

UTILIZAÇÃO DA MULTIVARIADA NA CLASSIFICAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE ARAPIRACA – AL

Data de aceite: 02/05/2023

Thais Rayane Gomes da Silva

Engenheira Agrônoma, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em;

Rosilaine Marta Alves

Engenheira Agrônoma - UFAL

José Ferreira de Oliveira

Graduando em Agronomia - UFAL - Campus Arapiraca; Mestre em Agricultura e Ambiente - UFAL

Felipe Del Massa Martins

Doutorando do Programa de Pós-Graduação em

Mayara Rodrigues Nascimento

Mestrando do Programa em Pós-Graduação em Ambiente e Agricultura - UFAL;

Elessandra Araújo de Souza

Mestrando do Programa em Pós-Graduação em Ambiente e Agricultura - UFAL;

Larissa Vasconcelos dos Santos

Graduando em Agronomia - UFAL - Campus Arapiraca; Mestre em Agricultura e Ambiente - UFAL

Júlio Cesar Calixto Costa

Graduando em Agronomia - UFAL - Campus Arapiraca; Mestre em Agricultura e Ambiente - UFAL;

Ilaine Benício dos Santos

Graduando em Agronomia - UFAL - Campus Arapiraca; Mestre em Agricultura e Ambiente - UFAL

Julio César Silva Cavalcante

Graduando em Agronomia - UFAL - Campus Arapiraca; Mestre em Agricultura e Ambiente - UFAL

Márcio Aurélio Lins dos Santos

Engenheiro Agrônomo - Professor do Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente

Cícero Gomes dos Santos

Engenheiro Agrônomo - Professor do Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente

RESUMO: A água tem profunda importância no desenvolvimento de diversas atividades econômicas e não seria diferente na agricultura, pois quando se fala em produção agrícola, a água representa a maior parte da composição física das plantas. O Brasil

possui dimensões continentais que detém cerca de 13% da água doce superficial do mundo, possuindo grandes reservas de água doce armazenadas na subsuperfície, as chamadas águas subterrâneas. Para viabilizar a implantação do segmento de agricultura irrigada nas comunidades que fazem do Cinturão Verde, utilizando águas subterrâneas, foram abertos poços tubulares. Os parâmetros estudados foram: potencial hidrogeniônico, cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloretos, ferro, bicarbonatos, dureza total, relação de adsorção de sódio e condutividade elétrica. Utilizou-se o método estatístico multivariado envolvendo análise fatorial em componentes principais e de agrupamento. Apenas das variáveis magnésio, cálcio e bicarbonato apresentaram peso superior a 0,75, uma forte significância do fator qualidade da água. A estatística multivariada por meio da análise fatorial e da análise de componentes principais permitiu a seleção de três componentes indicadores de qualidade de água. A utilização da estatística multivariada pelo uso da técnica de agrupamento hierárquico permitiu a formação de dois grupos de poços dentro das comunidades.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura irrigada, Poços tubulares, Matriz de correlação

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a captação de água subterrânea vem crescendo de forma vertiginosa e descontrolada, em decorrência do aumento da demanda para consumo humano, principalmente em alguns grandes centros urbanos, na utilização de processos industriais e na agricultura irrigada (SILVEIRA et al., 2021).

As águas subterrâneas representam mais de 95% das reservas de água doce disponíveis no mundo (JANZA, 2022; HOWARD, 2015), dentre as quais o Brasil possui cerca de 13% dessa disponibilidade hídrica. Em torno da metade da população mundial bebe água subterrânea diariamente e esta fonte de água contribui para mais de 50% da produção mundial de culturas irrigadas (IGRAC, 2020).

Neste contexto, a água subterrânea passou a ser utilizada para a produção de hortaliças irrigadas no Projeto Cinturão Verde (SILVA et al., 2013). De acordo com Cerqueira et al. (2021) a utilização de reservas de água subterrânea para implantação de sistemas de agricultura irrigada, de base familiar, apresenta-se como alternativa viável e economicamente sustentável.

