



ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## Influência de Variáveis Ambientais na Comunidade Fitoplanctônica nos Reservatórios Receptores do Projeto de Integração do Rio São Francisco

Gustavo Melo<sup>1</sup>, Manuela Morais<sup>2</sup>, Maria do Carmo Sobral<sup>3</sup>, Günter Gunkel<sup>4</sup>,  
Renata Carvalho<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Pesquisador do Departamento de Engenharia Civil, Grupo de Saneamento Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, PE – Brasil. E-mail: [gustmelo@gmail.com](mailto:gustmelo@gmail.com); <sup>2</sup>Professora Auxiliar. Diretora do Laboratório da Água, CGE, Universidade de Évora, Évora – Portugal; <sup>3</sup>Professora do Departamento de Engenharia Civil, Grupo de Saneamento Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, PE – Brasil; <sup>4</sup>Professor do Departamento de Qualidade da Água, Universidade Técnica de Berlim, Berlim – Alemanha; <sup>5</sup>Professora do Departamento Acadêmico de Ambiente, Saúde e Segurança, Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco, Recife, PE - Brasil

Artigo recebido em 10/10/2012 e aceito em 11/10/2012

### RESUMO

O objetivo do presente trabalho é avaliar as características físico-químicas e microbiológicas dos reservatórios da região do semiárido brasileiro, receptores de água do Projeto de Integração do rio São Francisco, identificando a influência de variáveis ambientais na comunidade fitoplanctônica. Foram estudados os reservatórios de Itaparica, Poço da Cruz, Boqueirão, Armando Ribeiro Gonçalves e Castanhão. Para alcançar o objetivo proposto, foram feitas análises estatísticas multivariadas com auxílio dos programas Primer e SPSS. Verificou-se que os reservatórios se diferenciam em dois grupos (Eixo Leste e Eixo Norte), observando-se a existência de uma variação temporal. As variáveis ambientais explicaram 78% da variação do fitoplâncton. Destes 22% são explicados por variáveis tipológicas (naturais) e 56% são explicados por variáveis de pressão (efeito antropogênico). Espera-se que a transferência de água possa contribuir para melhoria da qualidade da água, sendo fundamental a implementação de medidas que promovam uma gestão integrada e sustentável das respectivas bacias hidrográficas.

Palavras-chave: variáveis ambientais, fitoplâncton, reservatórios, semiárido

## The Influence of Environmental Variables on Phytoplankton Community of the Receptors Reservoirs by the São Francisco River Integration Project

### ABSTRACT

This study aims to evaluate the physico-chemical and microbiological characteristics of Brazilian northeast reservoirs, from the São Francisco river Integration Project, to identify the influence of environmental variables on the phytoplankton community. There were studied the reservoirs of Itaparica, Poço da Cruz, Boqueirão, Armando Ribeiro Gonçalves and Castanhão. To achieve the proposed aim, multivariate statistical analyses were performed with the Primer and SPSS programs. It was observed that the reservoirs are distinguish in two groups (East and North Axis), observing the existence of a temporal variation. It was verified that the environmental variables explained 78% of the phytoplankton variation. Of these, 22% are explained by typological variables and 56% are explained by pressure variable. It is expected that the transfer of water may improve water quality (especially in reservoirs of the East Axis). It is essential to implement actions to promote an integrated and sustainable management of their watersheds.

Keywords: environmental variables, phytoplankton, reservoirs, semiarid

### 1. Introdução

Nas últimas décadas, o estudo da gestão

dos recursos hídricos, em particular a qualidade da água em reservatórios, tem sido alvo de muitas pesquisas tanto a nível nacional como internacional, verificando-se a

\*E-mail para correspondência: [gustmelo@gmail.com](mailto:gustmelo@gmail.com)  
(Melo, G.).

necessidade de efetuar estudos multidisciplinares.

Os conflitos relacionados com a água remontam à antiguidade, sendo possível identificar competição por este recurso ao longo da história da humanidade. A distribuição irregular da água a nível mundial tem contribuído para grandes desigualdades sociais e aumento da pobreza, gerando conflitos a nível global (Rosado & Morais, 2010a).

O Brasil é um dos países com maior disponibilidade hídrica. Apresenta cerca 13,8% do deflúvio médio mundial a que corresponde 5.744 km<sup>3</sup>/ano. Contudo, a sua distribuição é desigual; aproximadamente 68,5% dos seus recursos hídricos estão localizados na região norte, na qual habitam apenas 7% da população brasileira; 6% desses recursos situam-se na região sudeste, para uma população de 43%; com pouco mais de 3% localizados na região nordeste para um total de 29% de população (Basso & Guazelli, 2004). Esta extrema desigualdade na disponibilidade geográfica da água, conduz a situações de escassez, com especial destaque para o semiárido nordestino, onde o clima apresenta uma estação seca bem definida com temperaturas elevadas e uma grande variabilidade interanual da precipitação (e.g. Rosado & Morais, 2010b). Os condicionantes físicos e climatológicos da região semiárida (i.e. geomorfologia, formação de solos, distribuição irregular da precipitação e conseqüente escassez hídrica), conduzem à

formação de uma rede hidrográfica, maioritariamente constituídas por rios intermitentes. Característica esta, que influencia a qualidade e disponibilidade da água na região.

A construção de barragens para criação de reservatórios de água continua a ser a opção mais recorrente como forma de obter água onde esta é necessária (Morais *et. al.*, 2009). Estes empreendimentos têm surgido em resposta à crescente necessidade de água apesar dos impactes verificados ao nível paisagístico, hidrológico, ecológico e social (UN-WATER, 2006).

De acordo com Tundisi & Tundisi (2008) a utilização múltipla da água dos reservatórios, contribui para a degradação da sua qualidade com conseqüências no funcionamento dos ecossistemas, nomeadamente nas características físicas, químicas e biológicas. A utilização sustentável da água compatível com a proteção dos ecossistemas aquáticos nas regiões semiáridas, é um tema que necessita uma discussão intensa e aberta, aspeto fundamental e de extrema relevância para o planeamento e gerenciamento de uma bacia hidrográfica, onde se inclui o controle da qualidade da mesma. Na região semiárida brasileira, a deficiente utilização da água dos reservatórios para usos múltiplos, a inexistência de práticas agrícolas adequadas, a prática crescente da piscicultura, o deficiente tratamento dos efluentes domésticos e agrícolas, têm conduzido a um aumento da

poluição e degradação destes ecossistemas. Surge assim como inevitável, a necessidade de avaliar o estado dos ecossistemas aquáticos, através de programas de monitoramento adaptados às diferentes realidades.

