

ANÁLISE MULTIVARIADA PARA CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PRÓXIMA A UMA PEQUENA CENTRAL HIDROELÉTRICA

Thiago de Andrade Águas¹

Yane de Freitas da Silva²

Nayane Jaqueline Costa Maia³

Adalto Moreira Braz⁴

RESUMO: É imediata a necessidade de monitoramento da qualidade da água para abastecimento público. A diversidade de elementos encontrados no ambiente dificultam o trabalho de gestores e pesquisadores. Diante disso, o objetivo do artigo foi mostrar o potencial da estatística multivariada aplicada aos parâmetros de água na área de influência da Pequena Central Hidrelétrica Costa Rica, no estado do Mato Grosso do Sul, Brasil. Foram coletadas nove amostras de água superficial com profundidade de 0,0-0,20 m na áreas de influência da Pequena Central Hidrelétrica Costa Rica. Os parâmetros obtidos a partir das amostras foram: pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, turbidez, temperatura do ar e da água, potencial eletroquímico, sólidos totais dissolvidos e sedimentos em suspensão. Os resultados passam por análise multivariada, sendo eles representados por análise de cluster e componentes principais. A análise de cluster, representada pelo dendograma, determinou a presença de quatro grupos para as amostras obtidas em campo e três grupos dos parâmetros de qualidade da água. Esse agrupamento demonstrou as características em comum de cada ambiente de coleta. A análise de componentes principais, representada pelo biplot, demonstrou a situação total das amostras em relação aos parâmetros estudados. A análise do gráfico biplot mostrou a importância de determinados parâmetros para cada amostragem. A estatística multivariada provou ser uma ferramenta poderosa para análise da qualidade da água, com destaque para áreas ocupadas por Pequenas Centrais Hidrelétricas. Essas regiões devem ser rigorosamente monitoradas para avaliação constante de seus impactos a ecossistemas fluviais.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de Componentes Principais; Qualidade da Água; PCH; Dendrograma.

¹ Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". E-mail: thdeandrade@gmail.com

² Universidade Estadual de Campinas: E-mail: yanefsilva@gmail.com

³ Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". E-mail: nayane.maia1@gmail.com

⁴ Universidade Federal de Goiás. E-mail: adaltobraz.geografia@gmail.com

MULTIVARIATE ANALYSIS FOR CHARACTERIZATION OF WATER QUALITY NEAR A SMALL HYDROELECTRIC PLANT

ABSTRACT: There is an immediate need to monitor water quality for public supply. The diversity of elements found in the environment hinder the work of managers and researchers. Therefore, the objective of the article was to show the potential of multivariate statistics applied to water parameters in the area of influence of the Small Hydroelectric Plant Costa Rica, in Mato Grosso do Sul state, Brazil. Nine samples of surface water with a depth of 0.0-0.20 m were collected in the areas of influence of the Small Hydroelectric Plant Costa Rica. The parameters obtained from the samples were: pH, dissolved oxygen, electrical conductivity, turbidity, air and water temperature, electrochemical potential, total dissolved solids and suspended sediments. The results go through multivariate analysis, being represented by cluster analysis and principal components. The cluster analysis, represented by the dendrogram, determined the presence of four groups for samples obtained in the field and three groups of water quality parameters. This grouping demonstrated the common characteristics of each collection environment. The principal component analysis, represented by the biplot, showed the total situation of the samples in relation to the studied parameters. The analysis of the biplot graph showed the importance of certain parameters for each sampling. Multivariate statistics proved to be a powerful tool for analyzing water quality, with emphasis on areas occupied by Small Hydroelectric Plants. These regions must be closely monitored for constant assessment of their impacts on river ecosystems.

KEYWORDS: Principal Component Analysis; Water quality; SHP; Dendrogram.

ANÁLISIS MULTIVARIANTE PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA CERCA DE UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

RESUMEN: Existe una necesidad inmediata de controlar la calidad del agua para el suministro público. La diversidad de elementos que se encuentran en el entorno dificultan el trabajo de los gerentes e investigadores. Por lo tanto, el objetivo del artículo era mostrar el potencial de las estadísticas multivariadas aplicadas a los parámetros del agua en el área de influencia de la Pequeña Central Hidroeléctrica de Costa Rica, en el estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. Se recolectaron nueve muestras de agua superficial con una profundidad de 0.0-0.20 m en las áreas de influencia de la Pequeña Central Hidroeléctrica de Costa Rica. Los parámetros obtenidos de las muestras fueron: pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, turbidez, temperatura del aire y del agua, potencial electroquímico, sólidos disueltos totales y sedimentos suspendidos. Los resultados pasan por análisis multivariados, representados por análisis de conglomerados y componentes principales. El análisis de conglomerados, representado

por el dendrograma, determinó la presencia de cuatro grupos para muestras obtenidas en el campo y tres grupos de parámetros de calidad del agua. Esta agrupación demostró las características comunes de cada entorno de colección. El análisis del componente principal, representado por el biplot, mostró la situación total de las muestras en relación con los parámetros estudiados. El análisis del gráfico biplot mostró la importancia de ciertos parámetros para cada muestreo. Las estadísticas multivariadas demostraron ser una herramienta poderosa para analizar la calidad del agua, con énfasis en áreas ocupadas por pequeñas centrales hidroeléctricas. Estas regiones deben ser monitoreadas de cerca para evaluar constantemente sus impactos en los ecosistemas fluviales.