A implantação ou retornada de segmentos agrônômicos como a horticultura irrigada na região apresenta como principal entrave a baixa disponibilidade de oferta de recursos hídricos superficiais, pois o município de Arapiraca conta com apenas três microbacias hidrográficas (FEITOSA et al., 2020), havendo a necessidade de realizar a abertura de poços tubulares.

O uso de recursos naturais de fontes subterrâneas que visa garantir a sustentabilidade do sistema apenas é possível por meio do conhecimento das características e potencialidades, informações que permitirão o planejamento da exploração racional (EMBRAPA, 2018). E, para Stradioto et al. (2021) as técnicas de estatística multivariadas compreendem uma maneira conveniente e eficaz de interpretar dados analíticos.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo identificar as variáveis responsáveis pela maior variabilidade da qualidade das águas subterrâneas oriundas de poços subterrâneos e detectar quais poços apresentam características semelhantes.

METODOLOGIA

A área de estudo (Figura 1) encontra-se inserida no sudeste do município de Arapiraca, estado de Alagoas. O clima, de acordo com o critério de classificação, é do tipo As' tropical (ALVARES et al., 2014), com uma estação seca no verão e chuvas no inverno.

Figura 1 - Mapa do estado de Alagoas, com destaque para região fisiografica do Projeto Cinturão verde.



Fonte: Autores, 2023.

Apresenta temperaturas elevadas, média anual de 25 °C, e precipitações anuais entre 750 a 1000 mm, com os meses de maio, junho e julho, os mais chuvosos concentrando geralmente mais de 50% do total anual de precipitação.

Foram analisados 35 poços tubulares distribuídos em 9 comunidades na região sudeste do município de Arapiraca, denominada de Projeto Cinturão Verde.

Os parâmetros das águas dos poços estudados foram: pH; Cálcio (Ca^{2+}); Magnésio (Mg^{2+}); Sódio (Na^+); Potássio (K^+); - Cloretos (Cl^-); Ferro (Fe); Bicarbonatos (HCO_3^-); Dureza Total; Relação de Adsorção de Sódio (RAS) e Condutividade Elétrica (CE).

Para obtenção dos resultados, os dados dos parâmetros de qualidade da água dos poços subterrâneos foram submetidos ao método estatístico multivariado, envolvendo análise fatorial em componentes principais e de agrupamento, utilizando-se o software R.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise de componentes principais

A matriz de correlação (R) composta pelas variáveis das águas profundas dos poços tubulares encontram-se na Tabela 1. Observa-se que entre todas as variáveis analisadas, apenas quatro variáveis Mg – Ca²⁺, HCO³⁻ – CA²⁺, HCO³⁻ – Mg²⁺, CE – RAS apresentaram valores de correlação superiores a 0,5.

Figura 1. Matriz de correlação dos parâmetros das águas dos poços do Projeto Cinturão Verde.

Parâmetros	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	Fe	HCO ₃	DT	RAS	CE
pH	1,000										
Ca	-0,013	1,000									
Mg	-0,013	0,559	1,000								
Na ⁺	-0,245	0,003	0,332	1,000							
K ⁺	0,193	-0,229	-0,095	0,019	1,000						
Cl ⁻	-0,357	-0,315	-0,213	0,071	0,276	1,000					
Fe	-0,349	0,274	-0,025	0,044	0,034	0,077	1,000				
HCO ₃	0,258	0,532	0,761	-0,037	0,052	-0,282	-0,161	1,000			
DT	0,026	0,175	0,657	0,452	-0,068	0,027	0,001	0,421	1,000		
RAS	-0,287	0,312	0,064	0,257	-0,310	-0,128	0,055	0,115	-0,108	1,000	
CE	-0,038	0,452	0,234	-0,037	-0,196	-0,236	0,083	0,344	-0,082	0,522	1,000

Ca²⁺ – Cálcio; Mg²⁺ – Magnésio; Na⁺ – Sódio; K⁺ – Potássio; Cl⁻ – Cloretos; Fe – Ferro; HCO₃ – Bicarbonatos; DT – Dureza Total; RAS – Relação de Adsorção de Sódio; CE – condutividade elétrica.

