

AVALIAÇÃO DOS FATORES QUE INFLUENCIAM A QUALIDADE DA ÁGUA DO ECOSISTEMA LACUSTRE DE MESSEJANA, FORTALEZA, CEARÁ, UTILIZANDO ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

**Lyndervan O. ALCÂNTARA; Marcio R. P. SANTOS; Erilany C. M. BARROS;
Hugo L. B. BUARQUE; Raimundo B. GOMES; Maria J. N. MENDONÇA**

Grupo de Pesquisa em Processos Químicos e Ambientais
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
Av. Treze de Maio, 2081, Benfica, 60.040-531, Fortaleza, Ceará
telefone/fax: +55 (85) 3307-3647 / +55 (85) 3307-3711,

E-mails: lyndervan@hotmail.com, marcio_xp@hotmail.com, erilanydmb@hotmail.com, hbuarque@ifce.edu.br

RESUMO

A Lagoa de Messejana, um dos principais ecossistemas lacustres de Fortaleza, Ceará, possui cerca de 33,50 ha de extensão superficial do espelho líquido. O presente estudo objetivou determinar as relações e as influências dos fatores de qualidade da água do sistema lacustre de Messejana, utilizando técnicas estatísticas multivariadas: Análise de Componentes Principais (ACP) e Análise de Agrupamentos (AA). Para isso, foram bimestralmente coletadas amostras superficiais de água, no período compreendido entre agosto de 2006 e fevereiro de 2009, em três pontos distintos do corpo hídrico estudado. A partir do método de estudo proposto e de um conjunto de 28 parâmetros de qualidade, inicialmente, foram selecionados 10 parâmetros físico-químicos: transparência, cor verdadeira, sólidos suspensos totais, sólidos suspensos voláteis, alcalinidade, potencial hidrogeniônico, oxigênio dissolvido, fósforo total, sulfeto e cádmio. Além disso, a mesma metodologia estatística foi aplicada para o conjunto de dados dividido nas estações seca e chuvosa. A partir destas análises, três componentes principais foram obtidas do conjunto de dados. Estas traduziram os fatores influentes da qualidade do sistema lacustre de Messejana. A análise de agrupamentos também foi aplicada aos três pontos de amostragem através da média dos valores obtidos no período inteiro para os parâmetros selecionados no intuito de se avaliar a similaridade entre aqueles pontos.

Palavras-chave: Lagoa de Messejana, Estatística Multivariada, Análise de Agrupamento, Fatores de Qualidade da Água.

1. INTRODUÇÃO

Em virtude da dinâmica de crescimento desordenado, as cidades brasileiras vêm sofrendo um acelerado processo de modificação na paisagem urbana. Esse processo de ocupação desordenado associado ao descumprimento das legislações urbanísticas e ambientais e a falta de fiscalização têm contribuído para o desaparecimento e para a degradação das lagoas urbanas de Fortaleza, Ceará.

O processo de urbanização tem gerado sérios problemas ambientais, como o aterramento e a poluição de estruturas lacustres. Negligencia-se o fato de que as lagoas interferem no equilíbrio hídrico, microclima, valorização da paisagem urbana, constituídas também de potencial para desenvolvimento das atividades de pesca e lazer (VASCONCELOS et al., 1995 apud ALMEIDA et al., 1998).

A Lagoa de Messejana localiza-se no bairro Messejana e faz parte da bacia do Rio Cocó, constituindo o segundo maior ecossistema lacustre urbano de Fortaleza, Ceará, Brasil. Em seu entorno, encontra-se o Mercado da Messejana, o Clube da Caixa de Fortaleza e o Terminal Integrado da Messejana (WIKIPEDIA, 2010).