No início da implementação de programas de monitorização, na década de 70 do século passado, estes eram estabelecidos em função dos diferentes usos da água, para os quais eram definidos e legislados a nível nacional valores máximos permitidos e recomendados. Todavia, a conscientização global da crescente degradação dos ecossistemas aquáticos, tem conduzido a novos paradigmas, onde a água é considerada suporte da comunidades biológicas. Nesta perspectiva, os ecossistemas aquáticos passam a ser avaliados numa perspectiva funcional, constituindo o objeto central do monitoramento. Neste contexto, em 2000, surgiu pela primeira vez na Europa a Diretiva Quadro da Água (DQA; 2000/60/CE do Parlamento Europeu), segundo a qual os estados membros assumem o compromisso de alterar as estratégias tradicionais de utilização da água, fato que requer o desenvolvimento de uma nova concepção social e institucional sobre o valor da água.

Os resultados apresentados no presente trabalho, inserem-se no âmbito do projeto de Integração do rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional, por meio do seu Plano Básico Ambiental em curso intitulado

“Monitoramento da Qualidade da Água e Limnologia”. Este projeto está sendo implementado sob a responsabilidade do Ministério da Integração Nacional e destina-se a assegurar a oferta de água em 2025, a cerca de 12 milhões de habitantes de pequenas, médias e grandes cidades da região semiárida dos estados de Pernambuco, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte. O objetivo será interligar o rio S. Francisco ao semiárido setentrional por meio de dois canais (Eixo Leste e Eixo Norte), que conduzirão água até aos principais açudes da região, possibilitando o uso da água com garantia de atendimento (Brasil, 2009).

Simpson (1995) identifica uma série de fatores que influenciam o sucesso ou fracasso da implementação de um projeto de interligação, entre eles: (i) base legal e institucional (leis, regulamentos e processos de aprovação); (ii) implementação de uma gestão adequada; (iii) participação dos usuários em processos de consulta pública; (iv) sustentabilidade econômica, financeira e administrativa do empreendimento; (v) avaliação rigorosa dos impactos ambientais nas bacias; (vi) definição de medidas compensatórias; e (vii) uma correta avaliação de custos.

Em 1913 pela primeira vez no Brasil, a Companhia Canadense de Eletricidade, implementou o projeto de desvio de um rio entre bacias hidrográficas. O objetivo era gerar energia hidroelétrica para o crescimento do município do Rio de Janeiro. Em 1973 foi

concluído em S. Paulo, o projeto “Sistema Cantareira” que abrangia um total de quatro reservatórios (979 hm<sup>3</sup> de armazenamento disponível) e 27 km de túneis de água (Andrade *et al.*, 2011).

De acordo com Lima Filho (2010), existem no Brasil outros relatos sobre transposição de rios. Refiram-se: a transposição do Rio Piracicaba para a Grande São Paulo, que contudo continua a registrar águas impróprias para consumo humano e animal; a transposição do rio Paraíba do Sul para Rio de Janeiro, pela estação elevatória de Santa Cecília; a transposição do rio Jaguaribe

para o município de Fortaleza. Esta realidade, transposta para a presente situação da transposição do rio São Francisco, evidencia a importância de se avaliar a qualidade da água dos reservatórios que serão interligados, através de programas de monitoramento. Estes deverão ser implementados antes da fase de execução da interligação de bacias, para se pode avaliar a situação atual (referência) e compará-la com as condições futuras resultantes da mistura das águas.

A Tabela 1 apresenta alguns projetos de transferência a nível mundial e suas principais características.

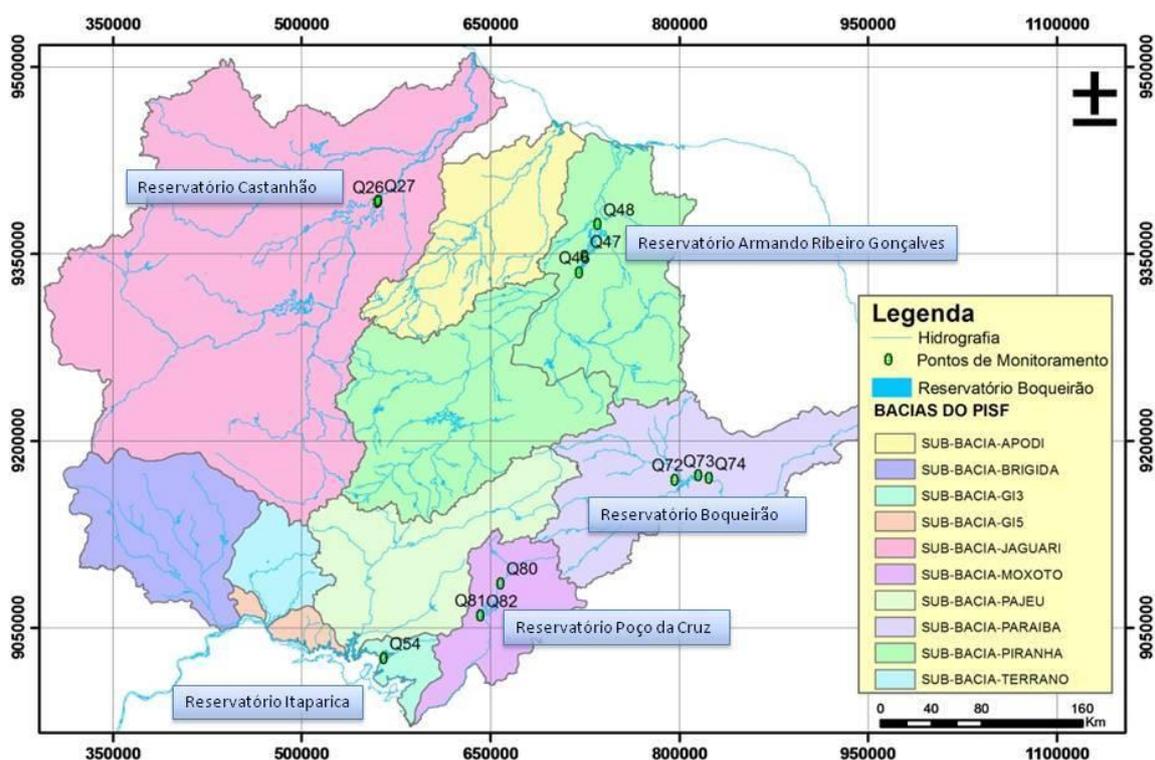
**Tabela 1.** Projetos de transferência entre bacias e suas principais características. Fonte: Andrade *et al.*, 2011

Características	Paraíba do Sul Brasil	Cantareira Brasil	Colorado B.T. USA	Snowy H.S. Austrália	S. Francisco Brasil
Capacidade de transferência de água (m <sup>3</sup> /s)	160	33	15,6	322,8	127
Geração de energia (MW)	1.407	----	192.700	3.756	-----
Nº de habitantes beneficiados (milhões)	12	8,8	3	----	12
Ano de operação	1952	1973	1947	1949	Em construção

Presentemente a nível global, o monitoramento da qualidade da água deverá incluir para além de parâmetros físico-químicos, a avaliação do estado das comunidades biológicas como forma de avaliar a integridade dos ecossistemas aquáticos. Assume-se assim, que as comunidades biológicas refletem as contaminações físicas e químicas (pontual ou difusa) e as alterações morfológicas estruturais (vazão, vegetação ripícola, geomorfologia).

