

USO DA ANÁLISE MULTIVARIADA PARA SUBSIDIAR NO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO SALITRE

LUIZA TEIXEIRA DE LIMA BRITO¹; ADERALDO DE SOUZA SILVA²; VAJAPEYAM SRIRANGACHAR SRINIVASAN³; CARLOS DE OLIVEIRA GALVÃO⁴

Escrito para apresentação no
XXXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola
02 a 06 de Agosto de 2004 - São Pedro - SP

RESUMO: Estudos de monitoramento dos recursos hídricos normalmente envolvem um grande número de variáveis para a caracterização de sua qualidade, e estas, por sua vez, são fortemente correlacionadas, dificultando o entendimento de suas inter-relações, com reflexos na tomada de medidas de manutenção/recuperação da qualidade. Com a utilização de análise multivariada é possível reduzir o número de variáveis, indicar as que são responsáveis pela dispersão das observações e evidenciar agrupamentos, objeto deste estudo para a bacia hidrográfica do rio Salitre. A partir dos resultados, pode-se observar que tanto nas fontes subterrâneas quanto nas barragens as variáveis priorizadas pelos fatores principais estão relacionadas com a salinidade das águas. Portanto, quaisquer medidas visando aumentar a disponibilidade e, ou de melhoria da qualidade das águas nesta bacia hidrográfica devem considerar estes fatores. Nos períodos analisados as variações nas classes definidas pelo cluster não foram significativas, indicando a redução da frequência de monitoramento. Estes procedimentos de análise fatorial e de agrupamento facilitam o processo de gestão de recursos hídricos, principalmente nas atividades de monitoramento e de uso das águas.

PALAVRAS-CHAVE: Recursos hídricos, Bacia hidrográfica, Análise fatorial, cluster

USE OF MULTIVARIATE ANALYSIS FOR WATER QUALITY CONTROL

ABSTRACT: Monitoring studies of water resources always involve a great number of variables for the characterization of their quality. These variables are greatly correlated, making difficult the understanding of their interrelationships with indirect influence on decision making. With the use of multivariate analysis, it is possible to reduce the number of variables, indicate those which are responsible for the dispersion of observations and demonstrate groupings, objective of this study for the Salitre river watershed. From the results, we observe that in the underground sources as well as in the dams, the most important variables identified by the main factors are related to water salinity. Therefore, any measure aiming at increasing the availability and/or improvement of water quality of this watershed must take into consideration these factors. In the periods analyzed the variations in the classes defined by the cluster were not significant, indicating reduction in the monitoring frequency. These procedures of factorial analysis and grouping facilitate the process of water resources management, mainly in the activities of monitoring and water use.

KEYWORDS: Water resources, Watershed, Factorial analysis, cluster

INTRODUÇÃO: Para garantir a disponibilidade de água às gerações atual e futura, a sociedade deverá promover uma gestão integrada e compartilhada dos recursos hídricos buscando uma equalização dos conflitos atuais. Para isto, o conhecimento das demandas, da capacidade de renovação e oferta de água, inserindo os aspectos quantitativos e qualitativos, são fundamentais na definição de medidas a serem implementadas.

Segundo Machado (2002), a noção de gestão integrada dos recursos hídricos assume várias dimensões e envolve diferentes e complexas conotações, devendo-se considerar os processos de transporte de água no ciclo hidrológico e a condição de ser um recurso de usos múltiplos envolve co-participação de gestores, usuários e população no seu planejamento e na gestão, e, finalmente, deve atender aos anseios do desenvolvimento socioeconômico sustentável.

1- ENGENHEIRA AGRÍCOLA, PESQUISADOR, EMBRAPA SEMI-ÁRIDO, EMBRAPA, PETROLINA-PE, 87 3862 1711, luizatlb@cpatsa.embrapa.br