Comente-se que, no ano de 2006, uma pesquisa de campo foi realizada, a qual procurou avaliar “in loco” as principais fontes poluidoras e os impactos causados no entorno daquele ecossistema com reflexos diretos na área de preservação permanente. A partir dessa pesquisa puderam ser observadas as seguintes situações: presença de entradas pontuais de esgoto *in natura*, proveniente dos estabelecimentos localizados na Av. Padre Pedro de Alencar e Rua Capitão Afrânio; equipamentos públicos completamente depredados;

A quantificação da carga poluidora que é aportada a um corpo d'água é um elemento fundamental para qualquer manejo que objetive a conservação e o uso sustentável da água. Através da análise integrada entre os fatores de qualidade da água e as características de uso e ocupação do solo em um ecossistema aquático, juntamente com a distribuição da população urbana e a disponibilidade de infra-estrutura urbana, torna-se possível definir relações de causa e efeito entre as condições de ocupação do recurso hídrico e os fatores de qualidade da água (ZIMMERMANN et al., 2008). Assim, devido à preocupação com a problemática ambiental e, principalmente, em virtude da importância desse recurso hídrico para a cidade de Fortaleza, são necessários que se desenvolvam fundamentos científicos sólidos de modo a garantir o monitoramento e o controle satisfatório desse ecossistema.

Por este motivo, o presente trabalho objetivou determinar as relações e a influência dos fatores determinantes na qualidade da água da lagoa de Messejana, utilizando métodos estatísticos multivariados (Análise de Componentes Principais – ACP e Análise de Agrupamento – AA), bem como relacionar os resultados gerais obtidos com os períodos seco e chuvoso.

2.1. Lagoa de Messejana

A área de estudo, objeto do presente estudo, possui cerca de 33,50 ha de extensão superficial do espelho líquido, quando referido a cota de 15 m, fazendo parte da sub-bacia B-5.1, podendo sua cota ser elevada até 18 m, resultando no armazenamento temporário de um volume de 829.000 m³. Ainda, apresenta em seu entorno uma área densamente povoada por famílias com renda variando de baixa a média. Além disso, esta representa o segundo maior ecossistema lacustre de Fortaleza, Ceará. A Figura 1 ilustra a localização geográfica da Lagoa de Messejana.



2.2. Obtenção dos Dados da Lagoa de Messejana

Para proposição e determinação dos fatores de qualidade da água do ecossistema lacustre estudado foram selecionados três pontos de coleta (entrada do tributário principal, centro e sangradoruro). Na Figura 2 é ilustrada a localização dos pontos de coleta selecionados. Os dados geográficos (georeferenciamento) dos pontos estão dispostos na Tabela 1. Nestes pontos, amostras superficiais (30 a 50 cm de profundidade) foram coletadas bimestralmente, no período compreendido entre agosto de 2006 a fevereiro de 2009. As amostras coletadas foram analisadas em relação aos 28 parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos. Todas as análises dos parâmetros foram determinadas seguindo metodologias do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2005).



Figura 2 – Localização dos Pontos de Coleta da Lagoa de Messejana.

Tabela 1 – Coordenadas geográficas dos pontos de coleta.

PONTO DE AMOSTRAGEM	COORDENADAS	
	UTM	GEOGRÁFICAS
Ponto 1 - Entrada Lagoa Seca	0555909 / 9577202	3°49'490'' / 38°29'780''
Ponto 2 - Centro	0555930 / 9576940	3°49'630'' / 38°29'977''
Ponto 3 - Entrada Riacho Canaã	0555841 / 9576520	3°49'860'' / 38°29'820''

2.3. Tratamento dos Dados e Obtenção dos Fatores de Qualidade

O registro eletrônico e a uniformização da formatação dos dados, obtidos experimentalmente nas campanhas de coleta, como também a elaboração dos gráficos apresentados foram realizados utilizando o aplicativo computacional de planilhas eletrônicas Microsoft® Excel® 2003.

O tratamento prévio dos dados (média, coeficiente de variação, mínimo, máximo, desvio padrão), bem como a obtenção dos fatores de qualidade através de técnicas estatísticas multivariada foram utilizados pelo programa computacional SPSS® 13.0 for Windows.

