

IV-270 – AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DE ATIVIDADES ANTROPOGÊNICAS NA QUALIDADE DA ÁGUA EM REGIÃO DE EXPANSÃO METROPOLITANA

Eduardo de Aguiar do Couto⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestrando em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental na UFV.

Maria Lúcia Calijuri

Doutora em Engenharia Civil – Geotecnia pela Universidade de São Paulo. Professora Titular do Departamento de Engenharia Civil da UFV.

Luna Gripp Simões Alves

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Mestranda em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental na UFV.

Rodrigo de Arruda Camargo

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestrando em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental na UFV.

Marcos Dornelas F. M. e Silva

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Doutorando em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental na UFV.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Civil. Rua Peter Henry Rolfs, s/n – Campus UFV - Viçosa - MG - CEP: 36570-000- Brasil - Tel: (31) 3899-3098 - e-mail: eduardo.acouto@hotmail.com

RESUMO

Apesar da notória importância dos recursos hídricos na dinâmica de sistemas ambientais, estes encontram-se frequentemente sujeitos a impactos resultantes de atividades antropogênicas. Este estudo procedeu à avaliação dos efeitos da urbanização e do crescimento populacional na qualidade da água de mananciais superficiais na zona norte da região metropolitana de Belo Horizonte, com base na utilização de ferramentas de estatística multivariada. Os procedimentos estatísticos foram realizados a partir da análise de 18 parâmetros físicos, químicos e microbiológicos de qualidade da água. As coletas aconteceram ao longo de um ano hidrológico, em seis pontos de amostragem. Os dados obtidos foram submetidos às análises multivariadas de componentes principais (PCA). Essa análise permite a transformação de um conjunto de variáveis originais em outro conjunto equivalente que o represente de maneira concisa. A PCA foi realizada com intuito de avaliar o comportamento das variáveis de qualidade da água nos diferentes pontos de monitoramento, assim como inferir sobre a importância de cada uma na dinâmica dos recursos hídricos da região. Os resultados obtidos permitiram reduzir as 18 variáveis inicialmente monitoradas em 5 componentes principais, que juntas explicaram 69% do total da variância dos dados coletados, o que permite avaliar de maneira integrada quais as medidas que podem ser tomadas para minimizar a contaminação dos recursos hídricos dessa região.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade da Água, Componentes Principais, Urbanização, Crescimento Populacional.

INTRODUÇÃO

Rios e lagos exercem um papel importante na dinâmica de sistemas ambientais, ao receberem e assimilarem diferentes tipos de efluentes, além do escoamento superficial oriundo de terras agrícolas e de áreas urbanas (Kunwar et al., 2005). Os corpos d'água superficiais estão, no entanto, progressivamente sujeitos aos impactos resultantes das atividades antropogênicas (Wang et al., 2007). A contaminação de mananciais com efluentes domésticos e industriais, além do carreamento de partículas proveniente de áreas impermeabilizadas, pode comprometer a utilização desses recursos, e por isso representa uma grande preocupação ambiental em todo o mundo (Ouyang et al., 2006).

A zona norte da região metropolitana de Belo Horizonte vem atravessando intenso crescimento populacional. Dentre os vários fatores que explicam essa expansão, podemos mencionar o adensamento das regiões de Betim e Contagem, e o crescimento das atividades no Aeroporto Internacional Tancredo Neves (AITN). O crescimento populacional citado pode propiciar o surgimento de diversos problemas resultantes da ocupação desordenada, como a redução da cobertura vegetal e a deterioração da qualidade dos recursos hídricos. De

acordo com Fu et al. (2008), o processo de urbanização é reconhecido como o principal fator que contribui com os problemas ambientais, incluindo as inundações, a perda de biodiversidade, e a degradação dos ecossistemas aquáticos.

Neste cenário, torna-se imprescindível a gestão eficiente dos recursos hídricos e, para tanto, o adequado conhecimento da situação dos mananciais, obtido com base na obtenção de dados de qualidade da água. Nestes casos, mostra-se adequada a utilização de ferramentas de estatística multivariada. Essas ferramentas têm sido amplamente utilizadas frente a conjuntos de dados ambientais, que geralmente possuem elevada complexidade, ajudando a avaliar e discernir os problemas dessa natureza (Bernard et al., 2004, citado por Wang et al., 2007). O objetivo desse trabalho é avaliar os efeitos da urbanização e do crescimento populacional na qualidade da água de mananciais superficiais na zona norte da região metropolitana de Belo Horizonte, utilizando ferramentas de estatística multivariada.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A área de estudo, Figura 1, está inserida na Área de Proteção Ambiental (APA) Carste de Lagoa Santa e possui cerca de 6.500 ha. Engloba o Aeroporto Internacional Tancredo Neves, além de grande parte dos municípios de Confins e Lagoa Santa.

