o Tds; NaCl e o Tds com os valores de  $r = -0,70$ ,  $r = -0,69$  e  $0,84$  respectivamente (Tabela 2). A variabilidade dessas variáveis está associada à desagregação dos minerais rochosos, que, devido à cristalização dos minerais no meio aquático, faz com que aumente a concentração de íons no reservatório. As correlações negativas da Res em relação ao NaCl e Tds significa que, quanto menor as concentrações de íons presentes na água, maior é o valor de Res para conduzir corrente elétrica, fato este destacado no estudo realizado por Amidu e Dunbar (2008) no lago Whitney-Texas (EUA).

A correlação entre Trans e Fe da água foi classificada como moderada negativa, com o valor de  $r = -0,59$ , demonstrando que, quanto menor é a quantidade de Fe existente em solução aquosa, maior a transparência da água.

As variáveis DO e Orp da água apresentaram correlação forte e negativa com o valor de  $r=-0,68$ . A correlação inversa entre as variáveis de DO e Orp foi inesperada, pois, é sabido que o oxigênio dissolvido tem relação direta com o Orp. Com o teor de DO reduzido e um valor de Orp negativo, tem-se a predominância de processos redutores devido ao excesso de substâncias oxidadas, o que influencia na capacidade de autodepuração da água. Já o processo oxidativo é quando a concentração de DO e Orp é elevada (GONCHARUK et al., 2010; JARDIM, 2014; ROCHA, 2018; WHO, 2011). Segundo Silva (2014), estudando a bacia hidrográfica do rio Pomba-MG, encontrou-se valores de Orp negativos e os menores valores de oxigênio dissolvido das águas nos municípios de Visconde do Rio Branco, Ubá, Tocantins e Leopoldina, em que cursos d'água comportam os dejetos de muitos polos agroindustriais, de metalúrgicas, de fábricas de móveis e abatedouros do Estado, sem que seja realizado o tratamento do esgoto.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados obtidos pelos componentes principais (PCs), com os respectivos autovalores, porcentagens da variância explicada e acumulada. Os dois primeiros PCs foram responsáveis por explicar 42,60% da variação total da relação das características físico-químicas da água e o uso e ocupação da terra.

Na Tabela 3 e na Figura 3 pode-se constatar que, no eixo 1 da ACP, as variáveis Ta, pH, NaCl, DO e Orp foram as mais significativas, com os coeficientes de 0,394, 0,349, 0,385, 0,405 e -0,317, respectivamente. Verificam-se, também, correlações altas entre as variáveis Ta, pH, NaCl, DO e Orp, pois, formaram ângulos agudos, o que indica para o eixo 1 da ACP um possível gradiente sobre influência da poluição orgânica e de íons dissolvidos na água.

A grande concentração e o tipo de íons dissolvidos na água podem estar relacionados com o modelo de uso e ocupação da bacia e a aplicação de agrotóxicos, que ao ser lixiviado e carregado para o curso d'água em alta concentração ocasionam efeitos adversos a biota (GOLSHAN et al., 2020; TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