A aplicação das técnicas estatísticas multivariadas deu-se com 28 variáveis físico-químicas, havendo a inclusão dos metais (Cu, Pb, Cd e Fe). Assim, no intuito de reduzir as variáveis que influenciavam a qualidade da água do manancial estudado, empregou-se a Análise de Componentes Principais (ACP). Nesta análise estatística, para os parâmetros considerados eram determinadas o teste de adequacidade de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), suas matrizes correlação, matrizes anti-imagem, bem com a medida de adequação da amostra (MAS), e a porcentagem de variância total explicada pelas componentes. Estes foram utilizados como critério de redução e seleção dos parâmetros mais relevantes.

Assim, a partir do conjunto de dados com 28 parâmetros, foram excluídos aqueles cuja adequabilidade com os demais fosse inferior a 0,50. Ao mesmo tempo, os valores obtidos para o KMO eram verificados, evitando prioritariamente que o mesmo ficasse inferior a 0,6.

Inicialmente, com a aplicabilidade das técnicas estatísticas multivariadas, foi possível reduzir o quantitativo inicial de parâmetros, de modo que o conjunto reduzido representasse uma maior influência na qualidade do meio aquático. Para isso, foram realizados vários testes no programa estatístico com o intuito de analisar para diferentes conjuntos de parâmetros as matrizes de correlação de Pearson e a sua matriz anti-imagem, bem como as medidas de adequação da amostra (MAS) e do critério de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO).

É importante citar que a MAS pode ser calculada tanto para toda a matriz de correlação quanto para cada variável individual e que permite avaliar o quanto é adequada à aplicação da análise fatorial (Análise de Componentes Principais) ao sistema. Assim, valores acima de 0,50 para a MAS da matriz toda ou de uma variável individual indicam tal adequação (HAIR JR et al., 2005). Quanto ao critério de KMO, é importante citar que valores deste índice igual ou superior a 0,8 garantem a adequabilidade do ajuste a um modelo de análise fatorial. Na literatura, um KMO acima de 0,9 seria excelente, enquanto que um coeficiente inferior a 0,5 seria péssimo, e exigiria medidas de correção nos dados amostrais através de exclusão de variáveis (MINGOTI, 2005).

Assim, os fatores comuns foram extraídos e rotacionados (método varimax), possibilitando uma melhor interpretação destes fatores. Além disso, a rotação pelo método varimax possibilita uma distribuição mais equilibrada das porcentagens de variância explicada entre as componentes principais (HAIR, 2005).

Então, após a realização dos testes de pré-tratamento e a aplicação dos critérios de redução e seleção dos parâmetros, optou-se por dar prosseguimento ao estudo com somente 10 variáveis físico-químicas para determinar os fatores de qualidade da água, pois este conjunto, além de fornecer um KMO satisfatório ($KMO = 0,701$), também fornecia uma variância explicada para as três componentes de aproximadamente 60,3%. Deste modo, foram selecionadas as seguintes variáveis: transparência (TRANS), cor verdadeira (CV), sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV), alcalinidade (ALC), potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), fósforo total (PT), sulfeto (S) e Cádmio (Cd).

A partir das análises estatísticas e critérios de seleção estabelecidos anteriormente, fez-se um tratamento dos dados para os períodos seco e chuvoso. Porém, a análise estatística multivariada por período deu-se com 17 parâmetros e não com 28 como se pretendia, pois o software estatístico SPSS 13.0 não fazia a execução dos dados, devido haver um quantitativo elevado de variáveis para poucos dados. A análise realizada para as estações seca e chuvosa deu-se, respectivamente, com 27 e 18 conjuntos de dados. Assim, as variáveis mais relevantes para o período seco foram: TRANS, CV, SST, SSV, pH, OD, Ortofosfato solúvel (OPS), chumbo (Pb), Cd e Ferro (Fe). Já para a estação seca foram: Temperatura (T), TRANS, condutividade elétrica (CE), SST, SSV, ALC, OD, sulfato (SO_4), S e nitrito (NO_2).

