



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
DOUTORADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE  
LINHA DE PESQUISA: PLANEJAMENTO E GESTÃO DE ZONAS SEMIÁRIDAS E  
ECOSSISTEMAS LIMÍTROFES

**IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
PARAÍBA DECORRENTES DO USO DO SOLO E DA TRANSPOSIÇÃO DO RIO  
SÃO FRANCISCO**

ALINNE GURJÃO DE OLIVEIRA

Orientadora: Dra. Maria Cristina Crispim Basílio da Silva

Co-orientador: Dr. Tarciso Cabral da Silva

JOÃO PESSOA, PB

2018

ALINNE GURJÃO DE OLIVEIRA

**IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
PARAÍBA DECORRENTES DO USO DO SOLO E DA TRANSPOSIÇÃO DO RIO  
SÃO FRANCISCO**

Tese apresentada ao Colegiado do Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Associação em Rede Plena (UFC, UFPI, UFRN, UFPB, UFPE, UFS, UESC) como requisito para a obtenção do título de Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadora: Dra. Maria Cristina Crispim Basílio da Silva

Co-orientador: Dr. Tarciso Cabral da Silva

**JOÃO PESSOA – PB**

**2018**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

O48i Oliveira, Alinne Gurjão de.  
Impactos ambientais e sociais na bacia hidrográfica do Rio Paraíba decorrentes do uso do solo e da transposição do Rio São Francisco / Alinne Gurjão de Oliveira. - João Pessoa, 2018.  
214 f. : il.

Orientação: Maria Cristina Crispim Basílio da Silva.  
Coorientação: Tarciso Cabral Silva.  
Tese (Doutorado) - UFPB/CCEN.

1. Qualidade de Água. 2. Impactos ambientais. 3. Impactos Sociais. I. Silva, Maria Cristina Crispim Basílio da. II. Silva, Tarciso Cabral. III. Título.

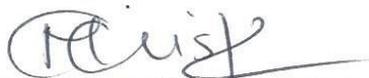
UFPB/BC

ALINNE GURJÃO DE OLIVEIRA

**IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
PARAÍBA DECORRENTES DO USO DO SOLO E DA TRANSPOSIÇÃO DO RIO  
SÃO FRANCISCO**

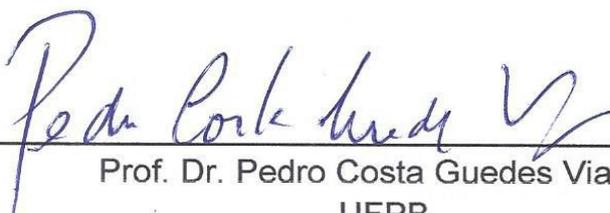
Tese apresentada ao Colegiado do Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Associação em Rede Plena (UFC, UFPI, UFRN, UFPB, UFPE, UFS, UESC) como requisito para a obtenção do título de Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente aprovada em sessão pública de defesa realizada neste dia.

João Pessoa, 29/08/2018



---

Profa. Dra. Maria Cristina Crispim Basílio da Silva  
UFPB (Orientadora)



---

Prof. Dr. Pedro Costa Guedes Vianna  
UFPB

---

Prof. Dr. Hamilcar José Almeida Filgueira  
UFPB

---

Profa. Raquel Franco de Souza UESC  
UFRN

---

Profa. Dra. Ana Lúcia Vendel  
UEPB

À minha família.  
Adelson e Eulalia – Meus pais.  
Elaine e Gurjão Neto – Irmãos.  
À minha voinha – Edith (em memória)  
Pelo apoio, educação, amor e carinho.  
Dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

**A Deus, pela vida e todas as possibilidades ofertadas.**

**À minha família e amigos, pelo amor, apoio, compreensão e dedicação por toda a minha vida.**

**À UFPB e ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA por proporcionar esta formação profissional.**

**À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa.**

**À Professora Cristina Crispim, pela orientação e participação neste trabalho, pela paciência, colaboração e ensinamentos que me ajudaram para o amadurecimento profissional.**

**Ao Professor Tarciso Cabral pela co-orientação e contribuições no desenvolvimento deste trabalho.**

**Aos professores Ana Vendel, Raquel, Hamilcar e Pedro pela participação na banca de defesa final e por todas as considerações feitas.**

