



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

CAMPUS I – CAMPINA GRANDE

CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE

DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

DANILO JOSÉ MORAES BATISTA

**DINÂMICA DE NUTRIENTES EM RESERVATÓRIOS DO
SEMIÁRIDO: IMPLICAÇÕES PARA GESTÃO DE SEUS USOS MÚLTIPLOS**

CAMPINA GRANDE-PB

Dezembro de 2014

DANILO JOSÉ MORAES BATISTA

**DINÂMICA DE NUTRIENTES EM RESERVATÓRIO DO SEMIÁRIDO:
IMPLICAÇÕES PARA GESTÃO DE SEUS USOS MÚLTIPLOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual da Paraíba, como parte integrante do curso de bacharelado em Ciências Biológicas, para obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. José Etham de Lucena Barbosa

Co-orientadora: Dr.^a Janiele França Vasconcelos

Campina Grande-PB

Dezembro de 2014

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

B333d Batista, Danilo José Moraes.
Dinâmica de nutrientes em reservatório do semiárido
[manuscrito] : implicações para gestão de seus usos múltiplos /
Danilo José Moraes Batista. - 2014.
32 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências
Biológicas) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de
Ciências Biológicas e da Saúde, 2014.

"Orientação: Prof. Dr. José Etham de Lucena Barbosa,
Departamento de Biologia".

"Co-Orientação: Profa. Dra. Janiele França Vasconcelos

1. Clima. 2. Nutrientes. 3. Eutrofização. 4. Reservatórios. 5.
Semiárido. I. Título.

21. ed. CDD 577.6

DANILO JOSÉ MORAES BATISTA

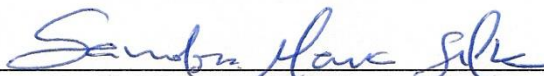
**DINÂMICA DE NUTRIENTES EM RESERVATÓRIO DO SEMIÁRIDO:
IMPLICAÇÕES PARA GESTÃO DE SEUS USOS MÚLTIPLOS**

Aprovado em: 10 de Dezembro de 2014.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. José Etham de Lucena Barbosa
Orientador/UEPB



Prof.ª Msc. Sandra Maria Silva
Examinadora/UEPB



Msc. Patrícia Silva Cruz
Examinadora/UEPB

Dedicatória

*Aos meus pais (Dona Maria Ausenida e Seu Zezinho) pelo o apoio,
carinho e paciência em todo esse período de aprendizado
da minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a minha FAMÍLIA, por está sempre me apoiando em todos os momentos. Principalmente a dona Maria Ausenida (minha Mãe), porque que sem ela, não sei se teria conseguido e, seu Zezinho (meu Pai), por me ensinar a ser uma pessoa de caráter e honesta. Agradeço a vocês também por sempre me mostrarem os caminhos certos a serem seguindo e que com dedicação e força de vontade sempre alcançará seus objetivos. AMO VOCÊS!

A meu orientador Prof. Dr. Etham, que se mostrou uma pessoa bastante compreensível. Meu agradecimento por ter me dado um voto de confiança ao me credenciar como aluno de iniciação científica. Obrigado pela sua dedicação, compromisso e responsabilidade para com seus orientandos e pelo o laboratório de ecologia aquática (Leaq). Por fim, te agradeço por ser meu orientador nesta caminhada e tenha certeza que para mim foi uma honra ter você como orientador.

À minha co-orientadora, agora Dr^a. Janiele, por sua disposição em ajudar, através das correções dos trabalhos, pelo o apoio e incentivo em momentos difíceis.

A todos do LEAq (Daianne, Ingrid, Mayara, Rosa, Prof^a Sandra, Flávia Morgana, Evaldo, Daniele, Gustavo, Leandro, Renata, Patrícia, Fátima, Raianne, Larissa, Andreza, Vanessa Virginia, Yasmin, Adriano, Silvana, Paulo, Iara) por todos os momentos vividos neste período, principalmente os momentos divertidos, os que realmente importam. Obrigado!

Aos meus amigos de Curso, desde aqueles que estavam juntos desde o primeiro dia de aula até aqueles que vieram semestres depois (Andressa, Anderson, Ahyanna, Carol, Gustavo Kim, Yanne, Valbia, Shirley, Brenda) por todos os momentos vividos nestes quatro anos, principalmente os momentos felizes. Obrigado por terem feito parte desse momento tão importante da minha vida, que jamais será esquecido.

A UEPB e a todos os professores que nos passaram seus conhecimentos e que, sem dúvida tiveram importância fundamental para minha formação acadêmica.

Por fim, a todos que contribuíram de alguma forma para a concretização desta etapa da minha vida. O meu MUITO OBRIGADO!

[É] mais frequente que a confiança seja gerada pela ignorância do que pelo conhecimento: são os que conhecem pouco, e não os que conhecem muito, os que afirmam tão positivamente que este ou aquele problema nunca será solucionado pela ciência.

Charles Darwin, *Introdução, The descent of man (1871)*

DINÂMICA DE NUTRIENTES EM RESERVATÓRIO DO SEMIÁRIDO: IMPLICAÇÕES PARA GESTÃO DE SEUS USOS MÚLTIPLOS

RESUMO

BATISTA, Danilo José Moraes.

A região semiárida está em uma zona de alta fragilidade hídrica, além de uma grande variabilidade espacial e temporal. As características físicas, químicas e biológicas dos reservatórios podem ser influenciadas em grande parte por flutuações sazonais no nível d'água, através principalmente dos fatores climáticos e hidrológicos, nos quais desempenham papéis importantes na entrada, saídas, nível de água e tempo de retenção dos reservatórios, afetando diretamente as características limnológicas da água. Diante dessa perspectiva, este trabalho teve como objetivo analisar as implicações das variações do volume hídrico dos reservatórios do semiárido sobre a qualidade da água. O estudo foi realizado em três reservatórios Soledade ($7^{\circ} 03' 25''S - 36^{\circ} 21' 46''W$); Taperoá II ($7^{\circ} 12' 23''S - 36^{\circ} 49' 25''W$), e Namorados ($7^{\circ} 23' 27''S - 36^{\circ} 31' 58''W$), situados na Bacia do Rio Paraíba ($6^{\circ} 51'S$ e $7^{\circ} 32'S$ e $36^{\circ} 15'W$ e $37^{\circ} 15'W$). As coletas foram realizadas nos meses de Maio, Julho e Novembro de 2013. Diferenças significativas foram observadas nos reservatórios com relação à dinâmica de clorofila-*a* e Fósforo Total. Nos reservatórios Soledade e Namorados foram observados maiores concentrações no mês de Maio, mês de maior volume hídrico armazenado e em Taperoá II foi observado que as maiores concentrações estavam presentes no mês de Novembro, mês de menor volume hídrico armazenado. Dessa forma, podemos concluir que o regime hidrológico regido pela sazonalidade da região do semiárido apresentou influência na modificação das características limnológicas nos três reservatórios, confirmando a hipótese testada.

Palavras-chave: Clima. Nutrientes. Eutrofização. Reservatórios. Semiárido.

NUTRIENT DYNAMICS IN SEMIARID RESERVOIR: IMPLICATIONS FOR USES IT'S MANAGEMENT MULTIPLE

ABSTRACT

BATISTA, Danilo José Moraes.