Feito isso, realizamos a comparação com os resultados gerais e por período seco e chuvoso, e notamos, como se pode perceber, a presença persistente das variáveis TRANS, SST, SSV e OD. Os metais Pb, Cd e Fe se destacam na estação seca, enquanto que na chuvosa não foi relevante a influência dos metais pesados. No resultado geral, houve a predominância do metal cádmio.

Posteriormente, aplicaram-se aos parâmetros selecionados a análise de agrupamentos, baseado no método de Ward usando quadrado distância euclidiana e a norma do z-escores, possibilitando extrair informações de similaridade entre os três pontos amostragem da lagoa, a partir da média dos parâmetros selecionados, em cada ponto, no período.

A análise de agrupamento agrega os elementos no intuito de formar grupos que sejam semelhantes entre si no que diz respeito às características que neles foram medidas. Os agrupamentos resultantes dos elementos devem então exibir elevada homogeneidade interna (dentro dos agrupamentos) e elevada heterogeneidade externa (entre agrupamentos). Assim, se a classificação for bem sucedida, os elementos dentro dos grupos estarão bem próximos quando representados graficamente e diferentes agrupamentos estarão distantes. (HAIR JR et al., 2005).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 nos mostra as estatísticas descritivas (mínimo, máximo, desvio padrão, coeficiente de variação e média) dos dados experimentais obtidos. Quanto maior o coeficiente de variação mais inconstante é o conjunto de dados.

Tabela 2 – Estatísticas Descritivas dos Dados Selecionados

Parâmetros	Dados	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Coef. de Variação
TRANS (m)	45	9,36	18,89	0,35	70,00	202%
CV (uH)	45	14	4	8	25	28%
SST (mg/L)	45	23	12	7	72	54%
SSV (mg/L)	45	15	8	1	38	55%
ALC (mg CaCO ₃ /L)	45	110,8	39,4	71,0	191,0	36%
pH	45	8,1	0,7	5,5	9,3	8%
OD (mg/L)	45	8,1	1,8	4,7	13,8	23%
PT (mg/L)	45	0,239	0,118	0,070	0,780	49%
S (mg/L)	45	0,736	0,769	0,000	4,300	104%
Cd (mg/L)	45	0,001	0,001	0,000	0,004	119%

A partir da metodologia proposta, foram obtidas as matrizes de correlação e a matriz anti-imagem do sistema, apresentadas respectivamente na Tabela 3 e Tabela 4.

Tabela 3 – Matriz de Correlação

	TRANS	CV	SST	SSV	ALC	pH	OD	PT	S	Cd
TRANS	1									
CV	-0,064	1								
SST	-0,176	0,227	1							
SSV	-0,115	0,207	0,742	1						
ALC	-0,151	-0,289	-0,188	-0,169	1					
pH	-0,250	-0,179	0,192	0,178	0,364	1				
OD	-0,308	-0,010	0,443	0,414	0,028	0,380	1			
PT	-0,123	-0,133	0,082	0,138	0,315	0,281	0,166	1		
S	0,014	-0,100	-0,064	0,022	0,394	0,331	0,054	0,033	1	
Cd	-0,151	0,295	0,364	0,304	-0,531	-0,059	0,247	-0,140	-0,316	1

