

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE EFLUENTE DE CRIAÇÃO DE CAMARÃO MARINHO ATRAVÉS DE MÉTODOS DE ANÁLISE EXPLORATÓRIA

TERESA CRISTINA BEZERRA SALDANHA¹, ALINE EMANUELA DA SILVA ANJOS¹, ILDA ANTONIETA SALATA TOSCANO¹,
PATRICIA KAORI SOARES¹, MARIA MÔNICA MARTINS LÚCIO²

¹Universidade Federal da Paraíba, Cidade Universitária, João Pessoa /PB, 58059-900.

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, CEP: 58103-772, Camboinha, Cabedelo, PB, Brasil.

Recebido em janeiro de 2015. Aceito em julho de 2014. Publicado em dezembro de 2015.

RESUMO – Considerando a preocupação ambiental com as áreas de mangues/estuários e a falta de dados disponíveis sobre a carcinicultura na Paraíba, o objetivo deste trabalho foi aplicar métodos de análise exploratória para avaliar possíveis alterações nos parâmetros físicos e químicos de qualidade de água de um trecho do Rio da Ribeira, PB, onde estão situadas algumas fazendas de criação de camarão. As amostras foram coletadas em três pontos (a montante, jusante e na zona de lançamento do efluente) e foram analisadas em relação à turbidez, temperatura, sólidos totais dissolvidos, pH, condutividade, fosfato, amônia, nitrato, nitrito, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio e coliformes termotolerantes. A análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados, resultou que um modelo com três variáveis latentes explica cerca de 44% da variância dos dados, enquanto outro com oito variáveis latentes explica cerca de 85% das informações. Outros dois métodos multivariados foram aplicados aos dados, a análise de agrupamentos hierárquica (HCA) e o método de classificação SIMCA. Ambos corroboraram os resultados da PCA e mostraram que não há diferenças significativas entre os pontos montante e jusante, sugerindo, portanto, que não há evidência de que o despejo dos tanques de cultivo de camarão esteja impactando o sistema estudado.

PALAVRAS-CHAVE: análise exploratória, carcinicultura, qualidade da água, química ambiental.

ASSESSMENT OF THE MARINE SHRIMP FARMING EFFLUENT IMPACT THROUGH METHODS OF EXPLORATORY ANALYSIS

ABSTRACT – Multivariate statistical techniques, such as cluster analysis (CA), principal component analysis (PCA) and soft independent modeling by class analogy (SIMCA), were applied for the evaluation of spatial variation and the interpretation of a complex water quality data set of a section of the Ribeira river, PB, which harbors shrimp farms. Data were collected in the period of September 2004 to July 2007, monitoring 12 parameters at 3 different sites (288 observations) upstream, downstream and at shrimp ponds. A PCA applied to the data sets (medium values) resulted in three latent factors explaining 44% and eight accounting for 85% of the total variance in water quality data sets. Hierarchical cluster analysis (HCA) grouped samples into six clusters also indicated by the first three and sixth principal components. Soft independent modeling by class analogy classified samples from the shrimp ponds as being from the upstream and downstream suggesting no statistically significant differences among sampling sites. Thus, this study illustrates the usefulness of multivariate statistical techniques for analysis and interpretation of water quality data sets for effective water quality monitoring.

KEY WORDS: environmental chemistry, exploratory data analysis, shrimp farming, water quality.

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE EFLUENTES DE CULTIVO DE CAMARÓN MARINO A TRAVÉS DE MÉTODOS DE ANÁLISIS EXPLORATORIO

RESUMEN – Técnicas estadísticas multivariadas, como análisis de cluster (PCA), análisis de componentes principales (PCA) y el modelado independiente suave por analogía clase (SIMCA), se aplicaron para la evaluación de la variación espacial y la interpretación de un complejo conjunto de datos de la calidad del agua de una sección del río Ribeira, PB, que alberga las granjas de camarón. Los datos fueron recolectados en el período de septiembre de 2004 y julio de 2007 el seguimiento de 12 parámetros en 3 sitios diferentes (288 observaciones) aguas arriba, aguas abajo y en estanques de camarones. Un PCA aplicado a los conjuntos de datos (valores medios) dio lugar a tres factores latentes que explican el 44% y ocho que representan el 85% de la varianza total de conjuntos de datos de calidad del agua. Análisis de conglomerados jerárquico (HCA) muestras agrupadas en seis grupos también indicadas por los tres y sexto primeros componentes principales. Modelado independiente suave por analogía clase de muestras de los estanques de camarones clasificado como siendo de las aguas arriba y aguas abajo que sugiere diferencias estadísticamente significativas entre los sitios de muestreo. Por lo tanto, este estudio pone de manifiesto la utilidad de las técnicas estadísticas multivariantes para el análisis y la interpretación de los conjuntos de datos de calidad del agua para el control eficaz de la calidad del agua.

