

Análise da qualidade da água utilizada para irrigação em propriedades rurais de Cravolândia, BA, Brasil

Quality analysis of water used for irrigation in rural property of Cravolândia, BA, Brazil

Análisis de la calidad del agua utilizada para riego en propiedades rurales en Cravolândia, BA, Brasil

Recebido: 28/07/2022 | Revisado: 13/08/2022 | Aceito: 15/08/2022 | Publicado: 23/08/2022

Marcele Souza Magalhães

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3754-766X>
Centro Universitário Maria Milza, Brasil
E-mail: celemag1@gmail.com

Antonio Anderson Freitas Pinheiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9096-8776>
Centro Universitário Maria Milza, Brasil
E-mail: farmacotony@hotmail.com

Frederico de Medeiros Rodrigues

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9746-6303>
Centro Universitário Maria Milza, Brasil
E-mail: fredericomr@hotmail.com

Paulo Roberto Ribeiro Mesquita

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3187-3800>
Centro Universitário Maria Milza, Brasil
E-mail: prmesquita@gmail.com

Resumo

A qualidade dos recursos hídricos é um aspecto importante para a agricultura irrigada e os problemas ligados à qualidade da água vêm sendo estudados ao longo do tempo, com os resultados evidenciando questões relacionadas principalmente à sua salinidade. A concentração de sais e íons pode alterar consideravelmente as características do plantio, do solo e do desenvolvimento das plantas. O objetivo desse estudo foi avaliar, através de análise estatística multivariada, a qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Rio Jiquiriçá utilizada para irrigação em propriedades rurais de Cravolândia-BA. Duas campanhas em períodos diferentes foram realizadas em nove pontos superficiais de água usadas para irrigação. As análises foram realizadas e comparadas com os valores estabelecidos principalmente pela Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Através da análise multivariada verificou-se que a condutividade elétrica, sódio, sólidos totais e ferro tiveram maior influência na segregação dos grupos amostrais. Pelo emprego da análise de componentes principais identificou-se que dois fatores explicaram mais de 70% da variância total. Conclui-se que dentre os nove pontos amostrados, dois deles, localizados no Rio Olhos d'água, apresentaram resultados não conformes com a legislação para os seguintes parâmetros de avaliação da qualidade da água: cor, sólidos totais, ferro, condutividade elétrica e sódio. Para estes pontos são necessários estudos detalhados para a escolha adequada de culturas mais resistentes à salinidade.

Palavras-chave: Análise multivariada; Qualidade de águas em rios; Processos irrigatórios.

Abstract

The quality of water resources is an important aspect for irrigated agriculture and the problems related to water quality have been studied over time, with the results highlighting issues related mainly to its salinity. The concentration of salts and ions in water can considerably alter the characteristics of planting, soil and plant development. The objective of this study was to evaluate, through multivariate statistical analysis, the water quality of the Jiquiriçá River Watershed used for irrigation in rural properties in Cravolândia-BA. Two campaigns in different periods were conducted at nine surface points water that serve for irrigation practices. The analyzes were performed and compared with the values established mainly by Resolution No. 357/2005 of the National Council for the Environment - CONAMA. Through multivariate analysis, it was found that electrical conductivity, sodium, total solids and iron had the greatest influence on the segregation of the sample groups. By employing principal component analysis, it was found that two factors explained more than 70% of the total variance. It is concluded that among the nine points sampled, two of them, located on the Olhos d'água River, presented results that did not comply with the legislation for the following parameters of evaluation of water quality: color, total solids, iron, electrical conductivity and sodium. For these points, detailed studies are necessary for the adequate choice of cultures more resistant to salinity.

Keywords: Multivariate analysis; River water quality; Irrigation processes.

Resumen

La calidad de los recursos hídricos es un aspecto importante para la agricultura de regadío y los problemas relacionados con la calidad del agua se han estudiado a lo largo del tiempo, con los resultados destacando problemas relacionados principalmente con su salinidad. La concentración de sales e iones puede alterar considerablemente las características de plantación, suelo y desarrollo de las plantas. El objetivo de este estudio fue evaluar, a través del análisis estadístico multivariado, la calidad del agua de la Cuenca del Río Jiquiriçá utilizada para riego en propiedades rurales en Cravolândia-BA. Se realizaron dos campañas en diferentes periodos en nueve puntos de agua superficial utilizados para riego. Los análisis fueron realizados y comparados con los valores establecidos principalmente por la Resolución N° 357/2005 del Consejo Nacional del Medio Ambiente - CONAMA. Mediante análisis multivariado se encontró que la conductividad eléctrica, el sodio, los sólidos totales y el hierro tuvieron una mayor influencia en la segregación de los grupos de muestra. Utilizando el análisis de componentes principales, se identificó que dos factores explicaban más del 70% de la varianza total. Se concluye que entre los nueve puntos muestreados, dos de ellos, ubicado sobre el río Olhos d'água, presentaron resultados que no cumplían con la legislación para los siguientes parámetros de evaluación de la calidad del agua: color, sólidos totales, hierro, conductividad eléctrica y sodio. Por estos puntos, son necesarios estudios detallados para la adecuada elección de cultivos más resistentes a la salinidad.

Palabras clave: Análisis multivariado; Calidad del agua en ríos; Procesos de riego.

1. Introdução

A qualidade da água para irrigação extraída das fontes de água superficial é tradicionalmente definida principalmente pela quantidade total de sais dissolvidos e sua composição iônica. Os sais podem prejudicar o crescimento da planta, limitando a retirada de água através de modificações, causando alterações nas estruturas e na permeabilidade do solo. Além disso, a má qualidade da água pode comprometer o sistema de irrigação, como o entupimento de emissores em irrigação localizada (Brito & Andrade, 2010; Silva et al., 2011; Lothrop et al., 2018).