Tabela 4 –Matriz Anti-imagem

	TRANS	CV	SST	SSV	ALC	pH	OD	PT	S	Cd
TRANS	,658^(a)	0,105	0,046	-0,057	0,202	0,119	0,188	0,018	-0,092	0,152
CV	0,105	,780^(a)	-0,099	-0,072	0,098	0,141	0,107	0,047	-0,067	-0,14
SST	0,046	-0,099	,682^(a)	-0,647	0,019	-0,094	-0,165	0,033	0,091	-0,103
SSV	-0,057	-0,072	-0,647	,657^(a)	0,094	0,002	-0,133	-0,148	-0,136	-0,034
ALC	0,202	0,098	0,019	0,094	,685^(a)	-0,208	-0,019	-0,231	-0,233	0,418
pH	0,119	0,141	-0,094	0,002	-0,208	,727^(a)	-0,235	-0,15	-0,261	-0,075
OD	0,188	0,107	-0,165	-0,133	-0,019	-0,235	,802^(a)	-0,047	-0,021	-0,151
PT	0,018	0,047	0,033	-0,148	-0,231	-0,15	-0,047	,677^(a)	0,167	0,066
S	-0,092	-0,067	0,091	-0,136	-0,233	-0,261	-0,021	0,167	,635^(a)	0,172
Cd	0,152	-0,14	-0,103	-0,034	0,418	-0,075	-0,151	0,066	0,172	,733^(a)

A diagonal principal da matriz anti-imagem contém os valores de MAS para as variáveis individuais, verificando-se que todas os parâmetros apresentados possuem MAS superior a 0,5, conforme exigido para uma satisfatória aplicação da análise fatorial.

De acordo com os critérios estabelecidos para redução e seleção dos parâmetros mais relevantes para a qualidade do corpo hídrico foram obtidas três componentes principais. Estas, representadas pelas cargas fatoriais, são os fatores mais influentes no manancial estudado. A Tabela 5 mostra as componentes principais e as porcentagens totais de variância explicada por cada componente.

Tabela 5 – Componente principal e suas porcentagens totais de variância explicada por cada componente.

Componente	Variância explicada	TRANS	CV	SST	SSV	ALC	pH	OD	PT	S	Cd
1	23,540%	-0,091	0,405	0,861	0,869	-0,285	0,255	0,549	-0,006	0,132	0,469
2	19,070%	0,240	-0,278	-0,082	0,026	0,658	0,446	-0,010	0,178	0,821	-0,654
3	17,696%	-0,703	-0,320	0,133	0,079	0,434	0,579	0,532	0,583	-0,057	0,015

Ao analisar a Tabela 5, pode-se observar que na primeira componente (CP1) as frações sólidas SST/SSV estão relacionadas com o quantitativo de aporte orgânico lançado no interior do corpo hídrico. Além disso, podemos inferir que ao se fazer uma análise estatística multivariada tanto no período seco como no período chuvoso percebeu-se a forte influência dessas frações sólidas na CP1. A segunda componente (CP2) está relacionada com o processo de bioacumulação resultante, principalmente, da ação das variáveis PT e Cd.

No período chuvoso, devido ao fato de o meio aquático estar mais diluído não há indícios da relevância das variações dessas variáveis, PT e Cd, mas em contrapartida no período seco nota-se uma provável influência de metais pesados ocasionada por ações antrópicas no meio aquático. Já a partir da terceira componente (CP3), nota-se uma maior influência dos parâmetros OD, pH e ALC relacionados com o processo de atividade fotossintética no ambiente aquático.

Na Figura 3 é ilustrado o dendograma de similaridade (resultante da AA) a partir das médias dos parâmetros selecionados, de cada ponto de amostragem. Como pode ser observado, os pontos 1 e 3 (tributário e sangradouro), respectivamente, formam um único agrupamento, enquanto que o ponto 2 (centro) forma um grupo isolado. Isso é notório, devido à provável influência dos metais pesados sobre os pontos 1 e 3. Além disso, a presença destes torna-se mais evidente no período seco.