É objetivo do presente trabalho avaliar

as características físico-químicas e microbiológicas dos reservatórios localizados no semiárido brasileiro, receptores de água do Projeto de Integração do rio São Francisco, identificando a influência de variáveis ambientais no fitoplâncton. Os reservatórios são respectivamente: Itaparica (Pernambuco), Poço da Cruz (Pernambuco) e Boqueirão (Paraíba) localizados no Eixo Leste; Armando Ribeiro Gonçalves (Rio Grande do Norte) e Castanhão (Ceará) localizados no Eixo Norte (Figura 1).



**Figura 1.** Localização dos reservatórios e dos pontos de coleta com identificação da respectiva sub-bacia (Fonte: Brasil, 2009).

A avaliação foi feita de acordo com o estabelecido na Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) 357/2005, identificando as principais não conformidades. Pretende-se assim avaliar a qualidade da água em situação de referência, antes da transposição, em termos físico-químicos e microbiológicos. Numa perspectiva de avaliação ecológica, pretende-se ainda: (i) contribuir para uma avaliação integrada dos sistemas, recorrendo a análises multivariadas; (ii) analisar a influência de variáveis físico-químicas na comunidade fitoplanctônica, diferenciadas entre descritores tipológicos (indicadores de características naturais, i.e. geologia, clima, entre outros) e descritores de pressão (indicadores de existência de pressão antrópica).

## 2. Material e Métodos

### 2.1 Levantamento de dados de base

Inicialmente foi realizado levantamento de documentação sobre os reservatórios objeto de estudo (i.e. Itaparica, Poço da Cruz, Boqueirão, Armando Ribeiro Gonçalves e Castanhão). Incluiu-se a análise de relatórios técnicos com dados históricos de parâmetros de qualidade da água e material cartográfico. Este levantamento foi efetuado junto aos órgãos ambientais e companhias de abastecimento público de água, dos Estados de Pernambuco, Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte.

### 2.2 Coleta de dados primários

Os parâmetros físico-químicos e biológicos foram selecionados de acordo com os recomendados na Licença de Instalação

(LI) do Projeto de Integração do rio São Francisco, ou seja: temperatura; turbidez; sólidos suspensos totais; sólidos dissolvidos totais; condutividade; pH; alcalinidade; dureza; cálcio; magnésio; sódio; potássio; sulfetos; cloro; sílica; ferro; cobre; zinco; níquel; oxigênio dissolvido (OD); Demanda Biológica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>); Demanda Química de Oxigênio (DQO); nitrato; nitrogênio amoniacal; nitrogênio total; ortofosfato; fósforo total; carbono orgânico total; clorofila-*a*; feofitina; fenóis; coliformes termotolerantes; *Escherichia coli*. Complementarmente foi analisada a comunidade fitoplanctônica, procedendo-se à identificação celular (gênero e espécie) e à

respectiva quantificação (cél/mL).

Foram realizadas 4 campanhas para coleta de amostras de água, posteriormente analisadas em laboratório. As campanhas abrangeram o período seco (agosto) e o período chuvoso (março), tendo sido realizadas duas em 2009 e duas em 2010. Todos os pontos foram georreferenciados utilizando o Global Positioning System (GPS), conforme Tabela 2. As amostras de água foram coletadas à superfície em doze locais (indicados na Figura 1), privilegiando-se a zona central de cada reservatório, o eixo de captação e locais suplementares, situados a montante e a jusante do reservatório (Tabela 2).

**Tabela 2.** Identificação dos pontos de coleta e respectivas coordenadas geográficas

Ponto	Coordenadas		Pontos
Q26	560656	9390920	Reservatório Castanhão (centro)
Q27	561414	9392062	Reservatório Castanhão (eixo)
Q46	720420	9334598	Rio Assu – Remanso do reservatório Armando Ribeiro Gonçalves
Q47	724996	9347724	Reservatório Armando Ribeiro Gonçalves (centro)
Q48	735406	9373130	Reservatório Armando Ribeiro Gonçalves (eixo)
Q54	565518	9024768	Reservatório Itaparica - captação eixo leste
Q72	796969	9168076	Remanso do reservatório Eptácio Pessoa (Boqueirão)
Q73	815673	9171362	Reservatório Eptácio Pessoa (Boqueirão)
Q74	8238881	9169313	Jusante do reservatório Eptácio Pessoa (Boqueirão)
Q80	658140	908006	Afluente do rio Moxotó e do reservatório Poço da Cruz
Q81	642338	9059338	Reservatório Poço da Cruz
Q82	642465	9059094	Rio Moxotó - jusante do reservatório Poço da Cruz

As coletas das amostras de água foram realizadas à superfície utilizando frascos plásticos e de vidro, previamente lavados com água do local. Os procedimentos de coleta foram efetuados de acordo com os procedimentos de análise descritos em APHA (2000). A coleta de amostras para análise de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* foi feita utilizando recipientes próprios,

previamente esterilizados, mantidos sob refrigeração, até chegada ao laboratório, onde foram analisados num período inferior a 24 horas. O fitoplâncton foi coletado em frascos de vidro de 1000 mL, a 30 cm da superfície, e fixado com solução de lugol.

### 2.3 Análise laboratorial

Os parâmetros físico-químicos e

microbiológicos foram analisados de acordo com as metodologias descritas em APHA (2000). A identificação do fitoplâncton foi feita utilizando-se um microscópio binocular com poder de ampliação até 1000 vezes, equipado com aparelho fotográfico. Foram utilizados sistemas de classificação, de acordo com o grupo de algas a que pertencia cada *taxa*. A análise quantitativa do fitoplâncton foi realizada utilizando-se um microscópio invertido através do método de sedimentação de Utermöhl (1958). As câmaras de sedimentação foram preparadas de acordo com a densidade dos organismos fitoplanctônicos. O procedimento de contagem atendeu os princípios da suficiência amostral, avaliados através de métodos de computação intensiva (“*bootstrap*”), considerando-se a premissa proposta por Wetzel & Likens (1985), que estabelece a contagem de 100 organismos das espécies mais frequente, para uma margem de erro de 20%. O tempo de sedimentação em horas foi o de três vezes a altura da cubeta.