The semi-arid region is in a high water fragility area, plus a large spatial and temporal variability. The physical, chemical and biological characteristics of the reservoirs can be influenced largely by seasonal fluctuations in water level, primarily through climate and hydrological factors, which play important roles in the input, output, water level and retention time of reservoirs, directly affecting the limnological characteristics of water. Given this perspective, this study aimed to examine the implications of changes in the water volume of the semi-arid reservoirs on water quality. The study was conducted in three reservoirs Soledad (7 03 '25 "S - 36 21' 46" W); Taperoá II (7 12 '23 "S - 36 49" 25 "W), and Valentine (7°23'27" S - 36°31'58 "W), located in the Paraíba River Basin (6 ° 51'S and 32 ° 7'S and 36 ° 15'W and 37 ° 15'W) samples were collected in the months of May, July and November 2013. Significant differences were observed in the reservoirs in relation to the dynamics of chlorophyll-*a* and Total Phosphorus. In Soledad and Valentine's reservoirs showed higher concentrations in May, month of greatest stored water volume and Taperoá II was observed that the highest concentrations were gifts in November, the month of lower water volume stored. Thus, we can conclude that the hydrological regime governed by the seasonality of the semi-arid region had influence in modifying limnological characteristics in the three reservoirs, confirming the hypothesis tested.

Key-words: Climate. Nutrient. Eutrophication. Reservoir. Semi-arid.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Mapa representando a Sub-bacia hidrográfica do rio Taperoá, com os três Reservatórios inseridos – Soledade, Taperoá II e Namorados.....**17**
- Figura 2:** Precipitação pluviométrica mensal (mm) e os Volumes dos reservatórios (%) nos três meses estudados.....**19**
- Figura 3:** Variação espacial e temporal das concentrações de Clorofila-*a* e Fósforo Total nos três reservatórios estudados.....**22**
- Figura 4:** Regressão linear das concentrações de Clorofila-*a* (ug/L) e Fósforo Total (ug/L) em relação ao volume hídrico (%) armazenado nos três reservatórios.....**23**
- Figura 5:** Análises dos componentes principais (ACP), representando o diagrama de ordenação dos dados amostrais para os três reservatórios estudados nos eixos I e II.....**25**

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1:** Variáveis quantitativas das Médias (X) e Desvios Padrões (DP) nos três reservatórios inseridos na Sub-bacia do Rio Taperoá.....**20**

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. PERGUNTA.....	14
3. OBJETIVOS.....	14
3.1 Geral.....	14
3.2 Específicos.....	14
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
5. MATERIAL E MÉTODOS	17
5.1 Área de Estudo	17
5.2 Amostragem	18
5.3 Análises Estatísticas.....	18
6. RESULTADOS.....	19
6.1 Hidrologia.....	19
6.2 Variáveis Limnológicas.....	19
6.3 Análises dos Componentes Principais (ACP).....	24
7. DISCUSSÃO.....	25
8. CONCLUSÃO.....	28
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

1. INTRODUÇÃO

As regiões áridas e semiáridas representam um terço da cobertura terrestre do planeta, abrangendo cerca de 61 milhão de km² (PIMM, 2001; LEEMANS e KLEIDON, 2002) e estas áreas são habitadas por um quinto da população mundial humana (GALBALLY et al., 2010). No Brasil a região semiárida abrange uma área de 969.589,4 km², possuindo 11% do território nacional e 70,6 % do território do nordeste. A região abriga 1.132 municípios e nove estados (Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais) e uma população de 21 milhões de pessoas (IBGE, 2010), representando a região semiárida mais populosa no mundo (VON SPERLING, 1998).

A região apresenta um clima bastante peculiar, com uma taxa de evaporação potencial quatro vezes maior às precipitações chuvosas (SOUZA FILHO, 2011; CAMPOS, 2011), com uma precipitação pluviométrica entre 400-800 mm anuais e restritas a poucos meses do ano (época de chuva) com acentuada variabilidade interanual, com duas estações bem definidas: a seca e a cheia, sendo que a estação da seca alcança um período de 8 a 9 meses ao ano (nos meses de abril a dezembro).

Para enfrentar os períodos de escassez de água, a população nordestina nos últimos cem anos encontrou uma alternativa de armazenagem desta, através da construção de reservatórios, visando uma maior garantia de segurança hídrica (BOUVY et al., 1999). Os reservatórios são importantes ecossistemas aquáticos artificiais, que possuem multiplicidade de usos, tais como contenção de enchentes, abastecimento público e geração de energia elétrica (TUNDISI, 2005). Por outro lado, o armazenamento de água em reservatórios acaba tornando essas massas líquidas vulneráveis a um maior risco de degradação.

A água estocada em reservatórios superficiais sofre alterações na sua qualidade causadas por processos físicos (principalmente, por evaporação, que consome em torno de 40% da água dos reservatórios do Nordeste), químicos (reações, dissolução e precipitação) e biológicos (crescimento, morte e decomposição) (MELO, 2005; MEIRELES et al., 2007).

A região semiárida, devido a estiagens prolongadas, que promove grande evaporação e considerável redução do volume d'água, interfere significativamente na qualidade da água (ESTEVES et al., 1988), ou seja, os reservatórios apresentam baixa débito e um alevado tempo de residência da água e associado ao um balanço hídrico

negativo e altas temperaturas durante maior parte do ano. Estes fatores, associada a períodos alternados de seca e chuva, intensificam a acumulação de sais e nutrientes, tornando-o mais vulnerável a processos de eutrofização, comparadas a regiões de clima temperado, por exemplo.

No Brasil, a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente CONAMA 357/05, recomenda que os limites toleráveis para águas de classe II, que são águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, os valores de até $30 \mu\text{g.L}^{-1}$ para fósforo total e clorofila-*a*. Thornton e Rast (1993) propõe uma concentração superior ou igual a $60 \mu\text{g.L}^{-1}$ de fósforo total e $12 \mu\text{g.L}^{-1}$ de clorofila-*a* para reservatórios de zonas semiáridas, como indicativo que o ambiente está eutrófico.

Segundo Thornton e Rast (1993), o lagos artificial das regiões semiáridas apresenta uma elevada razão entre a área de bacia de drenagem e a região de lago, este fato implica que tais lagos tendem a receber uma maior carga de nutrientes e sedimentos em suspensão, podendo afetar a disponibilidade de luz e nutrientes que, conseqüentemente, interfere na produção primária aumentando a vulnerabilidade desses ambientes ao processo de eutrofização.

Alem disso, a frequente inundação e exposição dos sedimentos causada pela variação do volume de água nos reservatórios devem contribuir para alterar as condições de oxi-redução do sedimento, aumentando a liberação para a coluna d'água e o potencial de eutrofização desses reservatórios artificiais (ESTEVEZ, 1998).

A eutrofização, processo de enriquecimento da água por nutrientes, normalmente o fósforo e nitrogênio, favorecendo o aumento da produção e crescimento de algas e macrófitas aquáticas, conseqüentemente acarretando um desequilíbrio do sistema aquático e uma progressiva degradação da água (DODDS et al., 2009), sendo considerado como um dos principais problemas associados a diminuição da qualidade da água nesses sistemas (ESKINAZI-SANT'ANNA et al., 2007). Portanto, a hipótese a ser testada é que as variações do volume hídrico dos reservatórios tem efeito sobre a qualidade da água.

2. PERGUNTA:

Qual influência da sazonalidade na dinâmica de nutrientes em reservatórios inseridos no semiárido?

3. OBJETIVOS

- **3.1 Geral:**

- ✓ Analisar as implicações das variações do volume hídrico dos reservatórios do semiárido sobre a qualidade da água.

- **3.2 Específicos:**

- ✓ Analisar as características limnológicas dos reservatórios, a partir do estudo de variáveis químicas e biológica;
- ✓ Verificar a existência de diferenças sazonais e espaciais das concentrações de nutrientes nos reservatórios Taperoá II, Soledade e Namorados;
- ✓ Avaliar o estado trófico dos reservatórios;

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As regiões semiáridas abrangem cerca de um terço da superfície da terra ao redor do mundo, na qual vivem aproximadamente 20% da população mundial (IBGE, 2010). Estas regiões estão em uma zona de alta fragilidade hídrica, além de uma grande variabilidade espacial e temporal (SANTOS et al., 2011). No Brasil, a região semiárida abrange 1.135 municípios e uma população de 21 milhões de pessoas (IBGE, 2010).

