

AVALIAÇÃO MULTIVARIADA DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E ÁGUA FINAL DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE BELÉM, PARÁ, BRASIL

Josélia Alves de Almeida Silva^a, Michelle de Souza Lemos^a, Neirivaldo Cavalcante da Silva^{a, b}, Kelly das Graças Fernandes Dantas^{a, b} e Heronides Adonias Dantas Filho^{a,*, b}

^aInstituto de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará, 66075-110 Belém – PA, Brasil

Recebido em 24/04/2023; aceito em 22/08/2023; publicado na web 19/01/2024

MULTIVARIATE ASSESSMENT OF SURFACE WATER QUALITY AND FINAL PUBLIC WATER SUPPLY IN BELÉM, PARÁ, BRAZIL. The present study investigated the sources of variability in the water quality of surface springs that supply the Metropolitan Region of Belém (Pará, Brazil), as well as the treated water produced by the main water treatment station in the region. Data provided by Companhia de Saneamento do Pará were used, referring to physical-chemical and bacteriological analyzes carried out in the period from 2010 to 2020. In addition, precipitation data were considered in this study, in units of mm of rain, obtained by consulting the database of the National Institute of Meteorology. The application of principal component analysis, as an exploratory data analysis tool, allowed the grouping of the most relevant parameters of the results and proved to be efficient in reducing the data set, explaining more than 65% of the total variance, in all objects of study. Thus, it was possible to observe a general profile of the quality of surface water investigated, and, in this way, demonstrate the impact of urban pressure on the environment, as well as the need for maintenance and conservation of surface water resources.

Keywords: water quality monitoring; multivariate analysis; principal component analysis.

INTRODUÇÃO

As águas superficiais, como córregos, rios, lagos, estuários e costas, constituem a principal fonte de abastecimento de água para consumo humano e produção industrial. Entretanto, a poluição dessas fontes aquáticas com produtos químicos tóxicos e nutrientes em excesso, resultante de atividades antrópicas e fatores naturais, tem ocasionado grande preocupação ambiental em todo o mundo.¹⁻³

A qualidade da água pode ser representada por diversos parâmetros que interpretam as suas principais características físicas, químicas e biológicas.⁴ Assim, devido às variações espaciais e temporais, é necessário que haja um programa de monitoramento capaz de fornecer uma estimativa representativa e confiável acerca dos parâmetros de qualidade da água.^{1,3,5} As águas superficiais devem atender aos padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).⁶

O município de Belém é a capital do estado do Pará, situado na Região Norte do Brasil. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019),⁷ o município de Belém apresenta uma população estimada de 1.492.745 pessoas e extensão territorial de 1.059,458 km² e encontra-se situado às margens da Baía do Guajará, que recebe contribuição hídrica dos rios Pará, Acará e Guamá.^{8,9} O Rio Guamá é responsável por suprir a maior parte da demanda hídrica dos mananciais que abastecem a Região Metropolitana de Belém, através de um sistema de bombeamento para os lagos Água Preta e Bolonha (Figura 1).⁸

A Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA) é uma sociedade de economia mista criada pelo governo do Estado do Pará, responsável pelo abastecimento de água e esgotamento sanitário no território paraense, situado na Região Norte do Brasil.¹⁰ Para atender a demanda da população da Região Metropolitana de Belém (RMB), a COSANPA utiliza cerca de 70% da água de mananciais superficiais e 30% de mananciais subterrâneos.^{11,12}

Abordagens multivariadas têm sido aplicadas com sucesso no

apoio à gestão dos recursos hídricos e na extração de informações significativas a partir das bases de dados de monitoramento ambiental.^{13,14}

A análise de componentes principais (PCA) é um método de estatística multivariada utilizada em diversos estudos de monitoramento ambiental e seu principal objetivo é a redução da dimensionalidade do conjunto de dados, preservando ao mesmo tempo o máximo de informação.^{15,16}

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a qualidade das águas superficiais que abastecem a Região Metropolitana de Belém, por meio da aplicação de técnicas de análise multivariada. E, desta maneira, fornecer subsídios importantes para o melhoramento da gestão hídrica, por meio da interpretação estatística multivariada de parâmetros físico-químicos, microbiológicos e variações sazonais e temporais de águas superficiais.

PARTE EXPERIMENTAL

Área de estudo

O objeto deste estudo são os mananciais superficiais que constituem a entrada de água bruta da estação de tratamento de água (ETA Bolonha), da Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA), localizado no município de Belém (Pará, Brasil). Estes mananciais compreendem o Rio Guamá, o Lago Água Preta e Lago Bolonha. O estudo também considerou a saída da estação de tratamento de água.

Coleta dos dados

Para consecução dos objetivos, foram utilizados os dados de monitoramento da qualidade da água, durante o período de 2010 a 2020, da entrada e saída da estação de tratamento de água (ETA Bolonha), dos mananciais que abastecem a Região Metropolitana de Belém (Pará, Brasil). Os dados foram disponibilizados pela Companhia de Saneamento do Pará, via termo de consentimento.

*e-mail: heronides@ufpa.br



Figura 1. Mananciais superficiais que abastecem a Região Metropolitana de Belém

Deste modo, o estudo utilizou os laudos de análises físico-químicas e bacteriológicas da água bruta e tratada da estação de tratamento de água da COSANPA e dos mananciais Lago Bolonha (captação), Lago Água Preta e Rio Guamá (captação). Contemplando os parâmetros físico-químicos: pH, turbidez, amônia, nitratos, nitritos, cloretos, ferro total, dureza total, alcalinidade, matéria orgânica e cloro residual livre (este último apenas para água tratada) e parâmetros bacteriológicos de coliformes totais e *Escherichia coli*.

As análises físico-químicas e bacteriológicas foram realizadas pelo próprio laboratório da instituição COSANPA - Unidade Executiva de Controle de Qualidade (UECQ), que conta com uma rotina de calibração periódica de seus equipamentos, bem como o controle de qualidade de seus insumos. As análises físico-químicas e bacteriológicas foram realizadas em conformidade com o *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*.^{17,18}

Os dados de precipitação, em unidade de mm de chuva, foram obtidos por meio de consulta ao banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET),¹⁹ cujo acesso é livre.

Análise dos dados

Os dados físico-químicos, bacteriológicos e de precipitação foram depositados num banco de dados da plataforma Microsoft Excel para aplicação da estatística descritiva. Na matriz de dados, as amostras representam as linhas e as variáveis representam as colunas. Após análise da matriz de dados, foram excluídas todas as linhas nas quais pelo menos um dos parâmetros avaliados não apresentava resultado ou estava abaixo do limite de detecção.

Na matriz de dados da água tratada (saída da ETA Bolonha), os parâmetros coliformes totais e *Escherichia coli* são qualitativos em termos de ausência ou presença. E ao longo de todo o período de estudo, os resultados foram ausência de coliformes totais e *Escherichia coli*. Tais parâmetros não foram considerados no banco de dados, por não se apresentarem em valores numéricos.

Devido à metodologia adotada pela empresa em questão, as análises de cada parâmetro de qualidade dos mananciais foram realizadas mensalmente. Assim, aplicou-se um código de quatro

dígitos para a nomenclatura das amostras. O código foi composto dos dois últimos algarismos do respectivo ano, quando a amostragem foi realizada; e de duas letras do respectivo mês da amostragem (janeiro: JR; fevereiro: FV; março: MC; abril: AB; maio: MY; junho: JN; julho: JL; agosto: AG; setembro: ST; outubro: OT; novembro: NV e dezembro: DZ). Por exemplo, a amostra coletada em janeiro de 2010, recebeu o código 10JR, e assim por diante.