**A todos que fazer parte do Laboratório de Ecologia Aquática – LABEA, principalmente Danielle Machado, Sérgio, Lucas, Flávia e Kalina, pela ajuda ofertada durante as coletas e análise da qualidade da águas. Companhias sempre bem vindas!**

**A Inácio, meu amor, por todo o companheirismo e amor dedicados. Te amo!**

**Enfim, a todos que de forma direta ou indireta, colaboraram com este trabalho.**

**Muito obrigada!**

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi identificar os impactos ambientais e sociais na bacia do Rio Paraíba decorrentes do uso do solo e da transposição do Rio São Francisco, que geram impactos à qualidade das águas, propondo ações que possibilitem o gerenciamento adequado dos recursos hídricos. Para a identificação dos impactos foram realizadas entrevistas semi-estruturadas com gestores das prefeituras e população que vive nas áreas próximas ao Rio Paraíba. As análises da qualidade das águas foram realizadas em 12 pontos amostrais, correspondendo a 4 açudes e 8 pontos no leito do rio, entre março de 2016 e janeiro de 2017. Após a transposição do Rio São Francisco, as coletas foram realizadas nos 3 açudes que começaram a receber as águas do Rio São Francisco, em maio e julho de 2017. Foram identificados vários impactos de origem rural e urbana, sendo o primeiro principalmente em relação aos usos indiscriminados de fertilizantes e agrotóxicos. Para o meio urbano destacou-se o lançamento de efluentes domésticos, resultado da ausência ou insuficiência dos sistemas de coleta e tratamento de efluentes. Em relação à qualidade da água, os reservatórios Camalaú e Presidente Epitácio Pessoa apresentaram melhor qualidade, associada à elevada transparência da água, à presença de macrófitas submersas e do peixe tucunaré (*Cichla ocellaris*). Para os pontos localizados no leito do rio, ficou evidente a interferência das cidades; após as aglomerações urbanas, a água apresentou qualidade inferior àquela coletada antes do rio atravessar a cidade. A transposição das águas do Rio São Francisco para o Rio Paraíba tem alterado a qualidade das águas nos reservatórios. Foi observado o aumento na concentração de nutrientes, principalmente Fósforo Total, Fosfato e Amônia nos três açudes estudados, de Nitrato no Açude Poções e de Nitrito no Epitácio Pessoa. O aumento dos volumes de águas nos açudes não proporcionou, durante o estudo, melhoria dos Índices de Estado Trófico observados nos açudes antes da transposição. E, ainda que durante as obras da Transposição tenham sido gerados impactos negativos, a chegada das águas à Paraíba reacendeu a esperança da população que depende das águas do rio, destacando-se a necessidade de uma boa gestão das águas na região.

**Palavras-chave:** Qualidade de água, Impactos ambientais, Impactos sociais.

## ABSTRACT

The objective of this work was to identify the environmental and social impacts in the Paraíba River basin due to the use of the soil and the transposition of the São Francisco River, which generate impacts to water quality, proposing actions that allow adequate management of water resources. For the identification of impacts, semi-structured interviews were conducted with municipalities managers and population living in areas near the Paraíba river. The water quality analyzes were performed in 12 sampling points, corresponding to 4 reservoirs and 8 points in the river channel, between March 2016 and January 2017, and May and July 2017, after the transposition of the waters of the São Francisco river. Several impacts of rural and urban origin were identified, the first being mainly related to the use of indiscriminate fertilizers and agrochemicals. For the urban environment was highlighted the release of domestic effluents, resulting from the absence or insufficiency of effluent collection and treatment systems. Regarding water quality, the Camalaú and Epitácio Pessoa reservoirs presented higher water quality, which were associated to the high transparency of the water, the presence of submerged macrophytes and the tucunaré fish. For the points located in the river bed, it was evident the interference of the cities, after the urban agglomerations, the water presented inferior quality to water collected before the river to cross the city. The transposition of the waters of the São Francisco river to the Paraíba River has altered the quality of the water in the reservoirs. It was observed the increase in nutrient concentration, mainly Total Phosphorus, Phosphate and Ammonia in the three studied reservoirs, Nitrate in Potions Reservoir and Nitrite in Epitácio Pessoa Reservoir. The increase in the water volumes in the dams did not, during the study, improve the Indexes of Trophic States observed in the dams before transposition. Even though during the Transposition works, negative impacts were generated, the arrival of the waters in Paraíba rekindled the hope of the population that depends on the waters of the river, highlighting the need for good management to this resource in the region.