PALABRAS CLAVE: Análisis de componentes principales; Calidad del agua; PCH; Dendrograma

INTRODUÇÃO

Um grande desafio na promoção de políticas energéticas sustentáveis é fornecer níveis crescentes de serviços de energia e, ao mesmo tempo, reduzir a poluição do meio ambiente e a qualidade da água. Quando comparado aos países desenvolvidos, o setor brasileiro responde por 77% da eletricidade do país gerada por usinas hidrelétricas (SANTOS *et al.*, 2018). A Amazônia brasileira detém 42,2% do potencial hidrelétrico do Brasil. (GAUTHIER e MORAN, 2018), que é o segundo maior produtor de energia hidrelétrica do mundo, respondendo por 12% do total mundial, atrás apenas da China (RUFFATO-FERREIRA *et al.*, 2017). Segundo Andrade e Santos(2015), os impactos podem ser observados em ambientes aquáticos e no regime hidrológico dos rios. Nesse sentido, é importante conhecer as mudanças físicas e químicas que ocorrem nos cursos de água.

A necessidade de monitoramento da qualidade da água é essencial para o abastecimento público. Devido à complexidade dos ambientes naturais, gerentes e pesquisadores frequentemente enfrentam desafios de gestão. Ao avaliar mudanças e seus efeitos na qualidade da água, é possível criar ações de manejo para intervir na recuperação ou preservação de ecossistemas (KORALAY

et al., 2018). Para Lobato *et al.*, 2015, o monitoramento adequado permite ações relacionadas ao uso da água. A avaliação físico-química da água pode ser usada para quantificar os efeitos das atividades humanas no meio ambiente (ROCHA e PEREIRA, 2016; MENEZES *et al.*, 2017; BAI *et al.*, 2019).

A análise multivariada dos dados obtidos é capaz de agrupar elementos de acordo com seu grau de similaridade. As técnicas de análise multivariada são capazes de resolver dilemas relacionados à dimensão das variáveis, criando grupos de acordo com sua similaridade (REGAZZI, 2002).

O presente artigo apresenta técnica para o monitoramento de trecho da bacia hidrográfica do rio Sucuriú, com destaque para a pequena usina hidrelétrica (PCH) Costa Rica, localizada no estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. O estudo relatado determina os parâmetros químicos e físicos da água para avaliar a influência da PCH Costa Rica ao longo do rio Sucuriú, com o uso de análises multivariadas. Foram testadas três hipóteses: (i) a técnica de estatística multivariada é capaz de avaliar as condições do rio Sucuriú, próximo a PCH Costa Rica; (ii) é possível avaliar os parâmetros físico-químicos da água em conjunto, e; (iii) os parâmetros utilizados podem indicar a qualidade da água.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área de influência da PCH Costa Rica, localizado no município de Costa Rica, estado de Mato Grosso do Sul, região centro-oeste do Brasil (Figura 1), que posiciona-se entre as Latitudes 18°33'60" a 18°30'00" S e entre as Longitudes de 53°8'14" a 53°7'30" W, no alto curso da bacia do rio Sucuriú.

