Aplicação de técnicas de estatística multivariada na avaliação da qualidade da água do reservatório João Leite (GO)

Application of multivariate statistics techniques in the water quality assessment of João Leite reservoir (Goias)

▮ **Data de entrada:**
26/07/2019

▮ **Data de aprovação:**
12/08/2021

Andréia Gomes dos Santos Arantes^{1*} | Nora Katia Saavedra del Aguila Hoffmann¹

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2021.073>

ORCID ID

Arantes AGS <https://orcid.org/0000-0002-2881-751X>

Hoffmann NKSA <https://orcid.org/0000-0001-7056-7713>

Resumo

A presente pesquisa objetivou identificar os parâmetros físico-químicos que mais contribuíram para a ocorrência de variações na qualidade da água do Reservatório João Leite, por meio da aplicação da Análise Fatorial (AF)/Análise por Componentes Principais (ACP). O monitoramento foi realizado quinzenalmente de janeiro a dezembro de 2016, em cinco pontos de amostragem, analisando-se treze variáveis (condutividade elétrica, cor verdadeira, carbono orgânico total, ferro, manganês, nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrito, oxigênio dissolvido, fósforo, potencial hidrogeniônico, temperatura da água e turbidez). A AF/ACP resultou na extração de três componentes principais, que explicaram 65,75% da variação total dos dados. A AF/ACP indicou que as variáveis que mais influenciaram a qualidade da água foram: turbidez, cor, ferro e manganês, explicadas por 31,10% da variância total dos dados.

Palavras-chave: Monitoramento. Qualidade da água. Reservatório.

Abstract

The present research aimed to identify the physicochemical parameters that most contributed to the occurrence of variations in the water quality of the João Leite Reservoir, through the application of Factor Analysis (AF)/Principal Component Analysis (PCA). Monitoring was performed biweekly from January to December 2016, at five sampling points, analyzing thirteen variables (electrical conductivity, true color, total organic carbon, iron, manganese, ammonia nitrogen, nitrate, nitrite, dissolved oxygen, phosphorus, hydrogen potential, water temperature and turbidity). AF / ACP resulted in the extraction of three main components that explained 65.75% of the total data variation. The AF / ACP indicated that the variables that most influenced water quality were: turbidity, color, iron and manganese explained by 31.10% of the total data variance.

Keywords: Monitoring. Water quality. Reservoir.

¹ Universidade Federal de Goiás - Escola de Engenharia Civil e Ambiental - Goiânia - Goiás - Brasil.

* **Autora correspondente:** andreiaagarantes@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

Reservatórios artificiais podem sofrer mudanças em suas características morfológicas ao longo do tempo, em virtude da dinamicidade dos ambientes aquáticos. Essas mudanças podem ser exógenas, isto é, provenientes de fora do ambiente (intemperismo, erosão, transporte de sedimentos, atividades antrópicas) ou endógenas, vindas de dentro do próprio ambiente (deposição de partículas) (CUNHA E SILVA et al., 2016).

Aliadas a esses fatores, as interações entre as condições climáticas e o uso da terra podem comprometer a qualidade da água (ZHANG et al., 2011; LEE; BIGGS, 2015), principalmente por contaminações por efluentes industriais, esgotos domésticos, disposição inadequada de resíduos sólidos, uso indiscriminado de agrotóxicos e utilização excessiva de fertilizantes (RIOS et al., 2013; BILGIN, 2015).

Desta forma, a caracterização da qualidade da água possibilita detectar alterações provenientes de atividades antrópicas, conhecer as condições ambientais do local de estudo e auxiliar em ações preditivas ou remediativas (CORADI; FIA; PEREIRA-RAMIREZ, 2009; SOUZA; GASTALDINI, 2014).

Tendo em vista que o monitoramento da qualidade da água envolve número significativo de parâmetros analíticos de diferentes estações amostrais que resultam em um banco de dados de difícil interpretação (FAN et al., 2010; GUEDES et al., 2012), é imprescindível o emprego de ferramentas que reduzam a dimensionalidade dos dados, correlacionem variáveis e extraiam informações úteis (AJORLO et al., 2013; BILGIN, 2015; FINKLER et al. 2016).

As aplicações de diferentes análises estatísticas multivariadas (análise por componentes principais, análises de agrupamento e análise fatorial) auxiliam na interpretação de dados de qualidade da água, possibilitando a extração de informações que subsidiam ações de gestão e manejo dos recursos hídricos (YEREL; ANKARA, 2011;

ZHANG et al., 2011, GUDAS et al., 2013). Além disso, atuam como um instrumento robusto na correlação de matrizes de dados complexos da qualidade da água e do estado ecológico dos sistemas estudados (VAROL; SEN, 2009).