A análise multivariada foi realizada através do *software* Matlab, versão 7.10.0.499 (R2010a), da MathWorks® (The Math Works, Inc),²⁰ com interface do pacote computacional PLS_Toolbox 8.7.1. (Eigenvector Research, Inc.). Durante a execução do programa, a matriz de dados experimentais foi pré-processada por autoescalonamento, no qual os dados finais ficaram com média igual a zero e desvio padrão igual a 1, eliminando assim, as influências das diferentes unidades de medidas dos parâmetros estudados. E posteriormente foi realizada a análise de componentes principais (PCA).

Os limites de confiança estimados para os escores foram calculados utilizando a distribuição *t* de Student, assumindo que os escores seguem uma distribuição normal. Para uma matriz de dados *X* centrada na média, a decomposição PCA resulta em componentes principais (PCs) com média zero e variância equivalente ao seu autovalor associado. Portanto, para a *i*-ésima PC e considerando um nível de confiança de $1-\alpha$, os limites para os escores foram calculados como $t_{i,\alpha} = \pm \sqrt{\lambda_i} * t_{m-1,\alpha/2}$, onde λ_i é o autovalor associado à *i*-ésima PC, *m* é o número de amostras e $t_{m-1,\alpha/2}$ é o valor de probabilidade na distribuição *t* unicaudal (para *m*-1 graus de liberdade e área $\alpha/2$).^{21,22}

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação da qualidade da água do Rio Guamá

A estatística descritiva da matriz de dados brutos do Rio Guamá está apresentada na Tabela 1S. A matriz de dados é composta por 87 linhas (amostras) e 12 colunas (variáveis).

Em geral, a média dos valores e a moda (valores que mais se repetiram) dos parâmetros analisados estão de acordo com os valores

mínimos e máximos permitidos (VMP) pelo CONAMA 357/2005,⁶ classe 2 (seção I- Das Águas Doces; classe 2 - águas que podem ser destinadas ao abastecimento humano, após tratamento convencional). Entretanto, o parâmetro *E. coli* apresentou média, moda e mediana acima do valor máximo permitido. Resultados semelhantes para esse parâmetro foram reportados pela Companhia Ambiental do estado de São Paulo,²³ em que a maioria dos mananciais do estado avaliados em 2020 apresentaram elevada concentração média de *E. coli*. De acordo com a CETESB,²³ tal fato sinaliza a contaminação por efluente doméstico, e, deste modo, indica a necessidade de maior articulação entre os setores envolvidos, a fim de intensificar a proteção dos mananciais e garantir a eficiência de remoções apropriadas nos sistemas de tratamento de esgotos.

Destaca-se que, atualmente, os três principais municípios da Região Metropolitana de Belém apresentam índices modestos²⁴ quanto ao atendimento total de esgoto, de cerca de 17,12% em Belém, 31,31% em Ananindeua e 10,49% em Marituba. Tais índices evidenciam a hipossuficiência do saneamento básico na região, e deste modo, podem possuir impacto direto na qualidade do Rio Guamá, principalmente no parâmetro *E. coli*.

Analisando-se o intervalo amostral, o parâmetro pH apresentou valor mínimo abaixo do VMP, enquanto os parâmetros turbidez e cloretos apresentaram valores máximos acima do VMP da respectiva legislação. Como os resultados de média e moda para tais parâmetros estão em conformidade com a legislação, esses valores abaixo e acima do VMP podem sinalizar uma intercorrência atípica.

Os estudos de Gutierrez *et al.*²⁵ reportam as ações antrópicas na Região Metropolitana de Belém em alguns anos compreendidos entre 1984 e 2015, e destacam a ocupação irregular e crescimento urbano, além da atividade do Aterro Sanitário do Aurá, em que a foz do Rio Aurá, cujas águas transportavam o lixiviado gerado pelo depósito de resíduos sólidos do aterro sanitário, situava-se a aproximadamente 200 m da captação de água bruta do Rio Guamá, o que pode refletir consideravelmente nas intercorrências de contaminação do Rio Guamá.

Avaliação da qualidade da água do Lago Água Preta

A Tabela 2S apresenta a estatística descritiva da matriz de dados brutos do Lago Água Preta. A matriz de dados é composta por 62 linhas (amostras) e 12 colunas (variáveis).

A média dos valores e a moda de todos os parâmetros analisados estão de acordo com os valores mínimos e máximos permitidos (VMP) pelo CONAMA 357/2005,⁶ para águas doces de classe 2. Entretanto, avaliando-se o intervalo amostral, o parâmetro pH apresentou valor mínimo abaixo do VMP e o parâmetro *E. coli* apresentou valor máximo acima do VMP da respectiva legislação. Assim, análogo ao discutido para o Rio Guamá, como os resultados de média e moda para tais parâmetros estão em conformidade com a legislação, os valores fora do VMP podem sinalizar um evento atípico de contaminação que ocasionou a diminuição do pH e elevação do parâmetro *E. coli*.

Ressalta-se que a ocupação do entorno dos lagos Água Preta e Bolonha não foi acompanhada pela expansão dos serviços de infraestrutura. A maior parte do esgotamento sanitário é coletado em fossas sépticas, colocando em risco de contaminação o lençol freático que abastece poços escavados, outra parte, segue em direção aos lagos.²⁶

Entretanto, em geral, pode-se considerar que o Lago Água Preta possui, no período avaliado, qualidade compatível para o abastecimento humano após tratamento convencional, conforme preconiza a Resolução CONAMA 357/2005.⁶

Avaliação da qualidade da água do Lago Bolonha

A estatística descritiva da matriz de dados brutos do Lago Bolonha está apresentada na Tabela 3S. A matriz de dados é composta por 86 linhas (amostras) e 12 colunas (variáveis).

O Lago Bolonha apresentou perfil semelhante ao Lago Água Preta, no qual a média dos valores e a moda de todos os parâmetros analisados estão de acordo com os valores mínimos e máximos permitidos pelo CONAMA 357/2005 para águas doces de classe 2.⁶ E, no intervalo amostral, o parâmetro pH apresentou valor mínimo abaixo do VMP e o parâmetro *E. coli* apresentou valor máximo acima do VMP. Assim, tal como para o Lago Água Preta, eventos atípicos de contaminação podem ter ocorrido no período avaliado, entretanto, não invalidam a qualidade da água para abastecimento humano após tratamento convencional.

Avaliação da qualidade da água de entrada da ETA Bolonha

A estatística descritiva da matriz de dados brutos da entrada da ETA Bolonha (água bruta) está apresentada na Tabela 4S. A matriz de dados é composta por 81 linhas (amostras) e 12 colunas (variáveis).

Seguindo o perfil dos lagos que a abastecem (Água Preta e Bolonha), a água avaliada na entrada da ETA possui a média dos valores e a moda de todos os parâmetros analisados dentro do VMP do CONAMA 357/2005 para águas doces de classe 2,⁶ em que, no intervalo amostral o parâmetro pH apresentou valor mínimo abaixo do VMP e o parâmetro *E. coli* apresentou valor máximo acima do VMP da legislação. Assim, mesmo com a sinalização dos eventos atípicos de contaminação no período investigado, a água de entrada da ETA pode ser considerada adequada para sua finalidade.

Avaliação da qualidade da água de saída da ETA Bolonha

A estatística descritiva da matriz de dados brutos da saída da ETA Bolonha (água tratada) está apresentada na Tabela 5S. A matriz de dados é composta por 87 linhas (amostras) e 11 colunas (variáveis).