O semiárido brasileiro apresenta um clima bastante irregular, com relação aos índices pluviométricos e estará sempre sujeito a secas periódicas, visto que uma das características naturais desse tipo de clima é a ocorrência de precipitações pluviais irregulares e mal distribuídas geograficamente (SILVA et al., 2012). Esses fatores levaram a construção de inúmeros reservatórios ao longo do tempo, que armazenam água durante os períodos chuvosos, facilitando o acesso a esse recurso e enfrentar o período de seca durante o ano (MAMEDE, 2008; MAMEDE et al., 2009).

No semiárido nordestino, os reservatórios são utilizados para usos distintos e, dependendo da sua localização, tamanho da área de drenagem, do tamanho em si, da sua geomorfologia e associada com os fatores climáticos e atividades antrópicas próximas ao seu entorno, à qualidade da água pode ser influenciada (TUNDISI et al., 1999). Os reservatórios do semiárido nordestino, cujo número tem aumentado permanentemente, são limnologicamente vulneráveis a eutrofização, (DATSENKO et al., 2000). Estes ecossistemas aquáticos são dinâmicos e apresentam grande variabilidade no tempo e no espaço, sob influência de fatores climáticos, morfológicos e antropogênicos (TUNDISI, 2003).

As características físicas, químicas e biológicas de reservatórios podem ser influenciadas em grande parte por flutuações sazonais no nível d'água, através principalmente dos fatores climáticos e hidrológicos, nos quais desempenham papéis importantes na entrada, saídas, nível de água e tempo de retenção dos reservatórios, afetando diretamente as características limnológicas da água (NASELLI-FLORES; BARONE, 2005; SOARES et al., 2012). De modo que, tem sido observada uma diminuição na qualidade da água em ecossistemas aquáticos, independentemente de seu estado trófico, durante períodos caracterizados por baixa precipitação e redução dos volumes armazenados (ARFI, 2003).

Em períodos chuvosos está diretamente relacionada ao aporte de fósforo, resultante de contribuição alóctone, como escoamento superficial de áreas agrícolas ou florestadas, esgoto doméstico e efluente industrial (ESTEVEZ, 1998), e em períodos de seca, o aumento das concentrações de fósforo pode estar relacionado com a diminuição do volume e da profundidade do reservatório, que incrementa a eficiência da ação dos ventos na resuspensão dos sedimentos, além do efeito de concentração do nutriente, resultante da evaporação da água no período de estiagem (FREITAS et al., 2011).

Nesta região, os reservatórios apresentam condições climáticas e hidrológicas peculiares, com grandes períodos de estiagens, poucas e curtas chuvas, velocidade do vento relativamente baixa a moderada, altas temperaturas e taxas de evaporação e um grande tempo de residência da água no reservatório (CHELLAPPA et al., 2009). Estas peculiaridades intensificam a acumulação e concentração de nutrientes, fazendo com que estes sistemas sejam mais vulneráveis a eutrofização, do que em regiões de clima temperado. A eutrofização foi classificada como uma questão importante que conduz à diminuição da qualidade da água (BOUVY et al., 2000; COSTA et al., 2006; ESKINAZI-SANT'ANNA et al., 2007).

5. MATERIAL E METODOS

5.1 Área de estudo

Os três reservatórios estudados estão inseridos na Sub-bacia do rio Taperoá, situada na parte central do Estado da Paraíba, Brasil (Figura 1), na região fisiográfica da Borborema Central, na microrregião homogênea dos Cariris Velhos ($6^{\circ}51'S$ e $7^{\circ}32'S$ de latitude sul e $36^{\circ}15'W$ e $37^{\circ}15'W$ de longitude oeste), com vegetação predominante do tipo caatinga arbustiva arbórea aberta já quase que totalmente antropizada. O clima da região é do tipo sub-desértico quente com tendência tropical e caracteriza-se por apresentar temperaturas médias em torno de $25^{\circ}C$, com estação seca prolongada, superior a 8 meses. A bacia drena uma área de 7.316 Km^2 . Seu principal rio é o Taperoá, de regime intermitente, que nasce na serra do Teixeira e desemboca no rio Paraíba, no açude de Boqueirão – Presidente Epitácio Pessoa (PARAIBA, 1997).

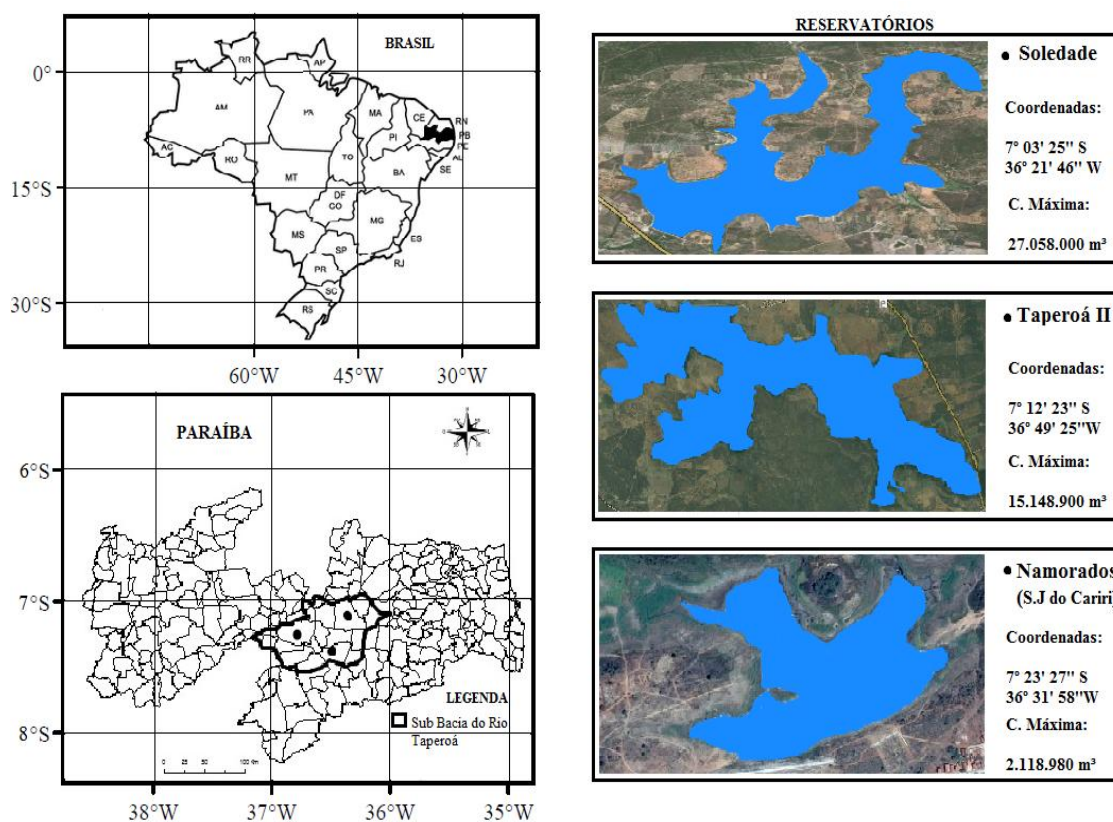


Figura 1: Mapa representando a Sub-bacia hidrográfica do rio Taperoá, com os três Reservatórios inseridos – Soledade, Taperoá II e Namorados. Fonte: AESA, Google Earth.

5.2 Amostragem

As amostragens foram realizadas nos meses de Maio, Julho e Novembro de 2013. As amostras foram coletadas em 4 profundidades (100%, 50%, 1%) e na região mais profunda do reservatório (Z_{máx}), de acordo com a medida da profundidade do desaparecimento do Disco de Secchi e o coeficiente de atenuação vertical da luz de 2,7 (ESTEVES, 1998).