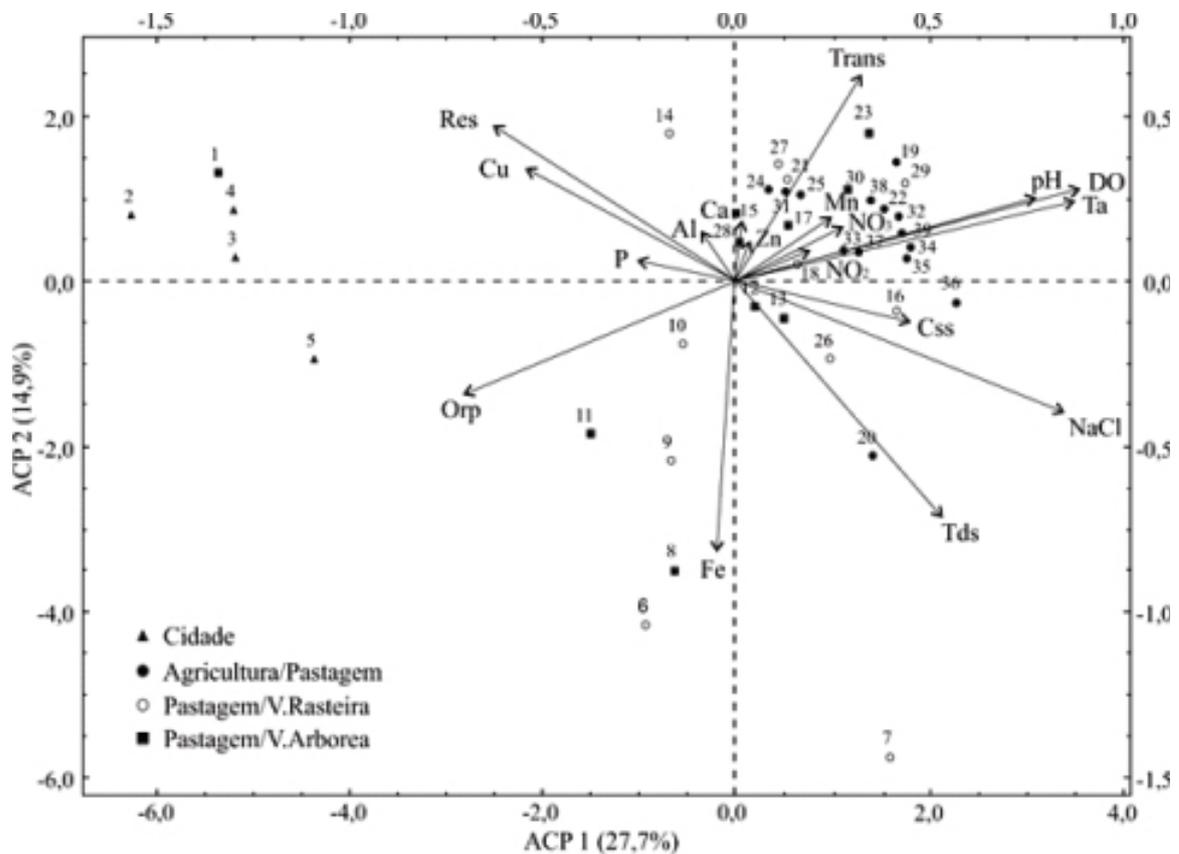
Tabela 3 - Resultados e significâncias dos eixos da análise de componentes principais dos dados das variáveis físico-químicas da água nos diferentes predomínios do uso e cobertura da terra no reservatório Barra dos Coqueiros

Variáveis	ACP 1	ACP 2	ACP 3	ACP 4	ACP 5	ACP 6
Ta	<b>0,394</b>	-0,151	-0,080	0,058	0,178	-0,094
Css	0,205	0,072	0,275	-0,061	<b>0,366</b>	0,006
pH	<b>0,349</b>	-0,159	0,211	-0,125	-0,143	0,004
Res	-0,282	<b>-0,294</b>	0,009	-0,073	-0,003	0,015
NaCl	<b>0,385</b>	0,242	-0,054	-0,028	0,042	-0,106
Tds	0,242	<b>0,439</b>	-0,057	-0,166	-0,091	-0,057
Trans	0,146	<b>-0,392</b>	-0,314	0,002	0,139	-0,062
DO	<b>0,405</b>	-0,180	0,048	0,089	-0,035	-0,060
Orp	<b>-0,317</b>	0,206	-0,178	0,193	0,188	0,033
Fe	-0,023	<b>0,523</b>	0,077	0,076	-0,090	0,082
Cu	-0,245	-0,214	<b>0,296</b>	-0,233	0,037	-0,037
Al	-0,042	-0,096	0,072	<b>0,626</b>	0,088	-0,149
Mn	0,111	-0,123	-0,346	<b>0,386</b>	-0,282	0,025
Zn	0,022	-0,081	0,381	-0,028	-0,286	<b>-0,534</b>
P	-0,114	-0,041	-0,270	<b>-0,459</b>	0,079	-0,360
Ca	0,011	-0,111	0,357	0,027	<b>-0,456</b>	0,439
NO <sub>2</sub>	0,086	-0,064	<b>-0,396</b>	-0,275	-0,374	0,293
NO <sub>3</sub>	0,124	-0,109	0,121	-0,099	0,464	<b>0,494</b>
Autovalor	4,99	2,68	1,90	1,41	1,14	1,12
% variância explicada	27,70	14,90	10,54	7,81	6,31	6,23
% variância acumulada	27,70	42,60	53,14	60,95	67,26	73,49

Fonte: Dados da pesquisa (2016).