Os métodos estatísticos multivariados têm sido amplamente utilizados na avaliação de variações temporais da qualidade da água, ocasionadas por fontes de origem natural ou antrópica (SINGH; MALIK; SINHA, 2005), fornecendo resultados rápidos para problemas de poluição (SHRESTHA; KAZAMA, 2007) sem a perda de informações (ANDRADE et al., 2007; AJORLO et al., 2013).

Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi identificar os parâmetros físico-químicos que mais contribuíram para a ocorrência de variações na qualidade da água do Reservatório João Leite, por meio da aplicação da Análise Fatorial (AF)/Análise por Componentes Principais (ACP).

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

Esta pesquisa foi desenvolvida no Reservatório do Ribeirão João Leite (Fig. 1), o qual dista 15 (quinze) quilômetros, em direção ao norte, do centro de Goiânia (GO), limitado pelas coordenadas 16°33'35" S e 49°12'38" W (ARANTES et al., 2013). O Ribeirão João Leite se forma pela junção dos córregos Jurubatuba e Pedreira e pertence ao complexo hidrográfico da bacia do Rio Paraná (SANTOS; GRIEBELER; OLIVEIRA, 2010).

O Ribeirão João Leite possui uma área de 764km² e 86km de extensão de curso hídrico (FERREIRA et al., 2011). Percorre parcialmente sete municípios goianos: Anápolis, Goianápolis, Campo Limpo de Goiás, Goiânia, Nerópolis, Ouro Verde de Goiás e Terezópolis de Goiás (RABELO et al., 2009).

Em relação ao uso e à cobertura da terra, verifica-se que a área da bacia do supracitado manan-

cial é destinada predominantemente a pastagens (39,1%), agricultura (34,9%), remanescentes de vegetação natural (18,5%), perímetro urbano (5,7%) e 1,8% pela hidrografia (OLIVEIRA; FERREIRA, 2015).

O clima na região classifica-se como quente e subúmido, com predomínio de duas estações

bem definidas: inverno seco e verão chuvoso. A estação seca vai de maio a setembro, com precipitação inferior a 50 mm, e a estação chuvosa, de outubro a abril, com precipitação acima de 100 mm mensais, o que equivale a 82% do valor pluviométrico total anual (SANTOS; GRIEBELER; OLIVEIRA, 2010).

Figura 1 - Localização do Reservatório do Ribeirão João Leite (RRJL).

Fonte: Saneago (2018).

2.2 Monitoramento da qualidade da água

As coletas de amostras de água foram realizadas em cinco pontos de monitoramento (Fig. 2) durante o período de janeiro a dezembro de 2016,

compreendendo os períodos de chuva e estiagem. As estações de amostragem foram definidas em função da morfometria do reservatório e da localização dos seus principais tributários diretos.

Figura 2- Pontos de amostragem dos parâmetros de qualidade da água.

No Quadro 1 estão apresentadas as coordenadas geográficas das estações amostrais.

Quadro 1 - Coordenadas geográficas das estações amostrais.

Nome	Descrição	Município	Latitude	Longitude
P1	Ribeirão João Leite, zona lacustre, próxima ao barramento	Goiânia	-16.565195	-49.212250
P2	Trecho situado próximo ao Córrego Bandeira, zona lacustre	Goianópolis	-16.539519	-49.175457
P3	Trecho situado próximo ao Córrego Barreiro, zona lacustre	Nerópolis	-16.524400	-49.148792
P4	Trecho situado entre o Córrego Carapina e Córrego Grama, zona intermediária ou de transição	Terezópolis	-16.514198	-49.123507
P5	Ribeirão João Leite, zona intermediária ou de transição, desembocadura	Terezópolis	-16.498997	-49.124098

As amostras de água foram coletadas na camada superficial (entre 0 e 30 centímetros da lâmina d'água), acondicionadas em frascos de polietileno previamente lavados e mantidas sob refrigeração a uma temperatura média de 4°C até a sua chegada ao laboratório (CETESB, 2011).

A temperatura da água (TA), o oxigênio dissolvido (OD), a condutividade elétrica (CE), a turbidez (Tur) e o pH foram determinados *in loco* por meio

de leituras utilizando-se uma sonda multiparâmetro da marca Hydrolab, modelo Quanta. As concentrações de nitrogênio amoniacal (N_{am}), nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), ferro total (Fe), manganês total (Mn), cor verdadeira (Cor), fósforo total (P) e carbono orgânico total (COT) seguiram as metodologias descritas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012), conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Parâmetros analíticos monitorados.

