

ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS E CÁLCULO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA (IQA) DA LAGOA DE CIMA, CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ

MULTIVARIATE STATISTICAL ANALYSIS OF PHYSICO-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PARAMETERS AND CALCULATION OF THE WATER QUALITY INDEX (NSFWQI) OF "LAGOA DE CIMA", CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ

Annelise Martins de SOUSA, Carolina Ramos de Oliveira NUNES, Luis Felipe Umbelino dos SANTOS, Thiago Moreira de Rezende ARAÚJO

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense. Rua Coronel Walter Kramer, 357. Campos dos Goytacazes – RJ.
E-mails: annelismartinss@gmail.com; carolnunes.1985@gmail.com; lfumbelino@gmail.com; taraujo@iff.edu.br

Introdução
Materiais, métodos e técnicas
Área de estudo
Coleta e análise das amostras
Índice de Qualidade da Água (IQA)
Análise estatística dos dados
Discussões, interpretações e resultados
Conclusões
Agradecimentos
Referências

RESUMO - O objetivo deste artigo foi fazer uma caracterização espaço-temporal da qualidade da água da Lagoa de Cima, no município de Campos dos Goytacazes-RJ, através da aplicação do IQA-NSF e da análise estatística multivariada dos seus parâmetros. As amostras foram coletadas em 2 saídas de campo, sendo 6 pontos localizados na lagoa, 1 ponto no rio Imbé e 1 ponto no rio Urubu, seus tributários. As análises físico-químicas e microbiológicas foram realizadas no LabFoz, laboratório do Polo de Inovação Campos dos Goytacazes/IFFluminense. O IQA-NSF foi calculado em planilha de *Excel*, utilizando as fórmulas da média ponderada e do produto ponderado. A primeira saída de campo (S1) aconteceu em 16/04/2019, com precipitação acumulada nos 30 dias anteriores de 40 mm, onde quase todos os pontos apontaram qualidade “boa”, exceto um ponto que apresentou qualidade “razoável” ao utilizar a fórmula do produto. A segunda saída (S2) ocorreu em 01/10/2019, com precipitação acumulada de 72,8 mm no mês anterior. Esta apresentou melhores resultados, entre “ótima” e “boa”, e dois pontos com qualidade “razoável”. O maior volume de água devido às chuvas pode ter sido um fator contribuinte para a melhoria na qualidade da água, pois há uma maior dissolução na carga de poluentes.

Palavras-chave: Recursos hídricos. CONAMA 357/2005. PCA. HCA.

ABSTRACT - This article aimed to make a spatio-temporal characterization of the water quality of “Lagoa de Cima”, Campos dos Goytacazes/RJ, Brazil, through NSFQI and multivariate statistical analysis of parameters that compose it. Water samples were collected in two field trips, where six points were located at the lagoon, one point at the Imbé river and one point at the Urubu river, its tributaries. The physical-chemical analyses were carried out at the LabFoz, laboratory of the Polo de Inovação Campos dos Goytacazes/IFFluminense. The NSFQI was calculated in an Excel spreadsheet, using the weighted average and weighted product formula. The first field trip (S1) happened on April 16, 2019, the accumulated precipitation in the previous 30 days of 40 mm, where almost all points indicated “good” quality, except one point that presented “medium” when the weighted product was used. The second field trip (S2) occurred on October 01, 2019, where the accumulated precipitation in the previous 30 days was 72.8 mm. This one presented better results, between “excellent” and “good”, and two points with “medium” quality. The greater volume of water due to rains may have contributed to the improvement of water quality, because there is a greater dissolution in the pollutant load.

Keywords: Water resources. CONAMA 357/05. PCA. HCA.

INTRODUÇÃO

Segundo Von Sperling (2005), a qualidade da água se dá em função das condições naturais, pelo escoamento superficial e pela infiltração no solo, resultantes da precipitação atmosférica, e do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica, por meio da geração de despejos domésticos ou industriais, bem como na aplicação de agrotóxicos no solo, contribuindo na introdução de compostos na água.

O monitoramento contínuo da qualidade da água é indispensável para identificar as consequências que essas ações podem acarretar em um corpo hídrico e para assegurar seus usos múltiplos. Para caracterização da qualidade da água, utiliza-se parâmetros indicadores (biológicos, físicos ou químicos), que são inúmeros, sendo eles definidos de acordo com os objetivos do estudo (Braga et al., 2005; Medronha et al., 2013; Souza,

2015) ou das legislações vigentes.

A Legislação Brasileira, por exemplo, através das Resoluções CONAMA nº 274 de 29 de novembro de 2000 (Brasil, 2000), CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005 (Brasil, 2005) e CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011 (Brasil, 2011), e da Portaria GM/MS nº 888 de 04 de maio de 2021, em seu **Anexo** (Brasil, 2021), determinam limites máximos e/ou mínimos para as concentrações de variáveis de qualidade, relacionados aos critérios de balneabilidade das águas brasileiras, ao enquadramento dos corpos de água, ao lançamento de efluentes e à potabilidade, respectivamente.

A caracterização individual de parâmetros da qualidade da água é muito importante, no entanto, não possibilita uma avaliação geral do corpo hídrico (Souza, 2015). O Índice de Qualidade da Água (IQA) surgiu da necessidade de se ter um único valor numérico que levasse em consideração os parâmetros mais significativos para a caracterização da qualidade das águas e que possibilitasse uma compreensão geral, facilitando a interpretação dos dados e comunicação entre os profissionais e o público (Brown et al., 1970). O IQA permite avaliar a qualidade da água bruta que será destinada ao abastecimento público após passar pelo tratamento convencional. Ele se mostra sensível à contaminação dos corpos hídricos principalmente pelo lançamento de esgotos domésticos, a qual ainda é a principal influência sobre a qualidade das águas no Brasil (ANA, 2013). Segundo dados da Agência Nacional das Águas - ANA (2017), 43% da população brasileira é atendida com rede coletora e estação de tratamento de esgotos e 12% é atendida por solução individual (fossa séptica), totalizando 55% da população com esgotamento sanitário adequado. Em contrapartida, 18% da população tem seus esgotos coletados, mas não são tratados e 27% não possuem coleta nem tratamento de esgotos, indicando um total de 45% da população sem tratamento de esgotos. De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS, no ano de 2018, do volume de esgoto gerado, apenas 46,3% foi tratado, e do esgoto coletado, 74,5% foi tratado (Brasil, 2019). Nesse sentido, muitos órgãos governamentais ligados às Secretarias Estaduais de Meio Ambiente (INEA, CETESB, IGAM) e diversos estudos no Brasil utilizam o IQA-NSF,

ou similar ao mesmo, para avaliar a qualidade das águas, sendo que as faixas de valores utilizadas por cada um podem variar de acordo com os estados.

Costa et al. (2020) avaliaram a qualidade da água do rio Piabanha, pertencente à região montanhosa do Estado do Rio de Janeiro, através da análise de quinze parâmetros, cálculo do IQA e análises estatísticas multivariadas. Os resultados mostraram que os parâmetros coliformes e DBO foram os que mais impactaram o IQA, estando acima do limite máximo permitido pela legislação brasileira. Quanto aos parâmetros que não fazem parte do IQA, as concentrações de amônio e fósforo total violaram a legislação. Comparando os resultados dos anos de 2012 e 2019, foi observado uma melhora na qualidade geral da água. Quanto a sazonalidade, as estações secas apresentaram melhores índices de qualidade da água do que as chuvosas, visto que as chuvas podem transportar sedimentos e poluentes para dentro dos rios.