#### 2.4 Avaliação da qualidade da água

Os resultados físico-químicos e biológicos foram avaliados de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 que estabelece valores e limites para a classificação dos corpos de água, detalhando ainda diretrizes ambientais para o seu enquadramento, condições e padrões de lançamento de efluentes e outras providências.

#### 2.5 Análise de dados

A globalidade dos dados obtidos nos cinco reservatórios foi analisada recorrendo-se a análises multivariadas de ordenação e de classificação. Num primeiro passo foi construída uma matriz com os parâmetros físico-químicos, transformados em logaritmo [ $y = \log(x+1)$ ], com o objetivo de diminuir a variância em cada vetor de dados. Em seguida foi realizada uma matriz de Correlação de Pearson entre variáveis nos cinco reservatórios, com o objetivo de verificar aquelas que não apresentavam variabilidade entre reservatórios para posterior eliminação em análises subsequentes. Este procedimento foi feito através do programa *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS) para Windows. Numa terceira etapa foi selecionado o método de ordenação a ser aplicado tendo em consideração o comportamento dos dados. Nesse sentido, aplicou-se uma “Análise de Correspondência Retificada” (DCA) para obter o valor do “*gradiente*”. No caso deste ser  $< 3$  seria aplicada uma “Análise de Componentes Principais” (PCA); sendo  $> 3$  aplicar-se-ia uma “*Análise Canônica*” (CA). O resultado demonstrou que o valor do gradiente foi  $< 3$ , tendo em consequência sido utilizada uma PCA. Todo este procedimento foi efetuado através do programa computacional CANOCO 4.5 Statistics 6.0 for Windows (Ter Braak, 1987, 1990).

Posteriormente, para validação dos grupos identificados no plano definido pela

primeira e segunda componente estabelecidas pela PCA, foi feita uma análise discriminante através do Programa PASW Statistic 1.8. O procedimento é baseado na função linear discriminante de Fisher e usa a matriz de covariância total para calcular os coeficientes desta função. Para verificar a existência de um eventual padrão temporal (i.e período seco e período chuvoso), nos grupos definidos pelos reservatórios que apresentavam características físico-químicas similares, foi efetuada uma ordenação recorrendo ao procedimento acima descrito. Tendo sido verificado que o gradiente era  $< 3$ , após aplicação da DCA, foi utilizada uma PCA.

A relação dos parâmetros físico-químicos com os grupos fitoplantônicos foi verificada através da utilização de uma “Análise de Correspondências Canônica” (CCA). Para alcançar o objetivo proposto, foram utilizados dois conjuntos de dados físico-químicos (duas matrizes de dados ambientais), separados em função das características indicadoras dos parâmetros, ou seja, em função de serem considerados variáveis de pressão ou de tipologia:

- variáveis de pressão: OD; DBO; DQO; nitratos; nitritos; nitrogênio total; nitrogênio amoniacal; ortofosfato; fósforo total; carbono orgânico total; clorofila-*a*; feofitina);
- variáveis tipológicas: turbidez; sólidos suspensos totais; pH; alcalinidade; cálcio; sódio; dureza; sulfatos; potássio; ferro; cobre.

Os dados fitoplactônicos foram organizados em uma matriz com as espécies identificadas e suas respectivas densidades.

Para perceber qual dos conjuntos variáveis, de pressão ou tipologia, explicava a ordenação das espécies fitoplanctônicas, foi efetuado um procedimento baseado em (Ter Braak, 1990; Borcard *et al.* 1992, Rodriguez & Magnan, 1995), ou seja: (i) seleção das variáveis de pressão (obtidas usando uma CCA para o fitoplâncton e para as variáveis de pressão); (ii) seleção das variáveis tipológicas (obtidas usando uma CCA para o fitoplâncton e para as variáveis tipológicas); (iii) seleção das variáveis de pressão após a remoção da influência das variáveis tipológicas (obtido utilizando uma CCA); (iv) seleção das variáveis tipológicas após a remoção da influência das variáveis de pressão (obtido utilizando uma CCA). Cada componente de variação foi obtida dividindo os valores próprios de cada CCA pela inércia total. A variação das variáveis de pressão foi obtida pelo passo descrito no item (iii) e a variação das variáveis tipológicas foi dada pelo passo descrito em (iv). A variação total foi obtida pela fórmula:  $R = 1 - (\text{passo i} + \text{passo ii})$ , onde o valor de 1, representa o total da variação.

Na elaboração dos gráficos (ordenações), a designação dos pontos de coleta foi organizada do seguinte modo: XXXzzYkk onde: XXX: representa as três primeiras letras do reservatório; zz: o número do ponto de coleta; Y: a letra “c” ou “s”

indicando a estação (se chuvosa ou seca); kk: o ano da coleta.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Características e qualidade da água dos reservatórios

O reservatório de Itaparica situa-se ao longo do rio São Francisco na região fisiográfica denominada submédio São Francisco. Possui uma capacidade de armazenamento da ordem de 11 bilhões m<sup>3</sup> de água, com profundidade máxima de 10 m e média de 2 m. Na cota mínima operacional (299 m) ocupa uma área de 611 km<sup>2</sup> e na cota máxima mensal (304 m) sua área é de 834 km<sup>2</sup>. A respectiva bacia hidrográfica é composta pelo rio São Francisco e por rios intermitentes, com vazão sazonal no período chuvoso. A avaliação da qualidade da água de acordo com o estabelecido na Resolução CONAMA 357/2005, apenas identificou os parâmetros cobre e fósforo total fora dos limites estabelecidos. A concentração de cobre ficou acima do permitido em legislação (0,009 mg/L) na coleta de março de 2009 (período chuvoso) com um valor de 0,01 mg/L. Relativamente ao fósforo total, em anos anteriores, Melo (2007) detectou igualmente não conformidades que atingiram o valor máximo de 1,4 mg/L em período chuvoso.