Amostras de água foram coletadas com auxílio da garrafa de Van Dorn (5L) e preservadas em garrafas de PVC pré-lavadas com água destilada e mantidas no gelo para transporte até o laboratório, onde foram colocadas na geladeira, para determinação dos nutrientes nitrogenados (Amônio - NH₄, Nitrito - NO₂ e Nitrato- NO₃) e fosfatado (Ortofosfato- SRP e Fósforo Total- PT), os quais foram analisados de acordo com metodologias descritas no APHA (1998).

Para análise da clorofila-*a*, amostras de água foram filtradas com auxílio de uma Bomba a vácuo, em filtros de fibra WHATMAN GF/C de 47 mm de diâmetro. A extração de clorofila foi feita em 10 ml de acetona 90%, por um período de 24 horas e então lidas no espectrofotômetro nos comprimentos de onda 665 e 750 nm (WETZEL e LINKENS, 1991). Para a classificação do estado tróficos dos reservatórios, foi utilizado o modelo proposto por Thornton e Rast (1993) para regiões semiáridas.

5.3 Análises Estatísticas

A análise estatística descritiva básica: média aritmética e desvio padrão foram realizados no Excel 2007. A Regressão linear foi utilizada para verificar as correlações entre as variáveis estudadas e a ANOVA one way foi utilizada para verificar diferenças significativas entre as variáveis limnológicas e a sazonalidade. Para estas análises foram utilizadas o software R Core Team (2014), usando os pacotes “vegan” (OKSANEM, et al., 2013).

A análise dos componentes principais (ACP) foi aplicada a todos os dados obtidos, para explicar as principais tendências de variação da qualidade da água, de modo a possibilitar quais componentes principais estão mais relacionadas às mudanças das variáveis limnológicas. Para análise foi utilizando o Software STATÍSTICA 7.0.

6. RESULTADOS

6.1 Hidrologia

As precipitações pluviométricas variaram ao longo do período de estudo, acompanhando as mudanças dos volumes dos reservatórios ao longo do ano. As maiores precipitações foram verificadas no mês de julho no reservatório Taperoá II (57,5 mm) e no reservatório Namorados (49,5mm) e as menores precipitações foram verificadas no mês de maio no reservatório Taperoá II (11,6 mm) e em Namoradas (4,5mm).

E com relação aos volumes dos mesmos ao longo do estudo, foi observado que todos os reservatórios apresentaram consideradas reduções do volume hídrico nos três meses de estudo (Figura 2), sendo o mês de Maio, o mês de maior volume hídrico e o mês de Novembro, o de menor volume hídrico.

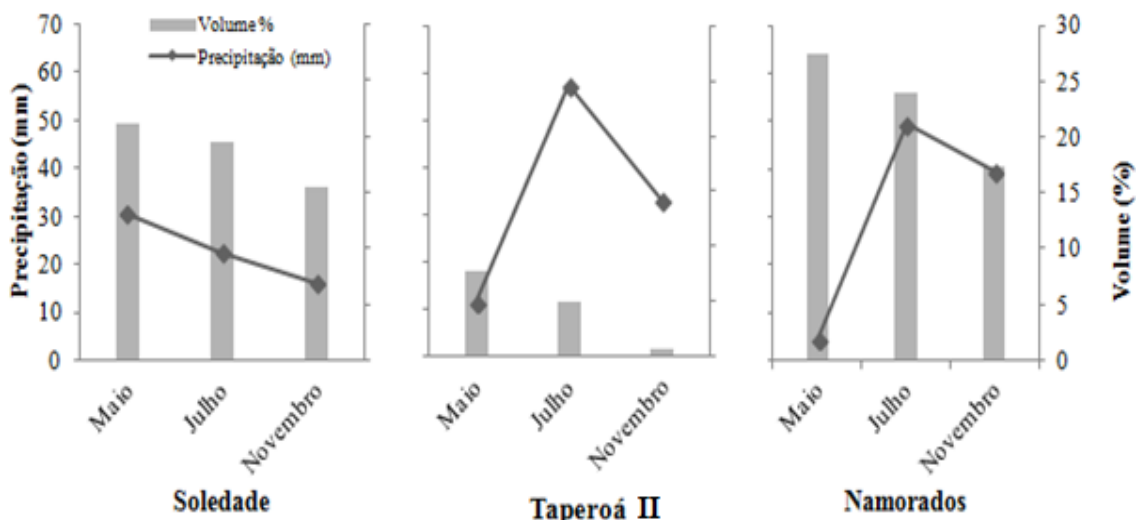


Figura 2: Precipitação pluviométrica mensal (mm) e os Volumes dos reservatórios (%) nos três meses estudados (AESAs, 2014).

6.2 Variáveis Limnológicas

Diferenças significativas foram observadas entre os reservatórios com relação às médias da concentração de nutrientes presentes na água (Tabela 1). No reservatório Taperoá II foi observado as maiores concentrações, seguido por Soledade e Namorados.

Tabela 1: Variáveis quantitativas das Médias (X) e Desvios Padrões (DP) nos três reservatórios inseridos na Sub-bacia do Rio Taperoá.

Variáveis	R. SOLEDADE		R. TAPEROÁ II		R. NAMORADOS	
	Média (x)	Desvio Padrão (DP)	Média (x)	Desvio Padrão (DP)	Média (x)	Desvio Padrão (DP)
N-NH ₄ (µg.L ⁻¹)	56,53	20,4	48,94	32,26	39,0	8,23
N-NO ₂ (µg.L ⁻¹)	1,30	0,38	3,11	3,54	0,93	0,36
N- NO ₃ (µg.L ⁻¹)	14,41	20,55	21,87	17,97	15,34	5,70
NT (µg.L ⁻¹)	202,63	64,58	138,49	28,42	110,98	42,93
SRP (µg.L ⁻¹)	72,5	90,66	136,86	262,55	17,31	12,93
PT (µg.L ⁻¹)	177,17	84,61	193,07	106,94	128,25	70,41

Analisando os resultados das médias obtidas na Tabela1, pode-se observar que no reservatório Soledade, foi o que apresentou maiores concentrações de amônio, com uma média de 56,53 µg.L⁻¹, nos três meses analisados, seguidos por o reservatório Taperoá II, com 48,94 µg.L⁻¹ e, com a menor média, o reservatório Namorados, com 39,0 µg.L⁻¹. O Nitrito apresentou as maiores concentrações no reservatório Taperoá II com uma média de 3,11 g.L⁻¹, seguido pelo reservatório Soledade, com 1,30 µg.L⁻¹ e Namorados, com 0,93 µg.L⁻¹.

As maiores concentrações de nitrato ocorreram no reservatório Taperoá II, apresentando uma média de 21,87 µg.L⁻¹ e no reservatório Namorados, com 15,34 µg.L⁻¹ e a menor média no reservatório Soledade, com 14,41 µg.L⁻¹. O nitrogênio total apresentou a maior concentração no reservatório Soledade, com valor de 202,63 µg.L⁻¹, seguido por Taperoá II, 138,49 µg.L⁻¹ e, com a menor concentração, o reservatório Namorados, com 110,98 µg.L⁻¹.

As concentrações de Ortofosfato no reservatório Taperoá II, apresentou uma média de 136,86 µg.L⁻¹. No reservatório Soledade verificou a segunda maior média, com 72,5 µg.L⁻¹e, a menor média foi observada no reservatório Namorados, com 17,31 µg.L⁻¹. Em relação ao Fósforo Total, os resultados mostraram também que o

reservatório Taperoá II, apresentou a maior média, com $193,07 \mu\text{g.L}^{-1}$, Soledade, com uma média de $177,17 \mu\text{g.L}^{-1}$ e, o reservatório Namorados apresentando a menor média, de $128,25 \mu\text{g.L}^{-1}$.

