

ANÁLISE DISCRIMINANTE E DE COMPONENTES PRINCIPAIS DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO

André Luiz Nunes Ferreira¹; Maria do Carmo Martins Sobral¹; Gustavo Lira de Melo¹ & Maria Manuela Q. M. M. Morais²

RESUMO – O projeto de integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional foi concebido para trazer segurança hídrica para parte da população do semiárido nordestino. O gerenciamento deste projeto é essencial para a garantia do atendimento às demandas existentes. Neste artigo foram avaliadas as características físico-químicas das águas das bacias receptoras das águas do Rio São Francisco utilizando-se dados do monitoramento realizado pelo Ministério da Integração Nacional. Foram analisadas 15 campanhas de coleta em 9 bacias hidrográficas, com 35 parâmetros de qualidade de água e comparadas através de análise estatística discriminante e de componentes principais (ACP). A análise discriminante obteve resultado robusto quanto à diferenciação das águas do rio São Francisco nos pontos de coleta do reservatório de Itaparica, nas relações das demais bacias pode se observar forte tendência de diferenciação entre os eixos Norte e Leste. A análise de componentes principais demonstrou que as características mineralógicas da água são preponderantes na diferenciação destas.

ABSTRACT– The integration project of the San Francisco River with the Northeast Watershed was designed to bring water security for part of the semiarid Brazilian northeast population. The management of this project is essential to ensure compliance for existing demands. In this paper were analyzed physicochemical characteristics of the water of the watersheds that receiving water from the Sao Francisco River using data from monitoring conducted by the Ministry of National Integration of Brazil. There Were 15 collection campaigns in 9 watersheds and analyzed 35 water quality parameters and compared through statistical Discriminant Analysis and Principal Component Analysis (PCA). The discriminant analysis obtained reliable results concerning the differentiation of the river São Francisco at collection points in Itaparica reservoir, in relations to the other watersheds can observe strong tendency of differentiation between the North and East axes. The principal component analysis showed that the mineralogical characteristics of the water are crucial in differentiating these.

Palavras-Chave – Qualidade de Água, Análise de Componentes Principais, Rio São Francisco.

¹ Universidade Federal de Pernambuco, Rua Acadêmico Hélio Ramos s/n - Cidade Universitária -Recife - PE CEP 50.740-530
Fone: (81) 2126-8744, ferreira.andrenunes@gmail.com

² Universidade de Evora, Rua da Barba Rala, n 1 PITE, 7005345 Évora, Portugal +351 266768060

INTRODUÇÃO

O Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional é um empreendimento do Governo Federal, sob a responsabilidade do Ministério da Integração Nacional. Tem objetivo de assegurar oferta de água para 12 milhões de habitantes de 390 municípios do Agreste e do Sertão dos estados de Pernambuco, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte. As bacias que receberão a água do rio São Francisco são: Brígida, Terra Nova, Pajeú, Moxotó e Bacias do Agreste em Pernambuco; Jaguaribe e Metropolitanas no Ceará; Apodi e Piranhas-Açu no Rio Grande do Norte; Paraíba e Piranhas na Paraíba. (BRASIL, 2014).

Este projeto tem como principais benefícios a garantia hídrica para população afetada e a resolução de conflitos pelo uso da água. O gestão do projeto é parte essencial para a garantia de maximização destes benefícios e a mitigação de impactos negativos causados pelas transferências das águas.

O gerenciamento dos reservatórios é uma tarefa complexa, que demanda equipes interdisciplinares com competência para minimizar impactos, promover a otimização de usos múltiplos, gerenciar efetivamente os reservatórios artificiais (Melo, 2011). Esta gestão deve apoiar-se em um processo constante de monitoramento e avaliação dos mecanismos de funcionamento, em um conhecimento profundo da limnologia e na adoção de técnicas inovadoras e integradas no funcionamento do sistema (Tundisi *et al.* 2008). Para tal, o conhecimento das características físico-químicas é essencial.