**Keywords:** Water quality, Environmental impacts, Social impacts.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Eixos Norte e Leste do Projeto de Integração do São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – PISF.....	28
Figura 2 -	Esquema de um Tanque de Evapotranspiração.....	52
Figura 3 -	Estruturas flutuantes, usando plástico como fixador de biofilme, aplicado no Açude Taperoá.....	53
Figura 4 -	Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba e dos pontos de amostragem.....	58
Figura 5 -	Estação de Tratamento de Esgoto – ETE na cidade de Monteiro – PB.....	93
Figura 6 -	Retirada de água em caminhões pipa no Açude Camalaú/PB.....	94
Figura 7 -	Escoamento de águas cinzas no meio das ruas nos municípios de Monteiro (A), Camalaú (B), Salgado de São Félix (C) e Bayeux (D). 2016.....	96
Figura 8 -	Açude Poções com água característica e peixes mortos.....	96
Figura 9 -	Disposição Inadequada de resíduos sólidos na cidade de Itabaiana – PB.....	98
Figura 10 -	Agricultura familiar desenvolvida no município de Monteiro (A) e Mercado da Agricultura Familiar no município de Monteiro (B). Abril de 2017.....	99
Figura 11 -	Agricultura familiar desenvolvida no Assentamento Beira Rio, Camalaú/PB, julho de 2016 (A). Cultivo de hortaliças utilizado água de tanques de cultivo de tilápia, Camalaú/PB, julho de 2016 (B).....	101
Figura 12 -	Agricultura familiar desenvolvida nas margens do Açude Epitácio Pessoa, Boqueirão/PB. (A); Agricultura orgânica desenvolvida no município de Itatuba/PB. Agosto de 2017 (B).....	102
Figura 13 -	Cultivos de Cana-de-açúcar em Cruz do Espírito Santo/PB (A) e Santa Rita/PB (B).....	103
Figura 14 -	Criação de animais ao longo da bacia do Rio Paraíba.....	104
Figura 15 -	Biodigestor em operação em Monteiro/PB e utilização do biogás para a chama do fogão. Agosto de 2017.....	105
Figura 16 -	Colônia de pescadores e agricultores (A); tanques-rede no açude Camalaú (B); tanque escavado em Camalaú (C); agricultura familiar irrigada com água dos tanques, em Camalaú (D).....	106
Figura 17 -	Beneficiamento do pescado no município de Camalaú.....	107
Figura 18 -	Retirada de areia do leito do Rio Paraíba, no município de Santa Rita – PB.....	108
Figura 19 -	Fábrica de sabão e velas no município de Itabaiana – PB.....	109
Figura 20 -	Saída de água dos Açudes Poções em Monteiro/PB (A) e Camalau em Camalaú/PB (B).....	110

