



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

ESTATÍSTICA MULTIVARIADA COMO MÉTRICA PARA INFERIR SOBRE FONTES DE POLUIÇÃO UM AQUIFERO

Luana Nunes Centeno – luananunescenteno@gmail.com

Universidade Federal de Pelotas, Doutoranda no PPG em Recursos Hídricos.
Endereço: R. Gomes Carneiro, 01. 96010-610. Balsa, Pelotas - RS, Brasil.

Samanta Tolentino Ceconello – satolentino@gmail.com

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio grandense, Câmpus Pelotas.

Tirzah Moreira Siqueira - tirzahmelo@hotmail.com

Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias.

Luís Carlos Timm - luisctimm@gmail.com

Universidade Federal de Pelotas, Departamento de Engenharia Rural.

Márcia Farias Aguiar - marciaf.aguiar@hotmail.com

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio grandense, Câmpus Pelotas.

Resumo: A qualidade da água pode ser mensurada através de suas características físicas, químicas e biológicas. Diante disto, este estudo teve como objetivo inferir sobre as principais fontes de poluição de um aquífero pertencente a bacia hidrográfica do rio São Francisco. Para isto foram utilizados dados de qualidade da água secundários de 53 poços, disponibilizados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas, pertencentes a campanha de 2016 e 2017 inseridos nas sub-bacias denominadas SF6 Rio Jequitá e SF10 Rio Verde Grande, ambas localizadas na mesorregião do Norte de Minas Gerais, na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, no domínio hidrogeológico do aquífero Bambuí. Foram analisados os parâmetros: Condutividade Elétrica, Alcalinidade, Cloreto Total, Dureza, Fluoreto Ionizado, Fósforo Total, Nitrato, Oxigênio Consumido, Turbidez, Cálcio Total, Ferro Total, Potássio Total, Sódio Total e Escherichia Coli; as quais aplicou-se a análise fatorial para identificação de fatores e para a extração deste foi aplicada a análise de componentes fatorial. Frente a isto, extraiu-se as três primeiras componentes que juntas explicaram aproximadamente 80% da variância total dos dados. Sendo que a primeira componente possivelmente encontra-se relacionada com dissolução de rochas, a componente dois com despejos domésticos e a componente três com atividades agropecuárias. Sendo assim através deste estudo foi possível concluir que a estatística multivariada, pode ser utilizada como ferramenta de monitoramento da qualidade da água, e principalmente para identificar as principais fontes de poluição.

Palavras-chave: Análise Fatorial, Análise de Componentes Principais, Aquífero e IRGAM.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

MULTIVARIATE STATISTICS AS A METRIC TO INFERIZE ON POLLUTION SOURCES AN AQUIFER

Abstract: *Water quality can be measured by its physical, chemical and biological characteristics. In view of this, this study aimed to infer about the main sources of pollution of an aquifer belonging to the São Francisco river basin. For this purpose, secondary water quality data of 53 wells, made available by the Minas Gerais. Water Management Institute, belonging to the 2016 and 2017 campaign, inserted in the sub-basins named SF6 Rio Jequitaiá and SF10 Rio Verde Grande, both located in the mesoregion of the North of Minas Gerais, in the São Francisco River Basin, in the hydrogeological domain of the Bambuí aquifer. The parameters were: Electrical Conductivity, Alkalinity, Total Chloride, Hardness, Ionized Fluoride, Total Phosphorus, Nitrate, Oxygen Consumed, Turbidity, Total Calcium, Total Iron, Total Potassium, Total Sodium and Escherichia Coli; which were applied the factorial analysis to identify factors and for the extraction of this was applied to the analysis of factorial components. As a result, the first three components were extracted, which together account for approximately 80% of the total data variance. Since the first component is possibly related to the dissolution of rocks, component two with domestic evictions and component three with agricultural and livestock activities. Thus, through this study it was possible to conclude that multivariate statistics can be used as a monitoring tool for water quality, and mainly to identify the main sources of pollution.*

Keywords: *Factorial Analysis, Principal Component Analysis, Aquifer and IRGAM.*

1. INTRODUÇÃO

A qualidade dos recursos hídricos sofre modificações em consequência de causas naturais ou antrópicas (CENTENO, 2017). Entre as causas naturais encontram-se os processos de intemperismo e transporte de sedimentos. Já para os fatores antrópicos, que contribuem para a escassez da água, encontram-se o intenso uso consuntivo e a consequente poluição gerada (BILGIN; KONANÇ, 2016).