O monitoramento da qualidade de água produz grande quantidade de dados, são vários parâmetros medidos em diversas amostras coletadas em diferentes locais e durante as campanhas de amostragem diferentes, cuja interpretação é complexa. Ferramentas estatísticas para extrair informações a partir de tais matrizes de dados multivariados, para encontrar relações entre grupos de amostras e/ou variáveis e, eventualmente, identificar o principal fontes de poluição que afetam os pontos de amostragem (Felipe-Sotelo, 2007)

Este artigo apresenta uma caracterização físico-química das águas das bacias hidrográficas que compõem o projeto de integração do Rio São Francisco a partir de análise discriminante e de componentes principais, para demonstrar diferenças e similaridades entre as águas deste projeto, sendo uma ferramenta de muita importância para os estudos e planejamento de gestão deste empreendimento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados dados de coletas feitas para o monitoramento de qualidade de água do Projeto de Integração do rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional. A área de

XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste

estudo abrange parte da região Nordeste, nos estados de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará. As coletas foram realizadas nos cursos d'água e reservatórios que receberão água do rio São Francisco. O projeto é dividido em dois eixos: o Eixo Norte e o Eixo Leste, o primeiro com tomada d'água no rio São Francisco no município de Cabrobó e o segundo no reservatório de Itaparica, ambos localizados em Pernambuco. O Eixo Norte é composto pelas bacias dos rios: Jaguaribe, Brígida, Terra Nova, Piranhas e Apodi. Para o Eixo Leste pelas bacias dos rios: Paraíba, Moxotó e Pajeú.

Foram feitas 15 campanhas de coletas durante o período de abril de 2009 a dezembro de 2013, e analisados 35 parâmetros físico-químicos: turbidez, sólidos suspensos totais e dissolvidos totais, condutividade elétrica, pH, alcalinidade total, dureza, salinidade cálcio total, magnésio, sódio, potássio, sulfato, cloreto, sílica, ferro, cobre, zinco, níquel, chumbo, cádmio, alumínio, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, nitratos, nitritos, nitrogênio amoniacal e nitrogênio total, fósforo reativo solúvel, fósforo total, carbono orgânico total, clorofila α , feofitina α e índice de fenóis, realizadas em laboratórios certificados e seguindo metodologias específicas para cada parâmetro.

Com o resultado das análises de qualidade de água, foram elaboradas matrizes e comparadas as bacias quanto às características físico-químicas da água. Para o processo de tratamento estatístico foi utilizado o artifício de remoção de *outliers* que consiste na retirada dos pontos extremos de valores para cada parâmetro, assim eliminando em parte alterações ambientais pontuais e erros de amostragem e de análise. Para a determinação de diferenças entre os conjuntos foi utilizada a análise com funções discriminantes canônicas onde ficam explícitas as diferenças e similaridades entre as bacias pelo software SPSS. Para determinar os parâmetros físico-químicos que exercem maior influência na variação da qualidade da água foi realizado o teste fatorial ou análise de componentes principais (ACP).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise discriminante é uma técnica estatística multivariada, onde as amostras são projetadas em um espaço dimensional mais reduzido, porém representativo do universo. No método empregado no SPSS são geradas funções lineares que são utilizadas como vetor de referência cobrindo as dimensões do espaço inicial, permitindo a separação e mapeamento dos grupos (mapa territorial). Este teste determina se os dados aferidos para cada bacia apresenta coesão e as bacias formam grupos separados e em que grau isso ocorre. O teste obteve significância $> 0,01$, rejeitando a hipótese de igualdade entre as covariâncias, sendo utilizadas 8 funções canônicas, conforme o resultado na Tabela 1.

Tabela 1 - Associação de grupos para análise discriminante do conjunto de bacias do Projeto de Integração do Rio São Francisco

Associação Com validação cruzada	Contagem	Piranhas	51	0	12	10	15	35	4	6	3	136
		Paraiba	5	24	3	17	12	6	13	5	8	93
		SaoFrancisco	3	0	81	1	6	5	0	3	6	105
		Brigida	8	5	5	15	5	2	1	0	4	45
		jaguaribe	13	3	2	1	59	16	2	8	8	112
		Apodi	24	1	10	6	13	29	6	10	3	102
		Moxoto	3	5	1	2	5	3	10	3	1	33
		Pajeu	1	1	0	2	0	4	2	12	4	26
		TerraNova	1	2	1	1	1	0	2	1	12	21
	%	Piranhas	37,5	,0	8,8	7,4	11,0	25,7	2,9	4,4	2,2	100,0
		Paraiba	5,4	25,8	3,2	18,3	12,9	6,5	14,0	5,4	8,6	100,0
		SaoFrancisco	2,9	,0	77,1	1,0	5,7	4,8	,0	2,9	5,7	100,0
		Brigida	17,8	11,1	11,1	33,3	11,1	4,4	2,2	,0	8,9	100,0
		jaguaribe	11,6	2,7	1,8	,9	52,7	14,3	1,8	7,1	7,1	100,0
		Apodi	23,5	1,0	9,8	5,9	12,7	28,4	5,9	9,8	2,9	100,0
		Moxoto	9,1	15,2	3,0	6,1	15,2	9,1	30,3	9,1	3,0	100,0
		Pajeu	3,8	3,8	,0	7,7	,0	15,4	7,7	46,2	15,4	100,0
		TerraNova	4,8	9,5	4,8	4,8	4,8	,0	9,5	4,8	57,1	100,0

Os resultados de classificação por bacias hidrográficas mostram uma dispersão acentuada em algumas delas (Paraíba, Brígida e Moxotó), porém, ainda é notável que o rio São Francisco se diferencia dos demais por terem seus pontos agrupados. Na representação gráfica do mapa territorial (Figura 1) é possível visualizar esta distribuição segundo a análise discriminante realizada.