2- Engo. Agrônomo, Pesquisador, Embrapa Meio Ambiente, Embrapa, Jaguariuna-SP

3- Eng. Civil, Professor, UFCG/DEC, UFCG, campina Grande-PB

4- Eng. Civil, Professor, UFCG/DEC, UFCG, Campina Grande-PB

Em estudos de avaliação e monitoramento da qualidade das águas, normalmente é utilizado um grande número de variáveis para sua caracterização e estas, por sua vez, são fortemente correlacionadas, dificultando o entendimento de suas inter-relações. Com a utilização de técnicas de análise multivariada é possível reduzir o número de variáveis, definir suas relações, identificar as que são responsáveis pela dispersão das observações e evidenciar agrupamentos. Estas técnicas têm sido empregadas em diferentes áreas. No contexto dos recursos hídricos Ceballos (1995), Silva (1997), entre outros, desenvolveram diferentes estudos envolvendo aspectos relacionados aos aspectos ambientais e de qualidade das águas. Assim, classificar as fontes hídricas da bacia hidrográfica do rio Salitre foi objeto deste estudo visando a definição de medidas diferenciadas de monitoramento e gestão de qualidade das águas em função de suas características principais, de forma a garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos.

MATERIAL E MÉTODOS: A bacia hidrográfica do rio Salitre está inserida na grande bacia do rio São Francisco, inicia-se na Chapada Diamantina, no município de Morro do Chapéu-BA e deságua ao norte do Estado, no município de Juazeiro-BA. Ocupa uma área de 13.200 km², com um comprimento do curso principal de 270 km, aproximadamente (CEI, 1986). Em função do conjunto de variáveis analisadas (pH, CE, SDT, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, CO₃, SO₄, Cl, NO₃-N, NH₄-N, Fe, OD e T) as fontes hídricas foram classificadas utilizando-se procedimentos de análise multivariada, envolvendo análise fatorial em componentes principais e de agrupamento, considerando-se dados contidos em CEI (1986) referentes a alguns poços e os dados coletados nos períodos de chuvas e sem chuvas de 2001 tanto para as fontes subterrâneas quanto superficiais, as quais foram analisadas separadamente, de acordo com as características.

Os fatores principais hierarquizam as variáveis de maior participação em cada fator, definindo as que devem ser monitoradas, e assim, reduzindo custos com análises de variáveis de menor importância na qualidade das águas. Os fatores ou componentes principais (Fi) são determinados a partir de uma transformação linear das variáveis iniciais Xi, de acordo com Andrade (1989).

A análise de agrupamento classifica “objetos” em grupos de acordo com o grau de similaridade ou de dissimilaridade. Normalmente, para medir o grau de dissimilaridade utilizam-se medidas de distância, sendo a euclidiana a mais utilizada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A análise fatorial em componentes principais aplicada às fontes subterrâneas condensou as variáveis analisadas em três fatores ordenados. Para os dados de 1984, da variância total responde por 86,99%. O fator 1 (F1) foi responsável por 61,73% desta variância, sendo as variáveis Cl (0,994), CE (0,955) e Na (0,937), relacionadas à salinidade das águas, com as maiores cargas fatoriais, embora as demais também apresentem forte relação com o fator. O fator 2 (F2) agrega variáveis como bicarbonato (91,09%), nitrato (75,99%) e pH (50,39%); enquanto o fator 3 (F3) está influenciado pela presença de ferro e cálcio, elementos estes relacionados à alcalinidade e presença de nutrientes nas águas, respectivamente (Tabela 1).

A partir dos resultados obtidos nos períodos de chuvas e sem chuvas de 2001, observa-se que os três fatores respondem conjuntamente por 72,08% e 68,33% da variância total acumulada. O fator 1, nos respectivos períodos, potencializa as variáveis Cl, SDT, CE, DT, Na, Ca, Mg e SO₄, fortemente relacionadas com a salinidade das águas, cujas cargas fatoriais são superiores a 0,852. O fator 2 está definido pelas variáveis HCO₃ e pH. Embora a variável OD participe deste fator no período das chuvas, contém baixa carga fatorial (0,523) e não é uma variável representativa no contexto de qualidade das águas subterrâneas.

A análise de agrupamento classificou as fontes hídricas subterrâneas em três classes. A classe C1 de melhor qualidade das águas representou 74,47% e 61,70% das fontes, com elevados valores médios dos sólidos dissolvidos totais (SDT = 724,86 e 650,34 mg L⁻¹). Para as classes C2 e C3 estes valores foram de SDT = 968,86; 2.089,0; 1.891,37 e 1.893,50; 4.900,00 e 5.243,50 mg L⁻¹, respectivamente.