Parâmetro	Método	Referência*
Nitrogênio Amoniacal (mg.L ⁻¹)	Cromatografia iônica	4500-NH ₃ -D
Nitrato (mg.L ⁻¹)		4500-NO ₃ ⁻ -D
Nitrito (mg.L ⁻¹)		4500-NO ₂ ⁻ -B
Cor verdadeira (mg.Pt.L ⁻¹)	Espectrofotometria	2120-Color-C
Fósforo total (mg.L ⁻¹)	Colorimetria	4500-P-E
Carbono Orgânico Total (mg.L ⁻¹)	Oxidação supercrítica	5310-D
Ferro total (mg.L ⁻¹)	Espectrofotometria	3500-Fe-B
Manganês total (mg.L ⁻¹)	Espectrofotometria	3111-Mn-B

*Referências dos procedimentos descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

2.3 Tratamento estatístico

Os dados obtidos foram analisados pelos métodos de estatística descritiva (*boxplot*) e o tratamento das variáveis ambientais consistiu na aplicação de técnicas de análise estatística multivariada - Análise Fatorial/Análise de Componente Principal (AF/ACP), de acordo com Singh, Malik e Sinha (2005).

A análise fatorial foi empregada para encontrar os fatores comuns, sendo determinado o percentual da variância total para cada uma das variáveis. Realizou-se a análise de adequação aplicando-se os testes de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e de esfericidade de Bartlett's (FINKLER et al., 2016).

Os dados foram organizados e as variáveis submetidas à elaboração de uma matriz de correlação para as 13 variáveis de qualidade da água monitoradas a fim de evitar problemas relacionados com escalas e unidades, efetuada a extração

dos fatores comuns e rotação dos eixos referentes aos fatores comuns (HAIR et al., 2005). Os dados de qualidade da água, por meio de uma matriz de dados, foram expressos por $X = (x_i, j)$, sendo $i = 1 \dots n$ amostragens e $j = 1 \dots p$ variáveis monitoradas.

Com a finalidade de simplificar a matriz de carga fatorial e auxiliar na interpretação dos fatores realizou-se a rotação ortogonal Varimax (HAIR et al., 2005; SHRESTHA; KAZAMA, 2007; NORMAN; STREINER, 2008). Para a análise dos dados foi utilizado o software R (R CORE TEAM, 2015).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 sumariza os resultados da análise descritiva e exploratória dos dados de qualidade da água (mínimo, máximo, média, mediana, desvio padrão e coeficiente de variância) para as cinco estações de amostragem, entre janeiro e dezembro de 2016.

Tabela 1 - Estatística descritiva dos parâmetros analíticos monitorados entre janeiro e dezembro de 2016.

Parâmetros	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	DP ¹	CV ² (%)
CE (µS.cm ⁻¹)	96,9	126,5	111,3	111,5	5,70	0,05
Cor Verd. (mg.L ⁻¹ Pt-Co)	1,75	119,95	10,30	5,55	18,09	1,76
COT (mg.L ⁻¹)	0,84	2,90	1,65	1,50	0,49	0,30
Fe (mg.L ⁻¹)	0,055	5,52	0,49	0,24	0,83	1,68
Mn (mg.L ⁻¹)	0,010	1,42	0,08	0,04	0,19	2,27
Nam (mg.L ⁻¹)	0,005	0,80	0,11	0,03	0,15	1,37
NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)	0,100	1,60	0,28	0,10	0,32	1,16
NO ₂ ⁻ (mg.L ⁻¹)	0,005	0,123	0,026	0,021	0,019	0,76
OD (mg.L ⁻¹)	2,34	8,44	6,80	6,92	1,03	0,15
P (mg.L ⁻¹)	0,001	0,061	0,013	0,011	0,009	0,71
pH	6,97	7,96	7,48	7,42	0,25	0,03
TA (°C)	21,31	28,55	25,67	26,34	2,07	0,08
Tur (NTU)	1,45	86,5	5,96	2,92	12,01	2,01

¹Desvio Padrão; ²Coeficiente de variação.

A Fig. 3 esboça os *boxplots* elaborados a partir dos resultados analíticos de qualidade da água, sendo possível observar o comportamento espacial das variáveis monitoradas. A condutividade elétrica (Fig. 3a) esboçou maior variabilidade na entrada do reservatório (P5), oscilando entre 96,9 e 126,5 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, demonstrando a sensibilidade desse ponto aos efeitos da sazonalidade. Em regiões tropicais, os valores de condutividade elétrica variam em função das características geoquímicas da região de estudo, das condições climáticas (estiagem e chuva), do estado trófico, das influências antrópicas e do padrão de estratificação térmica da coluna d'água (ESTEVEZ, 2011).

Os maiores valores de cor verdadeira (Fig. 3b) foram obtidos na entrada do reservatório (P5) durante o período chuvoso, com concentrações médias na faixa de 4,90 a 119,95 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Pt-Co. Todavia, os demais pontos analisados apresentaram pouca variabilidade concentrando-se em torno da mediana.

As concentrações de COT variaram de 1,2 a 2,9 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ no período chuvoso e de 0,84 a 2,41 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, no período de estiagem. De modo geral, os resultados analíticos no período chuvoso foram superiores aos de estiagem, com destaque para o ponto P5, com valor máximo de 2,9 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ nas chuvas (Fig. 3c).