A avaliação de águas usadas para irrigação no Brasil se faz indispensável, sobretudo devido as águas usadas serem provenientes de rios, açudes, córregos, lagos e poços adjacentes às hortas, nos quais se observa frequentemente disposição inadequada de esgotos domésticos e animais, o que pode levar a degradação hídrica (Araújo et al., 2015; Rodrigues, 2017).

Monitorar a qualidade da água em bacias hidrográficas geralmente é um procedimento complexo por envolver a utilização de diversos parâmetros de qualidade (Moretto et al., 2012). É importante destacar que esse monitoramento aparece como um dos principais instrumentos para uma política de recursos e gestão hídrica. Assim, os efeitos desse acompanhamento são demonstrados nas características qualitativas das águas, de modo a ajudar em ações de controle ambiental (Guedes et al., 2012; Silva et al., 2016; Misaghi et al., 2017).

Normalmente, o monitoramento ambiental de uma grande quantidade de parâmetros traz dificuldades na interpretação dos resultados exigindo conhecimentos na área (Embrapa, 2010). A partir daí, faz-se necessário o uso de abordagens, como a estatística multivariada, que permitem uma redução dos dados e uma interpretação de diversos constituintes de forma conjunta. A análise de componentes principais, por exemplo, permite a redução de variáveis através de critérios objetivos, sendo de grande impacto no estudo ambiental de bacias e corpos hídricos (Girão et al., 2007).

O objetivo do presente estudo foi avaliar, através de análise estatística multivariada, a qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Rio Jiquiriçá usada para irrigação em propriedades rurais do município de Cravolândia/BA. Avaliou-se onze parâmetros físico-químicos utilizando a análise estatística multivariada. Duas campanhas foram realizadas em nove pontos superficiais de água usadas para irrigação. As análises foram realizadas e comparadas com os valores estabelecidos principalmente pela Resolução n° 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.

Este estudo apresenta relevância para a área em questão, pois, apesar de existir trabalhos relacionados a qualidade da água para irrigação, nenhum fez análise estatística multivariada das águas da bacia do Rio Jiquiriçá, sendo de grande importância para entender como as variáveis se correlacionam naquela região.

2. Metodologia

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na Bacia Hidrográfica do Rio Jiquiriçá na área do município de Cravolândia/BA, coordenadas geográficas 13° 21' 32" latitude sul e 39° 48' 54" longitude oeste. O município está localizado a 477 m de altitude e situada a cerca de 317 km de distância da capital baiana (Salvador). O clima da região é o semiárido, conforme a Portaria Interministerial nº 1, de 9 de março de 2005. Essa classificação teve como base os índices de precipitação pluviométrica atualizados com uma média anual menor que 800 mm, índice de aridez (até 0,5) e risco de seca maior que 60% do município (Oliveira et al., 2013).

A bacia hidrográfica do Jiquiriçá se localiza na região do Recôncavo Sul, no estado da Bahia ocupando uma área de 6.900 km², distribuídos por 25 municípios (Figura 1). O rio Jiquiriçá tem 275 km de extensão e diversos rios afluentes, dentre eles o rio Olhos d'água, rio Preto e rio Piabanha que atravessam o município de Cravolândia e deságuam no rio Jiquiriçá.

Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Jiquiriçá, Bahia.



Fonte: Autores (2022).

Obtenção das amostras

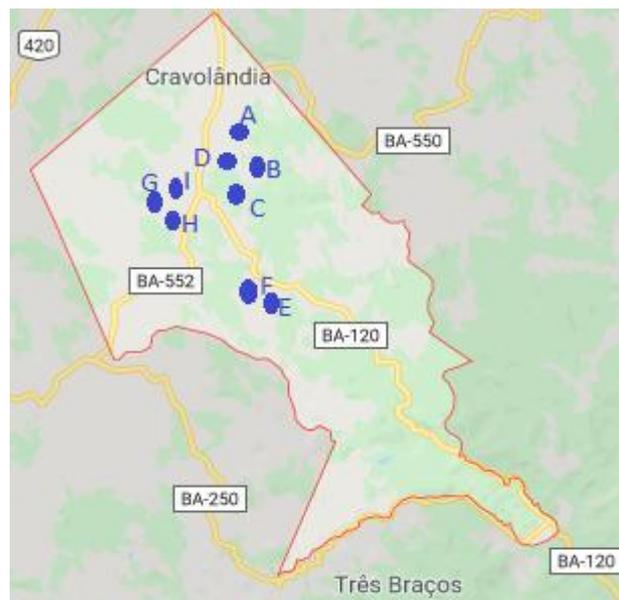
Desejando avaliar a qualidade da água na região de Cravolândia realizaram-se duas coletas de amostras de águas, em nove pontos de águas superficiais usadas para irrigação nas propriedades rurais, como pode ser verificado na Tabela 1. Esses pontos foram escolhidos dentro da região de maior produção agrícola e com o critério de acessibilidade à área do recurso hídrico destinado à irrigação. Os pontos foram nomeados como A, B, C, D, E, F, G, H e I (Figura 2).

Tabela 1 - Características dos pontos de monitoramento na região de Cravolândia/BA.

Ponto de coleta	Recurso hídrico	Coordenadas geográficas	
A	Rio Preto	13°41'01"	39°82'34"
B	Rio Preto	13°41'47"	39°82'35"
C	Rio Preto	13°41'12"	39°76'89"
D	Rio Preto	13°41'16"	39°77'09"
E	Rio Olhos d'água	13°48'23"	39°73'38"
F	Rio Olhos d'água	13°48'42"	39°73'84"
G	Rio Piabanha	13°48'78"	39°74'72"
H	Rio Piabanha	13°48'80"	39°74'85"
I	Rio Piabanha	13°48'95"	39°74'22"

Fonte: Autores (2022).