As variáveis Tds, Trans e Fe apresentam contribuições similares para o eixo 2 da ACP, com os coeficientes 0,439, -0,392 e 0,523, respectivamente, sobre essa combinação linear (Tabela 3 e Figura 3). O eixo 2 indica um componente associado à distribuição de sólidos no reservatório, uma vez que as variáveis Tds, Trans e Fe representam os sedimentos como areia, silte e argila e a composição química dos sedimentos distribuídos no ambiente aquático. De acordo com Barakat et al. (2016), a precipitação pluviométrica é uma das principais responsáveis pelas grandes alterações dos valores de Tds, Trans e Fe em reservatório, pois, conforme o volume e a intensidade, proporcionam o lixiviamento dos solos, influenciando na qualidade das águas, fato este detectado nas águas do rio Oum Er Rbia, no Marrocos.

Figura 3 - Diagrama de ordenação das variáveis ambientais produzido pela análise de componentes principais, baseado nos diferentes uso e cobertura da terra presentes no reservatório Barra dos Coqueiros



Fonte: Dados da pesquisa (2016).

A maior variância do Fe no modelo linear deve-se à presença dos solos tipo Nitossolo Vermelho eutrófico, derivados do intemperismo das rochas basálticas da Formação Serra Geral (SANTOS et al., 2018), que está presente na bacia. Observou-se, ainda, que no diagrama da ACP, entre as variáveis Trans e Fe da água, houve uma correlação significativa e negativa, que demonstra que, especificamente para este estudo, quanto menor a Trans da água, maior é a carga de Fe.

Os pontos 1, 2, 3, 4 e 5, localizados na área de influência urbana do município de Caçu, estão relacionados positivamente com as variáveis Cu, Al e P (Figura 3). Segundo Von Sperling (1996), a urbanização traz problemas ao meio aquático, como a redução da capacidade de infiltração das águas no solo, tendo a drenagem pluvial a capacidade de carrear as partículas de solo (nitrogênio e fósforo), até atingir o lago ou a represa. Os esgotos domésticos são ricos em nitrogênio e fósforo e estão presentes nas fezes e na

urina, nos restos de alimentos, nos detergentes e outros subprodutos das atividades humanas, de forma que, em contato com ambiente aquático, causam deterioração do corpo d'água pelo processo de eutrofização da água. Os resultados de Cu e Al aqui apresentados corroboraram com o estudo publicado por Dornelles (2016), por entender que a poluição dos recursos hídricos por metais pesados é maior nas áreas urbanas em razão do descarte dos efluentes industriais e resíduos sólidos urbanos, que, em contato com a biota aquática, ocasionam problemas severos na fisiologia e na estrutura ecológica das espécies.

Os pontos 8 e 11 estão relacionados com variável Fe, visto que estão localizados próximos aos afluentes do reservatório, que têm como características, nas suas proximidades, o uso predominante de cobertura da terra com pastagem e vegetação arbórea (Figura 3).

Verifica-se no eixo 1 da ACP e na Figura 3 que os pontos 19, 22, 32 e 38 foram positivamente correlacionados com as variáveis Mn, NO<sub>2</sub> e NO<sub>3</sub> da água, respectivamente, ocorrendo no uso da terra a presença de agricultura e de pecuária. O nitrato no sistema aquático, naturalmente, apresenta baixas concentrações. O excesso desses íons em corpos d'água pode ser associado ao uso de agrotóxicos resultante da intensa atividade agrícola (PESSÔA NETO; KORN, 2006; GOLSHAN et al., 2020). Já a elevação das concentrações de nitrato no período seco, na área de estudo, pode ser associada à queima de cana-de-açúcar, responsável por liberar óxidos de Nitrogênio para a atmosfera que, posteriormente, são depositados nos corpos hídricos (MORI et al., 2015).