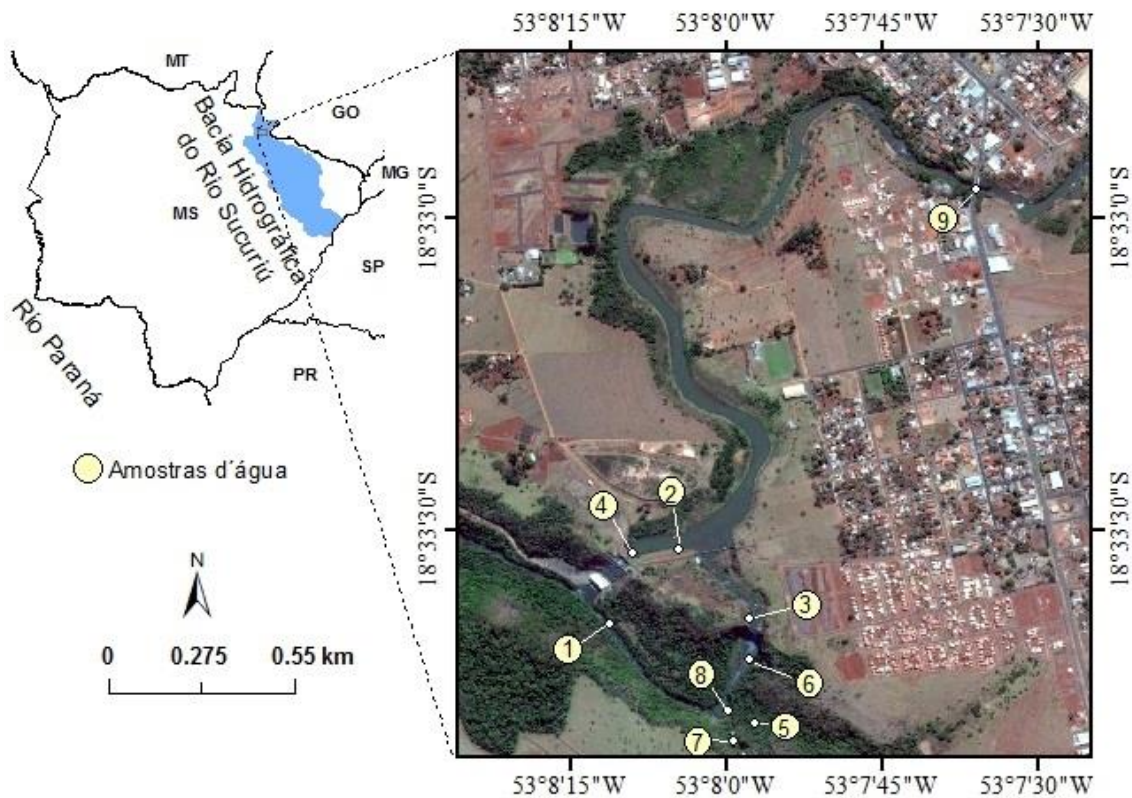


Figura 1: Localização da área de influência e dos pontos amostrados no rio Sucuriú, da PCH Costa Rica.

Nove amostras de água foram coletadas dia 05 de junho de 2014, em profundidades de 0,0-0,20 m em diferentes locais do rio Sucuriú. Profundidades superiores a 0.20m podem alterar as características da amostra e alterar o resultado da análise em questão. A amostra 1 foi coletada a jusante da PCH Costa Rica, onde o rio está distante da influência gerada pela barragem. A amostra 2 foi coletada no lago da barragem da PCH Costa Rica. A amostra 3 foi coletada a jusante da barragem e a montante da cachoeira Salto Majestoso, no rio Sucuriú. A amostra 4 foi coletada próximo à entrada de água da PCH Costa Rica. A amostra 5 foi coletada em um pequeno afluente do rio Sucuriú, denominado Córrego Grota Funda. A amostra 6 foi coletada a jusante da cachoeira Salto Majestoso, no rio Sucuriú. As amostras 7 e 8 foram coletadas nos pontos de influência do rio Sucuriú e seus afluentes. A amostra 7 foi coletada em um afluente denominado rio Ribeirão de Baixo e a amostra 8 foi coletada na

reunião entre o rio Sucuriú e seus afluentes Ribeirão de Baixo e Grota Funda (Figura 1).

As amostras 3, 5, 6, 7 e 8 estão localizadas dentro do Parque Natural Municipal de Salto do Sucuriú. Este parque foi criado como compensação ambiental da PCH Costa Rica. A amostra 9 foi coletada no rio Sucuriú em um ambiente sem influência da PCH ou do Parque Natural Municipal de Salto do Sucuriú.

Para medir os parâmetros físicos e químicos da água em campo foi utilizado em campo com o uso do analisador multiparâmetro Unidade de Qualidade de Água Multiparâmetros Horiba série U-50 (HORIBA, 2018). Os parâmetros obtidos foram: pH, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), turbidez (Turb), temperatura do ar (Tar) e da água (Tágua), potencial eletroquímico (Oxidation Reduction Potential - ORP), sólidos totais dissolvidos (STD). Em laboratório, foi utilizada a metodologia de Carvalho (2008), o qual os sedimentos em suspensão (SS) foram coletados em campo e armazenados em caixa refrigerada para que pudesse ser mantido as condições próximas a aquelas encontradas em campo.

Os resultados foram comparados aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 em seu artigo 15, o qual classifica os cursos d'água doce para usos múltiplos como: i) abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional, ii) proteção das comunidades aquáticas, iii) recreação de contato primário, iv) irrigação de hortaliças e outros com os quais o público possa vir a ter contato direto, e v) aquicultura e atividade de pesca. Considerando a PCH estudada e todos os rios do Mato Grosso do Sul a maioria se enquadra na classe 2.

A avaliação dos parâmetros da água foi realizada simultaneamente pelo método estatístico multivariado. Foi utilizado a análise de cluster para agrupar os elementos com características em comum (WARD, 1963). Elementos do

mesmo grupo apresentaram características semelhantes entre si e se diferem dos demais. A composição dos grupos pode ser visualizada pelo dendograma. Para classificar a estrutura dos dados e as componentes principais, foi utilizado a análise gráfica biplot (GABRIEL, 1971). Todas as análises foram obtidas através do software STATISTICA versão 7.0.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores físico-químicos das análises na área de influência da PCH Costa Rica estão apresentados na Tabela 1. A partir dos resultados, foi possível demonstrar que os parâmetros se comportam de acordo com o ambiente de coleta, corroborando com a afirmação de Piratoba *et al.* (2017). Parâmetros como condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, temperatura, entre outros, apresentam uma relação direta de acordo com a distância em que a coleta foi realizada. De acordo com Menezes *et al.* (2017) e Fernandes *et al.* (2015), as práticas de conservação do solo têm uma influência importante na qualidade da água e nos ecossistemas aquáticos. Essas mudanças no uso da terra podem influenciar diretamente as características dos rios como consequência das transformações do ecossistema. Além disso, as características físico-químicas da água refletem a condição da geologia. De acordo com as diretrizes de controle da água (BRASIL, 2014), quanto maior o pH da água, maiores as concentrações de carbonatos, nitratos e sulfatos, e mais alcalina é a água. Parte do ecossistema aquático pode ter pH ácido variando de 4 a 6, porque é rico em ácidos húmicos de áreas florestais naturais (BRASIL, 2014).