Figura 21 - Agrovila Lafayett, Monteiro/PB.....	111
Figura 22 - Obras da Trasposição do Rio São Francisco no município de Monteiro/PB, evidenciando os processos erosivos nos canais (C e D).....	113
Figura 23 - Círculo de Bananeiras (A) e Tanque de Evapotranspiração (Fossa Ecológica) (B) em João Pessoa/PB.....	128
Figura 24 - Tanque de cultivo de peixe e utilização de fertirrigação com águas dos tanques.....	133
Figura 25 - Estruturas flutuantes, utilizando plástico como fixador de biofilme, aplicado no Açude Taperoá.....	134
Figura 26 - Biodigestor em operação em Monteiro/PB e utilização do biogás para a chama do fogão. Agosto de 2017.....	136
Figura 27 - Precipitação acumulada entre 2011-2017 nos pontos analisados no Rio Paraíba, de 2011 até o mês de julho de 2017.....	151
Figura 28 - Variações observadas nas precipitações e nos volumes dos reservatório monitorados (P1 - Poções; P2 - Camalaú; P3 – Presidente Epitácio Pessoa; P4 - Argemiro de Figueiredo) no período de março de 2016 a janeiro de 2017.....	152
Figura 29 - Variações observadas nas precipitações nos pontos P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11 e P12, localizados no baixo curso do Rio Paraíba, no período de março de 2016 a janeiro de 2017.....	153
Figura 30 - Temperatura, profundidade do Disco de Scchi, pH e OD e nos P1 (açude Poções), P2 (açude Camalaú), P3 (açude Presidente Epitácio Pessoa) e P4 (açude Argemiro de Figueiredo) no período de março de 2016 a janeiro de 2017.....	155
Figura 31 - Amônia, nitrito, nitrato, fosfato, fósforo total e clorofila – a nos P1 (açude Poções), P2 (açude Camalaú), P3 (açude Presidente Epitácio Pessoa) e P4 (açude Argemiro de Figueiredo) na bacia hidrográfica do Rio Paraíba, no período de março de 2016 a janeiro de 2017.....	157
Figura 32 - Índice de Estado Trófico, nos pontos P1(açude Poções), P2 (açude Camalaú), P3 (açude Presidente Epitácio Pessoa) e P4 (açude Argemiro de Figueiredo), no período de março de 2016 a janeiro de 2017.....	158
Figura 33 - Temperatura, pH, Oxigênio Dissolvido nos pontos estudados no Rio Paraíba, P5 – P12, no período de março de 2016 a janeiro de 2017.....	159
Figura 34 - Amônia, nitrito, nitrato, fosfato, fósforo total e clorofila – a nos pontos estudados no Rio Paraíba P5 – P12, no período de março de 2016 a janeiro de 2017.....	161
Figura 35 - Índice de Estados Tróficos nos pontos P5-P8 na bacia hidrográfica do Rio Paraíba, no período de março de 2016 a janeiro de 2017.....	162
Figura 36 - Índice de Estados Tróficos nos pontos P9-P12 na bacia hidrográfica do Rio Paraíba, no período de março de 2016 a janeiro de 2017.....	162
Figura 37 - ACP dos pontos de coleta nas primeiras duas componentes da PCA, aplicada a parâmetros físico-químicos e biológicos na bacia hidrográfica do Rio Paraíba, no período de março de 2016	

	a janeiro de 2017.....	164
Figura 38 -	Macrófitas submersas nos pontos P1 e P3, açude Camalaú (A) e açude Presidente Epitácio Pessoa (B) em maio de 2016.....	168
Figura 39 -	Macrófitas no leito do Rio Paraíba.....	172
Figura 40 -	Lançamento de efluentes nas ruas de Bayeux (A) (outubro de 2016) e Itabaiana (B) (agosto de 2017), próximas ao Rio Paraíba.....	173
Figura 41 -	Volume armazenado (A); Temperatura (B); pH (C); Oxigênio Dissolvido (D), Transparência (E) e Condutividade Elétrica (F) no P1 – açude Poções, P2 – açude Camalaú e P3 – açude Presidente Epitácio Pessoa, antes da transposição (AT) (maio e julho de 2016) e depois da transposição (DT) das águas (maio e julho de 2017).....	185
Figura 42 -	Fósforo total (A), fosfato (B), amônia (C), nitrato (D), nitrito (E) e clorofila-a (F) nos açudes Poções – P1, Camalaú – P2 e Presidente Epitácio Pessoa – P3, antes da transposição (AT) (maio e julho de 2016) e depois da transposição (DT) das águas (maio e julho de 2017).....	187
Figura 43 -	Índices de Estados Tróficos (IETs) dos açudes Poções – P1, Camalaú – P2 e Presidente Epitácio Pessoa – P3, antes da transposição (AT) (maio e julho de 2016) e depois da transposição (DT) das águas (maio e julho de 2017).....	189
Figura 44 -	Ordenação espacial dos pontos de coleta P1 (açude Poções), P2 (açude Camalaú) e P3 (açude Presidente Epitácio Pessoa), aplicada a parâmetros físico-químicos e biológicos, realizados antes (A) e depois (D) da transposição, nos meses de maio (M) e julho (J) de 2016 e 2017.....	190
Figura 45 -	Macrófitas submersas nos açudes Camalaú – P2 e Presidente Epitácio Pessoa – P3, antes da transposição (A e B) e após a transposição (C e D), respectivamente.....	196