Dentre os usos consuntivos pode-se citar o abastecimento doméstico e industrial, e as atividades agropecuárias, que se expandem cada vez mais devido ao crescimento populacional e urbano. A aplicação em grande escala de fertilizantes, a utilização de pesticidas e inseticidas para a produção agrícola vem aumentando potencialmente os cenários de poluição nos cursos d'água (SAKIZADEH, 2015; VOZA et al., 2015). Além disso, segundo Monica e Choi (2016), esses usos consuntivos desordenados podem causar efeitos não só no ecossistema aquático, mas também à saúde humana.

Um dos principais causadores de poluição nos corpos hídricos é o lançamento desordenado de esgoto sanitário. Esse esgoto, rico em matéria orgânica, é lançado in natura nos corpos d'água e dependendo da capacidade do corpo hídrico de se autodepurar, pode-se resultar em sérios impactos à qualidade da água, como toxicidade e proliferação de algas (NUVOLARI, 2003; BRAGA et al., 2015; LIBÂNIO, 2010).

Para avaliar os impactos gerados sobre a qualidade da água é necessário analisar as variações no espaço e no tempo, bem como os processos biológicos, físicos e químicos que ocorrem de

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

maneira dinâmica em uma bacia hidrográfica (BILGIN, KONANÇ 2016; LOBATO et al., 2015; MONICA; CHOI, 2016).

Entretanto, o custo de monitoramento da resposta da qualidade da água frente às mudanças e aos impactos decorrentes das atividades antrópicas é elevado (WANG et al., 2015), necessitando assim, de ferramentas que auxiliem no processo de avaliação dos parâmetros de qualidade da água. Dentre as ferramentas que podem auxiliar nesse processo estão a estatística multivariada, através desta ferramenta é possível inferir sobre as principais fontes de poluição de um aquífero uma vez que esta técnica analisa simultaneamente múltiplos parâmetros de qualidade da água (CENTENO, 2017).

A estatística multivariada vem sendo utilizada em estudos ambientais, como ferramenta para facilitar a interpretação dos resultados advindos de programas de monitoramento. Dentre os trabalhos encontrados na literatura pode-se citar os estudos realizados por Abreu; Cunha, 2015; Alexakis et al., 2016; Bhutiani et al., 2016.

Diante isto este estudo teve como objetivo inferir sobre as principais fontes de poluição de um aquífero pertencente a bacia hidrográfica do rio São Francisco.

2. MATERIAIS E METODOS

2.1. Caracterização da área

Os pontos utilizados neste estudo fazem parte de um monitoramento da qualidade da água subterrânea que vem sendo executado pelo Projeto Águas de Minas desde 1997, que esta inserido no Instituto Mineiro de Gestão das águas (IRGAM). Cabe destacar que neste trabalho utilizou-se os dados da campanha de 2016 e 2017 por serem os dados mais recentes disponibilizados.

Sendo que estes pontos pertencem as sub-bacias denominadas SF6 Rio Jequitai e SF10 Rio Verde Grande, ambas inseridas na mesorregião do Norte de Minas Gerais, na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, a qual está localizada no domínio hidrogeológico do aquífero Bambuí (Figura 1). Nesta área monitorada estão inseridas as cidades de Jaíba e Verdelândia, que se localiza a cerca de 600 quilômetros ao norte de Belo Horizonte e totaliza 4.996 km².