O ferro total oscilou entre 0,05 e 5,52 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ no período chuvoso, e na estiagem, de 0,075 a 2,20 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Fig. 3d), enquanto o manganês teve teores nas chuvas de 0,01 a 1,42 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e na estiagem entre 0,02 e 0,36 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Fig. 3e). Ressalta-se que o ferro é um dos constituintes naturais da bacia de drenagem, cuja composição rochosa pertence ao Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu, que possui rochas ricas em óxidos de ferro e alumínio (RIOS et al., 2013).

Em relação às concentrações de nitrogênio amoniacal (Fig. 3f), constataram-se concentrações homogêneas com valores próximos à mediana (0,03 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$). O ponto P1, localizado próximo ao barramento, registrou o valor máximo (0,80 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) no mês de julho. Tal fato pode es-

tar correlacionado à desestratificação da coluna d'água nesse período. Garcia (2007), em pesquisa desenvolvida no Lago Dom Helvécio (MG), obteve a maior concentração de nitrogênio amoniacal no período de desestratificação (124,1 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$); em contrapartida, o valor encontrado no período de estratificação foi de 49,7 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

As concentrações de nitrato (NO_3^-) oscilaram entre 0,1 e 1,6 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, no período chuvoso, e de 0,1 a 0,6 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, no período de estiagem. O valor máximo foi registrado no P2 (1,6 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), no mês de outubro (período chuvoso), conforme pode ser observado na Fig. 3g.

Em relação ao nitrito (NO_2^-), foram obtidas concentrações de 0,006 a 0,065 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, no período chuvoso, e de 0,006 a 0,124 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, no período de estiagem (Fig. 3h). O valor máximo foi registrado no P5 (0,124 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), no mês de maio (estiagem).

As maiores concentrações de oxigênio dissolvido (Fig. 3i) se deram no período chuvoso (5,53 a 8,13 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$). Por sua vez, a menor concentração foi registrada no ponto P1 (2,34 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), no mês de julho, influenciada pela ocorrência de circulação/desestratificação da massa líquida evidenciada mais fortemente na região mais profunda do reservatório.

Foram observadas baixas concentrações de fósforo total na água do Reservatório do Ribeirão João Leite, as quais não excederam a 0,06 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, considerando-se todos os pontos amostrais (Fig. 3j). No período chuvoso, a variação foi de 0,002 a 0,021 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, e no período de estiagem, de 0,001 a 0,061 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Considerando-se as estações amostrais, nota-se um discreto incremento em direção à porção inicial do reservatório, sendo que no ponto P5 as concentrações médias foram de 0,003 a 0,025 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, evidenciando as contribuições da bacia de drenagem.

Os valores de pH, entre as estações amostrais, apresentaram-se homogêneos e concentrados

em torno da mediana (7,42), sendo que os maiores valores foram registrados no período chuvoso com valores de 7,15 e 7,97, para os pontos P5 e P4, respectivamente (Fig. 3k).

A temperatura da água no Reservatório do Ribeirão João Leite (Fig. 3l) oscilou entre 21,31°C (P5) e 28,55°C (P1) na estiagem. De modo geral, o período chuvoso foi caracterizado por temperaturas mais elevadas, oscilando entre 25,36°C e

28,47°C. Resultados semelhantes foram encontrados por Buzelli e Cunha-Santino (2013) no Reservatório de Barra Bonita (SP), cuja temperatura média da água foi influenciada pela sazonalidade.

A Fig. 3m exibe o comportamento espacial da turbidez e evidencia um discreto aumento em direção ao P5, ponto situado à entrada do reservatório, zona de transição de lótico para lêntico, com registro de máximo de 86,5 NTU e mínimo de 1,45 NTU.

Figura 3 - Boxplots dos parâmetros analíticos de qualidade da água no Reservatório do Ribeirão João Leite no período de janeiro a dezembro de 2016.

Figura 3 - Continuação: *Boxplots* dos parâmetros analíticos de qualidade da água no Reservatório do Ribeirão João Leite no período de janeiro a dezembro de 2016.

A matriz de correlação das variáveis monitoradas está expressa na Tabela 2 e pode ser interpretada de acordo com Bryman e Cramer (2003), que indicam que os valores $\leq 0,2$ apresentam correlação fraca

e sem significância, as variações entre $0,2 < r \leq 0,39$ correlação fraca, entre $0,4 < r \leq 0,69$ correlação moderada, no intervalo de $0,7 < r \leq 0,89$ correlação forte e entre $0,9 < r \leq 1$ correlação muito elevada.

Tabela 2 - Matriz de correlação entre as variáveis.