Decker et al. (2018), por exemplo, avaliaram a qualidade das águas superficiais da Lagoa dos Patos, Pelotas-RS, comparando com os limites aceitáveis estabelecidos pela Resolução 357/2005 do CONAMA, Índice de Qualidade da Água (IQA) e Índice de Estado Trófico para o Fósforo (IET_{PT}). Os resultados mostraram altas concentrações de fósforo total, nitrogênio total, turbidez e sólidos totais, e com poucas alterações sazonais e espaciais. O IQA classificou as águas como de qualidade “razoável” e o IET_{PT} classificou as águas como “hipereutróficas”. Além disso, as análises demonstraram contaminação na água por efluentes domésticos sem tratamento.

A Lagoa de Cima é uma Área de Proteção Ambiental (APA) instituída no ano de 1992 e ainda não possui o seu plano de manejo. É uma área utilizada para recreação, lazer e atividades desportivas e assim sendo, torna-se necessário conhecer a qualidade da água visando fornecer informações para a gestão municipal responsável por esta unidade. Diante disso, o presente artigo teve como objetivo fazer uma caracterização espaço-temporal da qualidade da água da Lagoa de Cima (LC), Campos dos Goytacazes-RJ, por meio da aplicação do Índice de Qualidade da Água desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (IQA-NSF) e da análise estatística multivariada dos parâmetros que o compõe.

MATERIAIS, MÉTODOS E TÉCNICAS

Área de estudo

A Lagoa de Cima (LC) possui um espelho d'água

de aproximadamente 15 km² de área, 18 km de perímetro, 4 m de profundidade e o tempo de

residência da água é de 29 dias, em média. Sua formação se dá através do encontro dos rios Imbé e Urubu, e por três córregos pequenos, e suas águas seguem pelo rio Ururá, que é um dos principais abastecedores de água doce da Lagoa Feia. Está localizada no município de Campos dos Goytacazes, região Norte do Estado do Rio de Janeiro (Figura 1), a cerca de 28 km de distância do centro urbano (Bidegain et al., 2002; Rezende et al., 2006).

No entorno da LC encontram-se três localidades diretamente conectadas ao espelho d'água: as comunidades de Santa Rita, São Benedito e Barra do Rio Ururá (Rezende et al., 2006). É um corpo d'água muito importante para a região, pois é bastante frequentado pela população durante os fins de semana, principalmente no verão. Também é fonte de sustento de muitos pescadores que vivem no seu entorno.

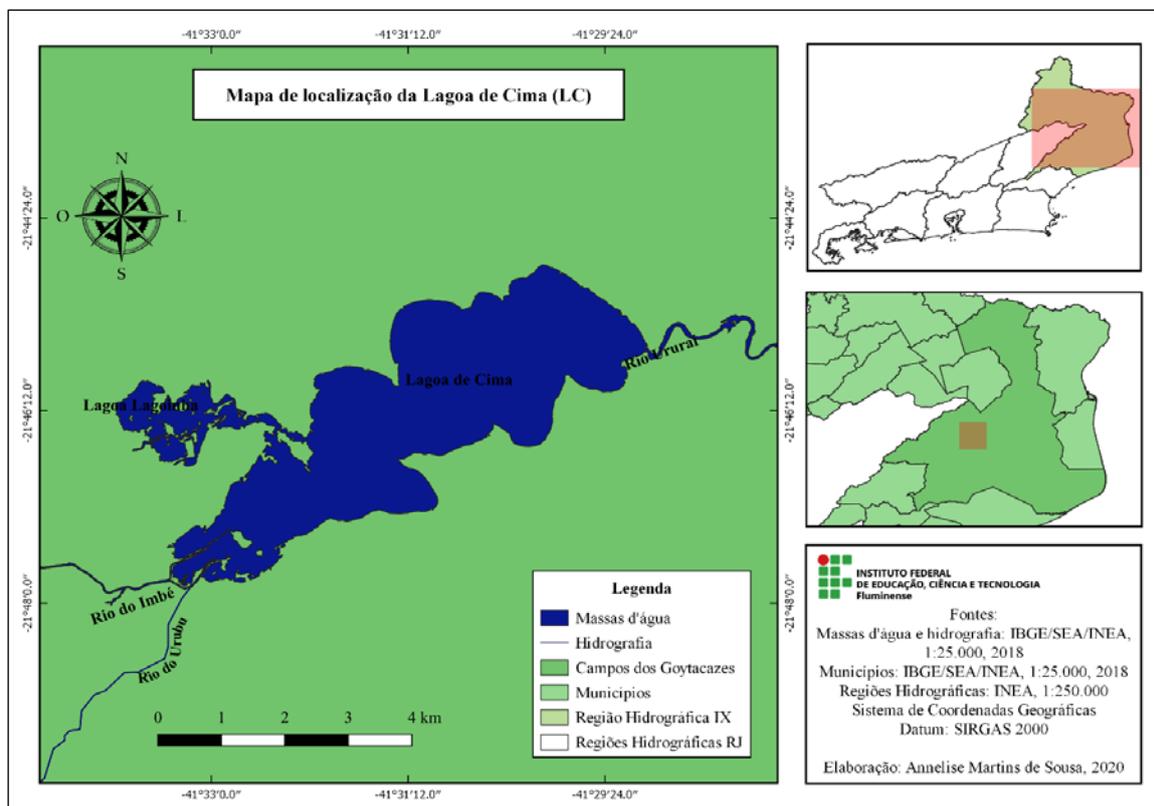


Figura 1 - Mapa de localização da Lagoa de Cima.

Coleta e análise das amostras

Foram definidos seis (6) pontos ao longo da lagoa, um (1) ponto no Rio Imbé e um (1) ponto no Rio Urubu, totalizando oito (8) pontos para coleta de amostras, buscando contemplar as variações espaciais. Eles foram georreferenciados através do sistema de posicionamento de satélite *Global Position System (GPS)* da marca Garmin modelo GPSMAP 76Cx (Figura 2 e Tabela 1). As amostras foram coletadas a cerca de 20-30 cm da superfície, nos dias 16/04/2019 e 01/10/2019, dias parcialmente nublados e sem precipitação.

Após as coletas, as amostras foram armazenadas e conservadas em frascos apropriados, identificadas e encaminhadas ao Laboratório de Análises e Monitoramento das Águas (LabFoz) do Polo de Inovação Campos dos Goytacazes do Instituto Federal Fluminense (PICG/IFFluminense) para realização das determinações. Na tabela 2, encontram-se os parâmetros e métodos/equipamentos

utilizados na caracterização da qualidade da água da LC.

Os métodos seguiram as normas técnicas estabelecidas pelo *Standard Methods for examination of water & wastewater 23rd*. Ressalta-se que os parâmetros oxigênio dissolvido e temperatura foram mensurados no local da amostragem. As análises foram realizadas em triplicata, exceto os parâmetros coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio e resíduo total.

De forma mais detalhada, a análise do parâmetro nitrato foi realizada em um cromatógrafo de íons da Metrohm (modelo 883 Basic IC Plus), com sistema de supressão, acoplado a um amostrador automático (modelo 863 Compact Autosampler) e a um detector de condutividade elétrica da Metrohm. Na tabela 3, tem-se as especificações dos parâmetros cromatográficos utilizados.

Para essa análise as amostras foram previamente



Figura 2 - Localização dos pontos de amostragem na Lagoa de Cima. Fonte: Adaptado de *Google Earth* (2020).

Tabela 1 - Descrição e localização dos pontos de amostragem.

Pontos	Descrição	Coordenadas
P1	Início da lagoa (Confluência dos rios Imbé e Urubu)	21°47'08''S 41°32'11''W
P2	Comunidade Santa Rita (Próximo ao Iate Clube)	21°46'58''S 41°31'11''W
P3	Comunidade São Benedito (Residências e concentração de banhistas)	21°46'04''S 41°31'46''W
P4	Comunidade São Benedito (Maior concentração de banhistas e residências nas margens)	21°45'27''S 41°31'04''W
P5	Comunidade Santa Rita (Presença de gado nas margens)	21°46'05''S 41°30'08''W
P6	Final da lagoa (Comunidade da Barra do Urubá)	21°45'37''S 41°29'13''W
P7	Rio Urubu (Local com água estagnada)	21°47'53''S 41°33'16''W
P8	Rio Imbé (Presença de gado nas margens)	21°47'52''S 41°33'16''W

Tabela 2 - Análises realizadas, métodos e/ou equipamentos utilizados.