De acordo com GUEDES et al. (2012) e HELENA et al. (2000) valores de coeficiente de correlação superior a 0,5 expressa uma correlação forte entre as variáveis. Neste trabalho, observou-se uma forte correlação entre as variáveis RAS e CE, destacando um r = 0,522, resultado previsível por se tratar de duas variáveis que tem uma estreita relação com as condições geoambientais.

Tais variáveis expressam as concentrações de sais presentes nos ambientes aquáticos, principalmente a condutividade elétrica.

O Sódio (Na⁺) não apresentou correlação positiva ou forte com as variáveis CE ou RAS. Diferindo dos resultados encontrados por GIRÃO et al. (2007), estudando as características químicas das águas no semiárido Cearense.

Fato que pode ser explicado pela formação geoambiental da região, formação do Grupo Barreiras e não formação do Cristalino, pois a área em estudo apresenta características mais próximas da Zona da Mata ou Litoral.

Para análise da Tabela 2, verifica-se que o primeiro (CP1), o segundo (CP2) e o terceiro (CP3) componente principal para as variáveis da água subterrânea explicaram, respectivamente, 27,71%, 17,47% e 16,21% da variância total dos dados, concentrando em três dimensões das informações analisadas.

Fato que pode ser explicado pela formação geoambiental da região, formação do Grupo Barreiras e não formação do Cristalino, pois a área em estudo apresenta características mais próximas da Zona da Mata ou Litoral.

Para análise da Tabela 2, verifica-se que o primeiro (CP1), o segundo (CP2) e o terceiro (CP3) componente principal para as variáveis da água subterrânea explicaram, respectivamente, 27,71%, 17,47% e 16,21% da variância total dos dados, concentrando em três dimensões das informações analisadas.

Tabela 1 - Medidas descritivas do modelo empregado na extração de fatores da água dos poços no Projeto Cinturão verde.

Medida descritiva	Componentes		
	CP1	CP2	CP3
Autovalor (variância)	3,048	1,921	1,774
Variância	27,71%	17,47%	16,12%
Variância acumulada	27,71%	45,17%	61,30%

A porcentagem acumulada da variância total dos dados originais foi de 61,30%, valor este que não oferece uma ideia razoável da representação da variância original. Para representar razoavelmente os dados, os valores percentuais acumulados da variância total devem girar entre 70 e 90%, de acordo com os princípios de seleção de número de componentes (Jolliffe, 2002).

Resultados semelhantes foi obtido por Brito et al. (2006), estudando a qualidade das águas subterrâneas na bacia hidrográfica do rio Salitre – BA, onde encontrou valores de variância para fator (F1) de 61,73%.

Na Tabela 3 são apresentados os pesos dos fatores das matrizes transformadas, que expressam a relação entre fatores e variáveis (parâmetros) nas nove comunidades do Projeto Cinturão Verde.

Tabela 2 - Matriz de peso das variáveis da água dos poços do Projeto Cinturão Verde.

Variáveis	CP1	CP2	CP3
pH	-0,0376	-0,0664	0,5331
Cálcio	-0,7759	0,18891	0,1343
Magnésio	-0,8513	-0,2885	-0,2853
Sódio	-0,2702	0,0848	-0,6934
Potássio	0,2907	-0,4239	-0,1664
Cloretos	0,4343	0,0795	-0,5605
Ferro	-0,0432	0,4567	-0,2696
HCO ₃	-0,7905	-0,3881	0,1243
DT	-0,5221	-0,4087	-0,5860
RAS	-0,4045	0,6767	0,0847
CE	-0,5571	0,4292	0,3578

HCO₃ – Bicarbonatos; DT – Dureza Total; RAS – Relação de Adsorção de Sódio; CE – Condutividade Elétrica.

Fonte: Autores, 2023.

A técnica de matriz de peso dos fatores indica uma maior inter-relação entre cada fator. Os valores elevados dos pesos fatoriais sugerem quais são as variáveis mais significativas em cada fator (GUEDES et al., 2012).

No primeiro componente as variáveis magnésio, HCO₃ e cálcio apresentaram peso superior a 0,75, valor este que expressa uma forte significância na qualidade da água subterrânea da região fisiográfica denominada de Projeto Cinturão Verde. Segundo Liu et al. (2003) fatores que possuem valores de peso superior a 0,75 é indicativo de forte carga entre as variáveis de qualidade da água.