PALABRAS CLAVE: Química ambiental, análisis de datos exploratoria, cultivo de camarón, calidad de agua

INTRODUÇÃO

A carcinicultura é uma atividade econômica que embora tenha uma história recente em relação aos demais segmentos da aquicultura, já se constitui no principal vetor de desenvolvimento de tecnologias e serviços para o setor aquícola mundial. De acordo com a Organização das Nações Unidas para

Alimentação e Agricultura (FAO) o camarão continua a ser o produto unitário de mais alto valor e em 2010 representou cerca de 15% do valor total do mercado internacional de produtos de pesca. Em 2012, o mercado de camarões começou em alta em termos de demanda e tendência de preço em vários mercados (FAO, 2012). A organização não governamental *World Wildlife Fund* (WWF) divulgou que as fazendas de camarão eram responsáveis por 55 % do camarão

produzido mundialmente. Os maiores criadores de camarão são a China, seguida da Tailândia, Índia, Vietnã, Brasil, Equador e Bangladesh, sendo que a implantação desta atividade permitiu a geração de empregos e renda substancial nesses países em desenvolvimento. O camarão acabou se tornando o produto marinho mais rentável nos dias de hoje. Em 2005, as fazendas de camarão eram uma indústria de 10,6 bilhões de dólares e em 2012 a produção continua crescendo a uma taxa de 10% ao ano – uma das maiores taxas de crescimento no ramo da aquicultura. (<<http://worldwildlife.org/industries/farmed-shrimp>>, acesso em 09/07/2013).

O Brasil apresenta um potencial extraordinário para o cultivo do camarão marinho na zona litorânea, pelas condições climáticas, hidrobiológicas e topográficas. Particularmente, as regiões Norte e Nordeste do país apresentam as melhores condições ambientais para o pleno desenvolvimento dessa atividade produtiva. Por necessitar de condições peculiares (tais como temperatura, salinidade e alta disponibilidade de água), grande parte dos tanques de criação está localizada em áreas de manguezais. Os manguezais são formações florestais que ocorrem em áreas abrigadas do litoral tropical, no ponto de contato entre o continente e o mar e constituem um dos ambientes mais dinâmicos do planeta. Ocupam cerca de 90% da linha de costa do litoral brasileiro (± 6.800 km), e desempenham papel fundamental na estabilidade da geomorfologia costeira, na conservação da biodiversidade e na manutenção de amplos recursos pesqueiros, geralmente utilizados pela população local (Maia, Lacerda, 2005).

O impacto da carcinicultura no ambiente, e de modo particular nos manguezais, está em grande parte relacionado com o lançamento de efluentes tendo como conseqüências, a diminuição da produtividade pesqueira, a soltura involuntária de espécies exóticas e a competição com espécies nativas, entre outras (Poersch et al., 2014; Lemonnier, Faninoz, 2006). Além disso, práticas inadequadas de manejo podem provocar uma eutrofização artificial, evidenciando-se uma reação em cadeia de causas e efeitos, cuja característica principal é a quebra da estabilidade do ecossistema (Nóbrega et al., 2014; Biao, Kaijim, 2007).

Sabe-se que o ambiente aquático apresenta uma enorme diversidade e complexidade, englobando vários tipos de ecossistemas, dentre os quais rios, lagos, estuários, mares e oceanos. Todos esses ecossistemas são produtos dinâmicos de interações complexas entre os componentes bióticos e abióticos característicos de cada um deles. Sendo assim, dados de sistemas aquáticos são caracterizados por uma inerente variabilidade causada por fatores naturais, antropológicos, temporais, espaciais e até erros experimentais (Stumm, Morgan, 1995; Manahan, 2013).