Análise	Método/Equipamento
Oxigênio dissolvido e temperatura (<i>in loco</i>)	Oxímetro portátil Alfakit (Modelo AT 160)
Coliformes termotolerantes e <i>E. coli</i>	Método Colilert®
Potencial Hidrogeniônico	pHmetro de bancada Thermo Orion Star (Modelo A214)
Demanda bioquímica de oxigênio	Aparelho de medição de DBO Aqualytic (Modelo AL 606)
Nitrato	Cromatografia iônica
Fósforo total	*Método 4500-P(E) Espectrofotômetro UV-Visível Gehaka (Modelo Vis 340-G UV-Vis)
Turbidez	Turbidímetro de bancada MS TecnoPON Instrumentação (Modelo TB 1000)
Resíduo (sólido) total	*Método 2540-B

*Métodos referentes ao *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition* (APHA, 2017).

Tabela 3 - Parâmetros cromatográficos utilizados na análise do nitrato.

Parâmetros	Especificações
Fase móvel	NaHCO ₃ (1,0 mmol L ⁻¹) e Na ₂ CO ₃ (3,2 mmol L ⁻¹)
Solução do supressor	H ₂ SO ₄ (0,10 mol L ⁻¹)
Coluna	Metrosep A Supp 5 - 150/4.0 da Metrohm
Pressão	10,0 mPa
Volume injetado	20 µL
Tempo da corrida	20 minutos

filtradas em membrana de acetato de celulose hidrofílico de 0,45 µm de porosidade e diâmetro de 25 mm, marca Filtrilo, acoplada a seringa *luer lock* e, posteriormente, injetadas no cromatógrafo.

A curva analítica para a quantificação do nitrato foi obtida utilizando-se o método da padronização externa, a partir de soluções com concentrações de nitrato iguais a 0,10; 1,00; 2,50; 5,00 e 10,0 mg L⁻¹ preparadas a partir da diluição de uma solução padrão na concentração de 1000 mg L⁻¹ de nitrato, marca SpecSol/Brasil. A equação da reta e o coeficiente de correlação (r) obtidos foram, respectivamente, $y = 0,1058 x - 0,0094$ e 0,9983. Foram calculados também os limites de detecção (LD) e de quantificação (LQ) utilizando o método baseado em parâmetros da curva analítica como recomenda Ribani et al. (2004), onde foram encontrados os valores de 0,0261 mg L⁻¹ para o LD e 0,0791 mg L⁻¹ para o LQ. Após a análise do nitrato, em mg L⁻¹, foi feita a conversão para mg de N L⁻¹.

O fósforo total foi determinado por espectroscopia UV/Vis, método do ácido ascórbico, após preparo adequado das amostras. Em um volume de 500 mL da amostra foi adicionado 1,00 mL de H₂SO₄, 30,00% m/v, e 15,00 mL de (NH₄)₂S₂O₈, 4,00% m/v. A solução foi aquecida até que o volume chegasse abaixo de 100 mL, e então, foi adicionado fenolftaleína, solução de NaOH, 6,00 mol L⁻¹, até a mistura ficar rosa claro, e por fim, o volume foi ajustado para 100,0 mL. Posteriormente, a análise seguiu a metodologia descrita no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition* (APHA, 2017) item 4500-P E.

Para a curva analítica foram preparadas soluções com concentrações de fósforo iguais a 0,00500;

0,0125; 0,0250; 0,0500; 0,1000 e 0,2000 mg L⁻¹ obtidas a partir da diluição de uma solução padrão de fósforo na concentração de 1000 mg L⁻¹ (da Hexis/Brasil) e também passaram pelo procedimento de concentração das amostras. A equação da reta e o coeficiente de correlação (r) encontrados foram, respectivamente, $y = 2,4283 x + 0,0432$ e 0,9940.

A determinação dos sólidos totais foi realizada através do aquecimento de 50,00 mL de amostra, em cápsula de porcelana, em estufa (SolidSteel, modelo SSDi – 85 L) a 105 °C até peso constante.

Índice de Qualidade da Água (IQA)

O Índice de Qualidade da Água (IQA ou WQI do inglês *Water Quality Index*) foi desenvolvido nos Estados Unidos pela *National Sanitation Foundation* (NSF), WQI-NSF ou IQA-NSF, e corresponde a um número obtido pela média ponderada das qualidades de água (q) de nove parâmetros que integram o índice e seus respectivos pesos (w) (Equação 1):

$$IQA - NSF = \sum_{i=1}^n w_i q_i \quad (1)$$

Onde:

IQA-NSF: Índice de Qualidade da Água, um número variando entre 0 e 100;

w_i: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído pela sua importância para a conformação global de qualidade (Tabela 4);

q_i: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”;

n: número de parâmetros que integram o cálculo do IQA-NSF (Brown et al., 1970; CETESB, 2017a).

Tabela 4 - Parâmetros que integram o IQA e seus respectivos pesos.

Parâmetros	Unidade	Peso (W)
Oxigênio dissolvido	mg L ⁻¹	0,17
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	0,15
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	0,12
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO _{5,20})	mg L ⁻¹	0,10
Temperatura da água	°C	0,10
Nitrato	mg L ⁻¹	0,10
Fósforo total	mg L ⁻¹	0,10
Turbidez	NTU	0,08
Resíduo total	mg L ⁻¹	0,08

Fontes: Brown et al., 1970; McClelland, 1974; Sperling, 2014.

As curvas de qualidade da água de cada parâmetro foram formuladas pela NSF, onde a CETESB realizou uma pequena adaptação ao utilizar N total ao invés de nitrato. Além disso, a

CETESB propôs curvas de ajuste dos parâmetros (equações representativas) com o intuito de simplificar sua utilização em planilhas. Dessa forma, ao se obter os valores das concentrações,

seleciona-se a equação que se encontra dentro da faixa de valores do parâmetro para o cálculo das respectivas notas individuais q_i (q_1 a q_9) (Von Sperling, 2014).

Contudo, foi observado que o cálculo de IQA-NSF pela média ponderada não tem a sensibilidade de refletir adequadamente o efeito de um único parâmetro de baixo valor na qualidade geral da água, sendo uma escolha mais adequada quando todos os parâmetros estão dentro de uma faixa razoável de qualidade. Surgiu então a proposta de se utilizar o produtório ponderado para o cálculo do IQA-NSF (Equação 2). Esse é mais sensível ao efeito de um único parâmetro ruim na qualidade geral da água (McClelland, 1974).

$$IQA - NSF = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (2)$$

O IQA é utilizado mundialmente e acabou sofrendo variações em diferentes regiões do mundo.

Porém, a maioria dos IQA são baseados no desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (WQI-NSF) (Brown et al., 1970). Em 1975, o IQA-NSF foi adaptado pela CETESB, onde o nitrato foi substituído pelo nitrogênio total, e posteriormente adotado por outros estados brasileiros, sendo hoje o principal índice de qualidade da água utilizado no Brasil. Os valores de IQA-NSF são classificados em faixas (Tabela 5), porém essas faixas podem variar entre os estados (ANA, 2020).

Tabela 5 - Classificação do IQA.

Categoria	ÓTIMA	BOA	RAZOÁVEL	RUIM	PÉSSIMA
Ponderação	$90 < IQA \leq 100$	$70 < IQA \leq 90$	$50 < IQA \leq 70$	$25 < IQA \leq 50$	$IQA \leq 25$

Fontes: Noori et al., 2019; ANA, 2020.