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Local, problemas observados e principais intervenções em cursos d'água em ambientes internacionais.....	49
Quadro 2 - Local, problemas observados e principais intervenções em cursos d'água em ambientes nacionais.....	50
Quadro 3 - Medidas de intervenção adotadas para revitalização de corpos d'água.....	51
Quadro 4 - Identificação dos pontos de coleta e respectivas localizações na bacia hidrográfica do Rio Paraíba – PB.....	57
Quadro 5 - Parâmetros de análise de qualidade da água e respectivos métodos de análises.....	67
Quadro 6 - Caracterização do uso do solo, principais impactos e expectativas em relação à transposição do rio São Francisco na bacia hidrográfica do Rio Paraíba.....	88
Quadro 7 - Os principais impactos e consequências ambientais identificados nos municípios situados próximos ao Rio Paraíba.....	125

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores máximos de alguns parâmetros estabelecidos pela CONAMA 357/2005 para as Classes de água 1, 2 e 3, destinadas a consumo humano.....	37
Tabela 2 - Caracterização dos reservatórios estudados na bacia do Rio Paraíba – PB.....	59
Tabela 3 - IET e equivalência com medidas de fósforo total, e clorofila-a em rios, segundo Carlson (1977) e Lamparelli (2004).....	69
Tabela 4 - IET e equivalência com medidas de fósforo total, clorofila a e transparência em reservatórios, segundo Carlson (1977) e Lamparelli (2004).....	70
Tabela 5 - Área total e população residente nos municípios localizados Próximos ao leito do Rio Paraíba.....	91

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>15</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>19</b>
2.1 Geral.....	19
2.2 Específicos.....	19
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>20</b>
3.1 A Água e o Semiárido Nordeste.....	20
3.2 A Convivência com a seca no Semiárido Nordeste.....	21
3.3 O Projeto de Integração das Águas do Rio São Francisco - PISF.....	25
3.4 Os Recursos Hídricos no Estado da Paraíba – O Rio Paraíba.....	29
3.5 Gestão de Recursos Hídricos – A Bacia Hidrográfica como Unidade de Gestão.....	30
3.6 Gestão de Recursos Hídricos – A atuação dos Comitês de Bacias Hidrográficas.....	32
3.7 Uso e Ocupação dos Solos e a Qualidade das Águas em Bacias Hidrográficas.....	33
3.8 Padrões de Qualidade e Monitoramento de Águas em Bacias Hidrográficas. ....	36
3.9 Significado Ambiental de Parâmetros Físicos e Químicos do Monitoramento da Qualidade de Água em Bacias Hidrográficas.....	39
3.10 Monitoramento Biológico em Bacias Hidrográficas.....	43
3.11 Revitalização de cursos d'água: intervenções adotadas em corpos d'água no Brasil e no mundo.....	45
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>55</b>
4.1 Área de Estudo.....	55
4.1.1 A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.....	55
4.1.2 Região do Alto Curso do Rio Paraíba.....	59
4.1.3 Região do Médio Curso do Rio Paraíba.....	63
4.1.4 Região do Baixo Curso do Rio Paraíba.....	64
4.2 Levantamento de Dados.....	65
4.3. Atividade de Campo e Coleta de Amostras.....	66
4.4. Parâmetros Analisados.....	67
4.5. Análises Estatísticas.....	70

<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>71</b>
<b>5 Capítulo 1 – DIAGNÓSTICO DO USO DO SOLO NAS MARGENS DO RIO PARAÍBA: IMPACTOS POTENCIAIS SOBRE AS ÁGUAS.....</b>	<b>82</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>82</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>83</b>
<b>5.1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>84</b>
<b>5.2 METODOLOGIA.....</b>	<b>86</b>
<b>5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>87</b>
<b>5.4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>114</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>115</b>
<b>6 Capítulo 2 - PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....</b>	<b>119</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>119</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>120</b>
<b>6.1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>121</b>
<b>6.2 METODOLOGIA.....</b>	<b>123</b>
<b>6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>124</b>
<b>6.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>140</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>141</b>
<b>7 Capítulo 3 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA.....</b>	<b>146</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>146</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>147</b>
<b>7.1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>148</b>
<b>7.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>150</b>
<b>7.3 RESULTADOS .....</b>	<b>151</b>
<b>7.4 DISCUSSÃO.....</b>	<b>168</b>
<b>7.5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>176</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>177</b>