Diante dessa variabilidade, o estudo das condições de um sistema aquático baseado na análise univariada pode gerar informações relevantes sobre as condições do ambiente e auxiliar na caracterização de impactos sofridos pelo meio. Entretanto, uma visualização da hidroquímica do sistema aquático e das diversas interações que nele ocorrem será facilitada pela aplicação de métodos quimiométricos às amostras e variáveis constituintes de um banco de dados. Assim sendo, a análise multivariada se apresenta como uma poderosa ferramenta para extrair informações úteis de dados de qualidade de água (Gazi et al, 2009; Beebe et al, 1998; Einax et al, 1997).

Todavia, a despeito da relevância da carcinicultura, tanto pelo aspecto econômico quanto e principalmente pelo aspecto ambiental, poucas são as informações disponíveis sobre o seu impacto nos ecossistemas aquáticos do estado da Paraíba. Para auxiliar os órgãos de controle ambiental, é necessário que haja dados técnicos e científicos para subsidiá-los a fim de garantir o desenvolvimento sustentável das áreas de cultivo, de seu entorno e a preservação do ecossistema.

Considerando que a atividade de carcinicultura pode ocasionar impactos ambientais nos ecossistemas costeiros, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) estabeleceu na resolução nº 312, de 10/10/2002, art. 14, em seu parágrafo único que “a água utilizada pelos empreendimentos da carcinicultura deverá retornar ao corpo d’água de qualquer classe atendendo às condições definidas pela resolução do CONAMA nº 20/86” (CONAMA, 2002).

Assim sendo, o presente trabalho teve como objetivo investigar as alterações ambientais na qualidade da água de um trecho do Rio da Ribeira com a aplicação de técnicas estatísticas multivariadas,

contribuindo para a proteção do meio ambiente e para o desenvolvimento sustentável.

Fundamentação teórica

A análise de dados é uma parte essencial em todo experimento, sendo univariada quando somente uma variável é medida sistematicamente para várias amostras. Há muito tempo, a estatística univariada vem sendo aplicada a problemas químicos, mas sua utilização tornou-se limitada. Nas últimas décadas, a análise multivariada foi introduzida no tratamento de dados químicos, e rapidamente ganhou popularidade.

Entre as técnicas quimiométricas de análise exploratória, as mais utilizadas para o reconhecimento de padrões são a análise de componentes principais (PCA) e a análise hierárquica de agrupamentos (HCA); para classificação, o modelo independente de similaridade utilizando componentes principais (SIMCA) está entre os mais aplicados (Brereton, 2003).

Essas técnicas são aplicadas a uma matriz de dados (X) formada por n linhas (amostras) e m colunas (variáveis) previamente pré-processadas de acordo com o tipo de dado. Neste trabalho a matriz de dados foi submetida ao pré-processamento de autoescalamamento (Beebe, 1998) para dar o mesmo peso (importância) a todas as variáveis.

A PCA consiste essencialmente em re-escrever as coordenadas das amostras em outro sistema de eixos mais conveniente para a análise de dados, a partir de combinações lineares das variáveis originais. Esta técnica tem a finalidade de reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados, detectar amostras anômalas, observar agrupamentos naturais, selecionar variáveis e fazer modelagens de classificação, enquanto, simultaneamente, retém a informação contida nos dados. Após os cálculos, os resultados são utilizados para interpretar a distribuição das amostras no gráfico dos escores das componentes principais e posteriormente no gráfico dos pesos, identificar e julgar a importância das variáveis originais escolhidas (Reiment e Jöreskog, 2003).

A HCA descreve a estrutura dos dados interligando as amostras por suas associações, revelando os agrupamentos naturais existentes no conjunto de dados. Com base na informação das variáveis medidas, reproduz-se a classificação de tal maneira, que mesmo um pequeno grupo formado na separação do conjunto de dados, possa ser inteiramente incluído num grupo maior formado na separação consecutiva. Graficamente, a hierarquia pode ser representada na forma de um gráfico bidimensional chamado de dendrograma, onde as amostras semelhantes, são agrupadas entre si. Considera-se que quanto menor a distância entre os pontos, maior a similaridade entre as amostras representadas por eles (Massart et al, 1988). Existem muitas maneiras de procurar agrupamentos no espaço p-dimensional (Beebe, 1998) mas, neste trabalho, a distância entre as amostras foi calculada usando o método de Ward (Miller, Miller, 1993).