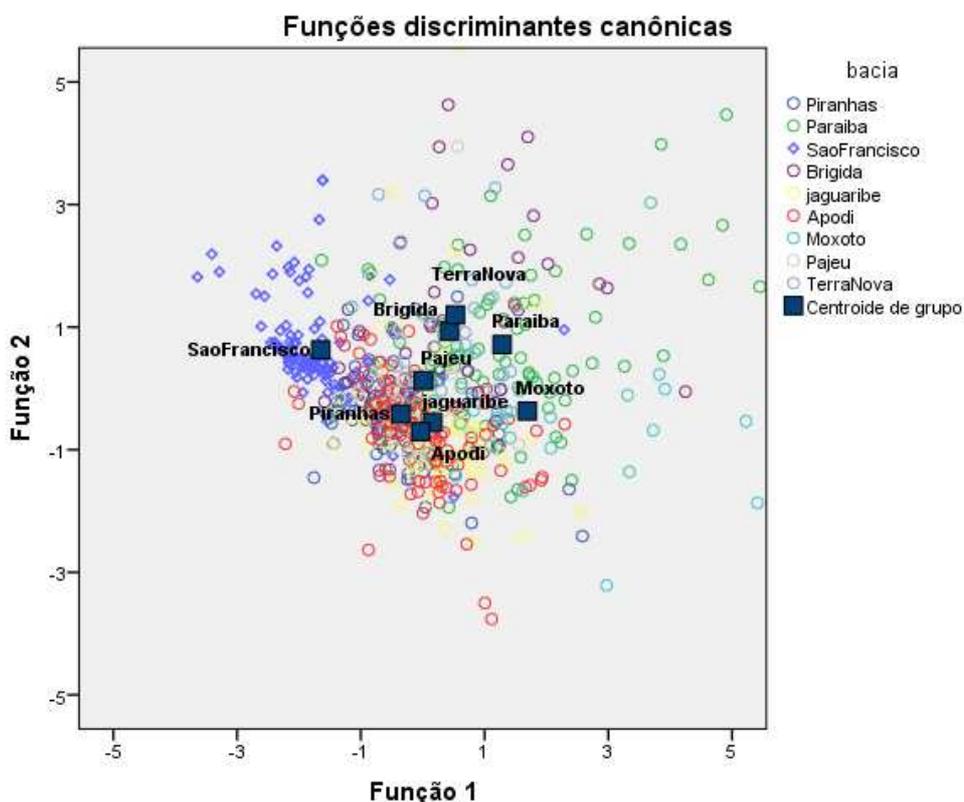


Figura 1- Mapa territorial para bacias do projeto de integração do rio São Francisco

A análise discriminante para as bacias mostra o agrupamento de bacias do Eixo Norte ao centro, e as do Eixo Leste – Paraíba, Moxotó e Pajeu apresentam se nas laterais. As bacias do rio Brígida e Terra Nova que talvez por serem bacias que possuem poucos pontos de amostragem e assim não se agrupam tão intrinsecamente com as demais do Eixo Norte e São Francisco, destacado das demais pela função 1.

Para a análise de componentes principais realizada no programa SPSS, primeiramente foi gerada uma matriz de correção para eliminação de problemas com escalas e unidades diferenciadas das variáveis. A eficiência desta descrição de dados por meio das componentes depende diretamente da porcentagem de variação total de que cada componente contém. Assim foi gerada uma matriz onde foram categorizados os parâmetros físico-químicos, segundo cada função da ACP. A análise multivariada pode resumir a variabilidade de um conjunto de dados complexos e apresentá-lo em uma forma mais interpretável. Por esta razão a análise de componentes principais das variáveis físico-químicas medidas foi realizada. APC é considerada uma ordenação muito útil como método para descrever os ecossistemas e gradientes (Perona, 1999. Gaugh,1982).