A água também pode se tornar mais ácida devido às mudanças climáticas. Para Bhurtun *et al.* (2019) e Stokal *et al.* (2019), a urbanização altera o ciclo da água, trazendo poluentes que podem acidificar a água e ter consequências para a macrofauna. Essa ideia corrobora os resultados encontrados neste estudo,

onde a amostra 9 (Tabela 1) foi acidificada, bem como nas áreas de mata ciliar (Figura 1).

Braz *et al.* (2012) aponta que um número maior de microrganismos na água pode gerar maior consumo de oxigênio e, conseqüentemente, elevar o pH. Essas águas ácidas nos centros urbanos são geralmente derivadas de ácidos minerais fortes, geralmente resultantes de resíduos industriais e domésticos. Águas com acidez mineral são desagradáveis ao paladar, sendo desencorajadas para o abastecimento doméstico (BRASIL, 2014).

Pesquisas epidemiológicas relacionadas à concentração de trihalometanos e câncer mostraram associações positivas em alguns casos de carcinomas (WANG *et al.*, 2007; PAVÓN *et al.*, 2008; SIDDIQUE *et al.*, 2015; MONTOYA-PACHONGO *et al.*, 2018). Existem exemplos como Pestana *et al.* (2019), que demonstraram decomposição de matéria orgânica causada por inundações de usinas hidrelétricas em áreas florestais. O autor mostra que a estratificação física e química na coluna de água cria condições favoráveis para transformar o Hg em sua espécie química mais tóxica, o metilmercúrio (MetilHg). O planejamento do PCH pode ser a chave para evitar esses impactos. O conhecimento dos processos de produção de barragens de PCH deve ser mais estudado para entender o que causa as mudanças físico-químicas na água e o que deve ser alterado durante os processos de produção de energia. Devido à complexidade dos ecossistemas em que o rio Sucuriú está inserido, são necessárias técnicas que permitam a análise conjunta das informações ecológicas e suas interações durante todo o curso do rio.

É possível observar que, mesmo analisando os parâmetros e as amostras de maneira isolada, é a partir das estatísticas multivariadas que a unidade como um todo é observada, cada amostra de água respondendo de acordo com sua principal característica. Costa (2015) afirmam que é possível maximizar a

homogeneidade dos compartimentos estudados a partir da análise exploratória, deixando claro o padrão espacial com dinâmica ambiental semelhante.

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos medidos a partir de amostras de água, na PCH Costa Rica/MS.

Amostras	Parâmetros									
	pH	ORP mV	CE $\mu\text{S.cm}^{-1}$	Turb UNT	T ^o c ar °C	T ^o c água °C	OD	STD mg.L ⁻¹	SS	
1	7.16	120	26	1	33.49	28.06	10.26	16	0.03	
2	7.73	109	21	2	30.27	26.48	8.84	13	0.05	
3	6.92	153	22	0	28.86	26.66	4.15	14	0.03	
4	6.34	186	23	1	26.44	25.52	6.6	15	0.06	
5	6.39	164	62	2.8	26.91	25.98	3.66	40	0.02	
6	7.24	163	20	12	28.29	24.65	7.15	13	0.03	
7	7.06	192	47	21	28.9	24.88	6.55	24	0.07	
8	7.25	100	30	16.5	26.21	25.15	9.3	19	0.05	
9	6.7	191	4	1	27.3	26.5	6.75	3	0.04	
CV (%)	6.3	23.2	59.5	125.0	8.0	4.1	31.4	58.1	38.8	

Os resultados obtidos foram comparados aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 em seu artigo 15, para corpos d'água Classe 2, podendo ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento, proteção das comunidades aquáticas e recreação de contato primário.

Para identificar regiões semelhantes, foi realizada análise de agrupamento, compartimentando amostras e parâmetros semelhantes. A partir do dendograma (Figura 2), foi possível agrupar as variáveis estudadas com características homogêneas em um único grupo. Foi possível elaborar quatro grupos (I, II, III e IV) para as amostras d'água e três grupos (I, II e III) para as variáveis obtidas.

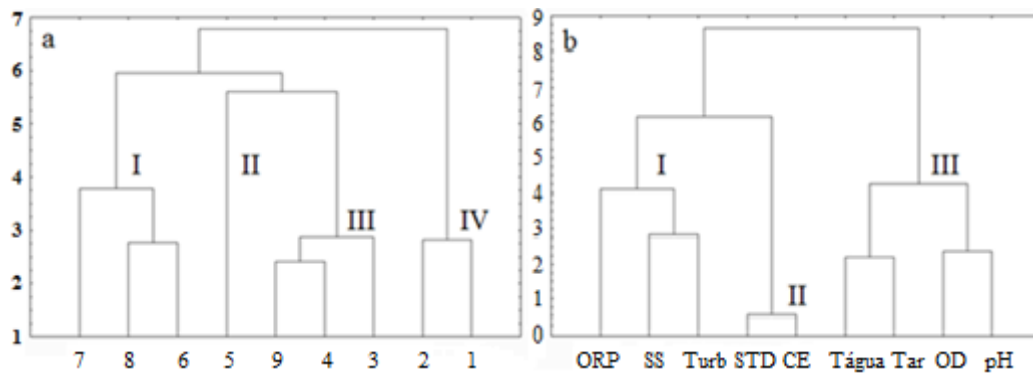


Figura 2. Dendrograma demonstra a hierarquia dos grupos (destacada por algarismos romanos), onde: a - amostras obtidas em campo e; b - parâmetros físico-químicos.