	CE	Cor	COT	Fe	Mn	Nam	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	OD	P	pH	TA	Turb
CE	1.000												
Cor	-0.460	1.000											
COT	-0.052	0.247	1.000										
Fe	-0.320	0.892*	0.219	1.000									
Mn	-0.354	0.889*	0.236	0.873*	1.000								
Nam	0.540	-0.043	0.046	0.079	0.070	1.000							
NO ₂ ⁻	-0.074	-0.084	-0.256	-0.007	-0.057	-0.068	1.000						
NO ₃ ⁻	0.468	-0.123	0.333	-0.128	-0.109	0.156	-0.235	1.000					
OD	-0.065	-0.348	0.124	-0.427	-0.364	-0.341	-0.012	0.201	1.000				
P	0.123	0.042	-0.063	0.0291	0.085	0.237	-0.041	-0.095	0.227	1.000			
pH	0.237	-0.145	0.179	-0.203	-0.288	-0.125	-0.272	0.459	0.398	-0.058	1.000		
TA	-0.363	0.034	0.105	-0.143	-0.095	-0.380	-0.110	0.123	0.380	-0.120	0.394	1.000	
Turb	-0.384	0.952*	0.252	0.898*	0.919*	-0.022	-0.014	-0.137	-0.290	0.104	-0.143	-0.007	1.000

*Correlações significantes.

Desse modo, verificaram-se correlações muito elevadas entre turbidez e cor ($r=0.952$) e turbidez e manganês ($r=0.919$). Evidenciaram-se ainda correlações positivas fortes entre ferro e cor ($r=0.892$), manganês e cor ($r=0.889$), manganês e ferro ($r=0.873$), turbidez e ferro ($r=0,898$).

Rocha e Costa (2015) também verificaram em seus estudos correlação forte entre cor e manganês ($r=0.73$) e correlação moderada entre cor e turbidez ($r=0.67$) e turbidez e manganês ($r=0.68$) relacionadas à dissolução de compostos do solo pelo processo de lixiviação.

Andrade et al. (2007) constataram resultados semelhantes em seus estudos realizados na bacia hidrográfica do Baixo Acaraú com o registro de correlação muito elevada e positiva entre as variáveis cor e turbidez ($r=0.969$). Segundo Sperling (2005), as correlações existentes entre ferro e manganês podem estar associadas à dissolução de compostos do solo. Tal característica é evidenciada na bacia hidrográfica do Ribeirão João

Leite, cujo solo é composto predominantemente por latossolos, cuja composição química é caracterizada pela presença de ferro e alumínio (RIOS et al., 2013).

A análise por componentes principais (PCA) revelou que três componentes (CP1, CP2 e CP3) explicaram 65,75% da variância total para os dados de qualidade da água (Tabela 3), sendo que a primeira componente explicou 32,75% da variabilidade dos dados. Para Hair et al. (2007) podem ser consideradas significativas as componentes principais que apresentem valores de variância acumulada acima de 60%.

Liu et al. (2003) classificam os fatores com peso acima de 0,75 como relevantes ou fortes; entre 0,50 e 0,75 apresentam relevância média, e irrelevantes são os valores entre 0,30 e 0,50. Os valores em negrito expressos na Tabela 3 indicam a existência de correlações fortes e medianas com a componente principal.

Tabela 3 – Matriz de pesos fatoriais das variáveis nas três componentes principais.

Variáveis	CP1	CP2	CP3
pH	-0,358	0,589	0,408
OD	-0,467	0,569	-0,080
Turb	0,943	0,153	0,115
Cond	-0,483	-0,439	0,635
Temp	-0,111	0,773	-0,171
P	0,040	-0,167	0,142
NO ₃ -	-0,276	0,283	0,720
NO ₂ -	0,002	-0,291	-0,485
Nam	0,012	-0,607	0,583
COT	0,213	0,418	0,499
Cor	0,948	0,186	0,096
Fe	0,933	0,004	0,152
Mn	0,940	0,033	0,143
Autovalor	4,26	2,26	2,03
%Variância explicada	32,75	17,36	15,63
%Variância acumulada	32,75	50,11	65,75

CP – Componente Principal

A primeira componente principal (CP1) esboçou fortes cargas positivas (acima de 0,75) para turbidez, cor, ferro e manganês. Para a CP2 obteve-se uma variância total de 17,36%, sendo verificadas cargas positivas moderadas para o pH e o OD e forte para a temperatura. A CP3 explicou 15,63% da variância total com cargas positivas moderadas para a condutividade e NO₃⁻ e moderada para o nitrogênio amoniacal. As variáveis mais significativas para a CP1 relacionaram-se à presença de sais dissolvidos, enquanto a CP2 foi influenciada por fatores de ordem climática e pela presença da comunidade fitoplanctônica; por sua vez, a CP3 refletiu as contribuições dos nutrientes.

Para melhor interpretação dos dados resultantes da análise de componentes principais, cuja aplicação teve como objetivo reduzir a dimensionalidade e identificar as variáveis mais significativas, foi efetuada a projeção das variáveis em relação às duas componentes principais (Fig. 4).