Cada fator representa o indicativo da água com qualidade adequada para ser utilizada na irrigação, pois não apresenta risco de danos as culturas e ao ambiente por problemas causados devido a salinização e a sodificação. Guedes et al. (2012), analisando a qualidade das águas superficiais de uma microbacia no estado de Minas Gerais, obtiveram resultados semelhantes, com forte significância para CE.

Para o segundo componente (CP2) foram os valores baixos dos pesos fatoriais, em módulo das variáveis RAS e CE, que apresentaram valores de pesos inferiores a 0,75, tais valores expressam uma fraca significância na qualidade da água.

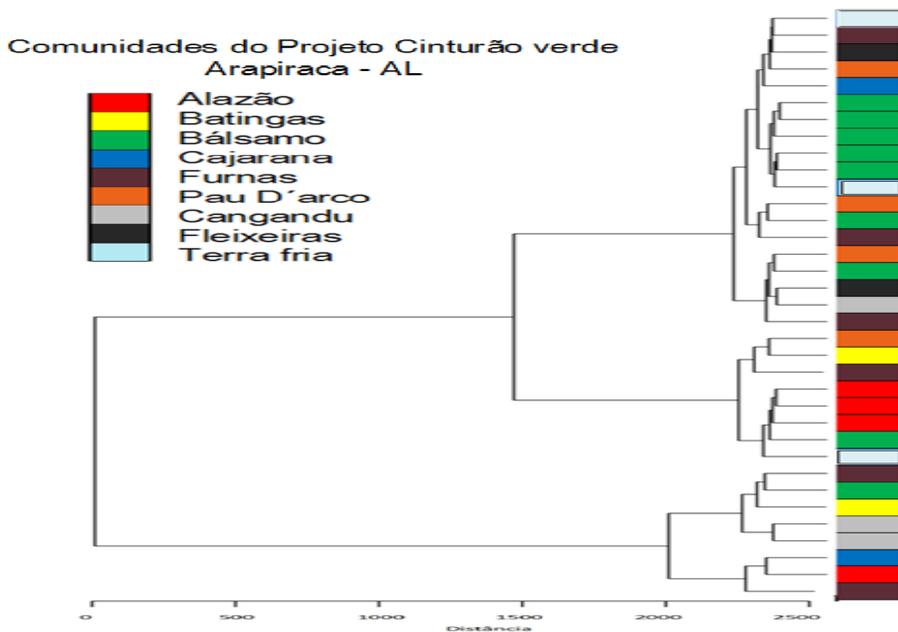
Estes resultados expressam as características da formação geomorfológica da região, que tem sua formação geológica constituído de rochas sedimentares, de formação do Grupo Barreiras, e está localizado fora da área de influência do semiárido.

No terceiro componente (CP3) todas as variáveis analisadas apresentaram valores de peso inferiores a 0,75, o que expressam uma fraca significância em termos de qualidade da água do aquífero. Expressando efeitos positivos na classificação das águas subterrâneas do Projeto Cinturão verde, para ser utilizada no manejo da horticultura irrigada.

Análises de Agrupamentos

O resultado do processamento das análises dos dados de água dos 35 poços tubulares pode ser visualizado através de um dendrograma (Figura 2). A formação geológica da região, constituída de rochas sedimentares, não proporcionou uma maior diferenciação dos dados de água dos poços tubulares dentro das comunidades.

Figura 2 - Dendrograma obtido de uma análise de agrupamento hierárquico pelo método do vizinho mais próximo das variáveis da água subterrânea.



Fonte: Autores, 2023.

No dendrograma, observa-se claramente que as águas subterrâneas foram divididas em dois grupos. O primeiro grupo é composto de 27 poços tubulares e o segundo grupo, por apenas, 8 poços tubulares.

A pouca diferenciação dos dados obtidos entre os poços distribuídos nas comunidades, em parte deve-se a homogeneidade geomorfológica da área, constituída basicamente de rochas sedimentares, condição geoquímica e mesma unidade climática, além da proximidade entre os poços. Soares e Ferreira (2017) relatam que a qualidade da água depende de vários fatores climáticos, geo-ambientais e de uso e ocupação do espaço.