A média dos valores e a moda de todos os parâmetros analisados estão de acordo com os valores máximos permitidos (VMP) pelo Anexo XX, da Portaria de Consolidação nº 5/2017, alterado pela Portaria GM/MS Nº 888/2021 - que dispõe da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.²⁷ No entanto, analisando-se o intervalo amostral, os parâmetros cor e turbidez apresentaram valores máximos acima do VMP da respectiva portaria. Caracteriza-se, deste modo, uma provável intercorrência atípica, uma vez que a média e moda desses parâmetros apresentam-se dentro dos padrões de potabilidade. A presença de cor na água, de acordo com Von Sperling,²⁸ pode advir de metais como ferro e manganês. Após o tratamento, tais metais podem ser oriundos da provável decomposição de tanques e tubulações, assim como outros sólidos em suspensão que colaboram para a elevação da turbidez na água.

De maneira geral, pode-se considerar a qualidade da água tratada deste estudo como adequada ao consumo humano, destacando a eficiência do sistema de tratamento considerado, uma vez que foi capaz de remover a contaminação de *E. coli*, que mais se destacou no Rio Guamá, lagos e água de entrada da ETA, além de ajustar os demais parâmetros considerados. Porém, as pesquisas e o monitoramento dos parâmetros de qualidade da água ainda devem ser constantes, e cada evento atípico ajustado com a maior agilidade possível, seja para a ETA ou rios que a compõem, pois, conforme destaca Von Sperling,²⁸ o controle de qualidade da água está associado a nível de toda a bacia hidrográfica.

Análise por componentes principais

Para a escolha do número de componentes principais, adotou-se o critério de Kaiser, selecionando-se apenas as componentes principais com valores próprios maiores do que uma unidade (autovalor > 1).²⁹⁻³¹ Tal técnica equivale ao “critério da raiz latente”, que segundo Hair *et al.*³² “apenas os fatores que têm raízes latentes ou autovalores maiores que 1 são consideradas significantes”.

A análise de componentes principais realizada na matriz de dados de qualidade dos mananciais, entrada e saída da ETA, possui cada amostra representada por um vetor-linha e cada variável por um vetor-coluna. Os resultados dos modelos de PCA são apresentados na Figura 2.

A PCA é um método de projeção de dados, obtendo-se como resultado um novo conjunto de variáveis (eixos), que são as componentes principais (também conhecidas na literatura como fatores). Esta projeção é feita por uma transformação linear, onde as relações entre as amostras não são alteradas.²¹ Adicionalmente, a variabilidade total presente nas variáveis originais é igual a variabilidade total presente nas componentes principais.^{30,33}

Rio Guamá

A análise de componentes principais (PCA) realizada na matriz de dados de qualidade do Rio Guamá envolveu 87 amostras e 12 variáveis. Adotando-se o critério de Kaiser,²⁹ a PCA apresentou cinco componentes principais mais importantes, totalizando 72,98% da variância total dos dados.

Verifica-se que a componente principal 1 (PC 1) explica a maior variância dos dados, a componente principal 2 (PC 2) explica a segunda maior variância e assim por diante. Desse modo, a avaliação do comportamento dos dados se dá por gráficos PC 1 versus PC 2 e/ou PC 3 e, seguidamente da conjugação da PC 1 com as demais, a fim de se obter a explicação dos dados.¹⁵

Observando-se o gráfico de escores de PC 1 versus PC 2 (Figura 3a) nota-se uma maior distribuição de escores ao longo do eixo de PC 1, cuja variabilidade dos dados é maior em percentagem. Em ambas componentes há a presença de amostras com comportamento distinto (atípico), essa detecção é possível, pois, com a projeção dos dados, elas tendem a ser tornar evidentes.²¹

A Tabela 1 apresenta os valores dos pesos das variáveis em cada componente.

Hair *et al.*³² classificam a significância das pesos fatoriais como: pesos com valores entre $\pm 0,3$ a $\pm 0,4$ são consideradas como atendendo o nível mínimo para interpretação da estrutura; pesos de $\pm 0,5$ ou maiores são consideradas como praticamente significantes; e pesos excedendo $\pm 0,7$ são consideradas indicativas de estrutura bem definida.

Verifica-se que as variáveis com pesos minimamente aceitáveis (entre $\pm 0,3$ a $\pm 0,4$) para a componente 1 são nitrato, alcalinidade, amônia, matéria orgânica e turbidez. Essas variáveis influenciam, respectivamente, na direção positiva de PC 1, implicando que quanto mais positivos forem os escores de PC 1, maiores os seus valores e *vice-versa*.

Para a PC 2, a Tabela 1 mostra que as variáveis cloreto e dureza,

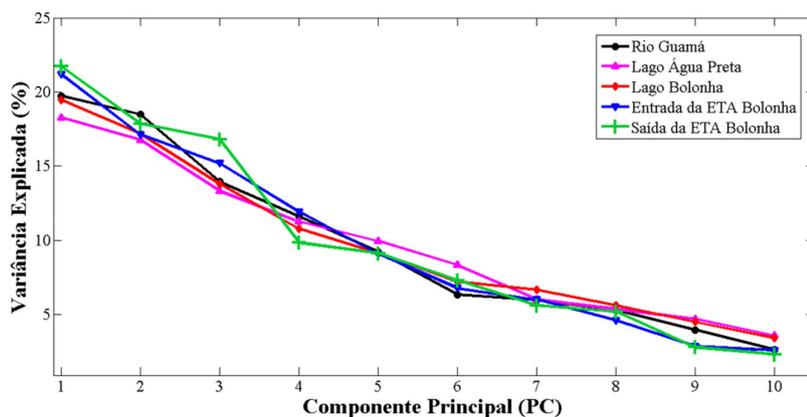


Figura 2. Gráfico de variância explicada vs. número de componentes principais para os modelos de PCA

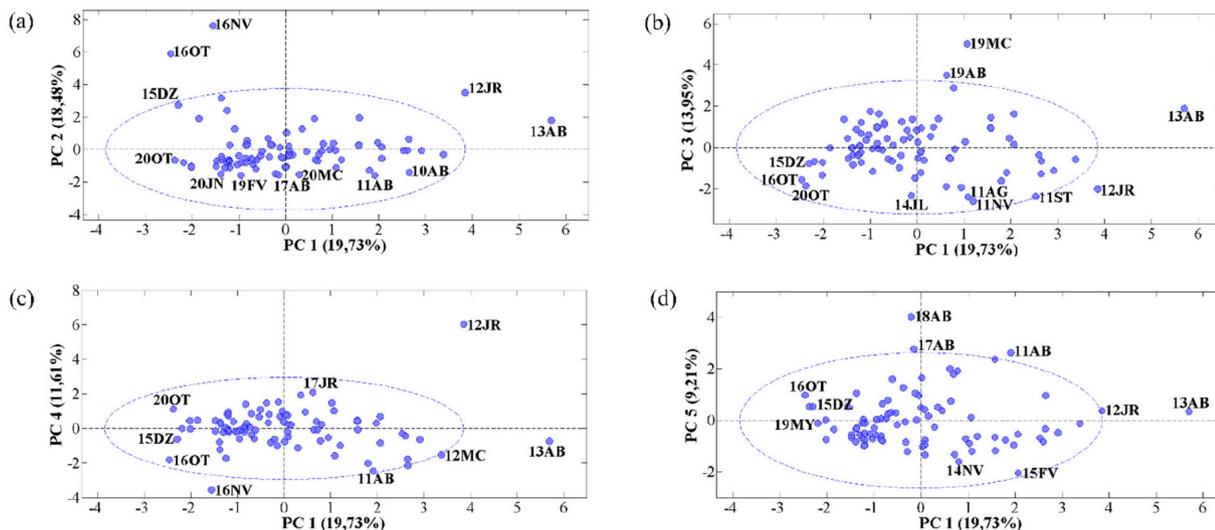


Figura 3. Gráfico de escores do Rio Guamá: (a) PC 1 vs. PC 2; (b) PC 1 vs. PC 3; (c) PC 1 vs. PC 4 e (d) PC 1 vs. PC 5