A APA Carste Lagoa Santa foi instituída com o objetivo de proteger um dos mais importantes sítios arqueológicos e espeleológicos do Brasil e sua riqueza científica e cultural. Localiza-se no estado de Minas Gerais, entre os meridianos 44°30' e 43°30' e os paralelos 19°00' e 20°00'.

Essa região está localizada ao norte de Belo Horizonte, e passa por um momento de franca expansão populacional. A construção do AITN, também conhecido por Aeroporto de Confins, acelerou esse processo, já que a partir de sua implantação, tem atuado como indutor do desenvolvimento urbano, propiciando a vetorização do fluxo natural de expansão e ocupação urbana em sua direção. Recentemente, a inauguração da nova sede administrativa do governo de Minas Gerais, além das obras de expansão do aeroporto, também vem contribuindo para o crescimento populacional da zona norte da região metropolitana de Belo Horizonte.

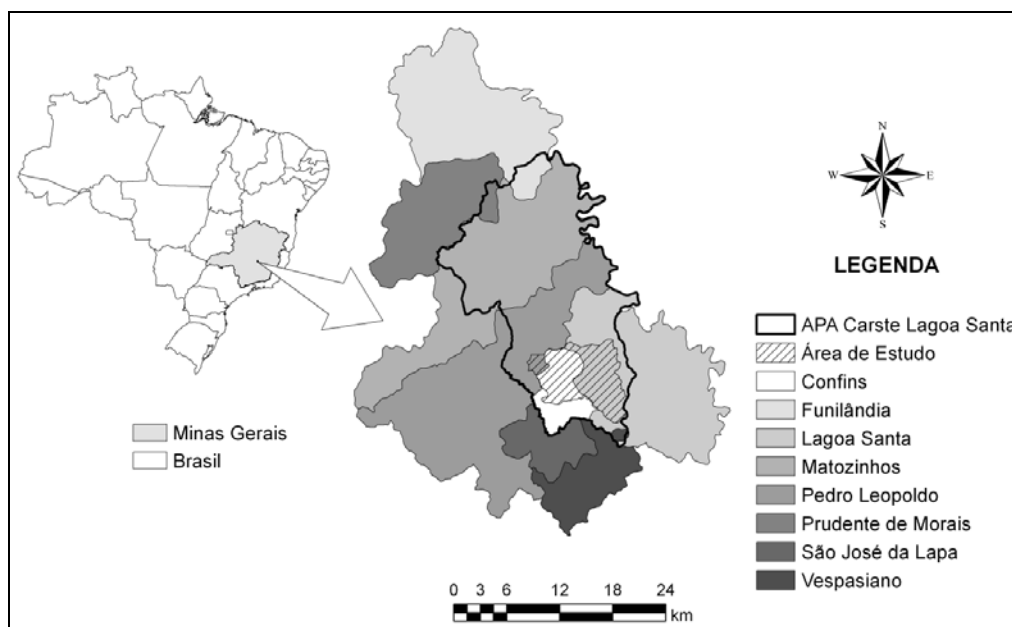


Figura 1 - Localização da área de estudo.

Obtenção dos dados

Seis pontos de água superficial foram monitorados mensalmente ao longo de um ano hidrológico, no período de agosto de 2008 a julho de 2009. Dos seis locais onde as coletas foram realizadas, três eram pontos ao longo do córrego do Fidalgo, e três tratavam-se de lagoas existentes na cidade de Confins. A Figura 2 apresenta os locais de amostragem.