No método de classificação SIMCA, a PCA é aplicada a cada categoria de amostras (conjunto de treinamento) independentemente, o que leva a um modelo de componentes principais para cada classe, sendo que cada classe pode ser descrita por um número diferente de componentes principais. A classificação de novos objetos (conjunto teste) é feita através da inclusão de cada amostra em cada uma das categorias previamente definidas. Essa inclusão é confirmada a partir de um teste de decisão, no nível de confiança de 95%. O SIMCA é capaz de indicar quando uma amostra não pertence a nenhuma das categorias definidas no conjunto de treinamento, representando-a como um ponto ou membro potencial de uma categoria não definida (Brereton, 2003). A classificação das amostras pode ser visualizada através de um gráfico de Coomans (Coomans, Broeckeaert, 1986), que mostra as distâncias de novos objetos para um ou dois modelos diferentes. Para dois modelos, é estabelecido um limite de sociedade

de cada classe de forma que uma nova amostra pode pertencer a uma classe, a ambas ou a nenhuma.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido numa fazenda de cultivo de camarões marinhos, da espécie *Litopenaeus vannamei*, localizada no município de Santa Rita, no Estado da Paraíba.

Nessa fazenda, a renovação da água de todos os tanques de cultivo de camarões é dependente do fluxo da maré, sem uso de qualquer sistema de bombeamento. Cada tanque possui uma comporta através da qual é feita a troca de água controlando-se o escoamento da água do tanque, na maré baixa, e a entrada de água na maré alta. Com esse sistema, cerca de 1/3 da água dos tanques é renovada diariamente, garantindo a aeração necessária para a sobrevivência dos camarões. Para fins de interpretação dos dados, o rio em questão foi livremente classificado de acordo com seus usos na classe II para águas salobras segundo a resolução CONAMA 357/05 (CONAMA, 2005).

Pontos de coleta e amostragem

As amostras de água superficial foram coletadas sempre no período da manhã e em três pontos: o primeiro ponto (ponto M) localizado à montante (07°03'56,03"S e 34°54'7,58"W); o segundo ponto (ponto J) fica à jusante (07°03'27,64"S e 34°54'01,06"W) e o terceiro ponto (ponto V) é o viveiro que está logo abaixo do lançamento (07°03'38,30" e 34°54'03,60"W).

As amostras foram coletadas em triplicata, no período de setembro de 2004 a julho de 2007, totalizando 288 amostras. As amostras foram identificadas por número de ordem e ponto de coleta, por exemplo, a amostra 2J representa segunda coleta realizada no ponto jusante.

Análises

Para avaliar a qualidade da água, o programa de monitoramento incluiu a medida de 13 parâmetros, recomendados pela Resolução CONAMA 312/02: salinidade, turbidez (UNT), temperatura (T), sólidos totais dissolvidos (STD), pH, condutividade (CD), fosfato (PO₄), amônia (NH₃), nitrato (NO₃), nitrito (NO₂), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e coliformes termotolerantes (CL), cujas determinações foram feitas conforme os métodos recomendados pelo *Standard Methods of Water and Wastewater* (APHA, 1998).

Softwares

Para aplicação dos métodos quimiométricos (PCA e HCA) foi utilizado o software Statistica® 8.0 (STASOFT,1999) e para a aplicação do SIMCA foi utilizado o software The Unscrambler® 9.7 (Camo, 2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de salinidade foram utilizados para classificar o rio de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, que define que águas salobras devem apresentar salinidade entre 0,5 e 30‰. Apenas 5 amostras analisadas ultrapassaram esse limite superior. Portanto, é razoável classificar o rio da Ribeira como de água salobra.

Os dados coletados foram dispostos em duas matrizes: a primeira formada por 288 amostras e 12 variáveis (exceto a salinidade, por ser altamente correlacionada com a condutividade) considerando todas as triplicatas; e a segunda formada por 96 amostras e 12 variáveis considerando apenas as médias dos pontos J, M e V.