De acordo com as amostras de campo (Figura 2.a), o grupo I é composto pelas amostras coletadas no Parque Natural Municipal de Salto do Sucuriú, a menos de 150 metros entre elas. O grupo II, também dentro do parque, é caracterizado por um pequeno riacho que deságua no rio Sucuriú. O grupo III pertence às amostras que foram obtidas a montante da PCH Costa Rica em áreas com maior movimento de água. O Grupo IV mostrou áreas onde existe um fluxo próximo ao original no ambiente. Com base nos grupos obtidos a partir das variáveis (Figura 2.b), observa-se que apenas o ORP se isolou com o grupo I. Embora esteja relacionada a outros elementos, a análise mostrou proximidade a parâmetros como SS e Turb quando tratados sozinhos. Os grupos I e II apresentaram características próximas entre seus parâmetros.

A maior concentração de sedimentos em suspensão na água leva a um aumento da turbidez, uma vez que a turbidez é caracterizada pelo reflexo da luz causado por determinado material transportado pela água, bem como a concentração de sólidos dissolvidos totais contribui para o aumento da condutividade elétrica (MARMONTEL e RODRIGUES, 2015). Altas concentrações de Turb pode ser encontrado nas amostras 7 e 8, com 21 e 15.5 UNT, respectivamente. Essas amostras estão situadas em área de encontro dos rios

Ribeirão de Baixo e Córrego Grota Funda com o Rio Sucuriú, gerando grande movimentação. A amostra 6 também apresentou valores altos de Turb (12 UNT), já que se encontra abaixo da cachoeira Salto Majestoso, no rio Sucuriú. Essa queda de aproximadamente 100m gera muito movimento no material presente na água, ocasionando maior turbidez.

A temperatura do ar e da água também mostrou relação com o oxigênio dissolvido e o pH, como demonstrado no grupo III. A temperatura da água favorece a formação de matéria orgânica na água, a qual, por sua vez, tende a liberar mais ácido, aumentando assim a oxigenação (BRAZ *et al.*, 2012).

Dada a identificação das áreas homogêneas, ainda é possível relacionar os compartimentos a regiões semelhantes, reduzindo o tempo e os custos necessários para o desenvolvimento de diversas propostas. Hongyu *et al.* (2015) abordaram os Componentes Principais (CP) como uma técnica capaz de agrupar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de tamanho semelhante, agrupando indivíduos de acordo com a oscilação de suas características. É possível observar na Figura 3 que os elementos apresentam fatores comuns e a relação é apresentada entre eles e os dados originais, reduzindo as análises físico-químicas e julgando as mais importantes.

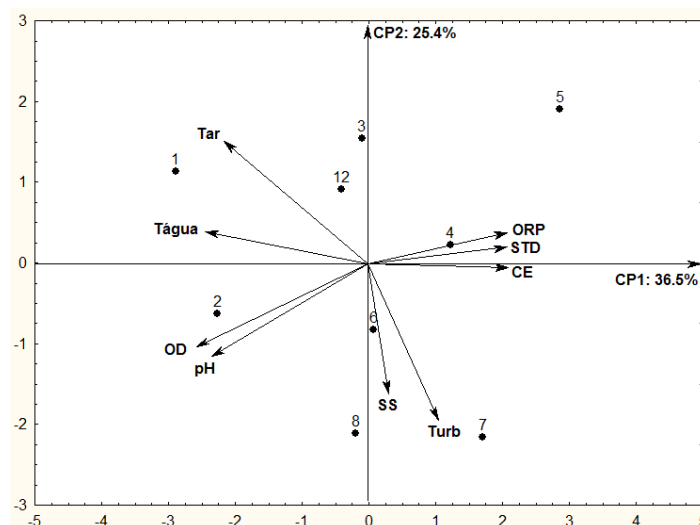


Figura 3. Gráfico biplot, onde destaca os componentes principais monitorados e mostram o comportamento dos parâmetros físico-químicos da água da amostrada, nos dois principais eixos (CP 1 e CP 2).

Dos dois CPs apresentados (CP 1 e CP 2), foi possível entender a situação geral da área amostrada, explicando 61,9% da variância dos dados, sendo 36,5% para CP 1 e 25,4% para CP 2. O relevante desse tipo de análise é que ele escolhe as variáveis mais significativas para cada amostra de qualidade da água, sendo agrupadas de acordo com suas semelhanças. É possível observar no gráfico Biplot que os dados apresentam uma boa dispersão das amostras, indicando a não correlação entre elas (COSTA, 2015).