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375

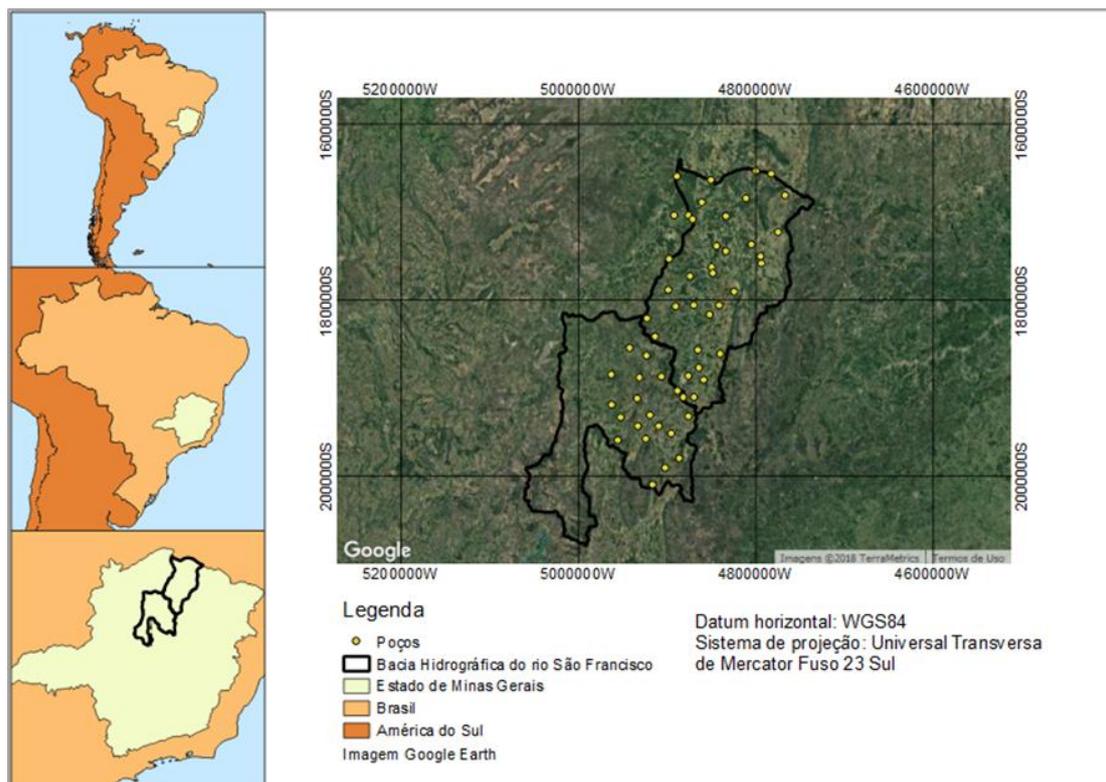


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo

Os municípios de Jaíba e Verdelândia apresentam cerca de 40% e 50% do produto interno bruto destinado a agropecuária, sendo que a principal cultura da região é a de banana, porém destacam-se também de manga e limão assim como a cana de açúcar. Por conseguintes na pecuária, predomina a criação de bovinos, seguida da de galináceos e suínos. Cabe destacar ainda que outra atividade importante é a extração vegetal para a produção de carvão vegetal.

2.2. Compilação dos Dados

Foram utilizados neste estudo dados secundários de 53 poços estabelecidos nos municípios de Verdelândia e Verde Grande, disponibilizados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IRGAM), que é responsável pelo monitoramento das águas subterrâneas da região desde 2005. Os parâmetros analisados para o monitoramento da região hidrográfica são: Condutividade Elétrica, Alcalinidade, Cloreto Total, Dureza, Fluoreto Ionizado, Fósforo Total, Nitrato, Oxigênio Consumido, Turbidez, Cálcio Total, Ferro Total, Potássio Total, Sódio Total e Escherichia Coli. Sendo que os métodos analíticos bem como a preservação das amostras seguiram os procedimentos definidos por APHA, 1998.