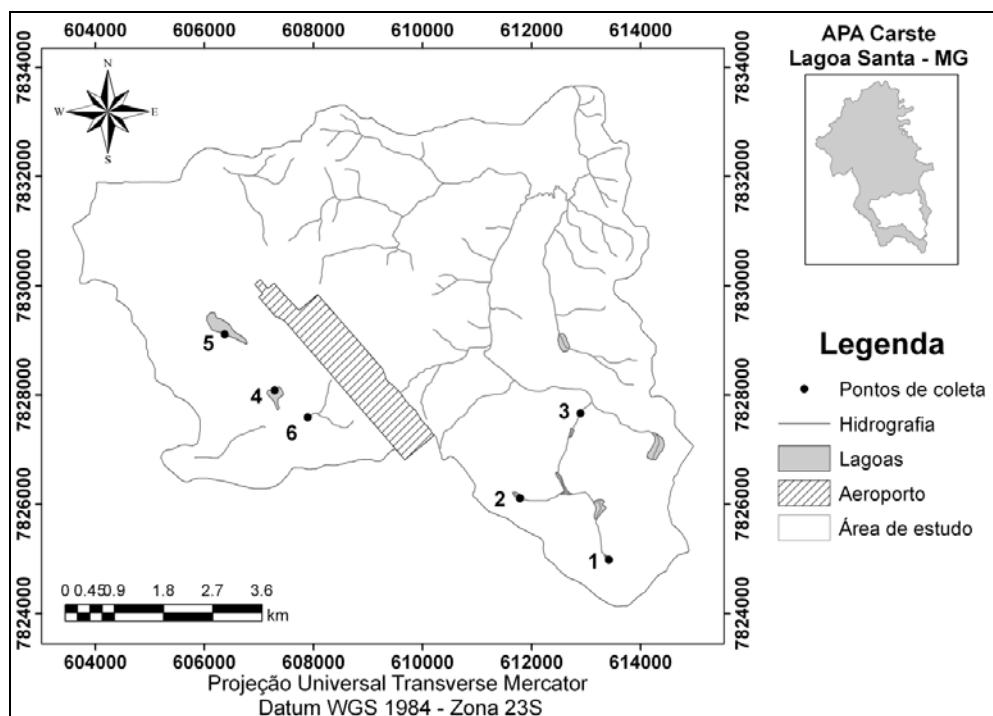


Figura 2 - Localização dos pontos de amostragem.

A coleta foi realizada de maneira simples, de acordo com classificação feita por Von Sperling (2007). Para cada amostra foram analisadas 18 variáveis de qualidade da água, sendo elas: pH, condutividade, temperatura, oxigênio dissolvido, turbidez, alcalinidade total, sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão, nitrato, nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, fosfato, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, ferro, magnésio, dureza e *E. coli*. As análises foram realizadas de acordo com o Standards Methods for the Examination and Wastewater (APHA, 2005).

Análises estatísticas

O conjunto de dados obtidos foi submetido à análise univariada, compreendendo média e desvio padrão, e à análise multivariada, através da análise de componentes principais (PCA).

Segundo Bouza DeAño et al (2008), as informações experimentais precisam ser padronizadas de forma a evitar classificações errôneas causadas por grandes diferenças entre as dimensões das variáveis avaliadas. Dessa forma, adotou-se uma escala de variação de 0 a 100, para qual todos os valores foram transformados com base nos valores mínimos e máximos obtidos para cada variável, de acordo com a Equação 1.

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \times (Y_{\max} - Y_{\min}) \quad \text{Equação 1}$$

Onde Y_{ij} é o valor assumido por cada variável depois da padronização, X_{ij} é o valor original de cada variável, i é o índice das linhas existentes, j o índice de colunas existentes, X_{\max} e X_{\min} são os valores máximos e mínimos encontrados em cada variável, respectivamente, e Y_{\max} e Y_{\min} são os valores máximos e mínimos adotados na padronização realizada, nesse caso 0 e 100.

As análises estatísticas foram desenvolvidas com o auxílio dos softwares Microsoft® Excel (Microsoft, 2003) e R®, versão 2.10.1, desenvolvido por R Foundation for Statistical (R Development Core Team, 2009). O procedimento de estatística multivariada utilizou o pacote “FactoMineR” para as análise de Componentes Principais.

Análise de Componentes Principais

A análise de componentes principais é utilizada para transformar um conjunto original de variáveis oriundas de um espaço multidimensional em outro conjunto equivalente, que o represente de maneira mais concisa, fornecendo uma visão estatisticamente favorável dos dados (Dias, 1998). Esta técnica consiste na transformação das variáveis originais em outras, não correlacionadas, chamadas de componentes principais, que correspondem a combinações lineares das variáveis originais (Sarbu and Pop, 2005).

A componente principal pode ser expressa como:

$$z_{ij} = a_{i1}x_{1j} + a_{i2}x_{2j} + a_{i3}x_{3j} + \dots + a_{im}x_{mj} \quad \text{Equação 2}$$

em que z é a componente principal, a é o peso da variável em uma determinada componente, x é o valor da variável, i é o número da componente, j é o número da amostra e m o número total de variáveis (Shrestha e Kazama, 2007).