Figura 2. Identificação aproximada dos pontos amostrados no município de Cravolândia/BA.



Fonte: Autores (2022).

O período escolhido para coleta de água foi em função da época do ano e do período de seca e chuva, sendo realizada nos seguintes períodos: meses de maio (período seco) (Figura 3) e setembro (período chuvoso) do ano 2018, entre as 8 e 11 h da manhã.

Figura 3. Pontos de coleta localizado no município de Cravolândia/BA situados no (a) Rio Preto, (b) Rio Piabanha e (c) verificação de temperatura no Rio Preto.



Fonte: Autores (2022).

As amostras foram coletadas na proximidade das bombas de irrigação. Foram utilizados frascos de polietileno novos, com capacidade de 1 L para cada ponto amostrado e aproximadamente 10 cm de profundidade nos pontos de captação de água. No momento da amostragem foi feita uma ambientação dos frascos, submergindo-os e lavando-os de duas a três vezes com a mesma água a ser amostrada (Brandão et al., 2011).

Análise da qualidade da água

Após o término das coletas, os recipientes foram transportados sob condições de refrigeração, utilizando-se uma caixa isotérmica contendo gelo mantendo uma temperatura em torno de 4 °C até o local da análise no Laboratório de Controle de Qualidade em Santo Antônio de Jesus/Ba, onde foram determinados 11 parâmetros físico-químicos: temperatura, cor aparente, potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica, relação de adsorção de sódio (RAS), sódio, cálcio e magnésio, turbidez, sólidos totais em suspensão, ferro e manganês. A variável temperatura foi medida no local com uso de um termômetro de infravermelho a laser, com sensibilidade de 0,1 °C, previamente calibrado. As demais análises laboratoriais seguiram as metodologias descritas no *Standard for the Examination of Water and Wastewater* (SMEWW), da *American Public Health Association* (Apha, 2005) e em *Qualidade de Água para Irrigação* (Embrapa, 2010).

Análise estatística

A associação entre as variáveis que influenciam a qualidade da água usada para irrigação em Cravolândia foi identificada mediante o uso de análise estatística multivariada de Matriz de Correlação, Análise dos Componentes Principais (ACP) e Análise de Cluster por Agrupamento Hierárquico (HCA). Foi utilizado o software R, versão 3.5.0, licença gratuita para os cálculos de matriz de correlação e ACP, enquanto o software Metaboanalyst 3.0 foi empregado para a análise de Cluster e mapa de calor.

A análise estatística multivariada é útil para problemas envolvendo muitas variáveis que se relacionam entre si, tal como os referentes à qualidade das águas (Bitencourt, 2018). Inicialmente realizou-se a análise de matriz de correlação e em um segundo momento foi realizado a ACP dos dados que tem como objetivo identificar quais parâmetros de qualidade de água foram mais significativos na caracterização da qualidade da água da região estudada. Por fim, foi realizada a análise de Cluster que tem como objetivo básico descobrir agrupamentos naturais dentro do conjunto de variáveis de forma que os semelhantes sejam agrupados em um mesmo grupo.

A matriz de correlação amostral se mostrou uma ferramenta muito eficiente para verificar a intensidade da relação entre as variáveis e, por ser padronizada ela retira o efeito da unidade de medida dos dados permitindo uma comparação direta (Hair et al., 2009). Foi feita dividindo-se os desvios em relação à média de cada variável ($X_{ij} - \bar{X}_j$) por seu desvio padrão $S(X_j)$ conforme pode ser verificado na equação (1).

$$(1) \quad Y_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{S(X_j)}$$

em que Y_{ij} representa a i-ésima observação da j-ésima variável padronizada, X_{ij} representa i-ésima observação da j-ésima variável, \bar{X}_j a média da j-ésima variável e $S(X_j)$ o desvio padrão da j-ésima variável.

A ACP visa explicar a maior parte da variância contida no conjunto de dados. Por meio dos componentes principais é possível selecionar as características de maior participação em cada componente e definir as características físico-químicas da água que devem ser monitoradas (Bitencourt, 2018), adotando o critério de escolha em um número de componentes que mantenha pelo menos 70% da variabilidade original dos dados.

Como complementação, realizou-se a técnica de agrupamento que interliga as amostras por associações produzindo dendogramas nos quais as amostras semelhantes mediante as variáveis escolhidas são agrupadas entre si, sendo que quanto mais próximos os pontos, maior a semelhança entre elas (Moita Neto & Moita, 1998). A análise de Cluster é um grupo de técnicas multivariadas cuja finalidade principal é agregar objetos com base nas suas características intrínsecas e assim separar os que são dissimilares (Johnson & Wichern, 2007; Ferreira, 2008).

3. Resultados e Discussão

O resultado das análises dos parâmetros físico-químicos das amostras de água coletadas em diferentes pontos do município de Cravolândia/BA pode ser observado na Tabela 2. A análise dos parâmetros físico-químicos mostra que a maioria se encontra dentro dos valores de referência, no entanto algumas amostras apresentam valores não conformes. As amostras E e F (Rio Olhos d'água) apresentam valores acima do aceitável com relação aos parâmetros sólidos totais em suspensão, cor, concentração de ferro e condutividade elétrica. Enquanto as amostras A, B, C e D (Rio Preto) apresentam valores não conformes para o parâmetro cor e a amostra H (Rio Piabanha) apresenta valor ligeiramente superior ao máximo permitido para condutividade elétrica.

Tabela 2. Resultados médios dos parâmetros físico-químicos da água coletada no município de Cravolândia/BA.