## Considerações finais

Na análise da qualidade das águas do reservatório da UHEBC, a ACP separou os pontos que estão localizados na cidade, à esquerda do eixo 1, e áreas de agricultura, localizadas mais à direita. As variáveis Res, Orp, Cu, Al e P foram as mais significativas na definição da qualidade da água, associadas aos pontos localizados a montante do curso d'água, próximos à cidade de Caçu.

Nos pontos de uso de agricultura/pastagem, têm-se a influência das variáveis Mn, NO<sub>2</sub> e NO<sub>3</sub>, pH, DO e Te na variação

espacial da qualidade da água do reservatório. Por outro lado, nos pontos 6 ao 13, posicionados no quadrante inferior do eixo 2, têm-se a influência das variáveis Tds e Fe, fato que está relacionado à proximidade com a estação de tratamento e captação de esgoto e com uma pedreira de extração de areia e brita basáltica, responsáveis pela alta disponibilidade de substâncias orgânicas e inorgânicas, sob formas moleculares ionizadas ou microgranulares, neste trecho do reservatório. Apesar de estarem sob influência antrópica, apresentam pontos de uso de pastagem/vegetação arbórea.

Compreende-se que o método da ACP é de grande valia para o avanço conceitual na compreensão da distribuição espacial das variáveis ambientais em reservatórios de água. Observa-se que o valor absoluto do peso das variáveis Ta, pH, NaCl, DO e Orp na ACP 1, foram as mais significativas na definição da qualidade da água. Na ACP 2, as variáveis Tds, Trans e Fe constituíram as mais significativas no modelo explicativo da qualidade da água.

Dessa forma, o resultado apresentado pela ACP demonstra a redução das variáveis em componentes mais representativos na explicação da influência do uso e da cobertura da terra sobre a qualidade das águas em reservatórios, indicando as melhores variáveis para o desenvolvimento de futuros trabalhos de monitoramento ambiental, considerando a evolução temporal. Cabe ressaltar que, a análise da ACP baseia-se apenas em algumas variáveis, o que não descarta a inserção de outras de diferentes focos e interesses ambientais.

## Nota

1. Pós-Doutorado: Financiamento da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Vigência 31/07/2019 a 31/07/2020.

## Referências Bibliográficas

ALLAN, J. D. Landscapes and Riverscapes: The Influence of Land Use on Stream Ecosystems. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v. 35, p. 257-284, 2004.

APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater**. 20. ed. Washington: 1998. 1085 p.

AMIDU, S. A.; DUNBAR, J. A. An Evaluation of the Electrical-Resistivity Method for Water-Reservoir Salinity Studies. **Geophysics**, v. 73, n. 4, p. 39-49, 2008.

BARAKAT, A.; EL BAGHDADI, M.; RAIS, J.; AGHEZZAF, B.; SLASSI, M. Assessment of Spatial and Seasonal Water Quality Variation of Oum Er Rbia River (Morocco) using Multivariate Statistical Techniques. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 4, n. 4, p. 284-292, 2016.

BARBETTA, P. A. **Estatística aplicada às Ciências Sociais**. 7. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2007. 315 p. (v. 1).

BATISTA, D. F.; CABRAL, J. B. P.; FRANCO, D. F. S.; LOPES, S. M. F. Avaliação e enquadramento das águas do Ribeirão Paraíso. **Boletim Gaúcho de Geografia**, v. 44, n. 2, p. 63-83, 2017.

BENSTEAD, J. P.; DOUGLAS, M. M.; PRINGLE, C. M. Relationships of Stream Invertebrate Communities to Deforestation in Eastern Madagascar. **Ecological Applications**, v. 13, n. 5, p. 1473-1490, 2003.