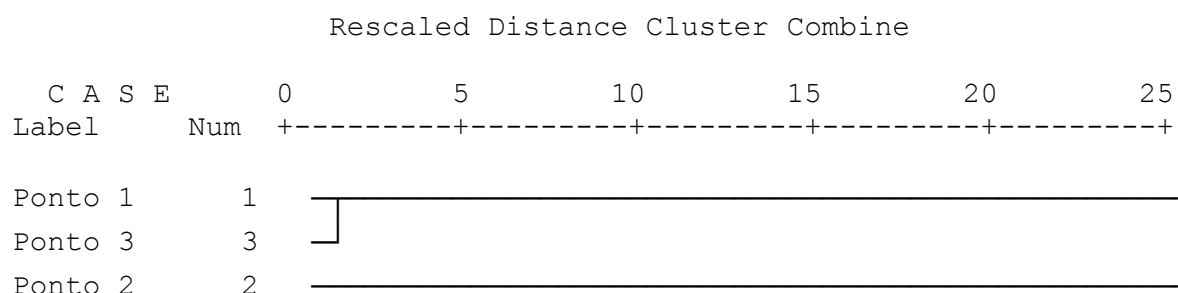


Figura 3 – Dendograma de similaridade dos pontos de coleta.

4. CONCLUSÕES

No presente estudo, foram empregadas técnicas estatísticas multivariadas para determinar os fatores de influência na qualidade da água na Lagoa de Messejana, o segundo maior ecossistema lacustre de Fortaleza, Ceará. A partir da ACP, foi possível reduzir o número de parâmetros determinantes no comportamento do ecossistema lacustre estudado. De acordo com os critérios estabelecidos para a seleção e redução das variáveis, também foi possível identificar três componentes principais relacionadas às características relevantes na variação do comportamento do corpo aquático.

A partir da AA identificaram-se para os dados utilizados duas regiões distintas no manancial: uma no centro do corpo hídrico e outra incluindo a entrada do tributário principal e o sangradouro da lagoa. Os distintos comportamentos estão relacionados, respectivamente, presença de metais pesados e aporte de material orgânico. Podemos inferir, sobretudo, a relação dos fosfatos e metais pesados (Pb, Cd e Fe) com o processo de bioacumulação, principalmente, na estação seca, ao qual há predominância no Estado do Ceará.

Assim, as técnicas estatísticas multivariadas puderam ser usadas para determinar os fatores que influenciavam na qualidade da água e para entender a complexidade da qualidade de um sistema lacustre.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa PROAPP/IFCE pelo apoio acadêmico através de bolsa de produtividade, à FUNCAP pelas bolsas de Iniciação Científica concedidas através do Programa PIBIC/FUNCAP/IFCE, à

equipe do LIAMAR do Campus Fortaleza IFCE pelo suporte analítico e acadêmico na realização desse estudo.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M.M.M.; SILVA, F.J.A.; CARVALHO, R.L.U. **Sobre os sistemas lacustres litorâneos do município de Fortaleza.** In: Asociación Peruana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental; AIDIS. Gestión ambiental en el siglo XXI. Lima, APIS, 1998. p.1-6, Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 26 (AIDIS 98), Lima, 1-5 nov. 1998.

HAIR JR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. **Análise multivariada de dados.** 5ª ed. Reimpr. 2007. Porto Alegre: Bookman, 2005.

MINGOTI, S.A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada.** Belo Horizonte: UFMG, 2005.

SPSS – **Statistical Package For The Social Sciences.** Base 13.0 User's Guide. Chicargo: SPSS, 2004.

Standard methods for the examination of water and wastewater. 21.ed. Washington, DC, EUA: American Public Health Association (APHA), the American Water Works Association (AWWA), and the Water Environment Federation (WEF), 2005.

TOLEDO, L. G.; NICOLELLA G. **Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano.** São Paulo, SP, Brasil. Scientia Agrícola, v.59, n.1, p.181-186, 2002.

WIKIPÉDIA. **Lagoa de Messejana.** <http://pt.wikipedia.org/wiki/Lagoa_da_Messejana>. Acesso em: 11 de julho de 2010.

ZIMMERMANN; C. M.; GUIMARÃES; O. M.; ZAMORA; P. G. P. **Avaliação da qualidade do corpo hídrico do rio Tibagi na região de Ponta Grossa utilizando análise de componentes principais (PCA).** Ponta Grossa, PR, Brasil. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1727-1732; 2008.