Diferenças significativas foram observadas nos três reservatórios com relação à concentração de Clorofila-*a* e Fósforo Total em função dos meses em questão (Figura 3). No teste ANOVA one way para o reservatório Soledade constatou que a maior concentração de Clorofila-*a*, correspondeu ao mês de menor volume de água, Novembro. E com relação às maiores concentrações médias do Fósforo Total, diferentemente na Clorofila-*a*, ocorreu no mês de Maio (Figura 3A).

No reservatório Taperoá II também foram observadas diferenças significativas. Em Taperoá II também foi constatado uma maior concentração de Clorofila-*a* em Novembro, mês de menor volume hídrico. O Fósforo Total também apresentou o sua maior concentração no mês de Maio (Figura 3B).

No reservatório Namorados, também foram observadas diferenças significativas em relação às concentrações de Clorofila-*a* e o Fósforo Total em relação aos meses, principalmente em relação ao Fósforo Total, no qual foi observada uma maior concentração no mês de Maio, mês de maior volume hídrico, juntamente com a Clorofila-*a* (Figura 3C).

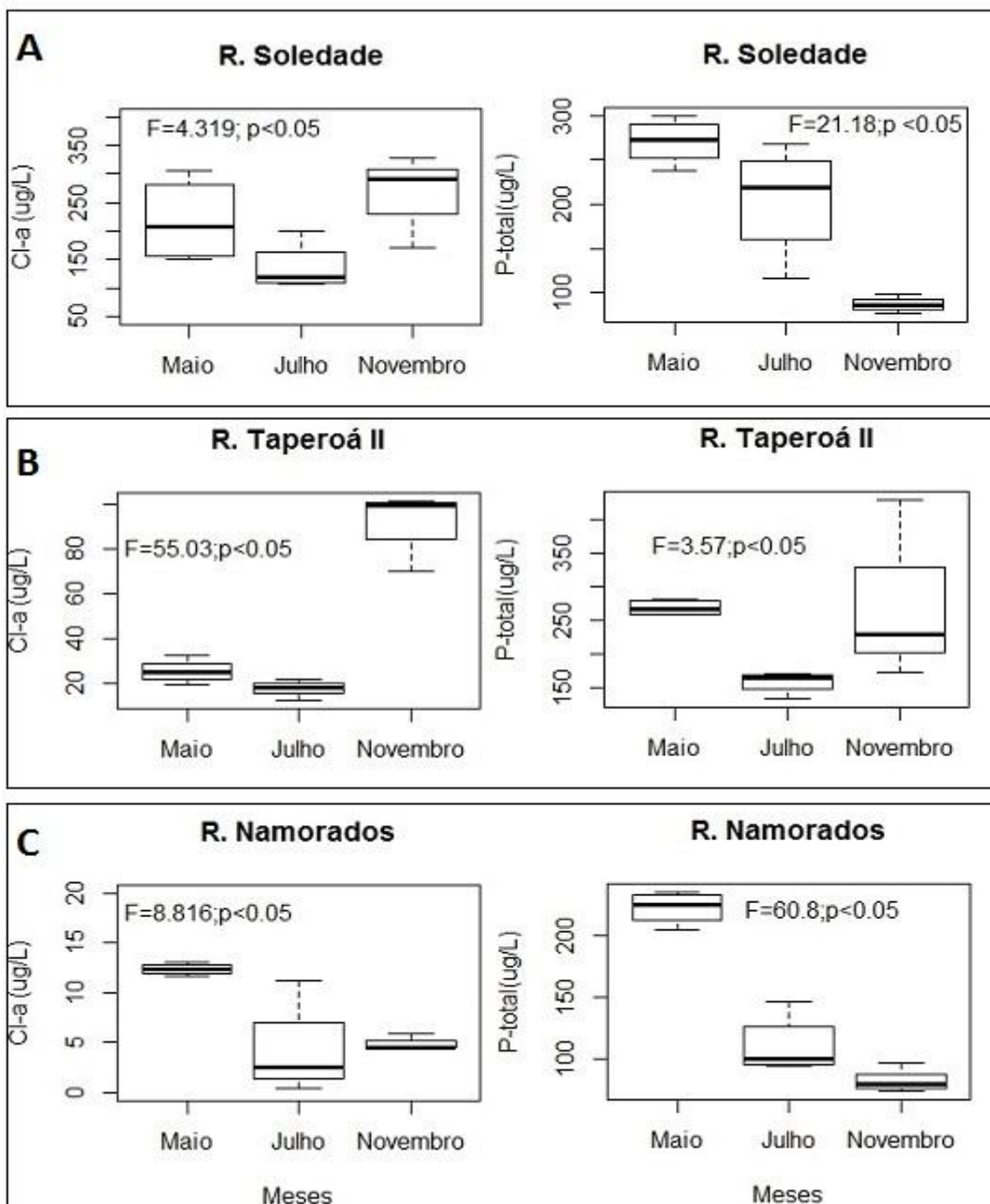


Figura 3: Variação espacial e temporal das concentrações de Clorofila-*a* (Cl-a) e Fósforo Total (P-total) nos três reservatórios estudados.

Na Regressão linear para as mesmas variáveis (Clorofila-*a* e Fósforo Total) em relação ao volume hídrico, também foram observadas correlações significativas (Figura 4). No reservatório Soledade (Figura 4A), a concentração de Clorofila-*a* (ug/L) apresentou uma correlação positiva com o volume hídrico (%) estocado no reservatório ($R^2=0.82$; $p<0.05$). Também foi observado uma correlação positiva em relação ao Fósforo Total (ug/L) e o volume armazenado ($R^2=0.82$; $p<0.05$). Diferentemente do

reservatório Soledade, em Taperoá II foi constatado uma correlação negativa entre a Clorofila-*a* e o volume hídrico estocado no reservatório ($R^2=0.68$; $p<0.05$). Já com relação ao Fósforo Total, houve uma correlação positiva do mesmo (ug/L) e o volume hídrico armazenado ($R^2=0.65$; $p<0.05$) (Figura 4B).

No reservatório Namorados também foi constatada uma correlação positiva da concentração de Clorofila-*a* e o volume hídrico no reservatório ($R^2=0.78$; $p<0.05$). O Fósforo Total também apresentou uma correlação positiva com o volume hídrico armazenado ($R^2=0.68$; $p<0.05$), respectivamente (Figura 4C).