Tabela 1. Valores dos pesos das variáveis do Rio Guamá

Variável	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5
pH	0,29	0,24	-0,33	0,20	-0,02
Cor	0,16	0,11	0,65	0,08	0,10
Turbidez	0,32	0,28	0,28	0,34	-0,29
Alcalinidade	0,42	-0,10	-0,25	-0,26	0,11
Cloretos	-0,19	0,58	0,00	-0,30	0,03
Dureza	-0,16	0,57	0,05	-0,32	0,14
Matéria orgânica	0,37	0,02	0,35	0,07	0,28
Amônia	0,42	-0,12	-0,12	-0,26	-0,15
Nitrato	0,42	0,24	-0,22	-0,23	-0,04
Coliforme total	0,16	0,24	-0,20	0,53	0,19
<i>E. coli</i>	-0,18	0,12	-0,30	0,37	0,38
Chuva	0,10	-0,16	0,08	-0,17	0,77

respectivamente, influenciam de maneira significativa (pesos de $\pm 0,5$ ou maiores) na direção positiva de PC 2. Por esta razão, pode-se inferir que as amostras 16NV (coletada em novembro de 2016) e 16OT (coletada em outubro de 2016) apresentam um valor acentuado de cloreto e dureza, e que tal situação, possivelmente, esteja associada a algum tipo de influência antrópica. De acordo com Von Sperling,²⁸ a origem antropogênica da presença de dureza e cloreto pode se dar por despejos industriais, e este último pode ser influenciado também por despejos domésticos e por águas utilizadas em irrigação.

Analisando de forma conjunta os gráficos dos escores PC 1 versus PC 3 (Figura 3b) e os pesos de PC 3 (Tabela 1), observa-se que a PC 3 corresponde a 13,95% da variância e que a direção positiva dos seus escores foi moderadamente contribuída pela variável cor (carga entre 0,5-0,7) e fracamente contribuída pela variável matéria orgânica (carga entre 0,3-0,5). Já a direção negativa dos escores de PC 3 foi fracamente influenciada pelas variáveis pH e *E. coli*, respectivamente.

Analisando de forma conjunta os gráficos dos escores PC 1 versus PC 4 (Figura 3c) e os pesos de PC 4 (Tabela 1), observa-se que a PC 4 corresponde a 11,61% da variância e que a direção dos seus escores foi moderadamente contribuída pela variável coliforme total, enquanto que foi fracamente contribuída por *E. coli*, turbidez, dureza (negativo) e cloretos (negativo).

Através da análise conjunta dos gráficos dos escores PC 1 versus PC 5 (Figura 3d) e os pesos de PC 5 (Tabela 1),

observa-se que a PC 5 corresponde a 9,21% da variância dos dados e que a variável *E. coli* contribuiu, fracamente, na direção dessa componente. Em contrapartida, a PC 5 tem uma forte carga positiva na variável chuva, implicando dizer que os maiores escores desse eixo, são os mais afetados pelo fator sazonal. Sendo assim, as amostras 18AB, 17AB e 11AB (coletadas em abril) se posicionaram distantes das demais, por apresentarem os maiores valores de precipitação pluviométrica. De acordo com Medeiros *et al.*,³⁴ que avaliaram a qualidade das águas superficiais de rios amazônicos em áreas industriais do Pará (Brasil), os períodos sazonais são definidos como período chuvoso de janeiro a junho e período seco nos demais meses do ano. Segundo tais autores, a qualidade dos mananciais varia de acordo com a precipitação pluviométrica, devido provavelmente à diluição da água e lixiviação do material orgânico da superfície.

Lago Água Preta

A análise de componentes principais realizada na matriz de dados de qualidade do Lago Água Preta envolveu 62 amostras e 12 variáveis. O resultado do modelo de PCA encontra-se na Figura 2. Por meio do critério de Kaiser,²⁹ a PCA apresentou cinco componentes principais mais relevantes totalizando 68,76% da variância total dos dados.

Observando o gráfico de escores de PC 1 versus PC 2 (Figura 4a), nota-se uma maior distribuição de escores ao longo do eixo de PC 1. Ambas componentes possuem amostras atípicas, se posicionando distante das demais.

A Tabela 2 apresenta os valores dos pesos das variáveis em cada componente principal do Lago Água Preta.

A partir da análise da Tabela 2, verifica-se que a direção negativa dos escores de PC 1 foi fracamente influenciada pelas variáveis cor e matéria orgânica, respectivamente. Em contraste, a direção positiva dessa componente é influenciada pelas variáveis dureza e cloreto, com contribuição de fraca à moderada, respectivamente. Como mencionado anteriormente, valores acentuados de cloreto e dureza podem ser oriundos de fontes antrópicas.

Segundo Oliveira *et al.*,⁸ o Lago Água Preta possui pontos suscetíveis à influência antrópica, devido à proximidade de duas ramificações do lago aos bairros Águas Lindas e aos bairros Castanheira e Guanabara.

Para a PC 2, observa-se na Tabela 2 que a direção positiva dessa componente é moderadamente influenciada pela variável turbidez e fracamente por *E. coli*, cloretos, dureza e cor, respectivamente.

Analisando de forma conjunta o gráfico dos escores PC 1 versus PC 3 (Figura 4b) e os pesos de PC 3 (Tabela 2), observa-se

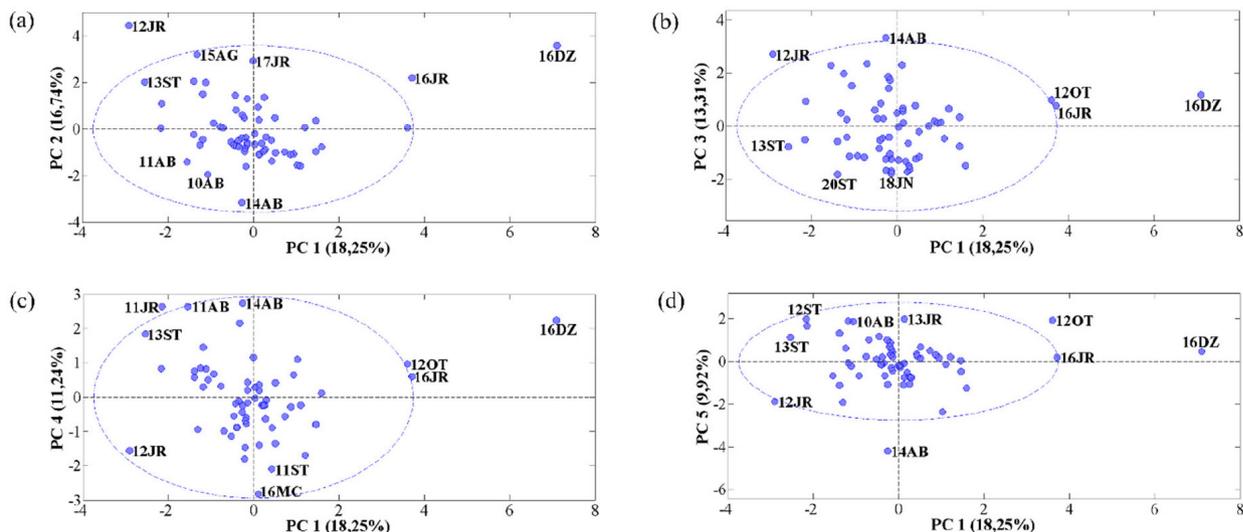


Figura 4. Gráfico de escores do Lago Água Preta: (a) PC 1 vs. PC 2; (b) PC 1 vs. PC 3; (c) PC 1 vs. PC 4 e (d) PC 1 vs. PC 5