Muitos estudos usando o modelo IQA-NSF aplicaram outras entradas, além dos parâmetros definidos, que afetam o resultado e a classificação da qualidade da água. O IQA-NSF calculado pode ser diferente devido ao uso de parâmetros não originais (como fosfato e sólidos totais dissolvidos/sólidos totais suspensos ao invés de fósforo total e sólidos totais, respectivamente) (Noori et al., 2019).

Por fim, a utilização de índices de qualidade de água tem se mostrado uma opção vantajosa, pois diminui tempo, custos e fornece resultados de fácil interpretação (Souza, 2015).

No presente trabalho o IQA-NSF foi calculado utilizando-se os parâmetros inicialmente preconizados pela *National Sanitation Foundation* (NSF - tabela 4), através da média ponderada (Equação 1) como também do produtório (Equação 2). A partir das fórmulas, criou-se uma planilha para o cálculo das qualidades de cada parâmetro e do IQA-NSF no software *Excel*, de modo a automatizá-lo.

Análise estatística dos dados

Os resultados obtidos foram submetidos à análise multivariada de dados, mais especificamente a Análise de Componentes Principais (PCA – *Principal Components Analysis*) e a Análise de Agrupamento Hierárquico (HCA – *Hierarchical Cluster Analysis*). Elas são empregadas quando o objetivo é observar como as amostras se correlacionam, como são semelhantes de acordo com as variáveis aplicadas (Moita Neto, 2004).

Para as análises foi utilizado o software gratuito PAST 3.25. Inicialmente foi necessário realizar o pré-tratamento dos dados através do seu ranqueamento (Equação 3), conforme descrito por Nonato et al. (2007), devido às diferenças nas escalas dos parâmetros escolhidos.

A técnica de análise de componentes principais (PCA) tem como objetivo modificar um conjunto original de variáveis observadas em um novo conjunto de variáveis, as componentes principais. A característica principal dessas componentes é que são obtidas em ordem decrescente de máxima variância, sendo calculadas de modo que a primeira componente principal (CP1) explique o máximo da variabilidade total dos dados; a segunda (CP2) explique o máximo da variabilidade restante dos dados, sendo não-correlacionada com a primeira, e assim por diante (Guedes et al., 2012).

$$X_{ik}^* = \frac{X_{ik} - \bar{X}_i}{s_i} \quad (3)$$

Onde:

\bar{X}_i : é a média dos pontos de amostragem para o i -ésimo parâmetro;

s_i : estimativa do desvio padrão.

A técnica de agrupamento hierárquico (HCA) correlaciona as amostras através de associações, agrupando entre si amostras similares, gerando um dendrograma (diagrama). Quanto maior a semelhança entre as amostras, menor a distância entre os pontos (Moita Neto & Moita, 1998).

DISCUSSÕES, INTERPRETAÇÕES E RESULTADOS

A Lagoa de Cima ainda não teve seu enquadramento realizado e, segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, enquanto não estabelecidos os respectivos enquadramentos, as águas doces são classificadas como classe 2 (Brasil, 2005).

Portanto, os resultados aqui demonstrados serão comparados tomando essa classificação para a

área de estudo.

A figura 3 ilustra a precipitação acumulada no mês anterior às datas das saídas de campo (Saída 01: 15/03–15/04 e Saída 02: 01/09 – 30/09), dados da Estação Automática Campos dos Goytacazes-A607 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2019).

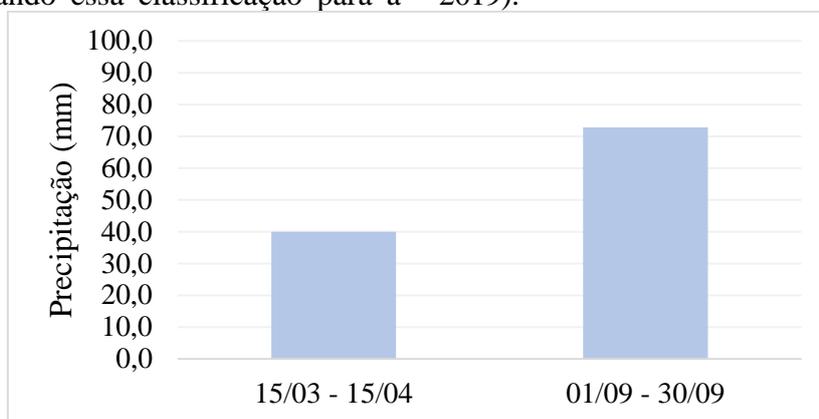


Figura 3 - Precipitação acumulada nos 30 dias anteriores à saída de campo. **Fonte:** INMET, 2019.

A tabela 6 sumariza as médias e os desvios padrão dos parâmetros que integram o IQA-NSF nas saídas 1 e 2. Cabe destacar que na primeira saída de campo (16/04/2019) não houve coleta nos pontos 7 e 8.

Fazendo uma análise individual dos resultados encontrados para cada parâmetro, comparando-os com a legislação e com trabalhos similares, é possível observar qual(ais) deles pode(m) estar contribuindo para uma diminuição na qualidade da água.

O parâmetro oxigênio dissolvido (OD) apresentou valores médios entre 5,65-6,25 mg L⁻¹ na saída de campo 1 (S1) e valores entre 1,30-7,44 mg L⁻¹ na saída de campo 2 (S2). Nessa, o ponto 7 (P7) foi o que apresentou o menor valor encontrado, o qual estava bem abaixo do valor mínimo permitido pela Resolução CONAMA nº 357/05, enquanto os demais se apresentaram dentro dos limites estabelecidos. Comportamento parecido foi observado por Rezende et al. (2006) ao avaliar a qualidade da água da Lagoa de Cima, onde o ponto referente ao Rio Urubu foi o único que se apresentou abaixo do limite estabelecido. O oxigênio geralmente é introduzido nas águas por meio de processo físicos (aeração) e da fotossíntese (ANA, 2019), e como esse rio tem característica de um sistema lântico, sua aeração acaba sendo dificultada, o que pode ter contribuído para o baixo valor de OD encontrado.

Para a quantificação dos coliformes termotolerantes foi utilizado o fator de correção de 1,25

sobre o resultado de *Escherichia coli* (*E. coli*), como proposto no Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo – Apêndice D (CETESB, 2017a). Para uso de recreação de contato primário, deverão ser obedecidos os padrões de qualidade de balneabilidade estabelecidos na Resolução CONAMA nº 274/00, a qual menciona que um corpo hídrico pode ser classificado em duas categorias quanto à sua balneabilidade: própria, podendo ser subdividida em excelente, muito boa ou satisfatória; ou imprópria, quando o valor obtido na última amostragem, de um conjunto de amostras em um período de cinco semanas, ultrapassar 2500 NMP por 100 mL para coliformes termotolerantes, entre outras ocorrências (Brasil, 2000).

Para os demais usos, de acordo com a CONAMA nº 357/05, considerando-se água doce/classe 2, não deverá ser ultrapassado o limite de 1000 NMP para coliformes termotolerantes por 100 mL em 80 % ou mais de, pelo menos, 6 amostras coletadas durante o período de um ano (Brasil, 2005).

Os coliformes termotolerantes são microrganismos do grupo coliforme capazes de fermentar a lactose a 44-45°C. São representados principalmente pela *E. coli*, que é de origem exclusivamente fecal, o que a torna um parâmetro biológico importante a ser monitorado nos recursos hídricos por apontar contaminação fecal. Portanto, os coliformes termotolerantes não são tão adequados como indicadores de contaminação fecal quanto

Tabela 6 - Valores médios obtidos e a estimativa dos desvios padrão para os parâmetros que integram o IQA-NSF, referentes as saídas 1 (S1 – 16/04/2019) e 2 (S2 – 01/10/2019).