Pontos coleta	Temp (°C)	pH	Turb (NTU)	Sol. Totais (g L ⁻¹)	Cor (mg Pt L ⁻¹)	Mg (mg L ⁻¹)	Fe (mg L ⁻¹)	Cond (µs cm ⁻¹)	Na (meq L ⁻¹)	Ca+Mg (meq L ⁻¹)	Ras (mmolc L ⁻¹)
A	27,1	6,61	2,35	0,25	80,00	0,02	0,10	203,05	1,21	0,82	2,15
B	26,7	6,69	3,58	0,35	80,00	-	0,10	95,52	0,26	0,69	0,46
C	25,5	6,90	4,08	0,17	80,00	-	0,15	103,60	0,30	0,73	0,55
D	25,8	7,00	5,17	0,26	80,00	0,05	0,30	106,55	0,72	0,35	1,74
E	25,2	6,62	3,02	1,60	90,00	0,07	1,85	520,00	3,80	1,40	4,95
F	25,6	6,72	1,52	0,98	80,00	0,05	0,80	544,25	3,56	1,88	4,24
G	24,8	6,75	2,45	0,45	30,00	0,05	0,20	163,15	1,22	0,41	2,73
H	24,4	6,45	1,31	0,32	40,00	0,05	0,20	300,55	1,75	1,25	2,22
I	23,8	6,65	1,61	0,32	40,00	0,02	0,20	225,25	1,20	1,05	1,66
Valores de Referência	-	6,0-9,0 ^a	≤ 40,0 ^a	≤ 0,50 ^a	≤ 75,0 ^a	≤ 0,30 ^a	≤ 0,30 ^a	≤ 300,00 ^b	≤ 40,00 ^b	≤ 25,00 ^b	≤ 15,00 ^b

^aBrasil, Resolução nº 357/05 do CONAMA; ^bALMEIDA, 2010. Os números em negrito estão acima dos valores de referência.

Temp (°C) – temperatura; pH– potencial hidrogeniônico; Turb (UNT) – turbidez; sólidos totais; SST (mg L⁻¹); Cor (mg Pt L⁻¹) –cor aparente; Mn (mg L⁻¹) –manganês; Fe (mg L⁻¹) – Ferro; Cond (µS cm⁻¹) – condutividade elétrica; Na (meq L⁻¹) – sódio; Ca + Mg (meq L⁻¹) –cálcio e magnésio; RAS (mmolc L⁻¹) – relação adsorção sódio.

Fonte: Autores (2022).

A análise dos parâmetros físico-químicos de qualidade da água utilizada para irrigação coletada em Cravolândia/BA mostrou que os resultados se encontram, em sua maioria, dentro do preconizado pela legislação do CONAMA para fins de irrigação. No entanto, as amostras E e F (Rio Olhos d'água) apresentam valores acima do aceitável com relação aos parâmetros sólidos totais em suspensão, cor, concentração de ferro e condutividade elétrica. Altas concentrações de sólidos totais suspensos na água podem levar a incrustações sobre a superfície dos equipamentos de irrigação, provocando entupimentos significativos nos emissores na saída de água (Almeida, 2010; Souza et al., 2019). O depósito de materiais orgânicos ou inorgânicos tais como: areia, argilas, carbonatos, ferro e organismos biológicos são prejudiciais ao sistema de irrigação, o que se agrava nos períodos chuvosos devido a maior lixiviação e percolação de contaminantes e materiais inertes em águas superficiais e subterrâneas em períodos chuvosos (Brito et al., 2020, Santos et al., 2020).

Com relação aos valores não conformes do parâmetro condutividade elétrica encontrados nos pontos E, F e H (Rio Olhos d'água e Rio Piabanha), pode estar relacionado ao acúmulo de minerais no local, provenientes de descarte de efluentes e má conservação das áreas de preservação, pois quanto mais poluída a água estiver, maior será o valor de condutividade elétrica medido (Pereira-Silva et al., 2011; Almeida et al., 2022). Os pontos E e F (Rio Olhos d'água) também apresentaram resultados superiores ao limite para concentração de ferro (Fe), que é de 0,3 mg L⁻¹. Altas concentrações de ferro podem ser tóxicas para o plantio, principalmente sob condições anaeróbicas. Sousa Júnior e Costa Silva (2022) encontraram níveis de Fe em uma faixa de 1,066 a 1,333 mg L⁻¹ em amostras coletadas no açude Novo Angicos, no município de Angicos/RN. Os valores elevados para a medida de cor aparente observados em algumas das amostras podem ser devido a alta concentração de matéria orgânica ou compostos inorgânicos dissolvidos (Parron et al., 2011). Águas com cor aparente acima do preconizado na legislação podem ter como características dificuldade na penetração da luz e à presença de compostos recalcitrantes (não biodegradáveis, isto é, de taxas de decomposição muito baixas) que em geral são tóxicos aos organismos aquáticos (Brasil, 2005; Piveli & Kato, 2006).

Então realizou-se a análise multivariada dos dados para avaliar as similaridades e diferenças nos parâmetros de qualidade da água coletada nos diferentes pontos do município de Cravolândia/BA. A matriz de correlação composta das

variáveis estudadas pode ser vista na Tabela 3. Pode-se verificar que pelo critério adotado nenhuma variável foi descartada para realização da ACP. Algumas variáveis se apresentam altamente correlacionadas como, por exemplo: sódio e condutividade elétrica, ferro e sólidos, condutividade elétrica e RAS, sódio e RAS; com destaque para as variáveis sódio e condutividade elétrica, que apresentaram a maior correlação (0,98) e ferro e sólidos suspensos totais, que apresentaram a correlação (0,96).

Tabela 3. Matriz de correlação das análises de água no município de Cravolândia/BA.