O reservatório Poço da Cruz está situado no município de Ibimirim, na bacia hidrográfica do rio Moxotó que, na sua maior parte, encontra-se situada no estado de

Pernambuco, estendendo-se na sua porção sudeste ao estado de Alagoas até o rio São Francisco. A bacia hidrográfica do rio Moxotó representa o principal corpo de acumulação de água, apresenta uma área total de 9.744,01 km<sup>2</sup>, com 89,2% pertencente ao Estado de Pernambuco. O reservatório possui uma capacidade de armazenamento de 504 milhões m<sup>3</sup> de água e possui uma área de 56 km<sup>2</sup>. A avaliação da qualidade da água de acordo com o estabelecido na Resolução CONAMA 357/2005, identificou cinco parâmetros com valores acima do estabelecido: pH, cobre, DBO, nitrato e fósforo total. O pH apresentou um valor de 9,11 mg/L no ponto Q81, no centro do reservatório. Valores desta ordem de grandeza foram igualmente detectados pela Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco (CPRH) em 2006 e 2007 (8,5 mg/L). O cobre apresentou concentrações acima de 0,009 mg/L nos três pontos durante o período chuvoso. Os valores de DBO acima do recomendado em legislação (5mg/L) foram encontrados nos pontos Q81 e Q82 durante o período seco. Os pontos Q81 e Q82 também foram os que apresentaram concentrações acima do limite estabelecido (10 mg/L) durante o período seco. As concentrações de fósforo total ficaram acima do recomendado (0,03 mg/L no reservatório e 0,01 mg/L à montante e jusante). Em maio de 2005 foi registrada pela CPRH uma concentração de 0,13 mg/L no reservatório Poço da Cruz.

O reservatório Epitácio Pessoa,

conhecido como Boqueirão, localiza-se no município paraibano de Boqueirão e tem uma bacia que se estende pelos municípios de Boqueirão, Cabaceiras e São Miguel. O reservatório abastece as cidades de Campina Grande, Boqueirão, Queimadas, Pocinhos, Caturité, Riacho de Santo Antônio e Barra de São Miguel, no Estado da Paraíba. A capacidade de armazenamento é de 436 milhões m<sup>3</sup>, sua lâmina de água abrange uma superfície em torno de 2.700 ha. O reservatório situa-se na sub-bacia do Alto Paraíba, que juntamente com as sub-bacias do rio Taperoá e do Médio e Baixo, constituem a bacia hidrográfica do rio Paraíba, com uma área de 19.088,5 km<sup>2</sup>, que corresponde a 34% do território paraibano. A avaliação da qualidade da água, identificou valores que ultrapassaram os máximos estabelecidos para os parâmetros pela Resolução CONAMA 357/2005: sólidos dissolvidos totais (500 mg/L), pH (de 6 a 9), ferro (0,3 mg/L), cobre (0,009 mg/L), níquel (0,025 mg/L), DBO (5,0 mg/L), fósforo total (0,03 mg/L no reservatório e 0,1 mg/L para rios) e clorofila-a (30 µg/L). Em 2009 Guimarães *et al.* (2009) encontraram igualmente concentrações de sólidos suspensos totais acima do recomendado na legislação brasileira.

O reservatório Armando Ribeiro Gonçalves está localizado no rio Piranhas, a 6 km a montante da cidade de Assu, no estado do Rio Grande do Norte, inserida nos municípios de Assu e São Rafael. O reservatório possui capacidade de

armazenamento de 2,4 milhões m<sup>3</sup> de água e uma bacia com cerca de 195 km<sup>2</sup> de área. O volume regularizado é de 389 milhões m<sup>3</sup> para uma garantia de 90%. Relativamente à avaliação da qualidade da água, apenas para o fósforo total foram detectados valores acima do estabelecido na resolução CONAMA 357/2005 (0,03 mg/L), atingindo 2,7 mg/L durante o período chuvoso.

O reservatório Castanhão foi construído sobre o leito do rio Jaguaribe, no estado do Ceará. A capacidade de armazenamento do reservatório é de 6.700 milhões m<sup>3</sup>, representando 37% de toda capacidade de armazenamento dos 8000 reservatórios do Ceará. A avaliação da qualidade da água para este reservatório apenas identificou uma não conformidade relativa ao fósforo total (0,03 mg/L), atingindo 0,65 mg/L no período chuvoso. Molisani *et al.* (2010) identificaram também concentrações de fósforo total acima da legislação, referindo a necessidade da implementação de um manejo adequado na bacia que vise o controle da emissão de nutrientes por atividades antrópicas.

### 3.2 Avaliação global do funcionamento dos reservatórios

A análise de correlação efetuada entre os parâmetros físico-químicos revelou que os sólidos dissolvidos totais e o magnésio se correlacionavam entre si nos cinco reservatórios. Assim, estes parâmetros foram retirados da matriz, uma vez que agiam de forma semelhante não interferindo nas

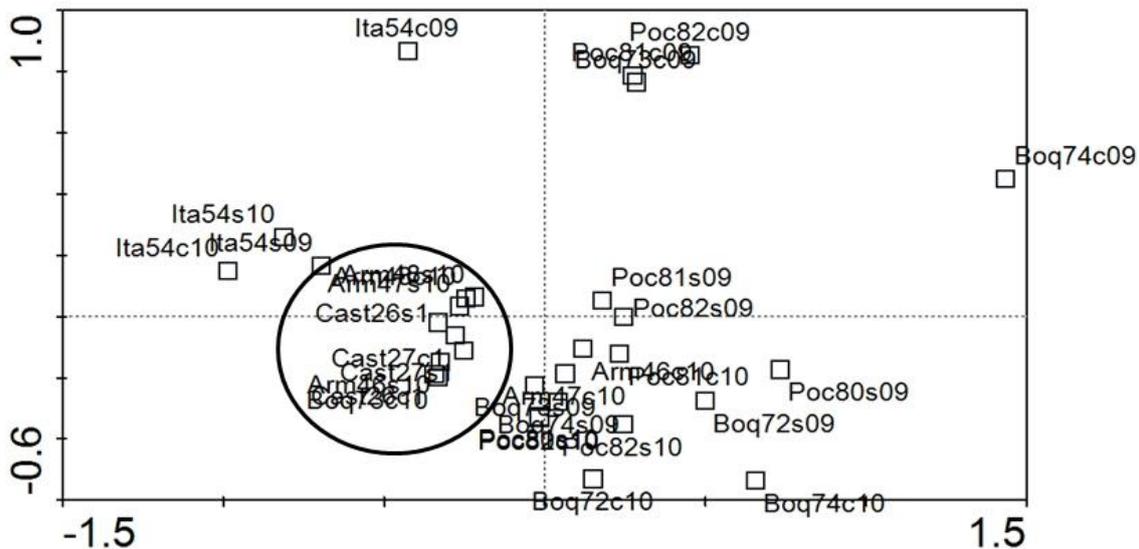
análises globais subsequentes.

Deste modo obteve-se uma matriz com 48 pontos por 31 parâmetros (físico-químicos, microbiológicos e clorofila-*a*). O resultado da PCA para as duas primeiras componentes apresentou valores próprios de 21,7 e 35,6, respectivamente, correspondendo a uma variância acumulada de 57,3%.