Saídas	Pontos	Parâmetros								
		OD (mg L ⁻¹)	C Term (NMP/ 100mL)	pH	DBO _{5,20} (mg L ⁻¹)	Temp (°C)	Nitrato (mg N L ⁻¹)	P total (ppm)	Turb (UNT)	R Total (mg L ⁻¹)
S1	P1	5,65 ± 0,12	344,4	6,87 ± 0,01	5,0	27,6 ± 0,1	0,075 ± 0,002	0,019 ± 0,000	13,63 ± 0,07	68,0
	P2	5,69 ± 0,07	1,25	6,85 ± 0,02	3,0	27,8 ± 0,1	0,041 ± 0,000	0,012 ± 0,000	12,13 ± 0,06	124,0
	P3	5,93 ± 0,05	< 1,25	6,93 ± 0,02	2,0	28,9 ± 0,0	0,051 ± 0,002	0,012 ± 0,000	6,57 ± 0,03	70,0
	P4	5,69 ± 0,17	1,25	7,06 ± 0,02	3,0	30,0 ± 0,1	0,065 ± 0,000	0,019 ± 0,000	7,81 ± 0,09	58,0
	P5	6,09 ± 0,07	< 1,25	6,98 ± 0,02	3,0	28,2 ± 0,1	0,072 ± 0,000	0,014 ± 0,000	9,26 ± 0,04	78,0
	P6	6,25 ± 0,10	< 1,25	7,01 ± 0,02	2,0	28,3 ± 0,1	0,067 ± 0,000	0,014 ± 0,000	8,01 ± 0,01	30,0
	P7	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	P8	*	*	*	*	*	*	*	*	*
S2	P1	5,92 ± 0,03	267,9	6,61 ± 0,00	1,0	23,8 ± 0,5	0,116 ± 0,000	0,011 ± 0,000	8,74 ± 0,01	78,0
	P2	6,62 ± 0,04	1,25	7,18 ± 0,00	1,0	24,1 ± 0,4	0,096 ± 0,002	0,005 ± 0,000	8,16 ± 0,01	18,0
	P3	7,44 ± 0,06	2,5	7,14 ± 0,02	2,0	25,0 ± 0,4	0,121 ± 0,002	0,008 ± 0,000	6,11 ± 0,01	10,0
	P4	6,50 ± 0,01	2,5	7,52 ± 0,00	2,0	24,5 ± 0,3	0,081 ± 0,002	0,013 ± 0,000	5,43 ± 0,01	36,0
	P5	6,57 ± 0,05	< 1,25	7,53 ± 0,01	2,0	23,7 ± 0,4	0,073 ± 0,000	0,007 ± 0,000	6,63 ± 0,02	54,0
	P6	6,80 ± 0,03	1,25	7,55 ± 0,02	2,0	22,6 ± 0,4	0,055 ± 0,002	0,005 ± 0,000	6,12 ± 0,07	46,0
	P7	1,30 ± 0,02	113,6	6,21 ± 0,02	3,0	23,4 ± 0,3	Não detectado	0,005 ± 0,000	2,07 ± 0,01	24,0
	P8	5,95 ± 0,04	431,0	6,73 ± 0,01	4,0	23,3 ± 0,7	0,115 ± 0,002	0,023 ± 0,000	16,58 ± 0,07	44,0
CONAMA nº 274/00 ⁽¹⁾		-	≤2500	-	-	-	-	-	-	-
CONAMA nº 357/05 ⁽²⁾		≥ 5	≤1000	6 - 9	≤ 5	-	10	0,050 ⁽³⁾	100	-

Onde: OD: oxigênio dissolvido; C Term: coliformes termotolerantes; pH: potencial hidrogeniônico; DBO_{5,20}: demanda bioquímica de oxigênio; Temp: temperatura; N: nitrogênio; P total: fósforo total; Turb: turbidez; R total: resíduo total; mg L⁻¹: miligramas por litro; NMP/100mL: número mais provável por 100 mililitros; °C: graus Celsius; ppm: partes por milhão; UNT: unidade nefelométrica de turbidez. ⁽¹⁾ Valores máximos permitidos para uso de recreação de contato primário; ⁽²⁾ Valores máximos, mínimos ou faixa permitida considerando-se água doce/classe 2; ⁽³⁾ Para ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lêntico. *Não foram coletadas amostras nessa saída.

a *E. coli*, porém é admitido sua utilização em estudos da qualidade da água (ANA, 2019; CETESB, 2017b).

Neste trabalho não foi possível comparar os resultados obtidos do parâmetro coliformes termotolerantes com as legislações mencionadas visto que a periodicidade de coleta não foi a estabelecida por elas. Todavia, os resultados demonstram que os P1, P7 e P8 foram os que apresentaram valores mais discrepantes (entre 113,6 a 431,0 NMP/100 mL), enquanto os demais ficaram abaixo de 1,25 a 2,5 NMP/100 mL. Foi observado durante a saída de campo, nos P7 e P8,

presença de gado nas margens dos rios, área bastante utilizada para pastagens, que acaba influenciando no P1 localizado próximo a confluência desses rios.

Santos et al. (2017), ao realizar o estudo da qualidade da água e impactos sobre a lagoa do Parque Municipal Milton Prates, Montes Claros, MG, encontrou valor médio de aproximadamente 18,0 NMP/100mL de *E. coli*, que fazendo a conversão para coliformes termotolerantes tem-se o valor de 22,5 NMP/100mL. O autor atribui a presença de *E. coli* na lagoa às fezes dos animais domésticos e silvestres que circulam pelo local.

Os valores encontrados para o parâmetro pH foram na faixa de 6,85-7,06 na S1 e 6,21-7,55 na S2, tendo essa saída uma amplitude maior nos valores obtidos. Portanto, as águas da lagoa apresentam pH próximo a neutralidade, estando dentro dos limites estabelecidos pela legislação. Américo-Pinheiro et al. (2017) encontraram valores médios de 6,4 nos pontos referentes às duas lagoas situadas em área urbana no município de Três Lagoas, MS. Valores de pH distantes da neutralidade podem afetar a vida aquática, além disso, sua variação influencia o equilíbrio de compostos químicos (Von Sperling, 2005).

Com relação à demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}), os valores se encontram entre 2,0-5,0 mg L⁻¹ na S1, sendo o P1 o que apresentou o valor limite preconizado pela CONAMA n° 357/05 (5,0 mg L⁻¹). Na S2, os resultados variaram entre 1,0-4,0 mg L⁻¹. Os resultados obtidos na S1 apresentaram, em alguns pontos, valores maiores do que na S2, provavelmente pelo fato de que com o menor volume de chuvas, e consequentemente menor volume de água na LC, a matéria orgânica encontrava-se mais concentrada.

De qualquer forma, todos os pontos estavam dentro dos padrões preconizados pela legislação. Silva & Silva (2020) também encontraram valores de DBO em conformidade com a legislação (médias entre 1,09 e 1,10 mg L⁻¹) ao analisar a qualidade da água da Lagoa do Lourival situada no Parque Ambiental Lagoas do Norte, Teresina, PI.

Quanto a temperatura, não há limites estabelecidos pela legislação para esse parâmetro. Todavia, é importante analisá-la pois ela tem influência em diversos parâmetros físico-químicos, como o OD, por exemplo. A temperatura pode variar ao longo do dia e do ano, dependendo das estações (CETESB, 2017b).

Foi observado que na S2 (outubro) obteve-se valores mais baixos de temperatura comparando-se com a S1 (abril). Quanto aos pontos, na S2 observou-se que o P6, primeiro ponto a ser analisado, apresentou temperatura de 22,6°C, enquanto o P4, último ponto a ser analisado, apresentou temperatura de 24,5°C, demonstrando a influência do período do dia na variação da temperatura. O mesmo foi observado na S1, onde o P6 (primeiro ponto analisado) apresentou temperatura de 28,3°C, enquanto o P4 (último ponto) apresentou temperatura igual a 30,0°C.