Em relação ao CP 1, as variáveis Tar e Tágua demonstraram contribuições semelhantes, por apresentarem comprimentos mais longos, mas o Tágua contribui de forma mais significativa por estar próximo ao eixo CP 1. Por outro lado, no CP 2, SS e Turb estão confirmando pesos maiores, pois estão próximos ao eixo. As variáveis ORP, STD e CE apresentaram contribuições semelhantes no CP 1, mas inversamente com a Tar e Tágua. Isso pode ser verificado pelo maior comprimento do vetor e pela proximidade do eixo do CP 1, além da formação de ângulos agudos entre suas variáveis. É possível observar o mesmo comportamento com as variáveis SS e Turb e OD e pH. Variáveis como ORP e SS não apresentaram pouca relação, pois apresentam um ângulo próximo à 90° (HONGYU *et al.*, 2015).

Observa-se que a amostra 1, a jusante da PCH Costa Rica, está localizada em uma área com maior nível de insolação, contribuindo para o relacionamento com Tar e Tágua. Esse resultado corrobora estudos como o de Angelocci e Nova (1995) que, quanto maior a exposição do corpo de água ao sol, maior sua capacidade de reter o calor, como consequência de sua alta capacidade de calor. Mesmo assim, sua elevada concentração de OD, o colocou na classe Especial do CONAMA. A amostra 2, mostrou uma relação mais próxima com OD e pH. Isso

pode ser justificado por sua situação, próxima ao vertedouro, onde, com a baixa velocidade da água e, conseqüentemente, a deposição de material orgânico e inorgânico. Além disso, os efluentes domésticos podem ajudar na concentração de ácidos orgânicos de origem autóctone, aumentando também o consumo de oxigênio (BRAZ *et al.*, 2012; MARMONTEL e RODRIGUES, 2015). Contudo, o turbilhonamento de suas águas a posicionou na classe I.

Observa-se que a relação da amostra 4, com os parâmetros ORP, STD e CE é intensa, pois se encontra em um local com grande carga sólida para a barragem. Esta informação corrobora com Rocha *et al.* (2015) que enfatiza que a variação de até 50 $\mu\text{S} / \text{cm}$ nos reservatórios pode ser a influência do transporte sólido. Sua localização é próxima à barreira da barragem e apresenta alta concentração de resíduos transportados pelo rio, justificando sua proximidade com o parâmetro ORP. Que influenciaram no enquadramento, ficando muito próximo do limite da classe I, com a II.

As amostras 6, 7 e 8 estão localizadas em conjunto com as características de SS e Turb, sendo justificadas por sua localização com alta movimentação de água. Kaji *et al.* (2011) aponta que as condições ideais para iniciar o transporte de sedimentos são, entre elas, a condição do fluxo, que são de velocidade média ou turbulência. Que promovem a oxigenação da água e seus enquadramentos na classe I. Nesse sentido, ocorre também o inverso, com as amostras 3 e 9, onde o fluxo do rio, embora intenso, corre normalmente e sem barreiras que podem causar turbulência. Mesmo com certa turbulência, a baixa concentração de OD, na amostra 3, devido a grande quantidade de matéria orgânica em decomposição, a colocou na classe III.

É possível observar que $T^{\circ}\text{c}$ ar, $T^{\circ}\text{c}$ água, OD e pH apresentam comportamento inverso ao ORP, STD e CE. É possível afirmar que CP1 são parâmetros físicos e químicos da água. O SS e Turb medidos estão intimamente relacionados ao CP 2, o que mostra que as amostras com maior rotatividade

estão próximas desses parâmetros, enquanto o inverso corresponde a um curso normal. Assim, CP 2 pode ser indicativo de velocidade ou turbulência do rio.

A amostra 5 foi a única que apresentou características intermediárias ao CP 1 e CP 2, pois foi coletada no rio Grotta Fundo, um pequeno afluente do rio Sucuriú, localizado dentro do Parque Natural Salto do Sucuriú, em uma área fechada por mata nativa. Foi possível observar a relação da amostra 5 com os maiores valores de CE (62 UNT) e STD (40mg L^{-1}), conforme apresenta a Tabela 1. Acredita-se que os processos resultantes de sua qualidade da água, que se enquadrou na classe IV, devido sua baixa concentração de OD.

A água, mesmo coletada e analisada igualmente nas nove amostras, apresentou padrão diferente na análise multivariada. Esse tipo de padrão demonstra as principais características de cada ambiente. É possível usar como exemplo a amostra dois, onde a barragem apresentou características favoráveis à formação da macrófita aquática e, conseqüentemente, uma maior relação com pH e OD, na amostra 1, onde a maior incidência do sol influenciou o ar temperatura e água, pois esta foi enquadrada na classe I do CONAMA. Os dados deste estudo sugerem que mais amostras de água deveriam ser coletadas ao longo dos rios próximos às PCHs para obter maior representabilidade estatística da área.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise estatística multivariada demonstrou ser relevante no comportamento dos parâmetros físico-químicos das águas superficiais, pois possibilitam matematicamente o agrupamento ou destaques a parâmetros principais, só possível de serem mensurados e analisados estatisticamente, quebrando com o empirismo. A análise de clusters e componentes principais é complementar um ao outro. Um resultado importante é a grande relação entre o pH e o OD, mostrando a importância da vegetação ripária.