<b>8 Capítulo 4 – IMPACTO DO RIO SÃO FRANCISCO NA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO PARAÍBA APÓS A TRANSPOSIÇÃO FRANCISCO.....</b>	<b>180</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>180</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>181</b>
<b>8.1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>182</b>
<b>8.2 METODOLOGIA.....</b>	<b>184</b>
<b>8.3 RESULTADOS.....</b>	<b>185</b>
<b>8.4 DISCUSSÃO.....</b>	<b>192</b>
<b>8.5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>198</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>200</b>
<b>9 DISCUSSÃO GERAL.....</b>	<b>203</b>
<b>10 CONCLUSÃO GERAL.....</b>	<b>207</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>211</b>
<b>APÊNDICE A – Roteiro das Entrevistas.....</b>	<b>212</b>
<b>APÊNDICE B - Modelo do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....</b>	<b>214</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Recurso natural vital, a água está presente em diversos processos físicos, químicos e biológicos. Deste modo, a disponibilidade de água com boa qualidade é indispensável à vida de diferentes seres que habitam o planeta, ao desenvolvimento das populações humanas, bem como para o desenvolvimento econômico de uma região.

Apesar de importantes para a manutenção da vida, os sistemas aquáticos vêm sofrendo um processo acelerado de deterioração, comprometendo a qualidade do recurso já escasso, uma vez que, segundo Araújo et al. (2009), grande parte da água doce do planeta apresenta algum tipo de contaminação, que pode acarretar efeitos nocivos para a população em geral.

Algumas regiões do mundo são marcadas por um baixo índice pluviométrico, como o Nordeste do Brasil, que tem a maior parte de sua área no semiárido. Nessas áreas, as condições físicas e climáticas conduzem à formação de uma rede hidrográfica constituída por rios intermitentes (MELO et al., 2012). Associado a isto, o crescimento das demandas localizadas e a degradação da qualidade das águas, decorrente dos diversos usos das bacias hidrográficas, intensificam os problemas de abastecimento de água nessa região (SOUZA et al., 2014).

A necessidade de aumentar a disponibilidade de água para satisfazer as demandas humanas, faz com que, em todo o mundo, os sistemas hidrológicos sejam alterados (PETESSE et al., 2014), sendo a construção de barragens para a criação de reservatórios de água doce, uma das opções mais recorrentes (MORAES et al., 2009; BEZERRA et al., 2014). Essa prática é comum na região semiárida do Nordeste do Brasil, que apresenta um grande número de reservatórios, construídos para minimizar os efeitos da irregularidade pluviométrica e da baixa disponibilidade de água (ALMEIDA et al., 2009). A água destes ambientes é destinada a diversos usos, entre eles, o consumo humano, industrial, animal, irrigação e piscicultura (LIMA et al., 2012), constituindo-se em elementos fundamentais para o desenvolvimento econômico e social da região.

Para Bucci e Oliveira (2014) a formação de barragens é muitas vezes indispensável para suprir as demandas de água de uma região, mas os autores ressaltam que, a formação do lago do reservatório acarreta em uma série de impactos nos ecossistemas naturais, com a transformação de ambientes lóticos em lênticos, podendo alterar o comportamento natural dos rios e sua qualidade hídrica.

Entretanto, embora artificiais, os reservatórios contribuem para a conservação da biodiversidade local, sendo considerados importantes refúgios para diversas espécies (AZEVEDO et al., 2015), além de permitir a utilização de suas águas por longos períodos de tempo. Dessa forma, apesar de criticados por alguns autores, a situação do nordestino seria inviável na região sem a existência desses reservatórios de água.

Rios e reservatórios podem ser importantes para detectar os impactos das atividades humanas, pois sofrem a influência do uso e ocupação do solo no entorno de suas bacias de drenagem, que produzem alterações contínuas nas características físicas, químicas e biológicas da água (TUNDISI et al., 1999; SOUZA et al., 2014). Com o desenvolvimento social e econômico, intensificam-se os impactos das atividades humanas sobre os rios, podendo ocasionar a eutrofização acelerada, a degradação da qualidade da água, diminuição da disponibilidade do recurso, perda da biodiversidade, alteração do transporte fluvial e a deterioração da pesca (BUZELLI e CUNHA-SANTINO, 2013; SOUZA et al., 2014; BUCCI e OLIVEIRA, 2014).