Na Figura 2 apresenta-se o resultado da ordenação dos pontos de coleta (5 reservatórios amostrados em 4 épocas do ano) para as duas primeiras componentes, onde se observa a individualização de dois grupos. O grupo formado pelos reservatórios do Eixo Leste (Itaparica, Poço da Cruz e Boqueirão) localiza-se tendencialmente no setor positivo da primeira componente em oposição aos reservatórios do Eixo Norte (Armando Ribeiro e Castanhão), situados do lado

negativo da mesma componente. Os parâmetros responsáveis por esta ordenação são respectivamente: nitrogênio total, fósforo total, DBO, ortofosfato, OD; que surgem com concentrações mais elevadas nos reservatórios do Eixo Leste. Em oposição aos parâmetros nitrogênio amoniacal, sílica e zinco, que apresentam concentrações mais elevadas nos reservatórios do Eixo Norte.

Para validar estatisticamente os 2 grupos individualizados na PCA, foi feita uma análise discriminante. O resultado desta análise após classificação cruzada, demonstrou que 85% dos dados estão bem classificados, o que demonstra robustez na análise. As variáveis discriminantes, responsáveis pela separação dos grupos, foram respectivamente, sulfatos, turbidez, fósforo total e alcalinidade.



Legenda - Ita: Itaparica, Poc: Poço da Cruz, Boq: Boqueirão, Arm: Armando Ribeiro Gonçalves, Cast: Castanhão

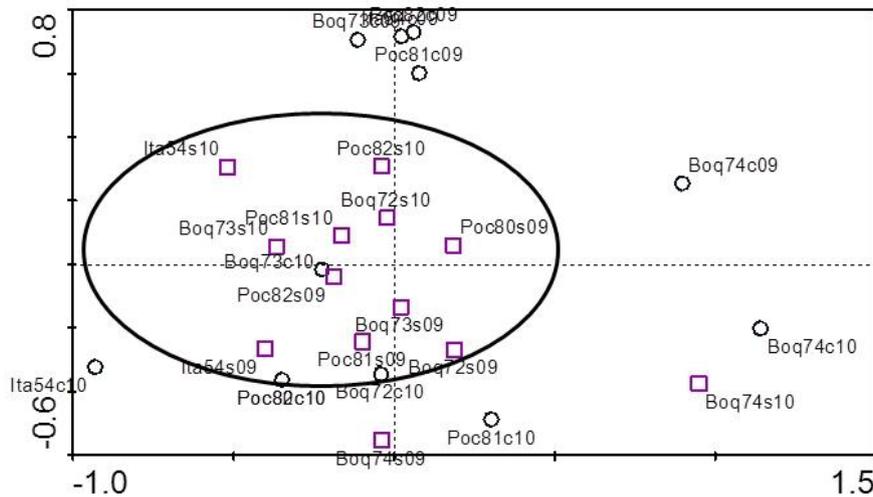
**Figura 2.** Ordenação espacial dos pontos de coleta nas primeiras duas componentes da PCA, aplicada a parâmetros físico-químicos e biológicos (microbiologia e clorofila-*a*). No círculo individualizam-se os reservatórios do Eixo Norte (Armando Ribeiro e Castanhão).

De modo a verificar a existência de uma variação temporal nos dois grupos anteriormente identificados, foi aplicada uma PCA, individualmente em cada grupo.

Para o grupo constituído pelos reservatórios do Eixo Leste construiu-se uma matriz com 28 pontos de coleta por 31 parâmetros físico-químicos. O resultado da PCA para as duas primeiras componentes apresentou valores próprios de 23,8 e 39,7, respectivamente, o que corresponde a uma variância acumulada de 63,5%.

Na Figura 3 apresenta-se o resultado da ordenação dos pontos de amostragem (3 reservatórios amostrados em 4 épocas do ano), não se verificando uma separação clara entre períodos do ano, ou seja, período

chuvoso e período seco. Observando a ordenação nota-se que nos extremos das duas componentes se localizam preferencialmente pontos amostrados em período chuvoso, situando-se os pontos amostrados em período seco na zona central, com pouca contribuição para a variância total. Os parâmetros com maior contribuição para a explicação desta ordenação são: fósforo total, nitrogênio total, sólidos suspensos totais, cobre, zinco e sódio; que apresentam concentrações mais elevadas no período chuvoso. Tal fato evidencia que a entrada dos compostos, que contêm estes elementos na sua composição, é consequência dos escoamentos superficiais durante o período chuvoso.



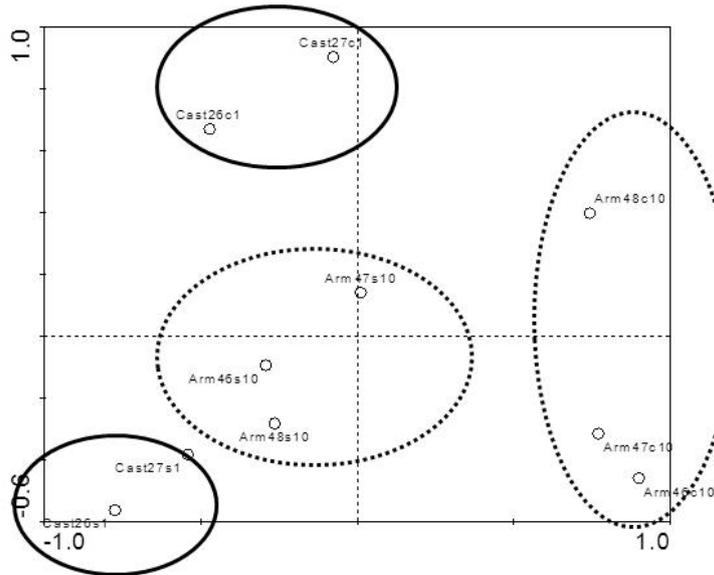
**Figura 3.** Ordenação espacial dos pontos de coleta situados em reservatórios situados no Eixo Leste (Itaparica, Poço da Cruz e Boqueirão) nas primeiras duas componentes da PCA, aplicada a parâmetros físico-químicos e biológicos (microbiologia e clorofila-*a*). No círculo individualizam-se a maioria dos pontos amostrados no período seco.

Ao grupo constituído pelos reservatórios do Eixo Norte corresponde uma matriz de 20 locais de coleta por 31 parâmetros físico-químicos. O resultado da

PCA para as duas primeiras componentes apresentou valores próprios de 33,4 e 54,8, respectivamente, o que corresponde a uma variância acumulada de 88,2%.