2.3. Estatística Multivariada

Primeiramente os dados de qualidade da água foram normalizados, para que todos apresentassem a mesma unidade de medida, construindo-se, posteriormente, uma matriz de dados expressos por $X = (x_{i,j})$, em que $i = 1 \dots n$ amostragens e $j = 1 \dots p$ variáveis (13). Em seguida, transformou-se a matriz de dados originais em uma matriz de correlações $[R]$ ($p \times p$), sendo que “p” corresponde as variáveis de qualidade da água a serem analisadas.

Através da AF/ACP foi possível transformar o conjunto original das variáveis observadas em um novo conjunto, denominadas Componentes Principais (CP's). Segundo Hair *et al.* (2009) e Centeno (2017), as três primeiras componentes, devem explicar o máximo de variabilidade total dos

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

dados, de forma que a primeira não esteja correlacionada com a segunda e a segunda não esteja correlacionada com a terceira, e essa não esteja correlacionada nem com a primeira nem com a segunda, e assim sucessivamente, até que as CP's expliquem mais do que 70% da variância total dos dados.

Para a normalização dos dados, obtenção da matriz de correlação, bem como a aplicação da AF/ACP, foi utilizado o software R versão 3.4.3. (R Core Team, 2013).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a decomposição da matriz de correlação foi possível encontrar a variância total dos dados (Tabela 1). Observa-se que os três primeiros fatores explicam aproximadamente 80% da variância total dos dados.

Tabela 1: Fatores encontrados e a explicação da variância das variáveis de qualidade da água do aquífero pertencente ao rio São Francisco

Fatores	Variância total explicada (%)	Variância total acumulada (%)
1	35,13	35,13
2	14,26	49,39
3	11,78	80,276

Entretanto Sakizadeh et al. (2015) necessitaram de 4 componentes principais para explicar 81,60% da variância total dos dados e, assim, conseguir interpretar um conjunto de dados de qualidade da água de um rio, localizado na Malásia, porém o autor tinha menos parâmetros de qualidade da água. Todavia Al-Mutairi, Abahussain e Battay (2014) utilizaram-se de três fatores para explicar 58% da variância total dos dados e assim investigar a qualidade temporal e espacial da água, na Baía do Kuwait.

De posse da variância total dos dados extraiu-se as quatro primeiras componentes principais (Tabela 2), em que a CP₁ foi composta pelas variáveis Cloreto total, Dureza total, Fluoreto ionizado, Fósforo total, Magnésio total, Nitrato, Oxigênio Consumido, Turbidez, Cálcio total, Ferro total, Lítio, Níquel total, Potássio Total e Silício dissolvido, que possivelmente esteja relacionada a dissolução de rochas.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



Tabela 2: Componentes principais extraídas da AF, contendo as variáveis de qualidade da água do aquífero pertencente ao rio São Francisco

Variáveis	CP ₁	CP ₂	CP ₃
Condutividade Elétrica (Campo)	0,506	0,946	0,015
Alcalinidade Bicarbonato	0,546	-0,199	0,721
Cloreto Total	0,894	0,157	-0,134
Dureza Total	0,844	-0,454	0,071
Fluoreto Ionizado	0,836	0,111	0,111
Fósforo Total	-0,430	-0,164	0,794
Magnésio Total	0,876	-0,068	-0,076
Nitrato	0,248	0,040	0,870
Oxigênio Consumido	-0,141	0,844	-0,765
Turbidez	-0,243	0,949	-0,026
Cálcio Total	0,742	-0,537	0,107
Ferro Total	-0,175	0,036	-0,869
Lítio	0,860	0,084	0,130
Níquel Total	0,723	-0,353	-0,003
Potássio Total	0,063	0,053	0,798
Silício Dissolvido	0,766	-0,009	-0,235
Sódio Dissolvido	0,233	0,708	-0,063
Sódio Total	0,243	0,599	0,706
Escherichia Coli	0,121	0,945	-0,083

Por conseguinte, a CP₂ é representada pelas variáveis Condutividade elétrica (campo), Oxigênio Consumido, Turbidez, Sódio dissolvido e Escherichia coli, e possivelmente tem como fonte de poluição os despejos domésticos, por fim a CP₃ é composta pela alcalinidade Fósforo Total, Nitrato, Ferro Total, Potássio Total e Sódio Total, sendo assim possivelmente está relacionada a atividades agropecuárias.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através deste estudo foi possível concluir que a estatística multivariada, pode ser utilizada como ferramenta de monitoramento da qualidade da água, e principalmente para identificar as principais fontes de poluição.