Figura 4 – Análise de componentes principais – correlação em círculo.

Os resultados obtidos indicaram a formação de três grupos ordenados, sendo que no primeiro quadrante nota-se que a cor está intrinsecamente relacionada com os parâmetros ferro total, manganês e turbidez, os quais apresentam intensa correlação com os processos de dissolução

das rochas e intemperismo. Segundo Moruzzi e Reali (2012), o ferro e o manganês, na presença de valores reduzidos de pH e ausência de oxigênio, apresentam-se nas formas quimicamente reduzidas (Fe^{+2}), solúveis. Todavia, esses metais podem ser oxidados e precipitados, conferindo à água uma aparência de vermelho a preto, no caso de presença de ferro, e de púrpura a preto, no caso de concentrações de manganês.

No segundo quadrante, observa-se que os parâmetros temperatura da água, oxigênio dissolvido (OD) e potencial hidrogeniônico (pH) correlacionaram-se positivamente, contribuindo de forma mais expressiva para a formação do segundo grupo, além de ser influenciado moderadamente pelo nitrato (NO_3^-). Tal característica esboça a influência da sazonalidade sobre o comportamento das variáveis físico-químicas da água e a intensa atividade fotossintética nesse sistema. Reis et al. (2017) também observaram fortes correlações entre o OD e pH, demonstrando a sensibilidade dessas variáveis diante de alterações no ambiente aquático.

Evidencia-se ainda no terceiro quadrante uma relação negativa ou inversamente proporcional da condutividade elétrica, estando relacionada aos sais dissolvidos na água de origem alóctone e autóctone, e no quarto quadrante a associação do nitrito, nitrogênio amoniacal e fósforo, as quais podem estar associadas ao carreamento de material mineral e orgânico pela ação das chuvas, erosão do solo ou transporte de poluentes de origem difusa. Rocha e Costa (2015) encontraram resultados semelhantes em manancial de abastecimento no município de Juiz de Fora-MG, no qual foram observadas contribuições significativas de fósforo total e nitrogênio total como parâmetros de maior peso.

Após o emprego da rotação ortogonal Varimax, que é um método capaz de minimizar o número de variáveis com altas cargas em um fator e de

indicar as variáveis mais significativas em cada fator, visando promover um melhor ajuste ao modelo fatorial e a simplificação da interpretação dos fatores, evidenciaram-se a redistribuição e redução da variância total explicada entre as três componentes. A primeira componente rotacionada (AF1) passou a explicar 31,10% da variância total dos dados, com destaque para as variáveis turbidez, cor, ferro, manganês. O segundo fator (AF2) teve como destaque a variável condutividade representando 13,80% da variância total e o terceiro fator (AF3) é explicado pelas variáveis pH e nitrato com 12,60% da variância total (Tabela 4).

Tabela 4 - Matriz transformada pelo algoritmo Varimax.

Variáveis	AF1	AF2	AF3
Turb	0,98	0,02	0,04
Cor	0,97	-0,07	0,01
Fe	0,92	0,11	-0,07
Mn	0,93	0,09	-0,10
Cond	-0,42	0,83	0,35
Temp	-0,02	-0,61	0,39
Nam	-0,01	0,66	-0,03
pH	-0,17	-0,14	0,80
NO_3^-	-0,13	0,23	0,62
OD	-0,34	-0,40	0,37
P	0,07	0,18	0,02
NO_2^-	-0,05	0,02	-0,31
COT	0,26	-0,07	0,32
Autovalor	4,04	1,79	1,63
%Variância explicada	31,10	13,80	12,60
%Variância acumulada	31,10	44,80	57,40

AF – Análise Fatorial.

Rocha, Freitas e Silva (2014) obtiveram resultados semelhantes ao avaliar as variáveis físico-químicas da Represa Dr. João Penido (MG), registrando como variáveis mais expressivas a cor (0,84) e o ferro total (0,75), além do fósforo total (0,58) e da turbidez (0,58). As variáveis cor e ferro total expressaram maiores correlações entre si e evidenciaram a sazonalidade do período.

As variáveis em destaque na AF1 podem estar relacionadas tanto ao escoamento superficial como aos processos de ressuspensão da massa líquida durante os períodos de desestratificação térmica. Resultados semelhantes foram encontrados por Rocha e Costa (2015) na Represa de São Pedro (MG), onde verificaram que 43,96% da variância total dos dados foram representadas pelas variáveis cor, manganês, $\text{DBO}_{5,20}$, turbidez, dureza e alcalinidade.

4 CONCLUSÕES

Nesta pesquisa foram empregadas análises de estatística multivariada, as quais foram eficazes para avaliar os parâmetros físico-químicos que mais contribuíram para a ocorrência de variações na qualidade da água do Reservatório João Leite, especialmente por meio da aplicação da Análise Fatorial (AF)/Análise por Componentes Principais (ACP).