CABRAL, J. B. P.; ROCHA, I. R.; NOGUEIRA, P. F.; BECEGATO, V. A. Avaliação sazonal e monitoramento das águas do rio Doce-GO. **Geoambiente On-Line**, n. 24. p. 114-133, 2015.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Caracterização da temperatura do ar no estado de Goiás e no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 11, n. 8, p. 119-134, 2012.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. **Acta Geográfica**, v. 8, n. 16, p. 40-55,

2014.

COHEN, J. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences**. 2. ed. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, 1988. 579 p.

COSTA, H. C.; MARCUZZO, F. F. N.; FERREIRA, O. M.; ANDRADE, L. R. Espacialização e sazonalidade da precipitação pluviométrica do estado de Goiás e Distrito Federal. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 5, n. 1, p. 87-100, 2012.

DANCEY, C.; REIDY, J. **Estatística sem Matemática para Psicologia: usando SPSS para Windows**. Porto Alegre: Artmed, 2006. 624 p.

DORNELLES, F. N. **Avaliação de cobre e zinco em água, sedimento e peixes do rio Apucarantina na região da terra indígena Apucarana (Tamarana, PR)**. 2016. 33 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016.

ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.

GOLSHAN, A.; EVANS, C.; GEARY, P.; MORROW, A.; ROGERS, Z.; MAEDER, M. Turning Routine Data into Systems Insight: Multivariate Analysis of Water Quality Dynamics in a Major Drinking Water Reservoir. **Environmental Modeling & Assessment**, v. 25, p. 565-579, 2020.

GOMES, P. S.; BARCELOS, A. A.; ROCHA, H. M.; CABRAL, J. B. P.; SANTOS, A. K. F. Variáveis físicas e químicas em águas de reservatórios de empreendimento hidrelétrico. In: WOLLMANN, C. A.; FOLETO, E. M.; PEREIRA FILHO, W. (Org.). **Análise integrada e estudos geográficos comparados em bacias hidrográficas de São Paulo, Goiás e Rio Grande do Sul**. 1. ed. Santa Maria: Editora UFN, 2020. p. 244-273.

GONCHARUK, V. V.; BAGRII, V. A.; MEL'NIK, L. A.; CHEBOTAREVA, R. D.; BASHTAN, S. Y. The Use of Redox Potential in Water Treatment Processes. **Journal of Water Chemistry and Technology**, v. 32, n. 1, p. 1-9, 2010.

GAJBHIYE, S.; SHARMA, S. K.; AWASTHI, M. K. Application of

GUMBO, J. R.; DZAGA, R. A.; NETHENGWE, N. S. Impact on Water Quality of Nandoni Water Reservoir Downstream of Municipal Sewage Plants in Vhembe District, South Africa. **Sustainability**, v. 8, p. 1-16, 2016,

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. O. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E&S -Engineering and Science**, v. 1, n. 5, p. 83-90, 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cartas topográficas na escala de 1:50.000**. Rio de Janeiro: IBGE, 1978.

\_\_\_\_\_. **Manual técnico de uso da terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 171 p.

JARDIM, W. F. Medição e interpretação de valores do potencial redox ( $E_{H}$ ) em matrizes ambientais. **Química Nova**, v. 37, n. 7, p. 1233-1235, 2014.

LEE, Y., HA, S., PARK, H. HAN, M; SHIN, K. Identification of Key Factors Influencing Primary Productivity in Two River-Type Reservoirs by Using Principal Component Regression Analysis. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, 213, p. 1-12, 2015.

LIMA, A. M.; MARIANO, Z. F. Análise microclimática no interior e fora das florestas estacionais semidecíduais na área da bacia da Usina Hidrelétrica de Caçu-GO. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 27, p. 67-87, 2014.

LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; BECKER, H.; BATISTA, A. A. 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, R. M.; MARIANO, Z. F. Análise dos episódios de verão e inverno na área de influência dos reservatórios Caçu e Barra dos Coqueiros-GO. **Geoambiente On-Line**, n. 30, p. 198-213, 2018.

MARCUZZO, F. F. N.; FARIA, T. G.; PINTO FILHO, R. F. Chuvas no estado de Goiás: análise histórica e tendência futura. **Acta Geográfica**, v. 6, n. 12, p. 125-137, 2012.