Os pesos das variáveis em cada componente foram classificados como forte (<0,75), moderado (0,75 – 0,50) e fraco (>0,50), de acordo com Liu et al., (2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise Descritiva

A Tabela 1 apresenta a média e o desvio padrão encontrados para cada variável nos pontos de monitoramento. Percebe-se que o ponto 5 apresenta as maiores médias para variáveis como turbidez, DBO, DQO e sólidos suspensos. Sabendo que esse ponto localiza-se no centro do município de Confins, pode-se atribuir a observação acima ao despejo de efluentes domésticos e ao carreamento de partículas. Além disso, é possível detectar que variáveis como condutividade elétrica, alcalinidade total e dureza possuem médias elevadas em todos os pontos, entretanto esse fato pode ser atribuído às características intrínsecas aos recursos hídricos da região, devido à formação cárstica dos solos da área de estudo.

Tabela 1 - Estatística descritiva dos dados de qualidade da água nos pontos de monitoramento

VARIÁVEIS	Unidade	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
pH	-	7.29±0.20	7.03±0.55	7.14±0.28	8.16±0.62	7.71±0.68	7.84±0.39
Cond elétrica	µS/cm	329.±27.1	42.5±35.1	153.±21.2	125.±12.4	139.±33.5	189.±32.3
Temperatura	°C	23.6±1.19	24.2±2.05	22.7±2.95	24.9±1.98	25.6±2.47	23.9±2.43
O.D.	mg/L	5.62±1.24	6.91±0.85	6.00±1.06	7.15±1.73	6.23±1.49	7.15±0.76
Turbidez	UNT	2.23±1.25	13.2±7.57	4.50±5.48	10.6±4.40	21.2±14.1	13.1±10.8
Alcalinidade total	mg CaCO ₃ /L	162.±14.9	14.8±2.07	76.8±5.74	67.9±18.4	63.6±10.6	102.±19.7
SD	mg/L	178.±23.0	38.6±13.3	104.±15.4	107.±34.7	118.±19.5	133.±26.7
SS	mg/L	6.50±6.16	15.8±6.87	6.01±7.97	13.3±8.66	22.4±13.9	12.0±13.8
Nitrato	mg N/L	0.08±0.06	0.11±0.06	0.24±0.47	0.14±0.12	0.12±0.09	0.15±0.15
N amoniacal	mg N/L	0.18±0.12	0.20±0.12	0.19±0.17	0.19±0.08	0.20±0.12	0.17±0.05
N orgânico	mg N/L	0.46±0.28	0.65±0.36	0.77±0.94	0.64±0.44	0.73±0.43	0.46±0.25
Fosfato	mg P/L	0.05±0.02	0.04±0.01	0.02±0.01	0.04±0.01	0.08±0.04	0.03±0.02
DBO	mg O ₂ /L	0.71±0.69	2.13±1.48	1.20±1.43	2.59±1.29	5.52±4.58	1.30±0.85
DQO	mg O ₂ /L	10.0±4.53	22.6±12.4	11.1±9.81	21.2±8.01	38.4±26.8	10.7±11.3
Ferro	mg/L	0.18±0.09	1.11±0.56	2.60±6.02	0.24±0.17	0.75±0.32	0.32±0.16
Magnésio	mg/L	2.03±1.57	0.60±0.30	1.49±1.45	1.33±1.43	0.66±0.37	2.35±2.23
Dureza	mgCaCO ₃ /L	161.±10.1	13.0±2.24	74.3±15.1	65.2±22.6	57.6±8.29	104.±25.6
E. coli	NMP/100mL	26.5±49.0	23.3±31.9	260±357	363±915	315±4,45	237±400

Análise de Componentes Principais

A análise de componentes principais (PCA) foi realizada com intuito de avaliar o comportamento das variáveis de qualidade da água nos diferentes pontos de monitoramento, assim como inferir sobre a importância de cada uma na dinâmica dos recursos hídricos da região. Os resultados obtidos permitiram reduzir as 18 variáveis inicialmente monitoradas em 5 componentes principais, que juntas explicaram 69% do total da variância dos dados coletados. A Tabela 2 exibe os pesos de cada variável para as cinco primeiras componentes principais.