O comprometimento da qualidade das águas dos rios é um dos maiores problemas da atualidade. Os estudos limnológicos regulares são fundamentais para a avaliação dos impactos da poluição nos rios, podendo detectar os processos de eutrofização, a diminuição da qualidade da água e as principais fontes de poluentes (GARCIA et al., 2012). Para Barinova et al. (2016) estudos como esses devem basear-se nas relações entre água e biota, utilizando-se organismos como bioindicadores de impactos de poluição, visto que estes apresentam um efeito cumulativo dessas condições, ao contrário de alguns parâmetros físicos e químicos, que apresentam alterações em pouco tempo.

O conhecimento da estrutura de comunidades planctônicas e de suas inter-relações subsidia um diagnóstico mais acurado sobre a qualidade da água e a oferta de usos múltiplos de um manancial (SANT'ANNA et al., 2013). A diversidade, abundância e distribuição desses organismos estão relacionadas com as características adaptativas dos mesmos ao meio (DANTAS et al., 2009). Alteração no estado trófico pode refletir-se em mudanças rápidas nas comunidades planctônicas, que reorganizam rapidamente o ecossistema e são de grande importância na estrutura das cadeias tróficas de ambientes continentais (ALMEIDA et al., 2012; GERALDS e GEORGE, 2012).

O monitoramento de ecossistemas aquáticos é uma importante ferramenta para a gestão ambiental, pois fornece informações que contribuem para diagnosticar a qualidade das águas e para a identificação dos impactos responsáveis pela degradação dos recursos hídricos (BUZELLI e CUNHA-SANTINO, 2013). Torna-se imprescindível, principalmente, nas regiões onde a água é um recurso naturalmente escasso, como exemplo no semiárido do estado da Paraíba, no Nordeste do Brasil.

O estado da Paraíba, que sofre com longos períodos de estiagem, é um dos Estados que recebe as águas da transposição do Rio São Francisco, integrando-o às bacias hidrográficas dos rios Paraíba (Eixo Leste do Projeto) e Piranhas (Eixo Norte do Projeto), aumentando a oferta de água na região. Ainda com o aumento dessa oferta de água, é consensual a necessidade do desenvolvimento de ações direcionadas para a gestão eficiente desse recurso, tornando-se essencial o conhecimento dos usos e ocupação da bacia hidrográfica, e de suas características físicas, químicas e biológicas como parâmetros de acompanhamento da qualidade das águas. Dessa forma, com o início do aporte de águas advindo da transposição na Paraíba, já é possível identificar os impactos, seja na qualidade de água, seja em parte da biodiversidade.

A realização do presente estudo na bacia hidrográfica do Rio Paraíba apresenta relevância científica, ambiental, social e econômica. A região estudada passou por um período crítico de escassez hídrica, resultado de um dos mais longos períodos de seca observados nos últimos 100 anos (2011 - 2017). No auge dessa crise hídrica iniciou-se o aporte de águas do Rio São Francisco para o Rio Paraíba, no mês de março de 2017, reabastecendo os reservatórios que estavam com níveis muito baixos de água ou completamente secos, disponibilizando água para as populações e seus diversos usos, alterando a dinâmica e a paisagem dos ambientes. Deste modo, o presente trabalho possibilita a análise das primeiras alterações advindas do aporte das novas águas ao estado da Paraíba, seja relacionado com aspectos ambientais ou sociais.

Os estudos limnológicos contribuirão para a ampliação do conhecimento científico sobre as variáveis estudadas na região; e para a compreensão e diagnóstico dos processos que ocorrem no ambiente aquático e na bacia de drenagem, que interferem na qualidade da água, possibilitando o melhor manejo e conservação do recurso hídrico, que possa garantir quantidade e qualidade para os diversos usos.

Diante da problemática evidenciada e da necessidade de gerenciamento eficiente dos recursos hídricos, algumas hipóteses motivaram a realização do presente trabalho:

Hipótese 1: As águas do Rio Paraíba apresentam qualidade comprometida, em desacordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, prejudicando a possibilidade dos usos múltiplos das águas e comprometendo a qualidade dos ecossistemas.

Hipótese 2: Apesar da poluição difusa gerada por atividades agropecuárias, as cidades constituem a principal fonte de impactos à qualidade da água do Rio Paraíba.