MAZUR, R.; SZOSZKIEWICZ, K.; NOWAK, A.; PIETRUCZUK, K. CHMIST, J. Ecological Classification of Artificial Reservoirs in Polish Lowlands According to Water Framework Directive Requirements. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 26, n. 1, p. 205-210, 2017.

MELO, R. R. C.; BARBOSA, I. M. B. R.; FERREIRA, A. A.; FIRMO, A. L. B.; SILVA, S. R.; CIRILO, J. A.; AQUINO, R. R. B. Influence of Extreme Strength in Water Quality of the Jucazinho Reservoir, Northeastern Brazil, PE. **Water**, v. 9, p. 1-11, 955, 2017.

MOORE, David S. **The Basic Practice of Statistics**. New York: Freeman, 2007.

MORI, G. B.; PAULA, F. R.; FERRAZ, S. F. B.; CAMARGO, A. F. M.; MARTINELLI, L. A. Influence of Landscape Properties on Stream Water Quality in Agricultural Catchments in Southeastern Brazil. **Annales de Limnologie-International Journal of Limnology**, v. 51, p. 11-21, 2015.

MUGNAI, R.; NESSIMIAN, J. L.; BAPTISTA, D. F. **Manual de identificação de macroinvertebrados aquáticos do estado do Rio de Janeiro**: para atividades técnicas, de ensino e treinamento em programas de avaliação da qualidade ecológica dos ecossistemas lóticos. Rio de Janeiro: Technical Books, 2010. 176 p.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. (v. 1).

NOGUEIRA, P. F.; CABRAL, J. B. P.; OLIVEIRA, S. F.; ROCHA, I. R. Eutrofização no reservatório da UHE foz do Rio Claro (GO). **Revista do Departamento de Geografia**, v. 30, p. 19-33, 2015.

NOVELIS. **RIA/RIMA UHEs Caçu e Barra dos Coqueiros**. Novelis Brasil, Governador Valadares: 2005. 230 p.

NOZAKI, C. T.; MARCONDES, M. A.; LOPES, F. A.; SANTOS, K. F.; LARIZZATTI, P. S. C. Comportamento temporal de oxigênio dissolvido e pH nos rios e córregos urbanos. **Atas de Saúde Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 29-44, 2014.

PEREIRA, C. C.; MARIANO, Z. F.; WACHHOLZ, F.; CABRAL, J. B. P. Avaliação da temperatura de superfície continental (TSC) e o uso

da terra na bacia da usina hidrelétrica de Barra dos Coqueiros (GO), por meio do sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 92-107, 2016.

PESSÔA NETO, A. R.; KORN, G. M. Os nutrientes nitrato e nitrito como contaminantes ambientais e alternativas de determinação. **Candombá-Revista Virtual**, v. 2, n. 2, p. 90-97, 2006.

ROCHA, H. M. **Comunidades de macroinvertebrados bentônicos e a relação com os diferentes usos da terra no sudoeste de Goiás**. 2018. 120 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018.

ROCHA, I. R.; CABRAL, J. B. P.; NOGUEIRA, P. F.; BARCELOS, A. A. Avaliação sazonal das águas do reservatório da usina hidrelétrica Caçu no município de Caçu, Goiás. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 29, p. 137-160, 2015.

ROCHA, H. M.; CABRAL, J. B. P.; BATISTA, D. F.; OLIVEIRA, L. G. Avaliação físico-química e microbiológica das águas da bacia hidrográfica do rio Paraíso, Jataí-GO. **Geosul**, v. 34, n. 72, p. 51-74, 2019.

ROCHA, I. R.; CABRAL, J. B. P.; NOGUEIRA, P. F.; BARCELOS, A. A. Avaliação sazonal das águas do reservatório da usina hidrelétrica Caçu no município de Caçu, Goiás. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 29, p. 137-160, 2015.