As duas matrizes foram autoescaladas e submetidas à análise de componentes principais e como não houve diferenças significativas em termos de agrupamentos, os resultados apresentados serão aqueles das médias dos pontos de coleta com a finalidade de facilitar a sua interpretação e visualização.

Com 8 componentes principais (PC) foi possível explicar 85,01% da variação dos dados sendo que a diferença entre as porcentagens de variância entre as componentes principais 5 e 8 é de apenas 3,5%. Dessa forma o gráfico em três dimensões, que melhor representa a discriminação das amostras, é o dos escores das componentes principais 1, 2 e 3, mostrado na Figura 1, que explica 44,05% da variação dos dados.

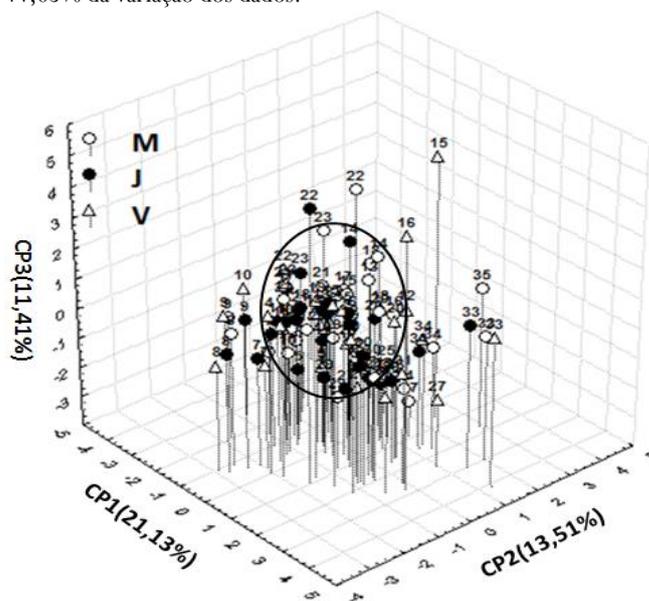


Figura 1. Gráfico dos escores das componentes principais 1, 2 e 3.

No gráfico é possível observar que algumas amostras formam agrupamentos em torno de um conjunto central indicado pelo círculo. Entre as amostras mais dispersas estão as 22M, 22J, 15V, 16V, 10V e 35M e as das campanhas 7, 8 e 9, 27 e 33 e 34. O gráfico dos pesos, para as mesmas componentes principais, (Figura 2), permite avaliar que variáveis influenciam na discriminação dessas amostras.

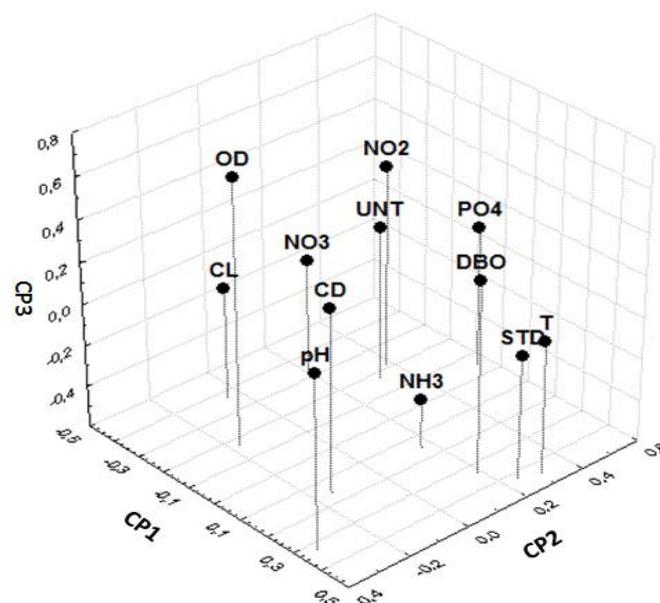


Figura 2. Gráfico dos pesos das componentes principais 1, 2 e 3.

Analisando conjuntamente os gráficos dos escores e dos pesos é possível afirmar que as amostras 22M, 22J, 15V e 16V são

influenciadas pela UNT e por NO_2 . As amostras das campanhas 33 e 34 e amostra 35V mostram valores mais altos de STD e T. As amostras das coletas 27 e 29 são discriminadas pela quantidade de NH_3 . Já as amostras das campanhas 7, 8 e 9 e amostra 10V são caracterizadas pela menor quantidade de PO_4 .