Tabela 2. Valores dos pesos das variáveis do Lago Água Preta

Variável	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5
pH	-0,29	0,14	0,52	-0,16	0,08
Cor	-0,42	0,32	-0,20	0,33	-0,16
Turbidez	-0,24	0,53	-0,22	0,27	-0,02
Alcalinidade	-0,07	-0,22	0,37	0,28	-0,36
Cloretos	0,51	0,34	0,16	0,21	0,15
Dureza	0,49	0,33	0,18	0,28	0,05
Matéria orgânica	-0,31	-0,04	0,10	0,03	0,45
Amônia	-0,05	0,20	0,08	-0,09	0,35
Nitrato	-0,21	-0,06	0,40	0,32	0,44
Coliforme total	0,03	0,23	0,43	-0,48	-0,21
<i>E. coli</i>	-0,19	0,40	0,12	-0,16	-0,39
Chuva	-0,02	-0,25	0,27	0,47	-0,33

que a PC 3 corresponde a 13,31% da variância e que a direção positiva dos seus escores foi moderadamente contribuída pela variável pH e fracamente contribuída pelas variáveis coliforme total, nitrato e alcalinidade, respectivamente.

Resultados semelhantes foram obtidos por Gutierrez *et al.*,²⁵ que na PCA do Lago Água Preta, associaram os maiores pesos em cor e matéria orgânica para a PC 1; cloretos, dureza total e turbidez para a PC 2; nitrato e alcalinidade para a PC 3, dentre outras.

Analisando de forma conjunta o gráfico dos escores PC 1 *versus* PC 4 (Figura 4c) e os valores dos pesos de PC 4 (Tabela 2), nota-se que a PC 4 correspondeu a 11,24% de variância dos dados e que a direção dos seus escores foi fracamente contribuída pelas variáveis coliforme total (negativo), chuva, cor e nitrato, respectivamente.

Através da análise conjunta do gráfico de escores de PC 5 (Figura 4d) e tabela dos pesos de PC 5 (Tabela 2), nota-se que essa componente representou 9,92% de variância dos dados e que a direção dos seus escores foi fracamente contribuída pelas variáveis matéria orgânica, nitrato, *E. coli* (negativo), alcalinidade (negativo), amônia e chuva (negativo), respectivamente.

Lago Bolonha

A análise de componentes principais realizada na matriz de dados de qualidade do Lago Bolonha envolveu 86 amostras e 12 variáveis. De acordo com o critério de Kaiser,²⁹ as cinco componentes principais

iniciais foram as mais importantes. Essas PCs totalizam 70,25% da variância total dos dados.

Observando o gráfico de escores de PC 1 *versus* PC 2 (Figura 5a), nota-se uma maior distribuição de escores ao longo do eixo de PC 1, em que ambas componentes possuem amostras atípicas.

A Tabela 3 apresenta os valores dos pesos das variáveis em cada componente principal do Lago Bolonha.

Tabela 3. Valores dos pesos das variáveis do Lago Bolonha

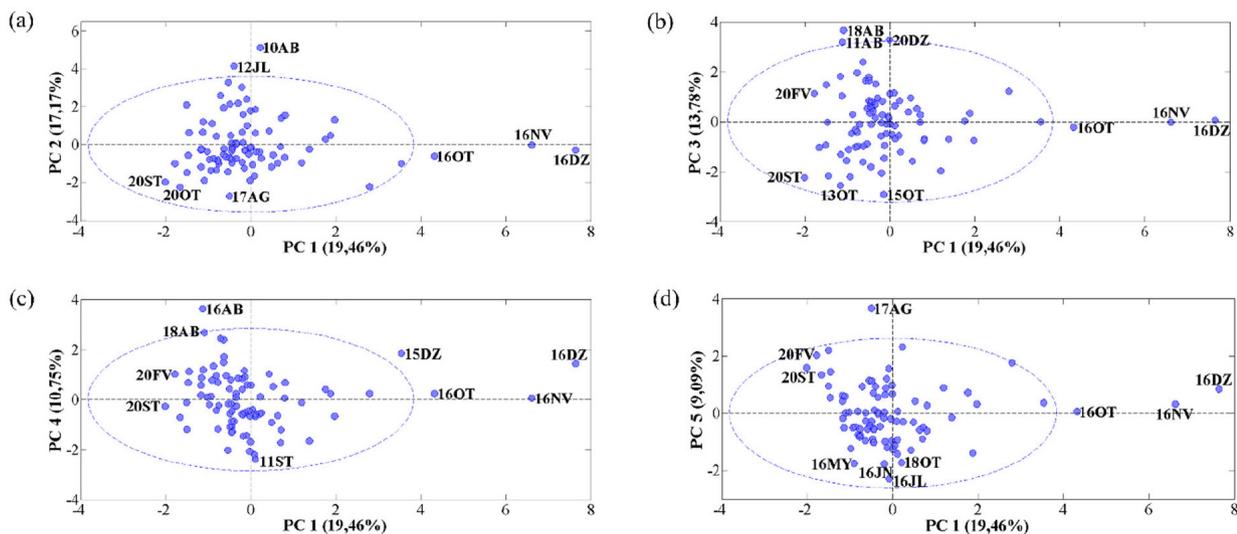
Variável	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5
pH	-0,10	0,42	-0,02	0,25	-0,04
Cor	-0,40	-0,23	-0,24	0,37	0,31
Turbidez	-0,18	-0,23	-0,55	0,17	0,38
Alcalinidade	-0,13	0,47	0,16	-0,15	0,25
Cloretos	0,61	-0,06	-0,11	0,09	0,16
Dureza	0,57	-0,03	0,00	0,24	0,21
Matéria orgânica	-0,14	0,30	0,10	0,45	-0,06
Amônia	-0,13	0,01	0,14	-0,51	0,54
Nitrato	0,10	0,49	-0,04	0,05	0,43
Coliforme total	0,09	-0,26	0,38	0,17	0,38
<i>E. coli</i>	-0,14	-0,30	0,43	-0,07	0,09
Chuva	-0,10	-0,07	0,49	0,44	0,05

A partir da análise da Tabela 3, verifica-se que a direção dos escores de PC 1 foi fracamente influenciada pela variável cor (negativo) e moderadamente influenciada pelas variáveis cloretos e dureza, respectivamente.

Para a PC 2, observa-se na Tabela 3 que a direção dos escores dessa componente é fracamente influenciada pelas variáveis alcalinidade, pH, matéria orgânica e *E. coli* (negativo), respectivamente. Em contrapartida, a PC 2 tem uma carga maior na variável nitrato (quase moderada), podendo indicar um estágio de poluição remota.⁴ De acordo com Muniz *et al.*,³⁵ a poluição por nitrato sugere o impacto do uso de fertilizantes e atividades agrícolas.

Resultados semelhantes foram obtidos por Gutierrez *et al.*,²⁵ que na PCA do Lago Bolonha, associaram os maiores pesos em dureza total e cloretos para a PC 1 e pH para a PC 2, dentre outras.

Analisando de forma conjunta o gráfico dos escores PC 1 *versus* PC 3 (Figura 5b) e o valores de pesos de PC 3 (Tabela 3), observa-se que a PC 3 corresponde a 13,78% da variância e que a

**Figura 5.** Gráfico de escores do Lago Bolonha: (a) PC 1 vs. PC 2; (b) PC 1 vs. PC 3; (c) PC 1 vs. PC 4 e (d) PC 1 vs. PC 5

direção positiva dos seus escores é fracamente influenciada pelas variáveis *E. coli* e coliforme total, respectivamente.