No procedimento foram utilizados todos os parâmetros físico-químicos, com método de rotação de Oblimin com normalização, a medida de kaiser-Mayer-Olkin (Mingotti, 2005) de adequação de amostral para a análise foi superior a 0,5 (KMO= 0,784), teste de esfericidade de Bartlett (qui-quadrado= 9659,350) e ($p < 0.001$) o que indica que as correlações entre os itens são suficientes para realizar a análise. A análise mostrou que onze componentes obedeceram ao critério de Kaiser na matriz de variância total explicada (Tabela 2), apresentaram o autovalor maior que 1 e explicaram acumuladamente 65,9% da variância.

Tabela 2 - Variância total explicada para análise de componentes principais para monitoramento de qualidade de água dos corpos hídricos do Projeto de Integração do Rio São Francisco.

Comp.	Valores próprios iniciais			Somadas de extração de carregamentos ao quadrado			
	Total	% de variância	% cumulativa	Total	% de variância	% cumulativa	Total
1	6,538	18,681	18,681	6,538	18,681	18,681	6,011
2	2,901	8,287	26,968	2,901	8,287	26,968	2,873
3	2,655	7,585	34,553	2,655	7,585	34,553	2,700
4	1,814	5,182	39,736	1,814	5,182	39,736	1,932
5	1,642	4,692	44,427	1,642	4,692	44,427	2,062
6	1,475	4,214	48,642	1,475	4,214	48,642	1,720
7	1,398	3,993	52,635	1,398	3,993	52,635	2,304
8	1,294	3,698	56,332	1,294	3,698	56,332	1,409
9	1,197	3,421	59,753	1,197	3,421	59,753	1,472
10	1,133	3,238	62,991	1,133	3,238	62,991	1,305
11	1,048	2,996	65,987	1,048	2,996	65,987	1,353

O gráfico de sedimentação mostra a inflexão da curva se acentuar após a terceira componente, porém, já que são as componentes que possuem maior explicação para a variação da amostra são as componentes 1 e 2 o gráfico rotacionado (Figura 2) demonstra somente estas componentes. Devido o grande número de pontos de amostragem e campanhas é natural que devido ao tamanho do espaço amostral o ponto de inflexão do gráfico seja tão tênue e que 11 dos 20 fatores estejam com valor maior que 1. Porém, como visto pelo teste de kaiser-Mayer-Olkin (KMO= 0,784) o tamanho da amostra tem adequação às variáveis.