O fósforo e o nitrogênio são macronutrientes fundamentais para os processos biológicos. Todavia, ambos em excesso podem levar a

eutrofização do corpo hídrico (Souza, 2015). O fósforo é encontrado em águas naturais principalmente pelo lançamento de efluentes domésticos, sendo as principais fontes os detergentes em pó e a matéria orgânica fecal. Além disso, as águas drenadas em áreas urbanas e agrícolas também podem contribuir no aumento da concentração de fósforo no corpo hídrico (CETESB, 2017b).

Os valores de fósforo total variaram entre 0,012 a 0,019 ppm na S1 e 0,005 a 0,023 ppm na S2, sendo que nesta última houve uma maior amplitude nos valores encontrados. Todos os pontos encontravam-se dentro do limite preconizado pela legislação. Ao contrário de Decker et al. (2018), que encontrou valores que ultrapassaram os limites aceitáveis para água doce/Classe 2 em todos os pontos e em todas as estações do ano, ao avaliar a qualidade da água da Lagoa dos Patos, Pelotas/RS, nas proximidades de uma tradicional comunidade de pescadores. Os autores atribuíram os altos valores ao despejo de esgotos domésticos sem tratamento e ao despejo de efluentes pelas unidades de beneficiamento de pescado da colônia de pescadores.

O parâmetro nitrato, expresso em mg de nitrogênio por litro, variou de 0,041 a 0,075 ppm na S1 e não detectado a 0,121 ppm na S2, estando todos os valores encontrados bem abaixo do valor máximo permitido pela Resolução CONAMA n° 357/05. Foi possível observar também que a S2 apresentou valores maiores comparados aos encontrados na S1 e que os maiores valores foram encontrados no ponto referente ao rio Imbé (P8) e nos pontos localizados no início da lagoa (P1, P2 e P3). Segundo CETESB (2017b), a principal fonte de nitrogênio nas águas é decorrente do lançamento de efluentes domésticos. O escoamento das águas pluviais pelos solos fertilizados também contribui para a presença de diversas formas de nitrogênio.

Como a região no entorno da lagoa e dos rios é caracterizada pelas atividades de pastagens e plantio, esse aumento pode ser proveniente da utilização de fertilizantes, que podem ter sido carregados para a lagoa com o aumento das chuvas. Silva & Silva (2020) também encontraram valores muito inferiores ao preconizado pela legislação ao analisar a qualidade da água da Lagoa do Lourival, Teresina, PI.

Quanto a turbidez, os valores variaram entre 6,57 e 13,63 UNT na S1 e 2,07 e 16,58 na S2. A maior amplitude dos valores também foi registrada na S2. Todos os resultados obtidos se encon-

travam dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 357/05. Resultados semelhantes foram encontrados por Santos et al. (2015) ao determinar parâmetros físico-químicos e microbiológicos da Lagoa do Açú, situada entre os municípios de Campos dos Goytacazes e São João da Barra, RJ. A alta turbidez pode intervir nas comunidades aquáticas, reduzindo a fotossíntese de algas e da vegetação enraizada submersa, e conseqüentemente, suprimir a produtividade de peixes (CETESB, 2017b).

Com relação ao parâmetro resíduo total, os resultados variaram de 30 a 124 mg L⁻¹ na S1 e 10 a 78 mg L⁻¹ na S2, sendo a maior variação encontrada na S1. Esse parâmetro não possui limite estabelecido pela legislação. Aguiar & Dias (2019) ao avaliar a qualidade da água da Lagoa dos Patos, inserida no Parque Municipal Milton Prates, Montes Claros/MG, encontraram valores variando entre 386 a 449 mg L⁻¹ de

sólidos totais, atribuindo à falta de arborização no entorno da lagoa, o solo exposto e as obras de engenharia adjacentes ao Parque Municipal.

Os sólidos podem ocasionar danos à vida aquática e aos peixes ao sedimentarem no leito dos rios e destruir organismos que fornecem alimentos, ou até mesmo danificar os leitos de desova dos peixes. Além disso, eles podem reter resíduos orgânicos e bactérias no fundo dos rios, causando decomposição anaeróbia (CETESB, 2017b).

Ao analisar o dendrograma (Figura 4) que mostra os resultados da análise estatística HCA, foi possível observar dois agrupamentos principais, um formado pela aproximação dos pontos da S1 (P2S1, P6S1, P4S1, P3S1 e P5S1) e o outro pelos pontos da S2 (P1S2, P2S2, P3S2, P4S2, P5S2 e P6S2), evidenciando uma provável interferência das chuvas no resultado. A maior similaridade encontrada foi entre os P5 e P6 da S2, onde foi obtido a menor distância euclidiana.

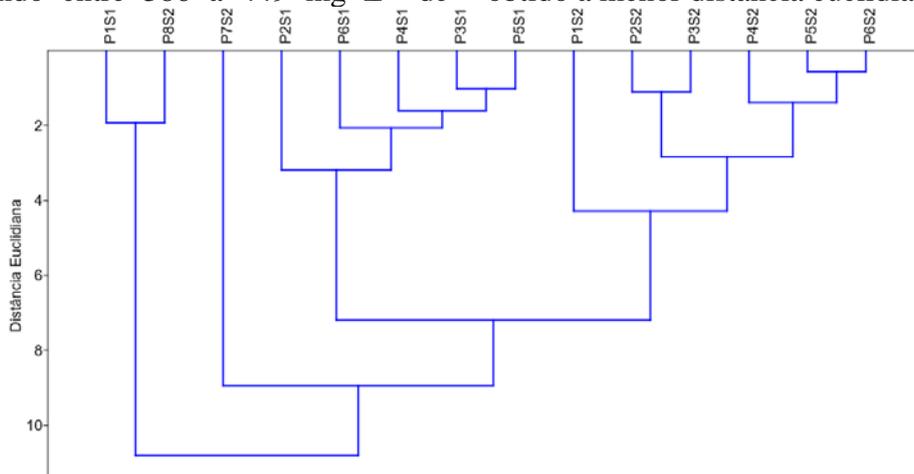


Figura 4 - Dendrograma obtido da análise de agrupamento hierárquico (HCA) para os pontos das saídas S1 e S2.

Foi possível observar ainda os pontos que se apresentaram mais isolados dos agrupamentos, ou seja, aqueles que se distinguem mais dos outros. Os pontos P1S1 e P8S2 foram os que mais se destacaram do restante, onde pode ser observado uma maior distância euclidiana, seguido do P7S2. Esses resultados corroboram o que já havia sido observado nas análises individuais dos parâmetros, onde esses pontos obtiveram valores maiores nos parâmetros coliformes termotolerantes e DBO_{5,20} e menores valores no OD.

Na análise de componentes principais (PCA), figura 5, foi possível extrair 3 componentes que melhor representam a variância total explicada por esta análise, explicando juntas 81,6% da variação total. A componente principal 1 (CP1) explica 36,9 % da variabilidade dos dados, onde os parâmetros fósforo total, turbidez, DBO e coliformes termotolerantes contribuem com valores

altos positivamente para essa componente. Já os parâmetros pH e OD contribuem com valores negativos.

A componente principal 2 (CP2) corresponde a 26,3 % da variação dos dados e os parâmetros que mais contribuíram positivamente foram o OD, nitrato e pH. As variáveis DBO, resíduo total e temperatura contribuíram negativamente. Já a componente principal 3 (CP3) explica 18,4 % da variabilidade dos dados e os parâmetros temperatura e resíduo total foram os que contribuíram com valores altos positivamente. As variáveis coliformes termotolerantes e nitrato contribuíram com valores negativos. Observa-se ainda que houve uma maior dispersão nos pontos P8S2, P1S1 e P7S2, estando esses destacados dos demais, e o agrupamento dos pontos da S1 e da S2. Comportamento parecido pode ser observado no dendrograma da figura 4.