Agradecimentos

O presente trabalho tem o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM), Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) e Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos (PPG Recursos Hídricos).

5. REFERÊNCIAS E CITAÇÕES

ABREU, C. H. M.; CUNHA, A. C. Qualidade da água em ecossistemas aquáticos tropicais sob impactos ambientais no Baixo Rio Jari-AP: **Biota Amazônia**, v. 5, n. 2, p. 119–131, 2015.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
**meio ambiente,
política & economia**

ALEXAKIS, D. et al. Suitability of water quality indices for application in lakes in the Mediterranean. **Water Resources Management**, [s.l.], v. 30, n. 5, p.1621-1633, 22 jan. 2016. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-016-1240-y>.

AL-MUTAIRI, N.; ABAHUSSAIN, A.; EL-BATTAY, A.. Spatial and temporal characterizations of water quality in Kuwait Bay. **Marine Pollution Bulletin**, [s.l.], v. 83, n. 1, p.127-131, jun. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.04.009>.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20ª ed. Washington: American Public Health Association. APHA/AWWA/WEF, 1998.

BHUTIANI, R. et al. Assessment of Ganga river ecosystem at Haridwar, Uttarakhand, India with reference to water quality indices. **Applied Water Science**, [s.l.], v. 6, n. 2, p.107-113, 17 jun. 2014. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s13201-014-0206-6>.

BILGIN, A.; KONANÇ, M. U.. Evaluation of surface water quality and heavy metal pollution of Coruh River Basin (Turkey) by multivariate statistical methods. **Environmental Earth Sciences**, [s.l.], v. 75, n. 12, p.1029-1047, jun. 2016. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-016-5821-0>.

BRAGA, B., et al. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 4. ed. São Paulo: Escrituras, 2015.

CENTENO, Luana Nunes. **Proposta metodológica para a construção de um índice de qualidade da água na bacia hidrográfica Piratini-São Gonçalo e Mangueira, RS**. 2017. 190 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ppg em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

HAIR JR., J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688 p.

LIBÂNIO, M.. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas: Átomo, 2010. 494 p.

LOBATO, T. C. et al. 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**, [s.l.], v. 522, p.674-683, mar. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.01.021>.

MONICA, N.; CHOI, K.. Temporal and spatial analysis of water quality in Saemangeum watershed using multivariate statistical techniques. **Paddy and Water Environment**, [s.l.], v. 14, n. 1, p.3-17, 6 jan. 2015. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10333-014-0475-6>.

NUVOLARI, A.. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011. 565 p.

R Core Team, 2013. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <http://www.R-project.org/>.

SAKIZADEH, M.. Artificial intelligence for the prediction of water quality index in groundwater systems. **Modeling Earth Systems and Environment**, [s.l.], v. 2, n. 1, p.8-17, 22 dez. 2015. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s40808-015-0063-9>.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

VOZA, D. et al. Application of multivariate statistical techniques in the water quality assessment of Danube river, Serbia. **Archives of Environmental Protection**, [s.l.], v. 41, n. 4, p.96-103, 1 jan. 2015. Walter de Gruyter GmbH. <http://dx.doi.org/10.1515/aep-2015-0044>.

WANG, Q. et al. Combined multivariate statistical techniques, water pollution index (wpi) and daniel trend test methods to evaluate temporal and spatial variations and trends of water quality at Shanchong river in the Northwest Basin of lake Fuxian, China. **PLOS ONE**, [s.l.], v. 10, n. 4, p.1-17, 2 abr. 2015. Public Library of Science (PLOS). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0118590>.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375