	Temp	pH	Turb	Sol	Cor	Mg	Fe	Cond	Na	Ca+Mg	Ras
Temp	1										
pH	0,19	1									
Turb	0,43	0,84	1								
Sol	-0,02	-0,23	-0,24	1							
Cor	0,6	0,47	0,51	0,32	1						
Mn	-0,12	0,56	0,32	-0,08	0	1					
Fe	-0,05	-0,03	-0,09	0,96	0,42	0,08	1				
Cond	-0,11	-0,42	-0,56	0,85	0,19	0,01	0,8	1			
Na	-0,15	-0,37	-0,49	0,9	0,14	0,1	0,86	0,98	1		
Ca+Mg	-0,03	-0,48	-0,62	0,67	0,27	-0,14	0,62	0,93	0,85	1	
Ras	-0,24	-0,25	-0,37	0,82	-0,09	0,33	0,79	0,8	0,9	0,55	1

Temp (°C) – temperatura; pH– potencial hidrogeniônico; Turb (UNT) – turbidez; sólidos totais; SST (mg L⁻¹); Cor (mg Pt L⁻¹) –cor aparente; Mn (mg L⁻¹) –manganês; Fe (mg L⁻¹) – Ferro; Cond (µS cm⁻¹) – condutividade elétrica; Na (meq L⁻¹) – sódio; Ca + Mg (meq L⁻¹) –cálcio e magnésio; RAS (mmolc L⁻¹) – relação adsorção sódio.

Fonte: Autores (2022).

Observa-se que na Tabela 3, as variáveis apresentam correlação superior a 0,5 com pelo menos duas variáveis de qualidade. De acordo com Helena et al. (2000), coeficientes de correlação superiores a 0,5 indicam forte relação entre as variáveis de qualidade de água. A turbidez e cor aparente geralmente são variáveis altamente relacionadas, pois nos pontos de amostragem que apresentaram turbidez mais elevada, a cor aparente também apresentou valores altos. De acordo com Malheiros et al. (2012) e Rocha e Pereira (2016), a turbidez interfere diretamente na medida da cor aparente, além dos valores dessas variáveis serem mais elevados nas amostras da interface sedimento-água. Os resultados do presente estudo foram semelhantes aos encontrados por Casquin (2016) em avaliações realizadas no manancial de Juiz de Fora (MG), quando o autor encontrou valores de turbidez e cor aparente que mostraram correlações de forma que quando a turbidez aumentava, a cor também aumentava.

A segunda etapa concerne na ACP. Segundo Bengraine e Marhaba (2003), a ACP é um método muito indicado para a análise de variações espaciais e temporais da qualidade de água, como também para o estudo das possíveis relações entre uso do solo e qualidade de água. Observou-se um modelo com 2 componentes em cada grupo de análise que foi adequado para representar e explicar mais de 70% de variância total (Tabela 4). Para a seleção do número de componentes principais foi adotado o critério de escolha em um número de componentes que mantenha pelo menos 70% da variabilidade original dos dados, princípios sugeridos por Jolliffe (2002). Nesse trabalho adotou-se duas componentes, explicando aproximadamente 74% da variabilidade.

Tabela 4. Matriz de peso fatorial das variáveis da qualidade da água nos dois componentes principais (CP) selecionados.

	PC1	PC2
Temperatura	-0,08	0,33
pH	-0,2	0,47
Turbidez	-0,24	0,48
Sólidos totais suspensos	0,38	0,18
Cor	0,05	0,52
Manganês	-0,01	0,25
Ferro	0,36	0,27
Condutividade elétrica	0,42	0,03
Sódio	0,42	0,06
Cálcio + Magnésio	0,37	-0,02
Relação adsorção Sódio	0,36	0,05
% variância explicada	50,5%	23,8%
% variância acumulada	50,5%	74,3%

Fonte: Autores (2022).

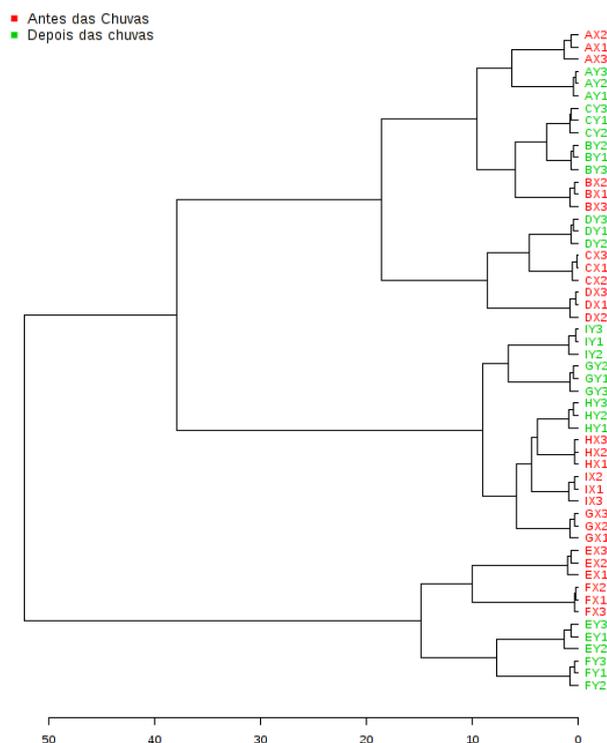
A variabilidade explicada pela primeira componente do grupo A representa 50,5% e está associada principalmente às variáveis condutividade elétrica e sódio. Devido aos baixos valores de peso atribuído às variáveis temperatura, magnésio, pH e turbidez, a contraposição é desconsiderada. A segunda componente que explica 23,8% da variabilidade original dos dados está associada às variáveis pH, turbidez e cor e, apesar de existir uma contraposição com a variável cálcio e magnésio, esta pode ser desconsiderada devido ao baixo peso atribuído à variável na componente principal. Dessa forma, no primeiro componente foram significativas as variáveis relacionadas aos sais dissolvidos na água enquanto o segundo componente foi relacionado principalmente aos sólidos suspensos totais.