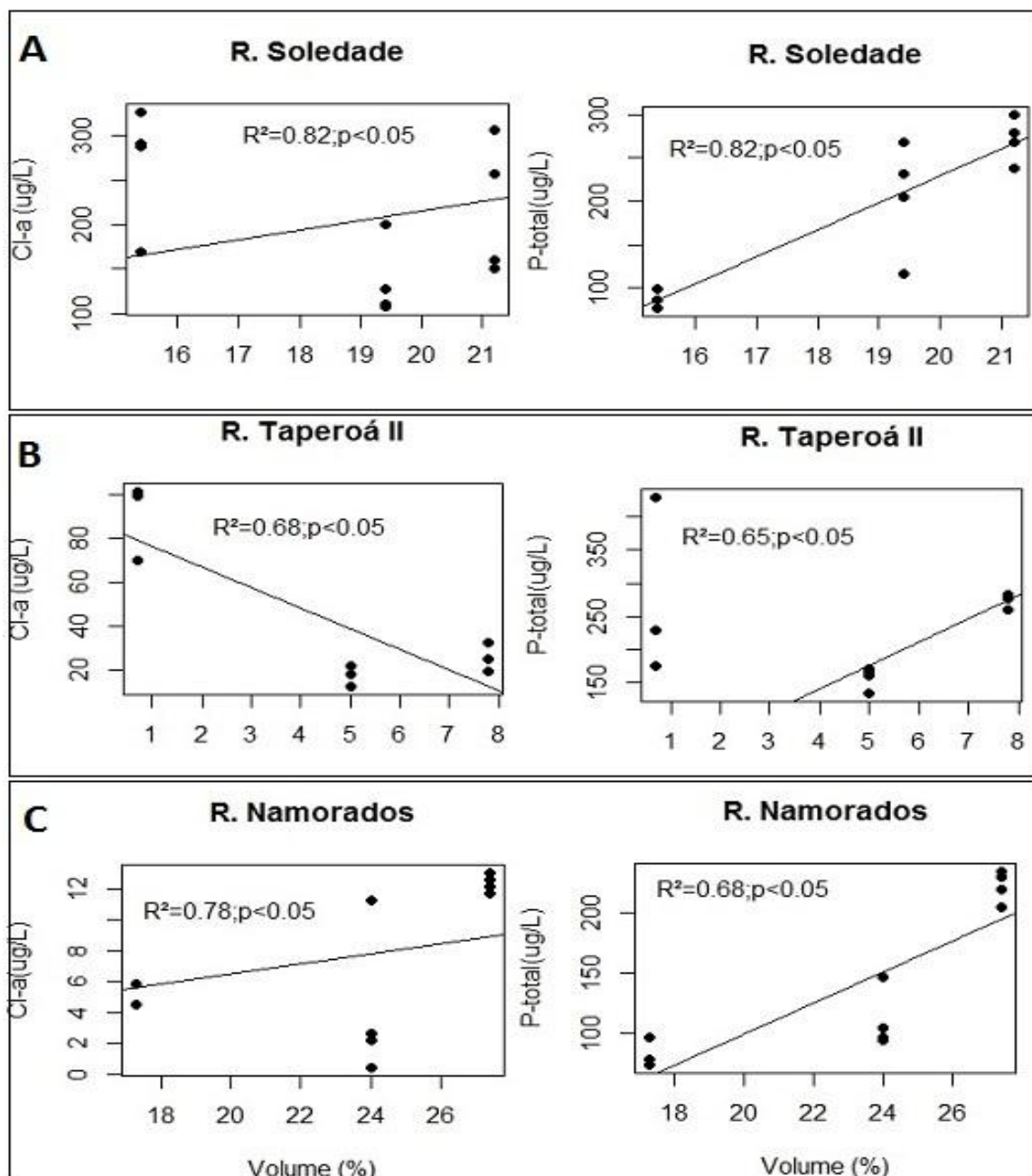


Figura 4: Regressão linear das concentrações de Clorofila-*a* (Cl-a) e Fósforo Total (P-total) em relação ao volume hídrico (%) armazenado nos três reservatórios.

6.3 Análises dos Componentes Principais (ACP)

A análise de componentes principais, efetuada com base nos dados das variáveis ambientais, permitiu explicar 47,68 % da variabilidade acumulada dos dados nos dois primeiros Eixos (eixo I: 24,85%; eixo II 22,83%). O eixo I apresentou associações positivamente entre o Amônio ($N-NH_4$), Nitrito ($N-NO_2$) e Nitrato ($N-NO_3$). No eixo II ocorreram associações negativas entre o Volume, Nitrogênio Total (NT) e Clorofila-*a* (Figura 5).

Considerando a disposição dos pontos e reservatórios amostrados, os agrupamentos dos casos no eixo I diferenciaram espacialmente, o reservatório Soledade do reservatório Namorados. O reservatório Taperoá II apresentou duas fases, uma espacial e outra temporal, uma vez que alguns pontos apresentaram certas dispersões (Figura 5). No eixo II não se observou a mesma segregação significativa, sendo os pontos e os reservatórios não se diferenciaram espacialmente, porém, os mesmos apresentaram certas dispersões, indicando uma diferença no âmbito temporal. A análise apresentada pelos dois componentes segregou a disposição espacial como o fator de maior relevância entre os casos em detrimento da escala temporal, que foi de baixa significância, uma vez que, somente o reservatório Taperoá II, houve um diferencial no âmbito temporal.

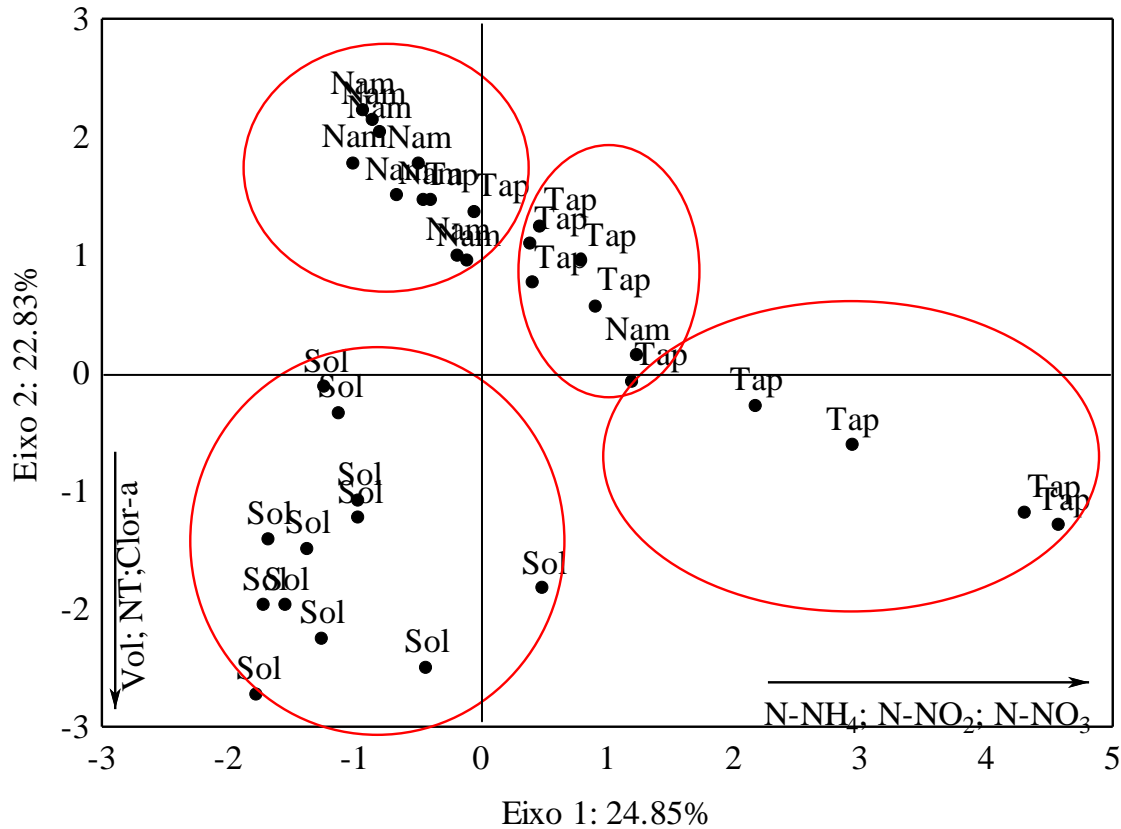


Figura 5: Análise dos componentes principais (ACP), representando o diagrama de ordenação dos dados amostrais para os três reservatórios estudados nos eixos I e II.

7. DISCUSSÃO

As regiões áridas e semiáridas são caracterizadas por flutuações sazonais no nível de água dos mananciais de abastecimento público devido aos longos períodos de estiagem e de períodos chuvosos curtos ao longo do ano. A baixa ou ausência de precipitação durante a estiagem e a contínua perda da água pela evapotranspiração contribui para a diminuição do volume de água e o elevando tempo de residência dessa água no reservatório, uma vez que, o processo de transbordamento é fundamental para o controle da qualidade da água, visto que em sua maioria os reservatórios nordestinos não apresentam sistemas de comportas para aeração e trocas de nutrientes. Segundo Chellappa et al., (2008), a dinâmica de nutrientes em reservatórios do semiárido é controlada, principalmente, pela variação sazonal das condições climatológicas e hidrológicas. Estas variações causam alterações abióticas, como o estado trófico do

sistema, e conseqüentemente na dinâmica de biomassa algal (BOUVY et al., 2003; BARBOSA et al., 2012).