Os resultados encontrados por meio deste estudo demonstram que o uso da AF/ACP apresenta-se como uma importante ferramenta para o monitoramento da qualidade da água do Reservatório João Leite, possibilitando a identificação de dois grupos, sendo o primeiro composto pela temperatura da água, pH e oxigênio dissolvido e o outro pela turbidez, cor, ferro e manganês.

A AF/PCA correlacionou os fatores que mais influenciaram nas mudanças na qualidade da água, destacando-se as concentrações de ferro e manganês (origem natural) e os nutrientes (alóctone e autóctone), sendo que as principais alterações relacionaram-se às circulações da massa líquida nos meses mais frios, promovendo o déficit de oxigênio nas camadas superficiais e o aumento da cor.

A AF/ACP possibilitou a extração de três componentes principais que explicaram 65,75% da variância total dos dados de qualidade da água

do Reservatório João Leite. Os fatores obtidos indicaram que as variáveis físico-químicas que mais influenciaram na qualidade da água estão relacionadas com a presença de sais dissolvidos, temperatura e nutrientes.

As informações extraídas podem auxiliar no planejamento das amostragens futuras por meio da otimização da frequência e da redução do número de parâmetros analíticos empregados no monitoramento da qualidade da água, visando à redução dos custos correspondentes.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pelo suporte financeiro concedido por meio do projeto da Chamada Pública de nº 04/2015, e à Saneamento de Goiás S.A. (Saneago) pela cooperação técnica para a realização da pesquisa, em especial aos técnicos da Coordenação do Sistema Barragem João Leite.

6 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Conceitualização: Arantes AGS e Hoffmann NKSA; **Metodologia:** Arantes AGS Hoffmann NKSA; **Redação – Primeira versão:** Arantes AGS; **Redação – Revisão & Edição:** Arantes AGS; **Aquisição de Financiamento:** Arantes AGS; **Recursos:** Arantes AGS; **Supervisão:** Arantes AGS e Hoffmann NKSA.

7 REFERÊNCIAS

- AJORLO, M.; ABDULLAH, R. B.; YUSOFF, M. K.; HALIM, R. A.; MOHD-HANIF, A. H.; WILLMS, W. D.; EBRAHIMIAN, M. Multivariate statistical techniques for the assessment of seasonal variations in surface water quality of pasture ecosystems. *Environ. Monit. Assess.*, v. 185, n. 1, p. 8649-8658, 2013. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3201-8>
- ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; DISNEY, W.; ALVES, A. B. Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais

pelo emprego da análise multivariada. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 3, p. 683-690, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162007000400011>

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 22a. ed., New York: AWWA, WPCR. 2012. 1496 p.

ARANTES, A. G. S.; MENDES, A. M.; AZEREDO, W. A.; BRITO, N. N. Environmental and statistical analysis on water quality of João Leite creek in Goiânia-Go, Brazil. **Internacional Journal of Lakes and Rivers**, v. 6, n. 1, p. 69-83, 2013.

BILGIN, A. An assessment of water quality in the Coruh Basin (Turkey) using multivariate statistical techniques. **Environ. Monit. Assess.**, v. 187, n. 721, p. 1-16, 2015.

BRYMAN, A.; CRAMER, D. **Análise de dados em ciências sociais, introdução às técnicas utilizando o SPSS para Window**. Oeiras: Celta Editora, 2003, 352 p.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do Reservatório de Barra Bonita, SP. **Ambi-Água**, v. 8, n. 1, p. 186-205, 2013.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. BRANDÃO et al. (Org.). São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011, 326 p.

CORADI, P. C.; FIA, R.; PEREIRA-RAMIREZ, O. Avaliação da qualidade da água superficial dos cursos de água do município de Pelotas-RS. **Revista Ambiente e Água**, v. 4, n. 2, p. 46-56, 2009. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.85>

CUNHA E SILVA, D. C.; SALES, J. C. A.; FILHO, J. L. A., LOURENÇO, R. W. Características morfológicas e suas implicações no acúmulo de sedimentos em reservatórios: o caso da represa Hedberg, Iperó/SP. **RAEGA**, v. 36, p. 225-245, 2016. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v36i0.42324>

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

FAN, X.; CUI, B.; ZHAO, H.; ZHANG, Z.; ZHANG, H. Assessment of river water quality in Pearl River Delta using multivariate statistical techniques. **Procedia Environmental Sciences**, v. 2, n. 1, p. 1220-1234, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.133>

FERREIRA, J. C.; PAIS, M. S.; YAMANAKA, K.; CARRIJO, G. A.; TEIXEIRA, M. B.; SILVA, R. T.; RABELO, C. G. Previsão de vazão da bacia do ribeirão João Leite utilizando Redes neurais artificiais. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 3, p. 339-350, 2011. <https://doi.org/10.15809/irriga.2011v16n3p339>