Estudo usando CP também foram feitos por Bertossi et al. (2013) ao avaliarem a qualidade das águas de uma sub-bacia hidrográfica rural no Sul do Estado do Espírito Santo. Eles encontraram três componentes principais que explicaram 87,53% da variância total no qual as características mais representativas da variabilidade da qualidade das águas estudadas foram: condutividade elétrica, sólidos suspensos totais e turbidez.

Após a realização da ACP foi realizada a Análise de Cluster entre os dois grupos de amostras (antes e após o período chuvoso), mostrando similaridade entre eles. De acordo com Cieszynska et al. (2012), ao contrário da ACP que faz algumas simplificações na informação da variância, a análise de agrupamentos representa a variação total do conjunto de dados.

A Figura 4 apresenta o dendograma referente a análise de agrupamentos hierárquico no qual as águas das propriedades foram agrupadas quanto à similaridade das características de qualidade selecionadas como mais importantes na ACP.

Figura 4. Dendograma mostrando a discriminação por período de chuva e sítios de coleta no município de Cravolândia/BA.



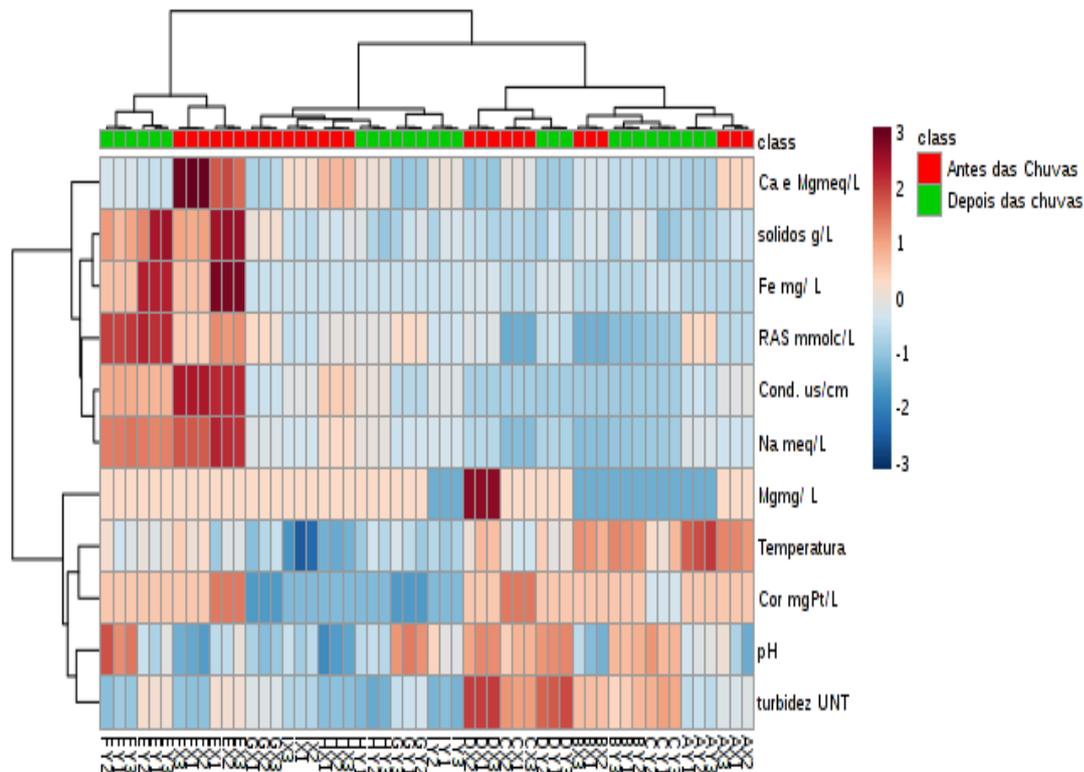
Fonte: Autores (2022).

As amostras X (1, 2, 3) representam análises realizadas no período antes das chuvas, enquanto as amostras Y (1,2,3) representam as análises no período após as chuvas, em triplicata. Observa-se na Figura 4 o perfil de similaridade das águas amostradas nas propriedades de Cravolândia que dá uma característica de diferenciação em três grupos, cada um com um perfil de qualidade de água diferente e que não tiveram variações importantes por conta do período analisado. Um primeiro Cluster é formado pelas águas amostradas dos pontos A, B, C e D (Rio Preto); um segundo grupo com os pontos I, G e H (Rio Piabanha); enquanto um terceiro grupo foi composto pelas águas tomadas dos pontos E e F (Rio Olhos d'água). Foram observadas diferenças significativas entre as amostras do período seco e chuvoso para os pontos B, C, D (Rio Preto), E, F (Rio Olhos d'água), G e I (Rio Piabanha). No trabalho de Lopes et al. (2014), realizado para avaliar a qualidade da água de um reservatório de água do semiárido brasileiro, os pesquisadores encontraram no dendograma três grupos diferentes de qualidade da água de sete pontos monitorados. Assim, a Figura 4 mostra que os nove pontos de monitoramento poderiam ser reduzidos a três. As semelhanças da água usando o método hierárquico pela Análise de Cluster também foi utilizada por Varol et al. (2013) ao estudar a qualidade da água dos reservatórios da bacia do rio Tigre na Turquia, no qual os pesquisadores descobriram que os pontos de monitoramento poderiam ser reduzidos de 10 para 4.