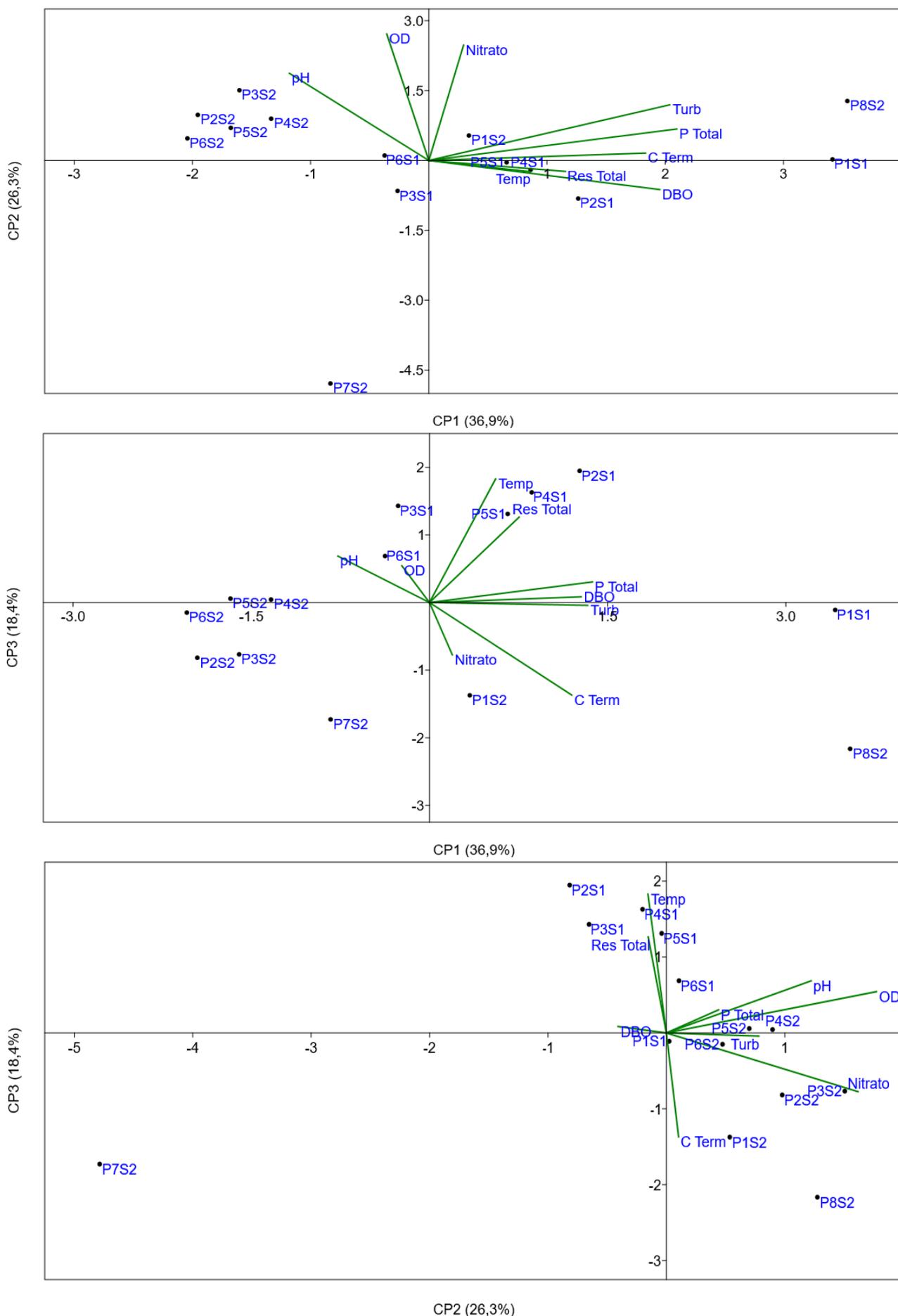


Figura 5 - Gráficos *biplot* obtidos na análise de componentes principais (PCA). Onde: Temp = temperatura, Res total = resíduo total, C. Term = coliformes termotolerantes, P Total = fósforo total e Turb =Turbidez.

Neste trabalho, calculou-se o IQA-NSF de duas formas, utilizando a fórmula da média ponderada e do produtório ponderado. Na tabela 7 encontram-se os resultados obtidos nas saídas

1 e 2. Comparando as fórmulas utilizadas, foi possível observar que a fórmula da média ponderada apresenta resultados melhores que a fórmula do produtório.

Tabela 7 - Resultados obtidos no cálculo do IQA-NSF através das médias e produtórios ponderados e sua classificação, referentes as saídas 1 (S1 – 16/04/2019) e 2 (S2 – 01/10/2019).

Saídas	Pontos	IQA Média	Classificação	IQA Produtório	Classificação
S1	P1	75	BOA	70	RAZOÁVEL
	P2	87	BOA	86	BOA
	P3	90	BOA	90	BOA
	P4	89	BOA	88	BOA
	P5	89	BOA	89	BOA
	P6	90	BOA	90	BOA
	P7	*	*	*	*
	P8	*	*	*	*
S2	P1	78	BOA	74	BOA
	P2	91	ÓTIMA	91	ÓTIMA
	P3	90	BOA	90	BOA
	P4	89	BOA	88	BOA
	P5	91	ÓTIMA	90	BOA
	P6	88	BOA	87	BOA
	P7	66	RAZOÁVEL	53	RAZOÁVEL
	P8	74	BOA	69	RAZOÁVEL

Onde: * Não foram coletadas amostras.

De modo geral, ao se comparar os pontos, verifica-se que o P7 foi o que apresentou a pior qualidade (“razoável”) e o P2 apresentou a melhor qualidade (“ótima” e “boa”), tanto utilizando a fórmula da média quanto a do produtório. Já ao se comparar as saídas, verifica-se que a S2 foi a que apresentou a melhor qualidade (entre “ótima” e “boa”), tendo dois pontos com qualidade “razoável”, enquanto a S1 apontou qualidade “boa” e um ponto qualidade “razoável”.

Cabe ressaltar que nos pontos da S2 que apresentaram qualidade “razoável” não foi possível fazer uma comparação adequada, pois não foram coletados na S1.

O maior volume de água devido às chuvas pode ter sido um fator contribuinte para a melhoria na qualidade da água, pois há uma maior dissolução

da carga de poluentes. Oliveira et al. (2017) observaram, ao avaliar o IQA do Rio Jaguaribe, Ceará, valores médios de IQA apresentando qualidade “boa” e não foi verificada diferença sazonal

Ao se fazer a análise individual dos parâmetros e o IQA-NSF, pode-se observar que os pontos que apresentaram pior qualidade foram os mesmos que apresentaram valores mais altos de coliformes termotolerantes e baixos valores de OD, parâmetros que tem maiores pesos no cálculo de IQA-NSF. No estudo desenvolvido por Viana et al. (2013) na lagoa do Taí, São João da Barra/RJ, foi apontado que as altas concentrações de *E. coli* foram também significativas para a diminuição da qualidade das águas, levando a baixos resultados do IQA.

CONCLUSÕES

O parâmetro oxigênio dissolvido apresentou valor fora dos padrões permitidos pela Resolução CONAMA nº 357/05 em um ponto (P7) na saída 2. Os resultados do IQA-NSF apontam que as águas da Lagoa de Cima, no geral, possuem qualidade “boa”, apresentando um ponto ou outro com qualidade “ótima” e “razoável”.

Foi possível observar que a fórmula do produtório ponderado apresenta, em alguns pontos, resultados com qualidade inferior a

fórmula da média, demonstrando assim, a sua sensibilidade ao efeito de um único parâmetro de baixo valor na qualidade da água.

Conclui-se, portanto, que o IQA-NSF constitui em uma ferramenta facilitadora na interpretação de resultados referentes a qualidade da água, porém a análise individual dos parâmetros que integram esse índice se faz necessária para compreender como cada um pode influenciar na vida aquática e na sua qualidade.