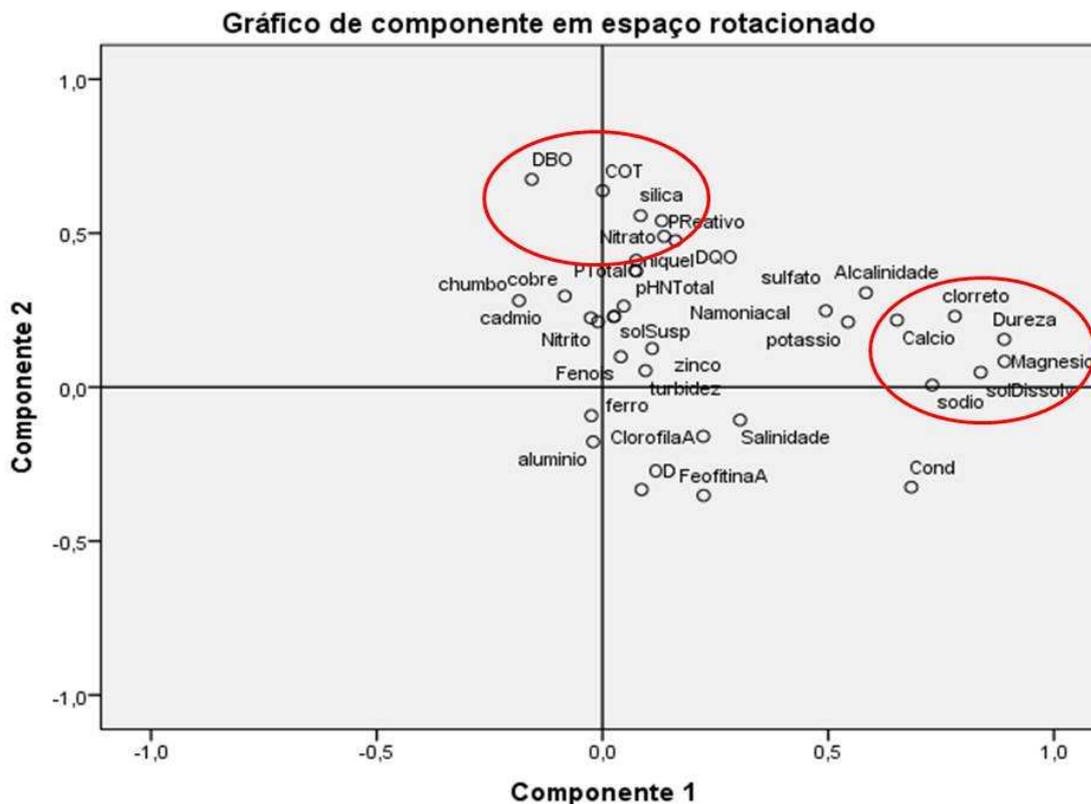


Figura 2 - Gráfico rotacionado dos componentes 1 e 2 para ACP de amostras do monitoramento do Projeto de Integração do Rio São Francisco.

No gráfico de espaço rotacionado (Figura 2) realizado com os 2 primeiros fatores revela que Magnésio, Dureza, Cálcio, Cloretos e Sólidos Dissolvidos possuem maior valor para o eixo da componente principal 1 enquanto no eixo da componente 2 estão, DBO, COT, Sílica Total e Nitrito. Basicamente fatores de origem mineralógica da água na componente principal (1) explicam a maior variância das amostras, e na componente 2 parâmetros que remetem a condições biológicas ou antropológicas da água.

Em trabalho realizado por Rocha (2014) em reservatório no estado de Goiás observou que parâmetros correlacionados como Condutividade Elétrica e salinidade estão relacionados fortemente com a precipitação, a intemperização de rochas em uma região e pela atividade antrópica. Diniz et al (2006) em estudo realizado em açudes no semiárido concluiu através de ACP que as componentes principais observadas em ciclos de 24 horas se associava a parâmetros de eutrofização (Turbidez/Sólidos e salinização), porém, este trabalho foi realizado em reservatórios de uma mesma região e assim sujeitos a condições mineralógicas semelhantes.

CONCLUSÃO

A Análise discriminante obteve resultado robusto quanto a diferenciação das águas do rio São Francisco nos pontos de coleta do reservatório de Itaparica e as demais bacias do projeto, as relações das demais bacias pode se observar forte tendência de diferenciação entre os eixos Norte e Leste, devendo ser melhor estudadas estas relações.

A análise de componentes principais demonstrou que as características mineralógicas da água são preponderantes na diferenciação destas, este deve ser melhor investigado tendo como uma hipótese a proximidade ou distanciamento do litoral e regimes pluviométricos. Os parâmetros DBO e Carbono Orgânico Total devem também ser melhor investigados quanto a sua distribuição, sendo que estes podem estar indicando influência do fator antrópico.

AGRADECIMENTOS

Ao Ministério da Integração Nacional, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior –CAPES, e ao Laboratório d'água da Universidade de Évora-PT.

BIBLIOGRAFIA

BRASIL, Ministério da Integração Nacional. (2014) “*Projeto São Francisco*” (www.integracao.gov.br/projeto-sao-francisco1) acesso em 20/06/2014.

DINIZ, C.R., LUCENA BARBOSA J. E. CEBALLOS, B.S.O. (2006) “*Variabilidade Temporal (Nictemeral Vertical e Sazonal) das condições Limnológicas de Açudes do Trópico Semi-árido Paraibano*”. Revista de Biologia e Ciências da Terra. Suplemento Especial - nº1 - 2º Semestre

FELIPE-SOTELOA, M. ANDRADE, J.M., CARLOSENA, A. TAULER, R. (2007). “*Temporal characterization of river waters in urban and semi-urban areas using physico-chemical parameters and chemometric methods*”. Analytica Chimica Acta 583 128–137

GAUGH, H. *Multivariate analysis in community ecology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1982.

MELO, G L (2011). *Avaliação da qualidade da água em reservatórios interligados com o rio São Francisco situados no semiárido do Brasil*. Tese de doutorado do PPG de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco. Recife.

MINGOTTI, S.A. (2005). *Análise de Dados através de Métodos de Estatística Multivariada: Uma Abordagem Aplicada*. Editora UFMG, Belo Horizonte.102p

PERONA, E. BONILLA U. I. MATEO. P. (1999). “*Spatial and temporal changes in water quality in a Spanish river*”. The Science of the Total Environment 241p. pp. 75-90.

ROCHA, H. M, CABRAL, J. B. P., BRAGA, C. C. (2014). “*Avaliação Espaço-Temporal das Águas dos Afluentes do Reservatório da UHE Barra dos Coqueiros/Goiás*”. RBRH-Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.19, n.1, Jan/Mar 2014, pp.131-142.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T M. (2008). *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos,. 632 p