O dendograma permite visualizar as distâncias entre as variáveis relacionadas à qualidade. Dessa forma, foi possível perceber 3 clusters com base nas similaridades das águas estudadas. Os grupos 1 e 2 foram formados por águas que apresentaram concentrações aceitáveis dos parâmetros de qualidade relacionados com a salinidade da água, o grupo 3 apresentou as maiores concentrações de salinidade, o que os diferenciou da maior parte das águas.

A caracterização e diferenciação das variedades da água de Cravolândia/BA foi finalizada realizando a análise multivariada por agrupamento hierárquico associada ao mapa de calor, para facilitar a visualização das relações entre as variáveis e os pontos amostrados (Benton et al., 2015). No mapa de calor é demonstrada a influência das variáveis nos dois períodos estudados conforme a Figura 5.

Figura 5. Mapa de calor mostrando as variáveis que discriminam no dendograma as amostras coletadas no município de Cravolândia/BA.



Fonte: Autores (2022).

Através do mapa de calor, representado na Figura 5, é possível perceber que as características de maior influência para o distanciamento das águas amostradas E e F (Rio Olhos d'água) foram decorrentes dos parâmetros: sólidos suspensos totais, ferro, cálcio e magnésio, RAS, condutividade e sódio, características relacionadas à salinidade e aos sólidos totais. Essas características diferem-se estatisticamente das outras propriedades, fato que pode estar associado com a maior mineralização das águas E e F originadas de um mesmo afluente - Rio Olhos d'água.

Desse modo, em geral as amostras analisadas apresentaram boa qualidade da água para fins de irrigação, um fator crucial uma vez que a qualidade da água é um dos aspectos mais importantes da produção agrícola irrigada, pois a água fora dos padrões compromete a produção agrícola inviabilizando a comercialização (Dahan et al., 2014; Silva et al., 2021).

4. Conclusão

As variáveis condutividade elétrica, sódio, sólidos suspensos totais e ferro tiveram maior influência na segregação dos grupos de amostras detectados na análise multivariada das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Jiquiriçá utilizadas para irrigação na região do município de Cravolândia/BA. Os pontos amostrados de água para irrigação provenientes do Rio Olhos d'água apresentaram resultados não conformes com a legislação para os parâmetros de qualidade da água: cor, sólidos suspensos totais, ferro, condutividade elétrica e sódio independente do período analisado, logo independente da sazonalidade. Para as propriedades situadas próximas aos pontos de amostragem do Rio Olhos d'água podem ser necessários estudos detalhados e complementares para escolha mais adequada de culturas mais resistentes à salinidade das águas. Desse modo, a utilização da análise multivariada dos parâmetros físico-químicos de qualidade foi essencial para melhor compreensão a cerca dos indicadores que mais podem influenciar no processo de irrigação na área estudada.

Agradecimentos

Este estudo foi realizado com o apoio dos produtores de Cravolândia/BA, proprietários das áreas estudadas que permitiram o acesso e coleta das águas para a pesquisa. M. S. Magalhães agradece ao Centro Universitário Maria Milza pela bolsa de mestrado concedida.

Referências

- Almeida, O. A. (2010). *Qualidade da Água de Irrigação*. 1st ed., Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura.
- Almeida, T. P., Macena, D. A., Simões, J. S. T., Mareco, E. A., Rossi, R. C., & Favareto, A. P. A. (2022). Análise de parâmetros de qualidade da água e teste de genotoxicidade em peixes da bacia hidrográfica do rio Pirapozinho – SP, Brasil. *Research, Society and Development*, 11 (3), e46711319309.
- Apha – American Public Health Association (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21st ed., New York: AWWA, WPCR.
- Araújo, F. V. de, Vieira, L., Jayme, M. M. A., Nunes, M. C., & Cortes, M. (2015). Avaliação da qualidade da água utilizada para irrigação na bacia do Córrego Sujo, Teresópolis, RJ. *Caderno de Saúde Coletiva*, 23, 380-385.
- Bengraïne, K., & Marhaba, T. F. (2003). Using principal component analysis to monitor spatial and temporal changes in water quality. *Journal of Hazardous Materials*, 100, 179-195.
- Benton, P. H., Ivanisevic, J., Rinehart, D., Epstein, A., Kurczy, M. E., Boska, M. D., Gendelman, H. E., & Siuzdak, G. (2015). An interactive cluster heat map to visualize and explore multidimensional metabolomic data. *Metabolomics*, 11, 1029-1034.
- Bertossi, A. P. A., Menezes, J. P. C. de., Cecílio, R. A., Garcia, G. O., & Neves, M. A. (2013). Seleção e agrupamento de indicadores da qualidade de águas utilizando Estatística Multivariada. *Revista Semina: Ciências agrárias*, 34, 2025-2036.
- Bitencourt, C. C. A. de. (2018). *Integração de análise estatística multivariada e geoprocessamento: Aplicação para estudos de enquadramento de corpos d'água*. 2018. 162 f. Dissertação Mestrado da UFPA, Curitiba.
- Brandão, C. J., et al. (2011). *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos / Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, São Paulo: CETESB; Brasília: ANA*. 326 p.
- Brasil. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA (2005). Resolução n° 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, DF.
- Brito, R. A. L., Andrade, C. L. T. (2010). Qualidade da água na agricultura e no ambiente. *Informe Agropecuário*, 31, 50-57.
- Britto, F. B., Vasco, A. N., Morais, G. F. O., & Aguiar Netto, A. O. (2020). Técnicas estatísticas para análise da qualidade da água em áreas irrigadas no baixo Rio São Francisco. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, 11 (2), p.192-203.
- Casquin, A. P. (2016). *Fatores determinantes da qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Rio Preto (MG/RJ)*. 2016. 232p. Dissertação mestrado-. Juiz de Fora: UFJF, Juiz de Fora.
- Cieszynka, M., Wesolowski, M., Bartoszewicz, M., Michalska, M., & Nowacki, J. (2012). Application of physicochemical data for water-quality assessment of watercourses in the Gdansk Municipality (South Baltic coast). *Environmental Monitoring and Assessment*, 184, 2017-2029.
- Dahan, O., Babad, A., Lazarovitch, N., Russak, E. E., & Kurtzman, D. (2014). Nitrate leaching from intensive organic farms to groundwater. *Hydrology Earth System Sciences*, 18 (7), p.333-341.
- Ferreira, D. F. (2008). *Estatística Multivariada*. (1st ed.): UFLA.
- Girão, E. G., Andrade, E. M. de, Rosa, M. F., Araújo, L. F. P. de, Meireles, A. C. M. (2007). Seleção dos indicadores da qualidade de água no Rio Jaibas pelo emprego da análise da componente principal. *Revista Ciência Agronômica*, 38, 17-24.
- Guedes, H. A. S., Silva, D. D., Elesbon, A. A. A., Ribeiro, C. B. M., Matos, A. T. de, & Soares, J. H. P. (2012). Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pombo, MG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16, 558-563.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Tatham, R. L. (2009). *Análise multivariada de dados*. Tradução de Adonai Schlup Sant'Anna; 6st ed. Porto Alegre: Bookman.
- Helena, B., Pardo, R., Vega, M., Barrado, E., Fernandez J. M., & Fernandez, L. (2000). Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga river, Spain) by principal component analysis. *Water Research*, 34, 807-816.
- Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 6st ed. New Jersey: Prentice Hall
- Jolliffe, L. T. (2002). *Principal component analysis*. (2st ed.): Springer.
- Lopes, F. B., Andrade, E. M. de, Meireles, A. C. M., Becker, H., & Batista, A. A. (2014). Assessment of the water quality in a large reservoir in semiarid region of Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18, 437-445.
- Lothrop, N., Bright, K. R., Sexton, J., Pearce-walker, J., & Reynolds, K. A. (2018). Optimal strategies for monitoring irrigation water quality. *Agricultural Water Management*, 199, 86-92.