Em contrapartida, a PC 3 apresenta maiores pesos nas variáveis turbidez (negativa) e chuva, respectivamente. No estudo de Medeiros *et al.*,³⁴ os autores associaram o período chuvoso ao fenômeno de diluição da água, com conseqüente impacto na turbidez.

Analisando de forma conjunta o gráfico dos escores PC 1 versus PC 4 (Figura 5c) e os valores de pesos de PC 4 (Tabela 3), nota-se que a PC 4 correspondeu a 10,75% da variância e que a direção positiva dos seus escores foi moderadamente contribuída pela variável amônia (negativo) e fracamente contribuída pelas variáveis matéria orgânica, chuva e cor respectivamente.

Através da análise conjunta dos escores e pesos de PC 5 (Figura 5d e Tabela 3, respectivamente), observa-se que essa componente correspondeu a 9,09% da variância dos dados e direção positiva dos seus escores foi moderadamente contribuída pela variável amônia e fracamente contribuída pelas variáveis nitrato, turbidez, coliforme total e cor, respectivamente.

Entrada da ETA Bolonha

A análise de componentes principais realizada na matriz de dados de qualidade da entrada da ETA Bolonha envolveu 81 amostras e 12 variáveis. Assim, a PCA evidenciou cinco componentes principais iniciais mais importantes segundo o critério de Kaiser.²⁹ Essas PCs correspondem a 73,10% da variância total dos dados.

Observando o gráfico de escores de PC 1 versus PC 2 (Figura 6a), nota-se uma maior distribuição de escores ao longo do eixo de PC 1. E que as duas componentes possuem amostras atípicas.

A Tabela 4 apresenta os valores dos pesos das variáveis em cada componente principal da entrada da ETA Bolonha.

A partir da análise da Tabela 4, observa-se que a direção dos escores de PC 1 é fracamente influenciada pelas variáveis cor (negativo) e amônia (negativo), respectivamente.

Em compensação, a PC 1 tem pesos moderadas em cloreto e dureza, respectivamente. Por esta razão, pode-se inferir que as amostras 16DZ, 16NV e 16OT apresentam um valor acentuado de cloreto e dureza, e que tal situação, provavelmente, esteja associada a algum tipo de influência antrópica. Destaca-se que essas variáveis também contribuíram, de forma moderada, na PC 2 do Rio Guamá, tendo os pontos 16NV e 16DZ como atípicos. Sinalizando, deste modo, que a poluição por cloreto e dureza, no período citado, afetou de maneira significativa os mananciais da rede, uma vez que se apresentou em diferentes pontos de coleta.

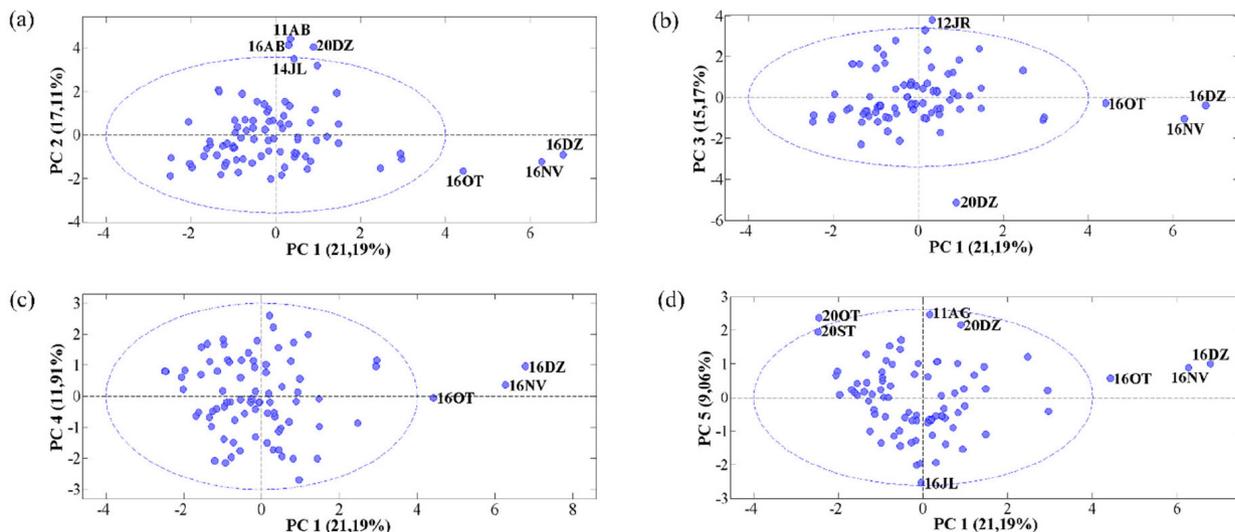


Figura 6. Gráfico de escores da entrada da ETA Bolonha: (a) PC 1 vs. PC 2; (b) PC 1 vs. PC 3; (c) PC 1 vs. PC 4 e (d) PC 1 vs. PC 5

Tabela 4. Valores dos pesos das variáveis da entrada da ETA Bolonha

Variável	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5
pH	0,10	0,33	0,39	0,12	-0,34
Cor	-0,40	0,11	0,11	0,53	0,09
Turbidez	-0,18	-0,17	0,16	0,67	0,25
Alcalinidade	-0,01	0,31	0,47	-0,24	0,41
Cloretos	0,53	-0,21	-0,07	0,19	0,20
Dureza	0,50	-0,08	-0,04	0,19	-0,01
Matéria orgânica	-0,06	0,33	0,20	0,09	-0,38
Amônia	-0,34	0,01	-0,20	-0,22	0,50
Nitrato	0,29	0,11	0,48	-0,07	0,40
Coliforme total	0,25	0,40	-0,32	0,25	0,17
<i>E. coli</i>	0,04	0,47	-0,37	0,07	0,16
Chuva	0,02	0,44	-0,20	0,00	-0,01

Verifica-se na Tabela 4, que a direção dos escores de PC 2 foi fracamente influenciada pelas variáveis *E. coli*, chuva, coliforme total, pH, matéria orgânica e alcalinidade, respectivamente.

Através da análise conjunta dos escores e pesos de PC 3 (Figura 6b e Tabela 4, respectivamente), nota-se que essa componente correspondeu a 15,17% da variância dos dados e que a direção dos seus escores foi fracamente contribuída pelas variáveis nitrato, alcalinidade, pH, *E. coli* (negativo) e coliforme total (negativo), respectivamente. Deste modo, espera-se que o ponto atípico 20DZ (extremo negativo de PC 3) apresente os maiores valores para *E. coli* e coliforme total e os menores valores para nitrato, alcalinidade e pH.