FINKLER, N. R.; BORTOLIN, T. A.; COCCONI, J.; MENDES, L. A.; SCHNEIDER, V. E. Avaliação espaço-temporal da qualidade da água utilizando técnicas estatísticas multivariadas. **Ciência e Natura**, v. 38, n. 2, p. 577-587, 2016. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X18168>

GARCIA, F. C. **Estudos ecológicos da cianobactéria *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya et Subba**

Raju no Lago Dom Helvécio, Parque Estadual do Rio Doce, MG, Brasil. 2007. 89 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

GUDAS, M.; POVILAITIS, A. Factors affecting seasonal and spatial patterns of water quality in Lithuanian rivers. **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management**, v. 21, n. 1, p. 26-35, 2013. <http://dx.doi.org/10.3846/16486897.2012.696058>

GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.; ELESBON, A. A. A.; RIBEIRO, C. B. M.; MATOS, A. T.; SOARES, J. H. P. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 558-563, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000500012>

HAIR, J. J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593 p.

LEE, R. M.; BIGGS, T. W. Impacts of land use, climate variability, and management on thermal structure, anoxia, and transparency in hypereutrophic urban water supply reservoirs. **Hydrobiologia**, v. 745, p. 263-284, 2015. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-014-2112-1>

LIU, C. W.; LIN, K. H.; KUO, Y. M. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a Blackfoot disease area in Taiwan. **Science of the Total Environment**, v. 313, p. 77-89, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00683-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00683-6)

MORUZZI, R. B.; REALI, M. A. P. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial – uma abordagem geral. **Revista Engenharia e Tecnologia**, v. 4, n. 1, p. 29-43, 2012.

NORMAN, G. R.; STREINER, D. L. **Biostatistics: the bare essentials**. 3. ed. Canadá: BC Decker, 2008. 381 p.

OLIVEIRA, W. N.; FERREIRA, N. C. Avaliação multitemporal do uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do ribeirão João Leite utilizando imagens landsat-5. **RBCIAMB**, v. 38, p. 46-62, 2015. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820159813>

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **The R Project for Statistical Computing**. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 2 jan. 2017.

RABELO, C. G.; FERREIRA, M. E.; ARAÚJO, J. V. G.; STONE, L. F.; SILVA, S. C.; GOMES, M. P. Influência do uso do solo na qualidade da água no bioma Cerrado: um estudo comparativo entre bacias hidrográficas no Estado de Goiás, Brasil. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 4, n. 2, p. 172-187, 2009.

REIS, D. A.; SANTIAGO, A. F.; NASCIMENTO, L. P.; OLIVEIRA, E. G.; MARQUES, L. S.; ROESER, H. M. P. Influência dos fatores ambientais e antrópicos nas águas superficiais no rio Matipó, afluente do rio Doce. **REGA**, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 1-15, 2017. <http://dx.doi.org/10.21168/rega.v14e2>

- RIOS, K. C. R. C.; BARBOSA, D. I.; OLIVEIRA, W. N.; FERREIRA, N. C.; KOPP, K. Caracterização exploratória-espacial da bacia hidrográfica do ribeirão João Leite/Goiás. **Holos Environment**, v. 13, n. 2, p. 175-187, 2013. <https://doi.org/10.14295/holos.v13i2.6353>
- ROCHA, C. H. B.; COSTA, H. F. Variação temporal de parâmetros limnológicos em manancial de abastecimento em Juiz de Fora, MG. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 2, p. 543-550, 2015.
- ROCHA, C. H. B.; FREITAS, F. A.; SILVA, T. Alterações em variáveis limnológicas de manancial de Juiz de Fora devido ao uso da terra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 431-436, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000400011>
- SANTOS, E. H. M.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na bacia hidrográfica do ribeirão João Leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 14, n. 8, p. 826-834, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000800006>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2006.02.001>
- 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, p. 355-374, 2005.
- SOUZA, M. M.; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 19, n. 3, p. 263-274, 2014.
- SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. Ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 452 p.
- VAROL, M.; SEN, B. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: a case study of Behrimaz Stream, Turkey. **Environ. Monit. Assess.**, v. 159, n. 1, p. 543-553, 2009. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0650-6>
- YEREL, S.; ANKARA, H. Application of multivariate statistical techniques in the assessment of water quality in Sakarya River, Turkey. **Journal of the Geological Society of India**, v. 78, n. 6, p. 1-5, 2011. <http://dx.doi.org/10.1007/s12594-011-0121-5>
- ZHANG, X.; WANG, Q.; LIU, Y.; WU, J.; YU, M. Application of multivariate statistical techniques in the assessment of water quality in the Southwest New Territories and Kowloon, Hong Kong. **Environ. Monit. Assess.**, v. 173, n. 1, p. 17-27, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1366-y>