- Malheiros, C. H., Hardoim, E. L., Lima, Z. M. de, & Amorim, R. S. S. (2012). Qualidade da água de uma represa localizada em área agrícola (Campo Verde, MT, Brasil). *Revista Ambiente & Água*, 7, 245-262.
- Misaghi, F., Delgosha, F., Razzaghmanesh, M., & Myers, B. (2017). Introducing a water quality index for assessing water for irrigation purposes: A case study of the Ghezel Ozan River. *Science of the Total Environment*, 589, 107-116.
- Moita Neto, J. M., & Moita, G. C. (1998). Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. *Química Nova*, 21, 467-469.
- Moretto, D. L., Panta, R. E., Costa, A. B. da, & Lobo, E. A. (2012). Calibration of water quality index (WQI) based on Resolution nº 357/2005 of the Environment National Council (CONAMA). *Acta Limnologica Brasiliensia*, 24, 29-42.
- Oliveira, P. C. P., Gloaguen, T. V., Gonçalves, R. A. B., & Santos, D. L. (2013). Produção de moranga irrigada com esgoto doméstico tratado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17, 861-867.
- Parron, L. M., Muniz, D. H. F., & Pereira, C. M. (2011). *Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água*. Colombo: Embrapa Florestas.
- Pereira-Silva, E. F. L. (2011). Avaliação da qualidade da água em microbacias hidrográficas de uma Unidade de Conservação do Nordeste do estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Biociências*, 9 (3), 371-381.
- Piveli, R. P., & Kato, M. T. (2006). *Qualidade das águas e poluição: Aspectos Físico Químicos*, (1ª ed.) ABES-Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo, cap. 6 e 7.
- Rocha, C. H. B., & Pereira, A. M. (2016). Análise multivariada para seleção de parâmetros de monitoramento em manancial de Juiz de Fora, Minas Gerais. *Revista Ambiente e Água*, 11, 176-187.
- Rodrigues, B. M. (2017). Cartografia Aplicada à análise ambiental de bacia hidrográfica – Um estudo de caso na bacia do rio Pirapozinho. 2017. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional) – Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente.
- Santos, L. F., Marinho, E. R., Moreira, F. S. A., Carneiro, B. S., & Faial, K. C. F. (2020). Avaliação da qualidade da água da baía do Guajará em Belém/PA. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, 11(2), p.367-380.
- Silva, I. N., Fontes, L. de O., Tavella, L. B., Oliveira, J. B. de, & Oliveira, A. C. de. (2011). Qualidade de água na irrigação. *Agropecuária Científica no Semi-árido*. 7, 1-15.
- Silva, A. F. S., Lima, C. A. de, Queiroz, J. J. F., Jácome, P. R. L. de A., & Jácome Júnior, A. T. (2016). Análise bacteriológica das águas de irrigação de horticulturas. *Ambiente e Água*, 11, 428-438.
- Silva, I. J., Carvalho, G. W. A., Vitor, E. H. S., Alves, D. A., & Abreu, C. M. (2021). Irrigação de hortaliças por agricultores familiares: uma análise física, química e microbiológica da água. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12 (5), 587-596.
- Sousa Júnior, F. S. de, & Silva, P. C. C. (2022). Avaliação da qualidade da água para irrigação dos açudes urbanos do município de Angicos-RN. *Conjecturas*, 22 (1), 834-849.
- Souza, M., & Ribeiro, A. A. (2019). Qualidade da água para fins de irrigação em regiões áridas e semiáridas. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, 13 (4), 355-359.
- Varol, M., Gokot, B., & Bekleyen, A. (2013). Dissolved heavy metals in the Tigris River (Turkey): spatial and temporal variations. *Environmental Science and Pollution Research*, 20, 6096-6108.