Observou-se que a maioria das fontes hídricas enquadradas como C1 em 1984 (SUB84) permaneceram com este padrão em 2001; em outras fontes ocorreu melhoria da qualidade da água, passando da classe C2 para C1 e de C3 para C2, o que pode estar associada à maior demanda de água no período sem chuvas. A não ocorrência da mudança da classe implicará na redução da frequência de análises durante o monitoramento, como também possibilitará a definição de medidas de

recuperação/manutenção da qualidade das águas em função da classe, resultando na redução dos custos, pela diminuição da quantidade de variáveis analisadas, como também, redução de tempo.

No contexto das fontes superficiais, os fatores principais explicam 83,50% e 74,98% da variância total acumulada. O fator 1 está fortemente representado por variáveis relacionadas com a salinidade das águas (Na, SDT, Ca, Cl, CE) em ambos períodos, cujas cargas fatoriais são elevadas ($aik > 0,800$), à semelhança das fontes subterrâneas (Tabela 2). A análise de agrupamento apresenta para os períodos de chuvas (PC01) e sem chuvas (PV01), que 61,54% e 76,92% das fontes foram classificadas como C1, ou seja, águas de melhor qualidade quanto à concentração salina, observando-se que praticamente não ocorreram variações nas classes entre períodos. Apenas as barragens TAMB1 e CURT2, classificadas como C2 no período das chuvas e no período sem chuvas, passou para C1.

A partir destes resultados pode-se observar que as características das águas estão fortemente relacionadas com a formação geológica da bacia em estudo. Portanto, medidas de monitoramento podem ser realizadas com baixa frequência nos poços e nas fontes superficiais mais representativas do ponto de vista de uso pela comunidade e, considerar as diferentes unidades geológicas e as variáveis relacionadas com a salinidade, identificadas pela análise fatorial. Estas medidas podem ser voltadas para conservação dos solos e melhor uso das águas. Estas ações, a médio e longo prazos, refletem na melhoria da qualidade de vida dessa população.

Tabela 1. Cargas Fatoriais, em ordem decrescente, para as variáveis de qualidade das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do rio Salitre, analisadas nos períodos sem chuvas de 1984 (PV84), de chuvas (PC01) e sem chuvas de 2001 (PV01)

Variáveis	PV84			Variáveis	PC01			Variáveis	PV01		
	F1	F2	F3		F1	F2	F3		F1	F2	F3
Cl	0,994	0,009	0,100	Cl	0,978	0,013	0,072	SDT	0,989	0,057	0,041
CE	0,955	0,263	0,010	SDT	0,977	0,158	0,068	CE	0,988	-0,060	0,025
Na	0,937	0,271	0,149	CE	0,972	0,158	0,068	Cl	0,988	-0,061	0,025
K	0,893	-0,295	-0,234	DT	0,967	0,096	-0,052	DT	0,959	0,007	-0,032
DT	0,885	0,389	0,191	Mg	0,867	0,325	0,145	Na	0,896	0,115	0,027
Mg	0,884	0,385	-0,126	Na	0,862	0,364	0,23	Ca	0,848	-0,239	-0,009
SDT	0,882	0,327	0,060	Ca	0,856	-0,129	-0,217	Mg	0,845	0,278	-0,051
RAS	0,852	0,302	0,130	SO ₄	0,662	0,453	0,233	SO ₄	0,816	0,322	-0,177
SO ₄	0,724	0,578	0,098	HCO ₃	0,363	0,762	-0,203	RAS	0,508	0,126	0,062
HCO ₃	0,177	0,917	0,197	pH	-0,084	0,698	0,287	pH	0,224	0,793	-0,092
NO ₃	0,074	0,774	-0,394	RAS	0,470	0,531	0,361	HCO ₃	0,163	0,782	0,003
pH	0,269	0,644	-0,128	OD	-0,009	0,523	-0,011	CO ₃	-0,219	0,697	-0,061
Fe	-0,09	-0,308	0,802	T	0,262	0,407	-0,339	NH ₄	0,106	0,146	0,698
Ca	0,480	0,219	0,749	K	0,495	-0,108	0,799	K	0,464	0,188	0,628
-	-	-	-	NH ₄	0,549	-0,051	0,685	Fe	0,004	-0,115	0,191
-	-	-	-	CO ₃	-0,073	0,164	0,555	OD	0,309	0,482	-0,524
-	-	-	-	Fe	0,492	0,014	-0,493	T	0,204	0,206	-0,716
g (%)**	61,73	15,20	10,06	g (%)	48,92	12,30	10,86	g (%)	45,19	14,02	9,12
g _A (%)***	61,73	76,93	86,99	g _A (%)	48,92	61,22	72,08	g _A (%)	45,19	59,21	68,33

*CF = Comunalidade Final; **g=Variância; ***g_A=Variância Total Acumulada.