A amostra 22M é muito diferente das demais com relação à turbidez, apresentando um valor de cerca de 300UNT, que é 10 vezes maior que o máximo valor individual encontrado. A amostra 22J também apresenta um valor elevado (cerca de quatro vezes o máximo valor individual encontrado), que é significativamente diferente da média das amostras de jusante. Porém a amostra 22V apresentou um valor intermediário. Outro fator que pode estar relacionado com a discriminação da campanha 22 é que naquele mês verificou-se um índice de 623 mm nos dados pluviométricos, que é muito elevado para a região. A incidência de chuva contribuiu para o aumento da turbidez devido ao carreamento de material superficial do solo (MANAHAN, 2013).

As amostras 15V e 16V, apresentam um valor alto de NO_2 , acima do limite permitido que é de 0,20 mg/L N, para águas salobras, classe 2 (CONAMA, 2005). Existe uma probabilidade dessa diferença com relação às demais amostras ter sido ocasionada pela atividade do viveiro, uma vez que este comportamento não foi observado na jusante. As amostras com os máximos valores de NH_3 foram as das campanhas 27 e 29, com origem a montante. Esses nutrientes, embora sejam essenciais à produção de biomassa, em excesso, podem levar à eutrofização dos corpos aquáticos, representando um risco para a vida aquática (SILVA et al, 2010).

As amostras das campanhas 33 e 34 apresentaram valores mais altos de T e de STD, sendo os valores de STD das amostras do viveiro ligeiramente mais elevados. As altas temperaturas registradas no período (entre 33 e 37 °C) são características do clima do Nordeste brasileiro.

As amostras das campanhas 7, 8 e 9 apresentaram um baixo teor de PO_4 e por isso foram discriminadas do restante das amostras. Um baixo teor de PO_4 é considerado normal na superfície dos oceanos e zonas costeiras não poluídas variando de 0 a $1 \mu\text{mol/L P-PO}_4^{3-}$ (NÓBREGA et al., 2014).

Para as demais variáveis estudadas nenhuma amostra apresentou um valor fora do limite estabelecido ou acima da média das outras amostras.

Para confirmar os resultados da PCA, a mesma matriz de dados foi submetida a uma análise hierárquica de agrupamentos pelo método de Ward. No dendrograma apresentado na Figura 3, é possível verificar a formação de 6 grupos, tomando como base o valor de distância igual a 14,5, indicado pela linha em negrito. Os agrupamentos são praticamente os mesmos indicados pela análise de componentes principais, com exceção de um agrupamento formado pelas amostras das campanhas 12 e 13. Verifica-se uma discriminação dessas amostras nos escores da PC6, que explica apenas 7,97% da variação dos dados; os pesos da PC6 mostram altos valores CD para essas amostras (entre 77 e 138 mS.cm^{-1}), que indicam grande quantidade de sais dissolvidos. Esses resultados não parecem estar relacionados à carcinicultura, uma vez que são semelhantes nos três pontos de coleta. Esse comportamento pode, então, ser explicado pela penetração da água do mar ao longo do rio durante a maré alta, combinada com a baixa taxa pluviométrica, nos dias das referidas campanhas (LEY e OSUNA, 2014).

Um modelo SIMCA de classificação foi construído com as amostras do ponto Montante (M), considerado o ponto de controle e do ponto Jusante (J). Para os dois conjuntos de amostras foram construídos modelos com 4 componentes principais. Em seguida, os modelos foram utilizados para classificação das amostras do ponto viveiro. O resultado pode ser visualizado no gráfico de Coomans, apresentado na Figura 4. As amostras alocadas no quadrante I

pertencem às duas classes, no quadrante II pertencem apenas à classe montante; no quadrante III podem ser anomalias ou não pertencer a nenhuma das duas classes e no quadrante IV pertencem apenas à classe jusante.