Na Figura 4 apresenta-se o resultado da ordenação dos pontos de coleta (2 reservatórios amostrados em 4 épocas do ano), onde se nota uma individualização dos pontos amostrados em período seco, preferencialmente situados no terceiro quadrante em oposição aos pontos amostrados

em período chuvoso. Os parâmetros responsáveis por esta ordenação foram respectivamente, dureza, DQO, zinco, potássio e cálcio (mais elevados em período seco) e OD, turbidez, ortofosfato, fósforo total, DBO, ferro, pH, alcalinidade (mais elevados em período chuvoso).



**Figura 4.** Ordenação espacial dos pontos de coleta situados em reservatórios situados no Eixo Norte (Armando Ribeiro e Castanhão) nas primeiras duas componentes da PCA, aplicada a parâmetros físico-químicos e biológicos (microbiologia e clorofila-*a*).

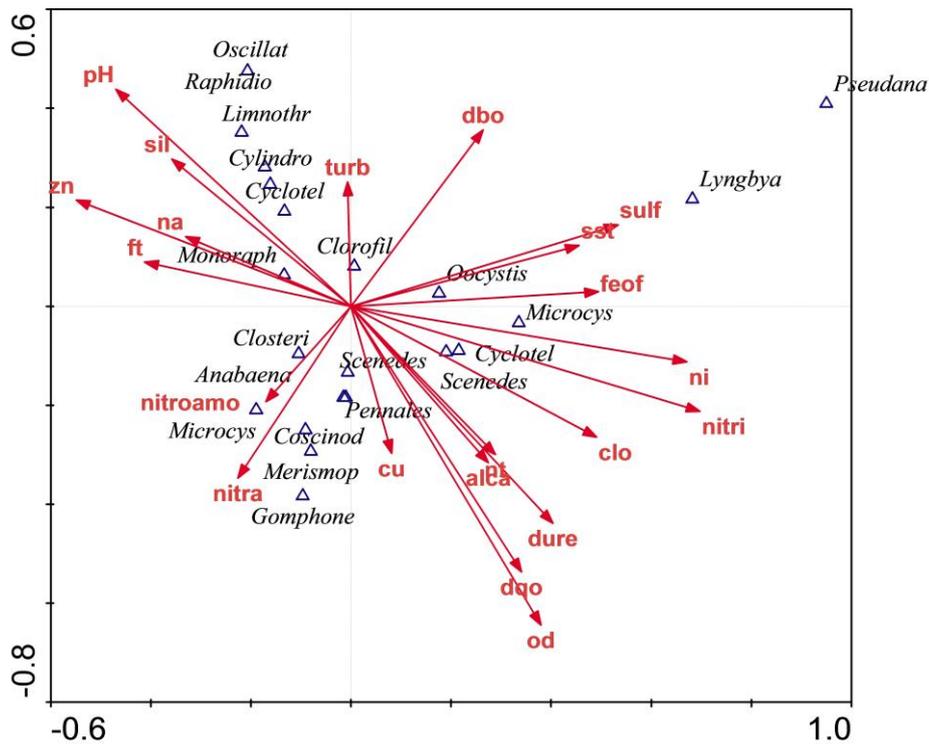
O efeito da variação temporal em reservatórios, foi igualmente observado por Braga *et al.* (1999) e Reis *et al* (2003), que constataram a existência de uma variação anual na concentração dos principais parâmetros de qualidade da água no reservatório de Itaparica. Couto *et al.* (2003) ao realizarem uma caracterização limnológica do Alto Rio Tocantins, na área de influência da Usina Hidrelétrica (UHE) Cana Brava, também verificaram o efeito da variação sazonal nos parâmetros físico-químicos do reservatório desta usina hidrelétrica.

### 3.3 Influência de parâmetros físico-químicos na comunidade fitoplanctônica

O resultado da “Análise de Correspondências Canônica” (CCA), efetuada com o objetivo de avaliar a influência dos parâmetros físico-químicos na comunidade fitoplanctônica mostra que aqueles explicam 78% da variação do fitoplâncton. O valor da inércia total foi de 6,78 e os valores próprios foram respectivamente 1,5 e 3,8. Aplicando o procedimento descrito no ponto 2.3 da metodologia (Análise estatística de dados), verifica-se que 22% são explicados pelas

variáveis de tipologia (i.e. turbidez, sólidos suspensos totais, pH, alcalinidade, cálcio, sódio, dureza, sulfatos, potássio, ferro, cobre) e 56% são explicados pelas variáveis de pressão (OD, DBO, DQO, nitrato, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, ortofosfato, fósforo total, carbono orgânico total, clorofila-*a*, feofitina).

Observando a Figura 5 verifica-se que por exemplo, as espécies pertencentes ao grupo das cianobactérias, situadas no terceiro quadrante da ordenação dos dois primeiros eixos, são explicadas pelos compostos nitrogenados, nitratos, nitrogênio amoniacal e nitrogênio total, indicadores da existência de pressões antrópicas.



Legenda - zn: zinco, sil: sílica, na: sódio, ft: fósforo total, turb: turbidez, nitroamo: nitrogênio amoniacal, nitra: nitrato, cu: cobre, sulf: sulfatos, feof: feofitina, sst: sólidos suspensos totais, ni: níquel, nitri: nitrito, alca: alcalinidade, dure: dureza

**Figura 5.** Ordenação dos dois primeiros eixos da CCA efetuada entre parâmetros físico-químicos e o fitoplâncton analisados nos cinco reservatórios objeto de estudo.

#### 4. Conclusões

Os resultados obtidos apresentam a situação de referência em termos de qualidade físico-química e fitoplanctônica em cinco reservatórios localizados na região semiárida do Nordeste brasileiro antes da transferência de água do rio São Francisco. Foi evidenciada

a existência de não conformidades relativamente ao estabelecido na Resolução CONAMA 357/2005. Características observadas com maior incidência nos reservatórios Poço da Cruz (com sete parâmetros em desacordo) e Boqueirão (com cinco parâmetros fora dos limites

estabelecidos), ambos pertencentes ao Eixo Norte do Projeto de Integração do rio São Francisco. De fato, a análise global dos resultados (PCA) separou os reservatórios de acordo com a sua posição geográfica; em grupos foram ordenados os reservatórios pertencentes ao Eixo Leste (i.e Itaparica, Poço da Cruz e Boqueirão) em oposição aos reservatórios situados no Eixo Norte (Armando Ribeiro Gonçalves e Castanhão).

Foi igualmente observada uma variação temporal de parâmetros físico-químicos (período seco *versus* período chuvoso) e demonstrado que as variáveis físico-químicas indicadoras de pressão (com origem em atividades antropogênicas) são as que mais influenciam o comportamento da comunidade fitoplanctônica.

Estes resultados evidenciam a importância de implementar uma gestão integrada dos reservatórios e respectiva bacia de drenagem que, sem comprometer os usos múltiplos da água, promova a proteção e recuperação dos sistemas aquáticos e do estado ecológico.