Tabela 2 - Pesos das variáveis monitoradas nas cinco primeiras componentes principais

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
pH	0.1480	0.4561	-0.2769	-0.3876	0.3461
Condutividade Elétrica	-0.8015	0.4807	0.1545	0.0486	-0.0714
Temperatura	0.2629	0.2640	-0.6859	-0.0107	-0.3350
Oxigênio Dissolvido	0.1936	-0.0100	-0.3963	-0.0734	0.5885
Turbidez	0.7797	0.4026	0.1257	0.1930	0.0241
Alcalinidade Total	-0.8482	0.4846	0.0940	0.0063	0.0280
Sólidos Dissolvidos	-0.6577	0.6348	0.1250	-0.0394	0.1289
Sólidos em Suspensão	0.7159	0.3567	0.2400	0.2225	-0.1545
Nitrato	0.0348	-0.0846	0.3672	-0.2116	0.4259
N amoniacal	-0.0910	-0.4091	0.3437	0.1617	0.3373
Nitrogênio Orgânico	0.3504	0.0940	0.5339	-0.1164	0.0096
Fosfato	0.4742	0.7333	0.1921	-0.0097	-0.0373
DBO	0.6832	0.4670	-0.0555	0.0038	0.2253
DQO	0.7819	0.4203	0.0117	-0.0546	0.1128
Ferro	0.1476	0.0296	0.0461	0.8232	-0.0247
Magnésio	-0.3973	0.2785	-0.3116	0.4968	0.3045
Dureza	-0.8327	0.5146	0.0511	0.0583	0.0564
<i>E. coli</i>	-0.0572	0.3206	0.0895	-0.2648	-0.4504
% da variância explicada	29.75	16.66	8.41	7.40	7.14

A componente principal 1 explicou 29,75% da variância dos dados, e apresentou forte contribuição das variáveis turbidez e DQO. Além disso, essa componente teve contribuição positiva moderada das variáveis sólidos em suspensão e DBO. A componente principal 1 pode estar relacionada ao escoamento superficial proveniente do crescimento da área urbana e à contaminação por esgoto doméstico. Moccelin (2006) aponta o crescimento populacional e o desencadeamento do processo de urbanização como fatores que promovem de maneira intensa o transporte de partículas para os corpos d'água, uma vez que propiciam o aumento de áreas impermeabilizadas. A autora ainda menciona que o crescimento de áreas agrícolas, quando realizado de forma não controlada, também pode contribuir para o arraste de sedimentos para os cursos d'água. Já a contaminação por esgoto doméstico se deve ao mau funcionamento de fossas sépticas amplamente utilizadas na região, ou até mesmo ao lançamento direto de residências estabelecidas nas margens das lagoas e do córrego do Fidalgo.

A componente principal 2 explicou 16,66% do total da variância, não possuindo entretanto, variáveis fortemente contribuintes. Fosfato e sólidos dissolvidos foram as variáveis de maiores pesos, 0,73 e 0,63, respectivamente. Essa componente pode estar relacionada a componentes minerais, naturalmente presentes nas águas da região estudada, devido à formação cárstica da mesma.

A componente principal 3 explicou 8,41% da variância dos dados obtidos, e apresentou contribuição moderada de nitrogênio orgânico. Nitrogênio amoniacal e nitrato, muito embora tenham apresentado pesos abaixo de 0,5, foram as variáveis de maior significância após o nitrogênio orgânico. Esta componente pode estar relacionada à contribuição poluição difusa vinda de áreas de pastagens e pequenas plantações do entorno, que constituem fontes de nitrogênio através do arraste dos dejetos animais e do excesso de fertilizantes nitrogenados aplicados ao solo, respectivamente.

A componente principal 4 explicou 7,40% do total da variância, com forte contribuição da variável ferro. Sabendo que as condições dos recursos hídricos de uma região estão intimamente relacionadas às características do solo, pode-se relacionar a componente 4 a fatores naturais, uma vez que grande parte da área de estudo é ocupada por latossolo vermelho distrófico, que possui concentração relativa de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (EMBRAPA, 2009).

A componente principal 5 foi responsável por 7,14% da variância dos dados obtidos. A variável oxigênio dissolvido apresentou o maior peso dentre todas as outras que fizeram parte do estudo. Esta componente pode ser considerada como uma resposta ecológica, uma vez que OD é fortemente influenciada por outros fatores ambientais, e sensível à poluição (Bellos et al., 2004). Segundo Wang (2007), que observou comportamento semelhante a este em seu experimento na bacia do lago Taihu, na China, a componente em questão representa um efeito de feedback, ou seja, uma resposta a alguma alteração introduzida ao sistema, alteração essa provocada por fatores naturais ou por uma fonte de contaminação.