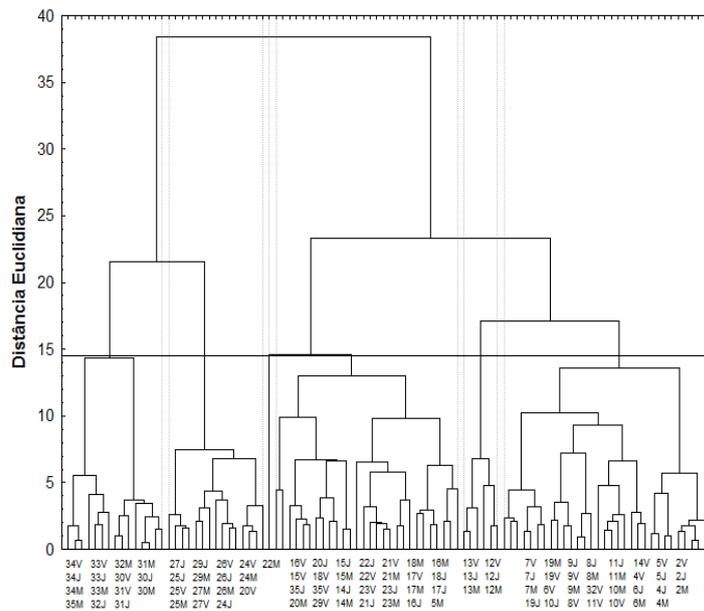


Figura 3. Dendrograma obtido pelo método de Ward.

Na Figura 4 é possível observar que a grande maioria das amostras pertence às duas classes, M e J. As amostras 5M2 e 34J3 foram classificadas como pertencentes apenas à classe J enquanto as amostras 15V1, 15V2 e 12V1 foram classificadas como sendo da classe M. Por fim, todas as amostras foram reconhecidas por um dos dois modelos, sendo que nenhuma foi classificada como sendo anomalia.

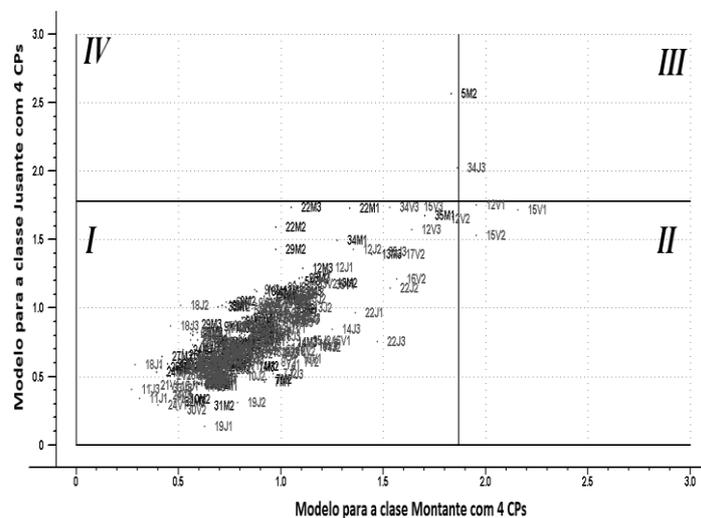


Figura 4. Gráfico de Coomans para os modelos das classes Montante e Jusante com 4 componentes principais para 3 classes de amostras, Montante, Jusante e Viveiro.

CONCLUSÃO

Através da análise quimiométrica multivariada utilizando PCA, HCA e SIMCA verificou-se que as amostras mais discriminadas (dissimilares) apresentaram algumas variações nos parâmetros medidos. Entretanto, os resultados não permitem concluir que essas variações sejam consequência da carcinicultura, sendo maior a probabilidade de estarem relacionadas com a variação pluviométrica ou com alteração da maré.

Sabe-se que a carcinicultura, assim como outras atividades produtivas, provoca alterações no meio ambiente. Entretanto, essas alterações podem ser reduzidas a níveis compatíveis com a capacidade de suporte do meio, a partir da adoção de técnicas de manejo menos impactantes. Assim sendo, estudos como este são importantes para avaliar o efeito do lançamento de efluentes de tanques de cultivo de camarão, oferecendo subsídios para o controle da qualidade da água e contribuindo para o desenvolvimento sustentável da região.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Dr. Mário César Ugulino de Araújo pelo apoio e pelas discussões durante a execução deste trabalho e ao CNPq pelo apoio financeiro e pelas bolsas concedidas.