Espera-se ainda que com a entrada em operação do projeto de interligação do rio São Francisco, a qualidade da água desses reservatórios possa melhorar, proporcionando, por um lado, maior disponibilidade de água e por outro, menores custos no tratamento da água destinada ao consumo público. O desafio dos responsáveis pela gestão ambiental reside na otimização da resiliência dos ecossistemas em resposta a perturbações naturais e

antropogênicas, sendo para tal necessário conhecer as características e funcionamento dos sistemas, através da continuidade de programas de monitoramento. Por sua vez a preservação dos ecossistemas e a otimização dessa resiliência deverá ser protegida ao nível da bacia através da implementação de Planos de Bacia que contemplem programas e sistemas sustentáveis de suporte à vida (Rosado e Morais, 2010b).

## 5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Ministério da Integração Nacional Brasileiro pelo financiamento do Projeto de Integração do rio São Francisco, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco pelas bolsas de pesquisa do primeiro autor.

## 6. Referências

- Andrade, J. G. P.; Barbosa, P. S. F.; Souza, L. C. A. & Makino, D. L. (2011). Interbasin Water Transfers: The Brazilian Experience and International Case Comparisons. *Water Resources Management*.
- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. (2000). Eaton, A. D., Clesceri, L.C. & Greeberg, A. E. (eds.) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21 ed. Washington, DC: APHA.
- Bassoi, L. J. & Guazelli, M. R. (2004).

- Controle Ambiental da Água. In: Philippi Jr, A.; Roméro, M. A.; Bruna, G. C. (ed.). *Curso de Gestão Ambiental*. Barueri – SP: Manole., 1045 p.
- Borcard, D.; Legendre, P. & Rapeau P. D (1992). Partialling out the spatial component of spatial variation. *Ecology* 73:1045–1055.
- Braga, J. D. B.; Braga, E. G. P.; Pereira, S. M. B.; Leça, E. E. & Teixeira, M. G. (1999). Programa de controle de macrófitas aquáticas no complexo hidrelétrico de Paulo Afonso e na UHE Itaparica. In: Seminário nacional de produção e transmissão de energia elétrica – SNPTEE. 15., 1999, Paraná, *Anais* Paraná.
- BRASIL (2009). Ministério da Integração Nacional. *Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional*. Brasília.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (2005). Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União. n. 53, de 18/03/2005, p. 58-63. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 24 jun 2010.
- Couto, L. M., Porto, L. A. P. & Silva, J. M. C. (2003). Caracterização limnológica do alto rio Tocantins na área de influência da UHE Cana Brava (Goiás, Brasil). In: Congresso Brasileiro de Limnologia, 9., 2003, Juiz de Fora, *Anais*.
- DIRETIVA (2000). 2000/60/CE do Parlamento Europeu do Conselho de 23 de outubro de 2000 que estabelece um quadro de ação comunitária no domínio da política da água. L327/1, EU.
- Guimarães, A. O.; Melo, A. D.; Ceballos, B. S. O.; Galvão, C. O. & Ribeiro, M. M. R. (2009). Aspectos da gestão do açude Epitássio Pessoa (PB) e variação da qualidade da água. In: Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande - MS. *Anais*.
- Lima Filho, G. Q. de. (2010). Mudanças interanuais das comunidades fitoplanctônica e ficoperifítica de açudes do alto rio Paraíba. 2010. 50f. *Dissertação* (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA). Universidade Federal da Paraíba/ Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande-PB.
- Melo, G. L. de. (2007). Estudo da Qualidade da Água do Reservatório de Itaparica Localizado na Bacia do Rio São Francisco. 2007. 97f. *Dissertação* (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Molisani, M. M.; Barroso, H. S.; Becker, H.; Moreira, M. O. P.; Hijo, C. A. G.; MOonte, T. M. & Vasconcelos, G. H. (2010). Trophic state, phytoplankton assemblages and limnological diagnosis of the Castanhão Reservoir, CE, Brazil. *Acta Limnologica*

*Brasiliensia*, vol. 22, n. 1, p. 1-12.

Morais, M. M., Pedro A., Rosado J. & Pinto P. (2009). Temporary rivers: from the excess to scarcity. in "Sustainable Development: Energy, Environment and natural Disasters". Laura M. G. Duarte e Paulo Pinto (eds.). Fundação Luis de Molina, Évora: 37-49.

Reis, R, S; Novo, M. L. M.; Espíndola, E L G & Severi, W. (2003). Uso de imagens landsat e dados de campo para avaliar a distribuição espacial de material em suspensão em reservatórios do semi-árido brasileiro. *In: Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. 11, Belo Horizonte, 2003. *Anais*. Belo Horizonte.

Rofriguez, M.A. & Agnan P. M (1995). Applications of multivariate analysis in studies of the organisation and structure of fish and macroinvertebrate communities. *Aquatic Sciences* 57:199–216.

Rosado, J. & Morais M. (2010a). Climate change and water scarcity: from a global scale to particular aspects in Mediterranean region (Portugal). *In: Luiz Sens, M; Mondardo, R. I. (ed.) Science and Technology for Environmental studies: Experiences from Brazil, Portugal and Germany*. Santa Catarina: UFSC, p. 15-27.

Rosado, J. & Morais M. (2010b). Estratégias de gestão da água para combater a escassez em regiões semi-áridas e mediterrânicas: diferenças e similaridades. *Sustentabilidade*

em Debate, Unb, Brasília, Brasil, Numero especial "Clima Sustentabilidade e Desenvolvimento em Regiões Semiáridas 1(2): 32-46.

Simpson, L. D. (1995). Transbasin diversion, the United States experience. *Water Resources Management Consultant*, World Bank.

Ter Braak, C. J. F. (1990). CANOCO version 3.1. Update notes. *Agricultural Mathematics Group*, Wageningen, The Netherlands.

Ter Braak, C. J. F. (1987). CANOCO - a Fortran program for canonical community ordination by [partial] [detrended] [canonical] correspondence analysis (version 2.1). *ITITNO*, Wageningen.

Tundisi, J. G. & Tundisi, T M. (2006). *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 632 p.

UN-WATER (2006). Coping with water scarcity: a strategic issue and priority for system-wide action. [s.l.]: UN-WATER.

Utermöhl, H. (1958). Zur Vervollkomrnung ver quantitativen Phytoplankton-Methodic. *Mitt. Int. Verein. Limnol.*, 9: 1-38.

Wetzel, R.G.; & Likens, G.E. (1985). *Limnological analysis*. Second edition. Springer-Woynarovich, E. *Manual de piscicultura*. Brasília, DF: CODEVASF/MINTER, 71 p.