Tabela 2 Cargas Fatoriais, em ordem decrescente, para as variáveis de qualidade das águas das barragens da bacia hidrográfica do Salitre, nos períodos de chuvas (PC01) e sem chuvas (PV01) de 2001.

PC01				PV01			
Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3
K	0,954	0,049	-0,142	Na	0,885	0,264	0,201
NH ₄	0,939	-0,061	-0,192	SO ₄	0,848	-0,050	-0,336
Na	0,858	0,395	-0,271	Cl	0,845	0,467	0,050
SDT	0,831	0,452	-0,008	SDT	0,837	0,491	0,123
Ca	0,824	0,444	0,115	CE	0,818	0,544	0,087
Cl	0,811	0,481	-0,113	Ca	0,738	0,391	-0,415
CE	0,789	0,576	-0,141	DT	0,718	0,648	-0,118
CO ₃	0,757	0,372	0,195	RAS	0,668	-0,375	0,342
pH	0,572	-0,026	0,386	pH	0,476	0,432	0,070
SO ₄	0,065	0,896	-0,141	CO ₃	0,135	0,804	0,174
Mg	0,627	0,741	-0,043	Mg	0,656	0,697	0,003
DT	0,688	0,709	-0,014	HCO ₃	0,621	0,684	0,023
HCO ₃	0,634	0,656	-0,197	T	0,099	0,434	0,025
T	0,037	0,512	0,231	Fe	-0,059	-0,412	0,401
OD	-0,161	-0,268	0,927	K	0,288	0,421	0,676
RAS	0,528	-0,008	-0,684	OD	0,270	0,151	-0,700
Fe	-0,259	-0,425	-0,776	NH ₄	0,270	0,151	-0,700
ϑ^{**} (%)	59,80	14,10	9,60	ϑ^{**} (%)	52,06	14,04	8,88
ϑ_{Acum} (%)	59,80	73,90	83,50	ϑ_{Acum} (%)	52,06	66,09	74,98

* CF = Comunalidade Final

** ϑ = Variância explicada por cada Fator

CONCLUSÕES: No monitoramento de qualidade das águas da bacia hidrografia do Salitre deve-se considerar principalmente variáveis relacionadas com a salinidade das águas identificadas pela análise fatorial, observando-se que, no geral, não ocorreram variações significativas nas classes de águas definidas tanto para as fontes subterrâneas quanto para as barragens; procedimentos de classificação das fontes hídricas em função das variáveis que definem a qualidade das águas facilitam o processo de gestão de recursos hídricos, principalmente nas atividades de monitoramento e de utilização das águas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ANDRADE, T. A. Métodos estatísticos e econométricos aplicados à análise regional. In: HADDAD, P. R.; FERREIRA, C. M. de C.; BOISIER, S.; ANDRADE, T. A. (Ed.). Economia regional: teorias e métodos de análise. Fortaleza: BNB-ETENE, 1989. p. 427-507.
- CEBALLOS, B. S. O. Utilização de indicadores microbiológicos na tipologia de ecossistemas aquáticos do Trópico Semi-Árido. 1995. 192 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Ciências Biomédicas/Universidade de São Paulo, São Paulo.
- CENTRO DE ESTATÍSTICA E INFORMAÇÃO. Avaliação dos recursos hídricos em bacias hidrográficas do Estado da Bahia: Bacia do rio Salitre. Salvador, 1986. 2v.
- MACHADO, C. J. S. Por uma negociação sociotécnica na gestão integrada dos recursos hídricos. ABRH-Notícias, Porto Alegre, v. 7, p. 20-21, 2002.
- SILVA, A. de S. Impacto ambiental del uso de los recursos suelo y agua en áreas agrícolas bajo riego: estudio aplicado a zonas áridas brasileñas y españolas. 1997. 217 f. il. Tese (Doutorado) – Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

AGRADECIMENTOS: Ao técnico e amigo, Francisco Nunes, sem seu apoio os trabalhos de campo teriam sido mais difíceis.