O gráfico Biplot conseguiu explicar a variância dos parâmetros da água em 61.9%. Isso comprova que, mesmo com alterações como barragem, o rio se adapta conforme a necessidade. Ainda é possível questionar se a presença da PCH Costa Rica está influenciando o padrão encontrado na CP2, onde comumente encontram-se maior concentração de turbidez e menor concentração de sedimento.

A partir da análise estatística multivariada foi possível determinar a formação de três grupos com base nos nove parâmetros físico-químicos pré-estabelecidos. A análise dos componentes principais foi capaz de avaliar as características ao longo do rio Sucuriú. A metodologia foi capaz de identificar a alteração que ocorre no rio de acordo com a proximidade da pequena usina hidrelétrica. Os parâmetros foram analisados em conjunto em todas as amostras, podendo indicar que os cursos de água mais afastados da pequena hidrelétrica Costa Rica apresentam melhor qualidade da água.

A investigação prévia diminui coletas e análises desnecessárias. Em conjunto, os parâmetros da água direciona a melhor investigação da área de estudo e seus componentes ambientais. Análise dos parâmetros de água de maneira eficiente pode auxiliar na compreensão do comportamento de diversas outras áreas de influência de PCHs. Outros estudos são necessários para mostrar a influência em diferentes meios, especialmente em um país onde a complexidade ambiental é muito reveladora.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, André de Lima; SANTOS Marco Aurélio. **Hydroelectric plants environmental viability: Strategic environmental assessment application in Brazil.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.52, p. 1413-1423, 2015.

ANGELOCCI, Luiz Roberto; VILA NOVA, Nilson Augusto. **Variações da temperatura da água de um pequeno lago artificial ao longo de um ano em Piracicaba - SP.** Scientia Agricola, v.52(3), p.431-438, 1995.

BAI, Yang; OCHUODHO, Thomas; YANG, Jian. **Impact of land use and climate change on water-related ecosystem services in Kentucky, USA.** Ecological Indicators, v.102, p.51-64, 2019.

BHURTUN, Pratima; LESVEN, Ludovic; RUCKEBUSCH, Curil; HALKETT, Cédric; CORNARD, Jean-Paul; BILLON, Gabriel. **Understanding the impact of the changes in weather conditions on surface water quality.** Science of the Total Environment, v.652, p.289-299, 2019.

BRASIL. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS.** Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde: Brasília, 2014.

BRAZ, Lia; FERREIRA, Willian José; SILVA, Marcelo Gomes; ALVALÁ, Plínio Carlos; MARANI, Luciano; BATISTA, Getúlio Teixeira; HAMZA, Valiya Mannathal. **Influência de características físico-químicas da água no Transporte de metano para a atmosfera na Lagoa Rodrigo de Freitas, RJ.** Arquivos Brasileiros de Psicologia, v.7, p.99-112, 2012.

CARVALHO, Newton de Oliveira. **Hidrossedimentologia prática.** 2nd ed. Interciência: Rio de Janeiro, 1994.

COSTA, Renata Cristina Araujo. **Indicadores morfométricos: uma ferramenta no diagnóstico da vulnerabilidade ambiental.** Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, 2015.

FERNANDES, Milton Marques; CEDDIA, Marcos Bacis; MAY, Peter Herman; BOCHNER, Julia Kishida; GRANADEIRO, Livia Cabral; FERNANDES, Márcia Rodrigues de Moura. **Valoração dos serviços ambientais prestados pela Mata**

Atlântica na manutenção da qualidade da água em microbacias na Área de Proteção Ambiental do Sana, Rio de Janeiro. Scientia Plena, v.11, p1-8, 2015.

GABRIEL, Kuno Ruben. **The Biplot Graphic Display of Matrices with Application to Principal Component Analysis.** Biometrika, v.58(3), p.453, 1971.

GAUTHIER, Cristina; MORAN, Emilio **Public policy implementation and basic sanitation issues associated with hydroelectric projects in the Brazilian Amazon: Altamira and the Belo Monte dam.** Geoforum, v.97, p.10-21, 2018.

HONGYU, Kuana; SANDANIELO, Vera Lucia Martins; JÚNIOR, Gilmar Jorge de Oliveira. **Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação.** Engineering and Science, v.1, p.83-90, 2015.

HORIBA. **Multi Water Quality Checker U-50 Series - Instruction Manual.** 2009. Disponível em: http://www.horiba.com/fileadmin/uploads/ProcessEnvironmental/Documents/U-50_Manual_revised_0409.pdf. Acesso em: 19 de Dezembro 2018.

KAJI, Aline Olivas; GUERRA, Josefa Varela; FERNANDES, Alexandre Macedo; OLIVEIRA, Roberto Freires; SILVA, Cleversn Guizan; REIS, Antonio Tadeu.. **Potencial de transporte sedimentar pelas correntes de fundo na região do Canal de Vema (Atlântico Sul).** Revista Brasileira de Geofísica, v.29(2), p.385-400, 2011.

KORALAY, Necla; KARA, Omer; KEZIK, Ugur. **Effects of run-of-the-river hydropower plants on the surface water quality in the Solakli stream watershed, Northeastern Turkey.** Water and environment journal, v.32, p.412-421, 2018.