Os resultados mostraram que a sazonalidade regida pelo regime hidrológico da região semiárida influenciou também as variáveis limnológicas nos reservatórios, especialmente aquelas relacionadas a processos de eutrofização em regiões semiáridas (Clorofila-*a* e Fósforo Total). Para o período chuvoso ou de maior volume hídrico foram observadas as maiores concentrações de nutrientes (PT) devido ao aporte de compostos alóctone ao reservatório, enquanto que no período de seca ou de menor volume hídrico foram observadas em média, as maiores concentrações de clorofila-*a*, sugerindo um aumento do processo de eutrofização e degradação da qualidade da água.

As maiores concentrações de Clorofila-*a* e Fósforo total em períodos de maior volume hídrico nos reservatórios, respectivamente em Soledade e Namorados, pode estar relacionada às precipitações ocorridas nos períodos estudados (figura 2), uma vez que a chuva contribui para o aporte de nutrientes e sedimentos devido ao escoamento superficial das águas na bacia, que conseqüentemente resulta no incremento das concentrações de fósforo (VOLLENWEIDER, 1975). Segundo Haygarth; Sharpley (2000), o fósforo é removido do solo principalmente por erosão, dependendo da quantidade de material sólido no escoamento superficial, da intensidade e quantidade de chuva. Em trabalho realizado por Pinto - Coelho et al., (2005), também constatou que o fósforo total apresentava maiores concentrações no período de chuvas pelo fato das águas carregarem material alóctone para o interior dos reservatórios, aumentando assim a concentração .

Nos reservatórios inseridos no semiárido, o aumento de fósforo total ocorre em esporádicos episódios, às chuvas nem sempre atuam como carreadora de nutrientes. As concentrações de fósforo do ecossistema podem ser mantidas pelo aumento da ressuspensão de material do sedimento, principalmente quando as águas apresentam baixo nível (ECKERT et al., 2003).

No reservatório Taperoá II durante o período de redução no nível da água, houve um decréscimo da qualidade da água devido a um aumento acentuado na biomassa algal, assim observado em outros sistemas do semiárido brasileiro e do mundo (BOUVY et al., 2003; NASELLI-FLORES e BARONE, 2005; BEKLIOGLU et al., 2007). Logo, a diminuição das concentrações dos nutrientes, no caso, o fósforo total, durante o período de aumento das concentrações de clorofila-*a*, pode ser atribuída ao seu consumo pela biomassa algal (REYNOLDS, 2006), na qual apresentou um

crescimento progressivo durante o período de menor volume armazenado, com períodos de baixas concentrações do nutriente (BOUVY et al., 2003).

A análise dos componentes principais (ACP) indicou que a dinâmica dos nutrientes apresentou variações espaciais e temporais. Especialmente houve maiores diferenças entre o reservatório Soledade e Namorados e, temporalmente, o mais significativo foi observado em Taperoá II, pelo fato de ser o reservatório que mais apresentou diferença do nível de água durante o período estudado. Neste sentido, flutuações sazonais no nível de água dos reservatórios estão associadas a mudanças nas características físicas, químicas e biológicas desses sistemas, podendo resultar em uma diminuição da qualidade da água em ecossistemas aquática durante períodos de baixa precipitação e de redução do volume hídrico armazenado (ARFI, 2003).

De acordo com a resolução CONAMA 357/05, os valores de fósforo total e de clorofila-*a* encontrava-se acima do limite tolerado nos reservatórios Taperoá II, Soledade e Namorados para águas de classe II. Embora, a Clorofila-*a* no reservatório Namorados apresentasse valores abaixo do limite tolerado. Por tanto, os reservatórios Soledade, Taperoá II e Namorados apresentam águas impróprias para consumo humano. Em relação ao modelo de classificação proposto por Thornton e Rast (1993) para regiões semiáridas, os três reservatório apresentam-se em estado eutrófico.

8. CONCLUSÃO

O regime hidrológico regido pela sazonalidade da região do semiárido apresentou influência na modificação das características limnológicas nos três reservatórios, confirmando a hipótese testada.

A redução no nível da água e o aumento do tempo de retenção da água do reservatório durante o período seco contribuíram para o crescimento acentuado da biomassa algal, favorecendo o aumento do processo de eutrofização e possivelmente no futuro, a inviabilização do uso do reservatório para os diversos usos.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. <http://www2.aesa.pb.gov.br/meteorolo/pcdlmrs.shtml> . 02 de nov. 2013.
- APHA -American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 ed. *American Public Health Association*,1998. 1220 p.
- ARFI, R. 2003. The effects of climate and hydrology on the trophic status of Sélingé reservoir, Mali, West Africa. *Lakes Reserve. Res. Menage*.8,247-257.
- BARBOSA, J. E. L ; MEDEIROS, E. S. F; BRASIL, J; CORDEIRO, R.S; CRISPIM, M. C. B; SILVA, G. H. G. 2012. Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management. *Acta Limnol. Bras.*,v.24,103-118.
- BEKLIOGLU, M; ROMO, S; KAGALOU, I; QUINTANA, X; BÉCARES, E. 2007. State of the art in the functioning of shallow Mediterranean lakes: workshop conclusions. *Hydrobiologia*, 584(1), 317-326.
- BOUVY, M; NASCIMENTO, S. M; MOLICA, R. J; FERREIRA, A; HUSZAR, V; AZEVEDO, S. M. 2003. Limnological features in Tapacurá reservoir (northeast Brazil) during a severe drought. *Hydrobiologia*, 493(1-3), 115-130.
- BOUVY, M; FALCÃO, D; MARINHO, M; PAGANO, M. & MOURA, A. 2000. Occurrence of *Cylindrospermopsis* (Cyanobacteria) in 39 Brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. *Aquatic Microbial Ecology*, vol. 23, p. 13-27.
- BOUVY, M; MOLICA, R; DE OLIVEIRA, S; MARINHO, M; BEKER, B. 1999. Dynamic of a toxic cyanobacterial Bloom (*Cylindrospermopsis raciborskii*) in a shallow reservoir in the semi arid region of north-east Brazil. *Aquatic Microbial Ecology*, 20: 285- 297.
- CAMPOS, J. N. B. 2011. Águas superficiais no semiárido brasileiro: desafios ao atendimento aos usos múltiplos. *MEDEIROS, Salomão de Sousa. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido. (INSA), 2011.440 p. : il,*
- CHELLAPPA, N. T; BORBA, J. M; ROCHA, O. 2008. Phytoplankton community and physical-chemical characteristics of water in the public reservoir of Cruzeta, RN, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 68(3), 477-494.
- CHELLAPPA, N. T; CHHELLAPPA, T; CÂMARA, F. R; ROCHA, O; CHHELLAPPA, S. 2009. Impact of stress and disturbance factors on the phytoplankton communities in Northeastern Brazil reservoir. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, 39(4), 273-282.
- CONAMA. 2005. Resolução CONAMA 357, de 18/03/2005. Dispõe sobre a classificação das águas. Conselho Nacional de Meio Ambiente, Disponível: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res2086.html>. Acesso em 30/10/13.

COSTA, I. A. S; DE SOUZA CUNHA, S. R; PANOSSO, R; ARAÚJO, M. F. F; DE SOUZA MELO, J. L; ESKINAZI-SANT'ANNA, E. M. 2009. Dinâmica de cianobactérias em reservatórios eutróficos do semi-árido do Rio Grande do Norte. *Oecologia Brasiliensis*, 13(2), 382-401.

COSTA, I. A. S; AZEVEDO, S. M. F. O; SENNA, P. A. C; BERNARDO, R. R; COSTA, S. M; CHELLAPPA, NT. 2006. Occurrence of toxin-producing cyanobacteria blooms in a Brazilian Semi-arid reservoir. *Brazilian Journal of Biology*, vol. 66, no. 1b, p. 29-41. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842006000200005>

DATSENKO, I.S; SANTANA, S.T; ARAÚJO, J.C.1999. Peculiaridades do Processo de eutrofização dos açudes da região do semi-árido. *20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*: 2220-2226.