REFERÊNCIAS

- Apha, 1998. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 20 ed., Washington DC: American Public Health Association.
- Beebe KR, Pell RJ, Seasholtz MB. 1998. **Chemometrics: a practical guide**, New York: John Wiley & Sons Ltd, 346p.
- Biao X, Kaijin Y. 2007. Shrimp farming in China: Operating characteristics, environmental impact and perspectives. **Ocean & Coastal Management**, 50 (7): 538-550.
- Brereton RG. 2003. **Chemometrics data analysis for the laboratory and chemical plant**, New York: John Wiley & Sons Ltd. 504p.
- CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). 2005. **Classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional**, Resolução n. 357.
- CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). 2002. **Licenciamento ambiental dos empreendimentos de carcinicultura da zona costeira Resolução**, n. 312.
- Coomans D, Broeckaert I. 1986. **Potential Pattern Recognition in Chemical and Medical Decision Making**, Letchworth: Wiley, 256p
- Einax JW, Zwanziger HW, Geiss S. 1997. **Chemometrics in environmental analysis**. Germany: Wiley – VCH. 404 p.
- FAO. Fisheries and Aquaculture Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2012. **The state of world fisheries and aquaculture**, Rome.
- Kazi TG, Arain MB, Jamali MK, Jalbani N, Afridi HI, Sarfraz RA, Baig JA, Shah AQ. 2009. Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study, **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 72 (2): 301-309.
- Lemonnier H, Faninoz S. 2006. Effect of water exchange on effluent and sediment characteristics and on partial nitrogen budget in semi-intensive shrimp ponds in New Caledonia. **Aquaculture research**, 37(9): 938-948.
- Ley MY, Osuna FP. 2014. Assessment of the tidal currents and pollutants dynamics associated with shrimp aquaculture effluents in SAMARE coastal lagoon (NW Mexico). **Aquaculture Research**, 45: 1269–1282.
- Maia LP, Lacerda LD. 2005. **Estudo das Áreas de Manguezais do Nordeste do Brasil - Avaliação das áreas de manguezais dos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco**. Universidade Federal do Ceará – Instituto de Ciências do Mar. Fortaleza- CE.
- Manahan SE. 2013. **Química Ambiental**. 9ed., Porto Alegre: Bookman, 944 p.
- Massart DL, Deming SN, Kaufman L, Michotte Y, Vandeginste BGM. 1989. **Chemometrics: a textbook**, 2nd ed., Amsterdam: Elsevier, 488 p.
- Miller JC, Miller JN. 1993. **Statistics for Analytical Chemistry**, 3rd. Ed., England: Ellis Horwood. 233p.
- Nóbrega GN, Otero XL, Macías F, Ferreira TO. 2014. Phosphorus geochemistry in a Brazilian semiarid mangrove soil affected by shrimp farm effluents. **Environmental Monitoring Assessment**, 186: 5749–5762.
- Nunes AJP. 2002. Tratamento de Efluentes e Recirculação de Água na Engorda de Camarão Marinho. **Revista Panorama da Aquicultura**, 71: 27-39.
- Paytan A, Mclaughlin K. 2007. The oceanic phosphorous cycle, **Chemical Reviews**, 107 (2): 563-576.
- Poersch LH, Milach AM, Cavalli RO, Wasielesky WJR, Möller O and Castello JP. 2014. Use of a mathematical model to estimate the impact of shrimp pen culture at Patos Lagoon estuary, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 86(3): 1063-1076.
- Reyment R, Jöreskog KG. 1996. **Applied factor analysis in the natural sciences**, United Kingdom: Cambridge University Press, 371p.
- Silva GS, Miola S, Silva GS, Sousa ER. 2010. Avaliação da qualidade das águas do rio São Francisco Falso, tributário do reservatório de Itaipu, Paraná, **Eclética Química**, 35(3): 117-122.
- Singh KP, Malik A, Mohan D, Sinha S. 2004. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India) - a case study, **Water Research**, 38(18): 3980-3992.
- Statistica for Windows 8.0**, 1999. Statsoft, Inc., Tulsa, OK, USA.
- Stumm W, Morgan JJ. 1995. **Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters**, 3rd ed., 1040p
- The Unscrambler 9.7**, 2007. Norway: CAMO Software AS.
- Zimmermann S, Ribeiro RP, Vargas L, Moreira HLM. 2001. **Fundamentos da moderna aquicultura**, Canoas: ULBRA, 200 p.