LOBATO, Tarciso da Costa; HAUSER-DAVIS, Rachel Ann; OLIVEIRA, Terezinha Ferreira; SILVEIRA, Antonio Moraes; SILVA, Hieda; TAVARES, Maria Regina Madruga; SARAIVA, Antonio. **Construction of a novel water quality index and quality indicator for reservoir water quality evaluation: A case study in the Amazon region.** Journal of hydrology, v.522, p.673-683, 2015.

MARMONTEL, Caio Vinicius Ferreira; RODRIGUES, Valdemir Antonio. **Parâmetros Indicativos para Qualidade da Água em Nascentes com Diferentes Coberturas de Terra e Conservação da Vegetação Ciliar.** Floresta e Ambiente, v.22(2), p.171-181, 2015.

MENEZES, João Paulo Cunha; BITTENCOURT, Ricardo Parreira; FARIAS, Matheus de Sá; BELLO, Italoema Pinheiro; FIA, Ronaldo; OLIVEIRA, Luiz Fernando Couitinho. **Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana.** Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, v.21, p.519-534, 2017.

MONTOYA-PACHONGO, Carolina; DOUTERELO, Isabel; NOAKES, Catherine; CAMARGO-VALERO, Miller Alonso; SLEIGH, Andrew; ESCOBAR-RIVERA, Juan Carlos; TORRES-LOZADA, Patricia. **Field assessment of bacterial communities and total trihalomethanes: Implications for drinking water networks.** Science of the Total Environment, v.616, p.345-354, 2018.

PAVÓN, José Luiz Perez; MARTÍN, Sara Herrero; PINTO, Camelo Garcia; CORDERO, Bernardo Modeno. **Determination of trihalomethanes in water samples: A review.** Analytica Chimica Acta, v.629, p.6-23, 2008.

PESTANA, Inácio; BASTOS, Wanderley; ALMEIDA, Marcelo; MUSSY, Marilia; SOUZA, Cristina. **Methylmercury in environmental compartments of a hydroelectric reservoir in the Western Amazon, Brazil.** Chemosphere, v.215, p.758-765, 2019.

PIRATOBA, Alba Rocio Aguilar; RIBEIRO, Hebe Morganne Campos; MORALES, Gundisalvo Piratoba; GONCALVES, Wanderson Gonçalves **Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil.** Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v.12, p.435-456, 2017.

REGAZZI, Adair José **Análise multivariada.** INF-766 - notas de aula. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

ROCHA, César Henrique Barra; PEREIRA, Amanda Maia. **Análise multivariada para seleção de parâmetros de monitoramento em manancial de Juiz de Fora, Minas Gerais.** Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v.11(1), p.176-187, 2016.

ROCHA, Isabel Rodrigues; CABRAL, João Batista Pereira; NOGUEIRA, Pollyanna Faria; BARCELOS, Assunção Andrade. **Avaliação sazonal das águas do reservatório da usina hidrelétrica Caçu no município de Caçu, Goiás.** Revista do Departamento de Geografia - Universidade de São Paulo, v.29, p.137-160, 2015.

RUFFATO-FERREIRA, Vera; BARRETO, Renata da Costa; JÚNIOR, Antonio Oscar; SILVA, Wanderson Luiz; VIANA, Danielde Berrêdo; NASCIMENTO, José Antonio Senado; FREITAS, Marco Aurélio Vasconcelos. **A foundation for the strategic long-term planning of the renewable energy sector in Brazil: Hydroelectricity and wind energy in the face of climate change scenarios.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.72, p.1124-1137, 2017.

SANTOS, Marco Aurélio; DAMÁZIO, Jorge Machado; ROGÉRIO, Josiclea Pereira; AMORIN, Marcelo Andrade; MEDEIROS, Alexandre Mollica; ABREU, Juliano Lucas Souza; MACEIRA, Maria Elvira Pineiro; MELO, Albert Cordeiro; ROSA, Luiz Pinguelli. **Estimates of GHG emissions by hydroelectric reservoirs: The Brazilian case.** *Energy*, v.133, p.99-107, 2018.

SIDDIQUE, Azhar; SAIED, Sumayya; MUMTAZ, Majid; HUSSAIN, Mirza Mozammel; KHWAJA, Haider. **Multipathways human health risk assessment of trihalomethane exposure through drinking water.** *Ecotoxicology and environmental safety*, v.116, p.129-136, 2015

STROKAL, Maryna; SPANIER, Emiel; KROEZE, Carolien; KOELMANS, Albert; FLÖRKE, Martina; FRANSSSEN, Wietse; HOFSTRA, Nynke; LANGAN, Simon; TANG, Ting; VLIET, Michelle; WADA, Yoshihide; WANG, Mengru; WIJNEN, Jikkevan; WILLIAMS, Richard. **Global multi-pollutant modelling of water quality: scientific challenges and future directions.** *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v.36, p.116-125, 2019.

WANG, Gen-shuh; DENG Ya-Chen; LIN, Tsair-Fuh. **Cancer risk assessment from trihalomethanes in drinking water.** *Science of the Total Environment*, v. 387, p.86-95, 2007.

WARD, Joe. **Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function.** *Journal of the American Statistical Association*, v.58(301), p.236–244, 1963.

Submetido em 27 de setembro de 2019

Aprovado em: 16 de março de 2020

Publicado em: 30 de maio de 2020