Este estudo demonstra a relevância do monitoramento contínuo da qualidade da água da Lagoa de Cima, formando um banco de dados disponíveis, que irão auxiliar na tomada de

decisões futuras a fim de promover a sua conservação e o uso sustentável dos seus recursos naturais, servindo como um instrumento de gestão ambiental.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Análises e Monitoramento das Águas (LabFoz) do Polo de Inovação Campos dos Goytacazes do Instituto Federal Fluminense (PICG/IFFluminense) por viabilizar a realização das análises das amostras.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, F.S. & DIAS, O.A. Avaliação da qualidade das águas da lagoa do Parque Municipal Milton Prates, Montes Claros (MG). *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, v. 8, n. 2, p. 198-212, 2019.
- AMÉRICO-PINHEIRO, J.H.P.; ISIQUE, W.D.; TORRES, N.H.; MACHADO, A.A.; CARVALHO, S.L.; VALÉRIO FILHO, W.V.; FERREIRA, L.F.R. Ocorrência de diclofenaco e naproxeno em água superficial no município de Três Lagoas (MS) e a influência da temperatura da água na detecção desses anti-inflamatórios. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 3, p. 429-435, 2017.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas**. Brasília: ANA, 2017. Disp. em: https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASeESGOTOSDespoluicaoDeBaciasHidrograficas-ResumoExecutivo_livro.pdf. Acessado em: 19nov2020.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013**. Brasília: ANA, 2013. Disp. em: http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/ANA_Conjuntura_Recursos_Hidricos_Brasil_2013_Final.pdf. Acessado em: 29set2020.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019**: informe anual. Brasília: ANA, 2019. Disp. em: <http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura-completo.bb39ac07.pdf>. Acessado em: 19dez2020.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Indicadores de qualidade – Índice de Qualidade das Águas (IQA)**. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-idade-aguas.aspx>. Acessado em: 29set2020.
- APHA – American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23rd Edition. New York: APHA, AWWA, WPCR, 2017.
- Bidegain, P.; Bizerril, C.; Soffiati, A. **Lagoas do Norte Fluminense - Perfil Ambiental**. Rio de Janeiro: Semads, 148 p., 2002.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; MIERZWA, J.C.; BARROS, M.T.L.; MILTON, S.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 318 p., 2005.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS Nº 888, de 04 de maio de 2021**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS: 24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018**. Brasília: SNS/MDR, 2019. Disp. em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2018/Diagnostico_AE2018.pdf. Acessado em: 19nov2020.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. **Resolução Nº 274, de 29 de novembro de 2000**. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. **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.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. **Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.
- BROWN, R.M.; McCLELLAND, N.I.; DEININGER, R.A.; TOZER, R.G. Water quality index-do we dare? *Water Sewage Works*, v. 117, n. 10. p. 339-343, 1970.
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**: Apêndice D – Índices de Qualidade das Águas, 2017a. Disp. em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-D-%C3%8Dndices-de-Qualidade-das-%C3%81guas.pdf>. Acessado em: 23set2018.
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**: Apêndice E – Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade, 2017b. Disp. em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-2016.pdf>. Acessado em: 26jun2019.
- COSTA, D.A.; AZEVEDO, J.P.S.; SANTOS, M.A.; ASSUMPTÃO, R.S.F.V. Water quality assessment based on multivariate statistics and water quality index of a strategic river in the Brazilian Atlantic Forest. *Scientific Reports*, v. 10, n. 1, p. 1-13, 2020.
- DECKER, A.; PACHECO, M.; QUADRO, M.; SOARES, H.; NADALETTI, W.; ANDREAZZA, R. Análise ambiental e qualidade da água da Lagoa dos Patos nas proximidades de uma tradicional comunidade de pescadores. *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, v. 7, n. 2, p. 105-123, 2018.
- 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.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados Meteorológicos - Estação automática**. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTYwNw==. Acessado em: 26fev2019.
- McCLELLAND, N. I. **Water quality index application in the Kansas River Basin**. Missouri: U. S. Environmental Protection Agency, 1974.
- MEDRONHA, G.A.; MILANI, I.C.B.; SOUZA, M.F.; BONCZYNSKI, R.; DÉCIO JÚNIOR, R.; SUZUKI, L.E.A.S.; PRÁ, M.D.; COLLARES, G.L. Avaliação da qualidade da água do canal São Gonçalo-RS através do índice de qualidade de água. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Bento Gonçalves, 2013. Anais...Bento Gonçalves: ABAS
- MOITA NETO, J.M. Estatística multivariada – Uma visão didática-metodológica. *Revista criticanarede.com*, ISSN 1749-8457, 2004.

- MOITA NETO, J.M. & MOITA, G.C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química nova**, v. 21, n. 4, p. 467-469, 1998.
- NONATO, E.A.; VIOLA, Z.G.G.; ALMEIDA, K.C.B.; SCHOR, H.H.R. Tratamento estatístico dos parâmetros da qualidade das águas da bacia do alto curso do Rio das Velhas. **Química Nova**, v. 30, n. 4, p. 797-804, 2007.
- NOORI, R.; BERNDTSSON, R.; HOSSEINZADEH, M.; ADAMOWSKI, J.F.; ABYANEH, M.R. A critical review on the application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index. **Environmental Pollution**, v. 244, p. 575-587, 2019.
- OLIVEIRA, L.D.M.; ROCHA, J.C.; BRANDÃO, M.G.A.; ARAÚJO, A.L.; SILVA, F.J.A. IQA do Rio Jaguaribe, Ceará. In: CONGRESSO ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL/FEIRA NACIONAL DE SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE. Monte Claros, 2017. **Anais...** Monte Claros: ABES, 2017.
- REZENDE, C.E.; OVALLE, A.; PEDROSA, P.; NASCIMENTO, M.; SUZUKI, M.; MIRANDA, C.; KRISTOSCHI, G. (Orgs). **Diagnóstico ambiental da área de proteção ambiental Lagoa de Cima**. Rio de Janeiro: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro: Centro de Biotecnologia e Biotecnologia: Laboratório de Ciências Ambientais. 148 p., 2006.
- RIBANI, M.; BOTTOLI, C.B.G.; COLLINS, C. H.; JARDIM, I.C.S.F.; MELO, L.F.C. Validação em métodos cromatográficos e eletroforéticos. **Química nova**, v. 27, n. 5, p. 771-780, 2004.
- SANTOS, K.P.; OLIVEIRA, V.P.S.; FREITAS, L.N.; BATISTA, S.L.G.; MENEZES, G.G. Determinação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da Lagoa do Açú, RJ. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 9, n. 2, p. 7-16, 2015.
- SANTOS, S.V.; TIAGO, J.P.F.; BRAGA, M.D. Estudo da qualidade da água e impactos sobre a lagoa do Parque Municipal Milton Prates, Montes Claros/MG. In: CONGRESSO ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL/FEIRA NACIONAL DE SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE, Monte Claros, 2017. **Anais...** Monte Claros: ABES, 2017.
- SILVA, H.B. & SILVA, C.E. Qualidade da água de um parque urbano em Teresina, PI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 5, p. 2371-2387, 2020.
- SOUZA, M.F. **Qualidade da água do canal São Gonçalo-RS/Brasil - uma avaliação hidroquímica considerando seus usos múltiplos**. Pelotas, 2015. 105 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas.
- VIANA, L.G.; DIAS, D.F.S.; OLIVEIRA, V.P.S.; MOREIRA, M.A.C. Índice de Qualidade da Água (IQA) da Lagoa do Taí, São João da Barra, RJ. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 7, n. 2, p. 199-219, 2013.
- VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 592 p., 2014.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 452 p., 2005.

Submetido em 8 de novembro de 2021

Aceito para publicação em 11 de outubro de 2022