CONCLUSÃO

A aplicação de técnicas de estatística multivariada permitiu estabelecer o panorama da qualidade da água na zona norte da região metropolitana de Belo Horizonte.

A análise de componentes principais identificou cinco componentes independentes que juntas explicaram 69% da variância dos dados. Essas componentes são relativas às variáveis como sólidos, matéria orgânica, nutrientes, e íons naturalmente existentes nos sistemas hídricos da região.

Os resultados obtidos sugerem que as atividades antrópicas tem tido impacto significativo na qualidade da água na área de estudo. O lançamento direto de efluentes domésticos, o transporte de sedimentos oriundos do Aeroporto Internacional Tancredo Neves, além do escoamento superficial proveniente de áreas cultivadas ou impermeabilizadas, são fatores ligados à expansão urbana e ao crescimento populacional que promovem a degradação dos corpos d'água, comprometendo a disponibilidade de recursos hídricos para diversos usos.

Diante disso, a adoção de medidas que busquem mitigar os efeitos supracitados, ganha singular importância. A implantação de sistema de coleta e tratamento de esgoto, assim como medidas estruturais e não estruturais que visem potencializar a infiltração da água no solo e a consequente redução do escoamento superficial são alguns exemplos de intervenções que atuam no sentido de recuperação e preservação da qualidade dos recursos hídricos superficiais na região de estudo.

Por fim, pode-se dizer que este estudo fornece subsídios para o aprimoramento da gestão dos recursos hídricos na região em questão, uma vez que permite conhecer de forma detalhada os fatores que afetam a dinâmica dos corpos d'água monitorados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21.ed. Washington DC: APHA, 2005.
2. BELLOS, D., SAWIDIS, T., TSEKOS I. Chemical pollution monitoring of river Pinios (the ssalia-Greece)[J]. *Environ Int*, 30. pp. 105–115. 2004.
3. BOUZA-DEANO, R., TERNERO-RODRIGUES, M., and FRNANDEZ-ESPINOSA, A. J. (2008). Trend Study and Assessment of Surface Water Quality in the Ebro River (Spain). *Journal of Hydrology*. 361, pp. 227-239.
4. DIAS, L. A. S.; Análises Multidimensionais. In: ALFENAS, A. C. Eletroforese de isoenzimas e proteínas afins. Viçosa: UFV. Cap. 9, pp. 404-475. 1998.
5. EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. 2ª ed. Versão revisada. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 412p, 2009.
6. FU, G., BUTLER, D., e KHU, S. T. The impact of new developments on river water quality from an integrated system modelling perspective. *Science of the total environment*, 407, pp 1257-1267, 2009.

7. KUNWAR, P. S., AMRITA, M., SARITA, S. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti River (India) using multivariate statistical techniques—a case study. *Analytica Chimica Acta*, 538. pp. 355–374. 2005.
8. 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 Taiwan. *Sci. Total Environ*, 313. pp. 77–89. 2003.
9. MOCCELLIN, J. A microbacia do rio Jacupiranguinha como unidade de estudo para a sustentabilidade dos recursos hídricos no baixo ribeira do Iguape – SP. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 2006.
10. OUYANG, P. Y., NKEDI-KIZZA, Q., WU, D. T., SHINDE, C., HUANG H. Assessment of seasonal variations in surface water quality. *Water Research*. 40. pp. 3800–3810. 2006.
11. R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL. <http://www.R-project.org>. 2009.
12. SARBU and H.F. POP, Principal component analysis versus fuzzy principal component analysis. A case study: the quality of Danube water (1985–1996), *Talanta*, **65**. pp. 1215–1220. 2005.
13. SHRESTHA, S., KAZAMA, F., Assessment of surface water quality using multivariate estatistical techniques: a case study of the Fuji river basin, Japan. *Environmental Modelling & Software*. 22, pp. 464–475. 2007.
14. WANG, Y.L., LU, J.Y., HAN, G.Z., HE and T.Y. WANG, Identification of anthropogenic influences on water quality of rivers in Taihu watershed, *J. Environ. Sci*. 19. pp. 475–481. 2007.
15. VON SPERLING, M. Estudos e Modelagem da Qualidade da Água de Rios. 1. ed. Belo 376 Horizonte: DESA-UFGM, 2007. 588p.