SAMPAIO, S. A.; HONGYU, K.; PINTO NETO, J. M.; SOARES, V. E.; NAVARROS, R. S. Utilização da análise multivariada para dados de hepatites virais B e C: Parte 1. **Revista de Enfermagem**, v. 11, n. 8, p. 3021-3030, 2017.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. D.; CUNHA, T. D. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p.

SILVA, A. P. S.; DIAS, H. C. T.; BASTOS, R. K. X.; SILVA, E. Qualidade da água do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Peti, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1063-1069, 2009.

SILVA, R. R. **Bacia do rio Pomba (MG):** uso e ocupação do solo e impactos ambientais nos recursos hídricos. 2014. 135 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA A. L. L. (Org.). **Hidrologia:** ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ ABRH, 2009. p. 35-51.

SISTE, C. E.; GIRAO, E. G.; DUNCAN, B. L. **Manual para formação e capacitação de grupos comunitários em metodologias participativas de monitoramento da qualidade da água- módulo III:** avaliação físico-química. Brasília: Embrapa, 2011. 48 p.

THORTON, K.W.; KIMMEL, B.L.; PAYNE, F.E. **Reservoir Limnology:** Ecological Perspectives. New York: John Wiley and Sons, 1990. p. 133-193.

TUNDISI, J.G; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 630 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1996. 246 p.

ZEINALZADEH, K.; REZAEI, E. Determining Spatial and Temporal Changes of Surface Water Quality Using Principal Component Analysis. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 13, p. 1-10, 2017.

WACHHOLZ, F.; CABRAL, J. B. P. Impacto das usinas hidrelétricas a modo de fio d'água no rio Claro na transparência da água, com o uso de dados espectrais de imagens Landsat TM5. In: SYMPOSIUM SOCIEDAD LATINOAMERICANA EN PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN ESPACIAL, 15., 2012, Caiena. *Anais...* Caiena: SELPER, 2012.

WANG, X.; CHEN, X.; CUI, Q.; YANG, Z. An improved two-step parameter adjustment method for the optimization of a reservoir operation function model based on repeated principal component analysis and a genetic algorithm. **Journal of Hydroinformatics**, v. 21, n. 1, p. 1-12, 2019.

WARD, J. V.; STANFORD, J. A. The Serial Discontinuity Concept of Lotic Ecosystems. **Dynamics of Lotic Ecosystems**, v. 10, p. 29-42, 1983.

WETZEL, R. G.; LIKENS, G. E. **Limnological Analyses**. 2 ed. New York: Springer-Verlag, 1991. 391 p.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Manganese in Drinking Water: Background Document for Development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality*. Geneva: WHO, 2011. 668 p.

## Contribuições dos autores

Todos os autores ofereceram substanciais contribuições científicas e intelectuais ao estudo. As tarefas de concepção e design do estudo, preparação e redação do manuscrito, bem como a revisão crítica foram desenvolvidas em grupo. O autor Hudson Moraes Rocha ficou responsável pela elaboração do manuscrito, delineamento metodológico e a aplicação de técnicas estatísticas. O autor João Batista Pereira foi o idealizador do projeto de pesquisa que resultou neste artigo, cujas contribuições foram a coleta de dados e estruturação do banco de dados físicos e químicos das águas. O autor Francisco Fernando Noronha Marcuzzo participou do delineamento metodológico e da aplicação de técnicas estatísticas, bem como da revisão da versão final do trabalho.

**Hudson Moraes Rocha** – Licenciado, Bacharel e Mestre em Geografia e Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Goiás. Atualmente, desenvolve o Pós-Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Geografia - Universidade Federal de Jataí. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8431-0628>.

**João Batista Pereira Cabral** - Possui graduação em Geografia pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras Imaculada Conceição. Doutorado em Geologia pela Universidade Federal do Paraná. Atualmente, é professor Associado III da Universidade Federal de Jataí. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2046-5975>.

**Francisco Fernando Noronha Marcuzzo** – Possui graduação em Engenharia Agrônômica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo. Atualmente, é pesquisador em Geociências na área de Hidrologia da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0737-668X>.

Recebido para publicação em 11 de outubro de 2020

Aceito para publicação em 30 de novembro de 2020

Publicado em 29 de dezembro de 2020