A partir da análise conjunta dos escores e pesos de PC 4 (Figura 6c e Tabela 4, respectivamente), observa-se que essa componente correspondeu a 11,91% da variância dos dados e que praticamente, não há pontos atípicos ao longo desse eixo. Observa-se também que seus escores são influenciados, de forma moderada, pelas variáveis turbidez e cor, respectivamente. A turbidez é representada por sólidos em suspensão, que podem servir de abrigo para microrganismos patogênicos, diminuindo a eficiência da desinfecção. Também é utilizada com frequência no controle da operação das estações de tratamento de água, em que valores de turbidez da água bruta inferiores à 20 uT (unidade de turbidez) podem ser dirigidas diretamente à filtração lenta, dispensando a etapa de coagulação química; valores acima de 50 uT necessitam de uma etapa anterior à filtração, que pode ser a coagulação química ou pré-filtro grosseiro.²⁸

A cor, por sua vez, também interfere em termos de tratamento de água, à medida que valores de cor da água bruta inferiores a 5 uC (unidade de cor) usualmente dispensam a etapa de coagulação química; valores acima de 25 uC usualmente necessitam da coagulação química seguida de filtração e águas com cor alevada implicam em maior cautela operacional no tratamento de água. Vale ressaltar que a cloração da água contendo a matéria orgânica dissolvida responsável pela cor pode gerar potencialmente compostos carcinogênicos (trihalometanos, ex: clorofórmio).²⁸

Através da análise conjunta dos gráficos dos escores PC 1 versus PC 5 (Figura 6d) e os valores de pesos de PC 5 (Tabela 4), observa-se que a PC 5 corresponde a 9,06% da variância dos dados e que as variáveis alcalinidade, nitrato, matéria orgânica (negativo) e pH (negativo) contribuem, fracamente, na direção dessa componente. Em contrapartida, a PC 5 tem uma carga moderada na variável amônia. Um teor acentuado de amônia pode indicar o processo de eutrofização aquática ou um estágio de poluição recente.⁴

Saída da ETA Bolonha

A análise de componentes principais realizada na matriz de dados de qualidade da saída da ETA Bolonha envolveu 87 amostras e 11 variáveis. Deste modo, a PCA evidenciou quatro componentes principais iniciais mais importantes pelo critério de Kaiser.²⁹ Essas PCs representam 66,22% da variância total dos dados.

Observando o gráfico de escores de PC 1 versus PC 2 (Figura 7a), nota-se uma maior distribuição de escores ao longo do eixo de PC 1. As amostras com comportamento distinto das demais posicionam-se nos extremos de cada PC.

A Tabela 5 apresenta os valores dos pesos das variáveis em cada componente principal da saída da ETA Bolonha.

A partir da análise dos pesos de PC 1 (Tabela 5), observa-se que a direção dos escores de PC 1 é fracamente influenciada pelas variáveis alcalinidade, cloretos (negativo) e dureza (negativo), respectivamente. Em compensação, a variável amônia contribui, de forma moderada, na direção positiva dos escores de PC 1. Por esta razão, espera-se que as amostras atípicas 17ST e 16DZ apresentem, respectivamente, o maior e menor valor de amônia.

Verifica-se na Tabela 5, que a direção dos escores de PC 2 foi fracamente influenciada pela variável cloro residual livre (negativo). Em contrapartida, a PC 2 tem carga moderada nos parâmetros cor e turbidez, respectivamente. Por esta razão, espera-se que as amostra atípica 19MC apresente os maiores valores em cor e turbidez.

Observando o gráfico de escores de PC 1 versus PC 3 (Figura 7b),

Tabela 5. Valores dos pesos das variáveis da saída da ETA Bolonha

Variável	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4
pH	0,25	0,20	0,28	0,20
Cor	0,07	0,59	-0,13	-0,29
Turbidez	0,12	0,57	-0,26	0,09
Alcalinidade	0,42	-0,01	0,31	-0,09
Cloretos	-0,38	0,17	0,48	0,22
Dureza	-0,33	0,22	0,48	0,24
Matéria orgânica	0,29	0,20	-0,05	0,66
Amônia	0,51	0,03	0,26	-0,13
Nitrato	0,22	-0,11	0,44	-0,32
Cloro	0,24	-0,37	-0,12	0,45
Chuva	0,17	0,13	-0,03	-0,03

nota-se uma maior distribuição de escores ao longo do eixo de PC 1. E que as duas componentes possuem amostras atípicas.

A partir da análise dos valores de pesos de PC 3 (Tabela 5), observa-se que a direção dos escores de PC 3 é fracamente influenciada pelas variáveis nitrato e alcalinidade, respectivamente.

Em compensação, a PC 3 tem pesos mais acentuadas em cloreto e dureza, respectivamente. Por esta razão, espera-se que as amostras 11ST, 16DZ, 16OT, 16NV e 15DZ apresentem um valor acentuado de cloreto e dureza, e que tal situação atípica, possivelmente, esteja associada a algum tipo de influência antropogênica. Vale lembrar que essas variáveis também contribuíram, de forma moderada, na PC 1 da entrada da ETA Bolonha, tendo os pontos 16DZ, 16OT, 16NV como atípicos.

Através da análise conjunta do gráfico dos escores PC 1 versus PC 4 (Figura 7c) e dos valores de pesos de PC 4 (Tabela 5), observa-se que a PC 4 corresponde a 9,83% da variância dos dados e que as variáveis cloro residual livre, nitrato (negativo) e cor (negativo) contribuem, fracamente, na direção dessa componente. Em contrapartida, a PC 4 tem uma carga moderada na variável matéria orgânica. De acordo com Von Sperling,²⁸ a matéria orgânica é a causadora do principal problema de poluição das águas: o consumo do oxigênio pelos microrganismos nos seus processos metabólicos de uso e estabilização da matéria orgânica. Tal parâmetro é utilizado com frequência na caracterização de águas residuárias brutas e tratadas e na caracterização de corpos d'água. A origem antrópica de matéria orgânica pode se dar por despejos domésticos e industriais.²⁸

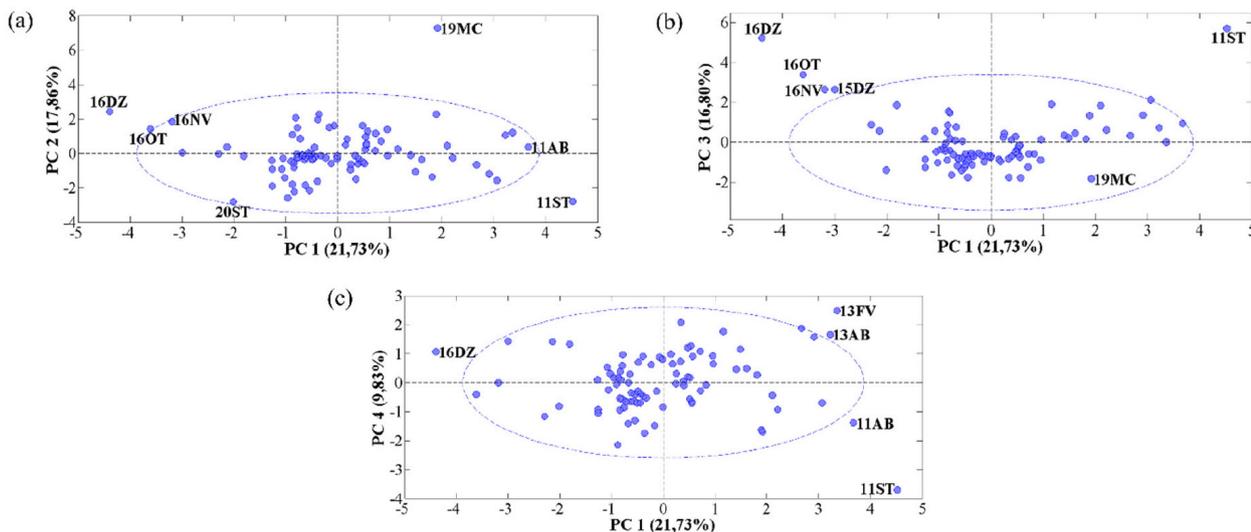


Figura 7. Gráfico de escores da saída da ETA Bolonha: (a) PC 1 vs. PC 2; (b) PC 1 vs. PC 3 e (c) PC 1 vs. PC 4

CONCLUSÕES

A análise multivariada ajudou a compilar os dados e identificou padrões de comportamentos, relações entre as variáveis estudadas, bem como fontes de variabilidade em termos sazonais, temporais e antrópicos. Assim, foi possível retratar um perfil geral da qualidade dos mananciais investigados.