CONCLUSÕES

A técnica estatística multivariada, por meio da análise fatorial e através da análise de componentes principais, permitiu a seleção de três componentes indicadores da qualidade

das águas dos poços tubulares.

A utilização da estatística multivariada pelo uso da técnica de agrupamento hierárquico permitiu a diferenciação de dois grupos de poços dentro das comunidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, nº.6, p. 711 - 728, 2014.

BRITO, L. T. L.; SILVA, A. S.; SRINIVASAN, V. S.; GALVÃO, C. O.; GHEYI, H. R. Uso de análise multivariada na classificação das fontes hídricas subterrâneas da bacia hidrográfica do Salitre. *Revista de Engenharia Agrícola*, v.26, nº.1, p. 36 - 44, 2006.

CERQUEIRA, P. R. S.; LACERDA, C. R.; ARAUJO, G. G. L.; GHEYI, H. S.; SIMÕES, W. L. Agricultura irrigada em ambientes salinos. 1. ed. Brasília: Codevasf, 2021. 363 p.

EMBRAPA. Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 212 p.

FEITOSA, A.; FERREIRA, A. S.; CORREIA, J. A.; LOPES, J. L. S. O comprometimento das águas do riacho Piauí em Arapiraca/AL: causas e consequências. *Brazilian Journal of Development*, v.6, nº.1, p. 2227 - 2242, 2020.

GIRÃO, E. G.; ANDRADE, E. M.; ROSA, M. F.; ARAÚJO, L. F. P.; MEIRELES, A. C. M. Seleção dos indicadores da qualidade de água no Rio Jaibaras pelo emprego da análise da componente principal. *Revista Ciência Agronômica*, v.38, nº.1, p. 17 - 24, 2007.

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

HELENA, B.; PARDO, R.; VEGA, M.; BARRADO, E.; FERNÁNDEZ, J.M.; FERNÁNDEZ, L. Temporal evolution of groundwater composition in the alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. *Water Research*, v.34, p. 807 - 816, 2000.

HOWARD, K.W.F. Sustainable cities and the groundwater governance challenge. *Environmental Earth Sciences*, v.73, nº.6, p. 2543 - 2554, 2015.

IGRAC. Assessing the world's groundwater. International Groundwater Resources Assessment Centre, 2020. Disponível em: <<https://www.un-igrac.org>>. Acesso em: 02 fev. 2022.

JANZA, M. Optimization of well field management to mitigate groundwater contamination using a simulation model and evolutionary algorithm. *Science of the Total Environment*, v.807, 2022.

JOLLIFFE, L.T. Principal components analysis. 2. ed. New York: Springer, 2002. 487 p.

LIU, C. W.; LIN, K. H.; KUO, Y. M. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a Blackfoot disease area in Twain. *Science in the Total Environment*, v.313, p. 77 - 89, 2003.

SILVA, P. F.; FARIAS, S. P.; SANTOS, C. S.; BARROS, A. C.; CARNEIRO, P. T. Perfil da irrigação e qualidade da água nos perímetros irrigados do município de Arapiraca – AL. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.8, nº.1, p. 184 - 189, 2013.

SILVEIRA, P.L.N.; DIONÍZIO, P.Q.; SANTOS FILHO, J.I.; DUARTE, M.T.L.; SILVA, A.B.; SILVA FILHO, E.D.D. Use of activated carbon from orange peel in the sustainable and low-cost treatment of water from a tubular well located in the semiarid region of Paraíba. *Águas Subterrâneas*, v.35, n°.1, p. 1 - 8, 2021.

SOARES, E.M.; FERREIRA, R.L. Avaliação da qualidade da água e a importância do saneamento básico no Brasil. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, v.13, n°.6, p. 50 - 76, 2017.

STRADIOTO, M.R.; TERAMOTO, E.H.; CHANG, H.K. Statistical analysis of hydrochemistry and isotopic characterization of groundwater from the parecis basin. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.26, p. 1 - 15.