DODDS W.K; BROUSKA W.W; EITZMANN J.L; PILGER T.J; PITTS K.L; RILEY A.J; SCHLOESSER J.T AND THORNBRUGH J. D. 2009. Eutrophication of U.S. freshwaters: analysis of potential economic damages. *Environmental science and technology*, 43 (1), 12-19.

ECKERT, W; DIDENKO, J; URI, E; ELDAR, D. 2003. Spatial and temporal variability of particulate phosphorus fractions in seston and sediments of Lake Kinneret under changing loading scenario – *Hydrobiologia*, 494: 223–229.

ESKINAZI-SANT'ANNA, E. M; MENEZES, R; COSTA, I. A. S; PANOSSO, R; ARAÚJO, M, F, F; ATTAYDE, J, L. 2007. Composição da comunidade zooplânctônica em reservatórios eutróficos do semi-árido do Rio Grande do Norte. *Oecologia Brasiliensis*, vol. 11, no. 3, p. 345-356. <http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2007.1103.10>.

ESTEVEES, F. A. 1998. *Fundamentos de Limnologia*. Interciência/Finep, Rio de Janeiro, 604p.

ESTEVEES, F. A; BOZELLI, R. L; CAMARGO, A. F. M; ROLAND, F; THOMAZ, S. M. 1988. Variação diária (24 horas) de temperatura, O₂ dissolvido, pH e alcalinidade em duas lagoas costeiras do estado do Rio de Janeiro e suas implicações no metabolismo destes ecossistemas. *Acta Limnol. Brasil*, 2, 99-127.

FREITAS, F. R. S; RIGHETTO, A. M; ATTAYDE, J. L. 2011. Cargas de fósforo total e material em suspensão em um reservatório do semiárido brasileiro. *Oecologia Australis*, v. 15, n. 3, p. 655-665.

GALBALLY, I; MEYER, C.P; WANG, Y.P; KIRSTINE, W. 2010. Soil-atmosphere exchange of CH₄, CO, N₂O and NO_x and the effects of land-use change in the semiarid Mallee system in Southeastern Australia. *Global Change Biology*, vol. 16, no. 9, p. 2407-2419. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02161.x>

HAYGARTH, P. M; SHARPLEY, A. N. (2000). Terminology for phosphorus transfer. *Journal of environmental quality*, 29(1), 10-15.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (IBGE). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/>. Acesso em julho de 2013.

JARI OKSANEN, F. GUILLAUME BLANCHET, ROELAND KINDT, PIERRE LEGENDRE, PETER R. MINCHIN, R. B. O'HARA, GAVIN L. SIMPSON, PETER SOLYMOS, M. HENRY H. STEVENS AND HELENE WAGNER. 2012. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.0-7. 2013. <http://CRAN.Rproject.org/package=vegan> BARBOSA, J.E.L *et al.* Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 24, n. 1, p. 103-118.

LEEMANS, R. and KLEIDON, A. 2002. Regional and global assessment of the dimensions of desertification. In REYNOLDS, JF. and SMITH, DMS., eds. *Global desertification: do humans cause deserts*. Berlin: Dahlem University Press. p. 215-231.

MAMEDE, G. L; ARAUJO, J. C; MEDEIROS, P. H. A. 2009. Modelagem hidrossedimentológica de pequenos reservatórios da bacia hidrográfica do Benguê. In: Carlos Nobuyoshi Ide; Luiz Augusto Araújo do Val; Maria Lúcia Ribeiro. Produção de sedimentos e seus impactos ambientais, sociais e econômicos. Campo Grande: *Editora Oeste*, 2009, v. , p. 393-410.

MEIRELES, A. C. M; FRISCHKORN, H; ANDRADE, E. C. 2007. Sazonalidade da qualidade das águas do açude Edson Queiroz, bacia do Acaraú, no Semi-Árido cearense. *Revista Ciência Agronômica* 38(1): 25-31.

NASELLI-FLORES, L; BARONE, R. 2005. Water-level fluctuations in Mediterranean reservoirs: setting a dewatering threshold as a management tool to improve water quality. *Hydrobiologia* 548, pp. 85 – 99.

PARAÍBA, Secretaria de Planejamento. 1997. “ Avaliação da infra-estrutura hídrica e do suporte para o sistema de gerenciamento de recursos hídricos do estado da Paraíba”. João Pessoa,. 44p.

PIMM, SL. 2001. *The world according to Pimm: A scientist audits the earth*. Chicago: McGraw-Hill. 287 p. <http://dx.doi.org/10.1038/35079206>

PINTO-COELHO, R; PINEL-ALLOUL, B; MÉTHOT, G; HAVENS, K. E. 2005. Crustacean zooplankton in lakes and reservoirs of temperate and tropical regions: variation with trophic status. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62(2), 348-361.

REYNOLDS, C. S; USHER, M; SAUNDERS, D., DOBSON, A; PEET, R; ADAM, P; RICHARDSON, D. 2006. *Ecology of phytoplankton* (Vol. 535). Cambridge: Cambridge University Press.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2014. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>

SANTOS, J. C. N. D; PALÁCIO, H. A. D. Q; ANDRADE, E. M. D; MEIRELES, A. C. M; ARAÚJO NETO, J. R. D. 2011. Runoff and soil and nutrient losses in semiarid uncultivated fields. *Revista Ciência Agronômica*, 42(3), 813-820.

SILVA, V. D. P. R; PEREIRA, E. R. R; ALMEIDA, R. S. R. 2012. Estudo da Variabilidade Anual e Intra-Anual da Precipitação na Região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 27(2), 163-172.

SOARES, M. C. S; MARINHO, M. M; AZEVEDO, S. M; BRANCO, C. W; HUSZAR, V. L. 2012. Eutrophication and retention time affecting spatial heterogeneity in a tropical reservoir. *Limnologia-Ecology and Management of Inland Waters*, 42(3), 197-203.

SOUZA FILHO, F. A. 2011. A política nacional de recursos hídricos: Desafios para sua implantação no semiárido brasileiro. *Recursos hídricos em regiões áridas e semi-áridas*. In: Medeiros, S. S ; Gheyi, H. R; Galvão, C. O; Paz, V. P. S. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido (INSA),.440 p.

THORNTON, J.A; RAST, W. 1993. A test of hypotheses relating to the comparative limnology and assessment of eutrophication in semi-arid man-made lakes, in Straskraba, M., Tundisi, J.G., and Duncan, A., *Comparative reservoir limnology and water quality management, developments in hydrobiology 77*: Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, p. 1–24.

TUNDISI, J. G; MATSUMURA-TUNDISI, T; ROCHA. O. 1999. Theoretical basis for reservoir management, pp. 505-528. In: J. G. Tundisi & M. Straškraba (eds.), *Theoretical reservoir ecology and its applications*. International Institute of Ecology/Backhuys Publishers, São Carlos, 592p.

TUNDISI, J. G. 2003. *Água no século XXI: enfrentando a escassez*. Rima.

TUNDISI, J.G. 2005. *Água no século XXI: enfrentando a escassez*. 2.ed. São Carlos: Rima, IIE, 248p.

VOLLENWEIDER, R. A. 1975. Input-out models with special reference to the phosphorus loading concept in limnology: *Swiss Journal of Hydrology*, v. 37, no. 1, p. 53-84. in Litke D. W. 1999. *Review of Phosphorus Control Measures in the United States and Their Effects on Water Quality* . Denver, Colorado. p 38.

VON SPERLING, M. (1998). Análise dos padrões brasileiros de qualidade de corpos d'água e de lançamento de efluentes líquidos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 3(1), 111-132.

WETZEL, R. G; LIKENS, G.1991. *Limnological Analyses*. Springer-Verlag, New York, 391p