O estudo constatou, por meio da análise de PCA, que o tratamento convencional aplicado pela estação de tratamento de água avaliada, não foi capaz de neutralizar todos os impactos provocados pelo antropismo do entorno dos mananciais, com destaque para as variáveis cloreto e dureza. Cabe destacar os parâmetros cor e turbidez, que se mostraram presentes na maioria das componentes principais do estudo, possuem grande importância na tomada de decisão acerca do tratamento de água, podendo influenciar diretamente nas etapas de filtração, coagulação química e desinfecção. Evidencia-se, deste modo, que a qualidade da água dos mananciais superficiais do Complexo Utinga influenciam diretamente na qualidade da água final de abastecimento da Região Metropolitana de Belém (Pará). Tal característica retrata a importância da preservação e controle de qualidade em todo o nível da bacia hidrográfica para abastecimento humano, não apenas nos entornos dos pontos de captação.

MATERIAL SUPLEMENTAR

Estão disponíveis em <http://quimicanova.sbq.org.br>, na forma de arquivo pdf, com acesso livre, as tabelas de estatística descritiva dos resultados de qualidade das águas investigadas, bem como as comparações com os limites estabelecidos pela Legislação Brasileira vigente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA) pela disponibilização dos dados utilizados neste estudo e ao N. C. Silva pela disposição da licença do software Matlab.

REFERÊNCIAS

- Jiang, G.; Liu, D.; Song, K.; Wang, Z.; Zhang, B.; Wang, Y.; *Chinese Geographical Science* **2010**, *20*, 337. [Crossref]
- Jiang, J.; Tang, S.; Han, D.; Fu, G.; Solomatine, D.; Zheng, Y.; *Environmental Modelling & Software* **2020**, *132*, 104792. [Crossref]
- Muangthong, S.; Shrestha, S.; *Environ. Monit. Assess.* **2015**, *187*, 548. [Crossref]
- Von Sperling, M. V.; *Estudos e Modelagem da Qualidade das Águas de Rios*, 2ª ed.; Editora UFMG: Belo Horizonte, 2014.
- Shrestha, S.; Kazama, F.; *Environmental Modelling & Software* **2007**, *22*, 464. [Crossref]
- Conselho Nacional 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*; Diário Oficial da União (DOU), Brasília, No. 1, de 18/03/2005, p. 58. [Link] acessado em Novembro 2023
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/belem/panorama>, acessado em Novembro 2023.
- Oliveira, G. M. T. S.; Oliveira, E. S.; Santos, M. L. S.; Melo, N. F. A. C.; Krag, M. N.; *Eng. Sanit. Ambiental* **2018**, *23*, 599. [Crossref]
- Silva, L. G.; Marinho, E. R.; Moreira, F. S. A.; Carneiro, B. S.; Faial, K. C. F.; *Brazilian Journal of Development* **2020**, *6*, 4649. [Crossref]
- Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA); *Relatório de Administração 2018*, Recife, Brasil, 2019. [Link] acessado em Novembro 2023
- Atlas Águas, <http://atlas.ana.gov.br/atlas/forms/analise/RegiaoMetropolitana.aspx?rme=4>, acessado em Novembro 2023.
- Prefeitura Municipal de Belém; Lei No. 9.113 de 15 de maio de 2015, *Institui o Plano Municipal de Saneamento Básico de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário de Belém-Pará*; Diário Oficial Municipal (DOM), Belém, No. 12.807, 2º caderno de 15/05/2015. [Link] acessado em Novembro 2023
- Calazans, G. M.; Pinto, C. C.; Costa, E. P.; Perini, A. F.; Oliveira, S. C.; *Environ. Monit. Assess.* **2018**, *190*, 491. [Crossref]
- Guedes, H. A. S.; Silva, D. D.; Elesbon, A. A. A.; Ribeiro, C. B. M.; Matos, A. T. M.; Soares, J. H. P.; *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **2012**, *16*, 558. [Crossref]
- Maia, K. P.; Silva, G. A.; Libânio, M.; *Eng. Sanit. Ambiental* **2019**, *24*, 1013. [Crossref]
- Barros Neto, B.; Scarminio, I. S.; Bruns, R. E.; *Quim. Nova* **2006**, *29*, 1401. [Crossref]
- American Public Health Association; *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21st ed.; APHA: New York, 2005.
- American Public Health Association; *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd ed.; APHA: New York, 2017.
- Instituto Nacional de Meteorologia, <https://tempo.inmet.gov.br/CondicoesTempoRegistradas>, acessado em Novembro 2023.
- Matlab®, version 7; The MathWorks Inc., Natick, MA, USA, 2010.
- Ferreira, M. M. C.; *Quimiometria: Conceitos, Métodos e Aplicações*, 1ª ed.; Editora da Unicamp: Campinas, 2015.
- Skoog, D. A.; West, D. M.; Holler, F. J.; Crouch, S. R.; *Fundamentos de Química Analítica*, 8ª ed.; Cengage Learning: São Paulo, 2006, cap.7.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB); *Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo*; CETESB: São Paulo, 2020. [Link] acessado em Novembro 2023
- SNIS, http://appsnis.mdr.gov.br/indicadores/web/agua_esgoto/mapa-esgoto/, acessado em Novembro 2023.
- Gutierrez, C. B. B.; Ribeiro, H. M. C.; Morales, G. P.; Matos, A. T. M.; Gutierrez, D. M. G.; dos Santos, L. S.; de Paula, M. T.; *Revista Brasileira de Geografia Física* **2017**, *10*, 521. [Link] acessado em Novembro 2023
- Ministério da Economia, Secretaria de Assuntos Econômicos Internacionais; *Resumo Carta Consulta No. 60739*, 2020.
- Ministério da Saúde; Portaria de Consolidação nº 05, de 28 de setembro de 2017, *Consolidação das Normas sobre as Ações e os Serviços de Saúde do Sistema Único de Saúde*, Ministério da Saúde: Brasília, 2017. [Link] acessado em Novembro 2023
- Von Sperling, M. V.; *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*, 4ª ed.; Editora da UFMG: Belo Horizonte, 2014.
- Kaiser, H. F.; *Psychometrika* **1958**, *23*, 187. [Crossref]
- Hongyu, K.; Sandanielo, V. L. M.; Oliveira Junior, G. J.; *Eng. Sci.* **2015**, *5*, 83. [Crossref]
- Fraga, A. B.; Silva, F. L.; Hongyu, K.; Santos, D. D. S.; Murphy, T. W.; Lopes, F. B.; *Trop. Anim. Health Prod.* **2016**, *48*, 533. [Crossref]
- Hair, J. J. F.; Black, W. C.; Babin, B. J.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L.; *Análise Multivariada de Dados*, 6ª ed.; Bookman: Porto Alegre, 2009, cap. 3.
- Johnson, R. A.; Wichern, D. W.; *Applied Multivariate Statistical Analysis*, 4th ed.; Prentice-Hall: New York, 1998.
- Medeiros, A. C.; Faial, K. R. F.; Faial, K. C. F.; Lopes, I. D. S.; Lima, M. O.; Guimarães, R. M.; Mendonça, N. M.; *Mar. Pollut. Bull.* **2017**, *123*, 156. [Crossref]
- Muniz, J. N.; Duarte, K. G.; Braga, F. H. R.; Lima, N. S.; Silva, D. F.; Firmo, W. C. A.; Batista, M. R. V.; Silva, F. M. A. A.; Miranda, R. C. M.; Silva, M. R.; *Water* **2020**, *12*, 851. [Crossref]