Hipótese 3: A transposição do Rio São Francisco e o aporte de grande volume de água para o Rio Paraíba proporcionarão a melhoria da qualidade da água.

Para a melhor apresentação do estudo destas hipóteses e dos objetivos elencados posteriormente, o presente trabalho foi assim estruturado:

- Introdução, Referencial Teórico, Objetivos e Metodologia gerais;
- Quatro capítulos com a apresentação dos resultados obtidos:
  - 1 - Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Rio Paraíba: impactos potenciais sobre as águas.
  - 2 - Práticas sustentáveis para uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba: uma contribuição para o desenvolvimento sustentável.
  - 3 - Avaliação da qualidade da água no Rio Paraíba.
  - 4 - Impactos do Rio São Francisco na qualidade das águas do Rio Paraíba após a transposição.
- Discussão Geral
- Conclusão Geral

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Avaliar os impactos ambientais e sociais na bacia hidrográfica do Rio Paraíba decorrentes do uso do solo e da transposição do Rio São Francisco, propondo ações que possibilitem o gerenciamento adequado dos recursos hídricos.

### **2.2 Específicos**

1. Caracterizar física e quimicamente as águas do Rio Paraíba, analisando a sua adequação à legislação vigente;
2. Diagnosticar as principais fontes de nutrientes e poluição das águas do Rio Paraíba que comprometam a sua qualidade;
- 3 Avaliar o impacto das cidades localizadas próximas ao leito do Rio Paraíba, na qualidade de suas águas;
4. Identificar alternativas de baixo custo para minimizar impactos observados nas áreas próximas ao Rio Paraíba;
5. Avaliar a qualidade a água do Rio Paraíba e estimar o seu estado trófico;
6. Avaliar os impactos da transposição do Rio São Francisco na qualidade das águas e para as populações que residem nas áreas de interferência.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 A Água e o Semiárido Nordestino

O Brasil é considerado privilegiado em relação à disponibilidade de recursos hídricos, apresentando em seu território aproximadamente 12% de toda a água doce do mundo. Entretanto, esse recurso não é distribuído uniformemente em todo o país, existindo disparidades regionais: enquanto a região Norte apresenta grande oferta de água e baixa concentração populacional, a região Nordeste apresenta uma elevada concentração populacional, que sofre restrições hídricas severas (ANDRADE et al., 2011; VEIGA e MAGRINI, 2013; SILVA et al., 2014).

O Nordeste brasileiro dispõe de apenas 3% da reserva de água doce do país, e mais da metade do seu território tem clima semiárido (ROSSONI et al., 2013). Essa área é caracterizada por condições climáticas peculiares, com baixa precipitação pluviométrica em relação a outras regiões do país (ZANELLA, 2014). A estação chuvosa é irregular, tanto em quantidade quanto em distribuição, e concentrada entre dois e quatro meses por ano (ALMEIDA et al., 2013). Ainda assim, é considerada uma das regiões semiáridas mais chuvosas do planeta, com média anual de 750 mm de precipitação (ZANELLA, 2014) na região do sertão e de cerca de 300 mm por ano na região do cariri.

Segundo Alves et al. (2012), os recursos hídricos são escassos e mal distribuídos em virtude das condições climáticas e geológicas adversas existentes na região. Além da precipitação irregular e da elevada taxa de evapotranspiração, os solos são impermeáveis visto que cerca de 80% do território semiárido está sobre terreno cristalino (ZANELLA, 2014) o que dificulta a acumulação de águas subterrâneas, contribuindo para a deficiência hídrica observada (AZEVEDO et al., 2005).

Segundo Zanella (2014), rochas cristalinas são pouco porosas e a passagem de água só é possível por meio de fraturas nas mesmas, permitindo o acúmulo de água que pode ser utilizada pela população através da perfuração de poços. Desse modo, nem sempre é fácil encontrar água subterrânea e, muitas vezes, essa não apresenta qualidade para uso humano, em função, principalmente, da elevada concentração de sais.

Essa característica geológica dificulta a manutenção de uma rede hidrográfica perene, de modo que predominam no cenário semiárido, rios intermitentes, que

passam a maior parte do ano sem água (ARAÚJO NETO et al., 2017). Esse cenário de rios sem água, pode se prolongar por vários meses, dependendo do período de estiagem, especialmente em anos de El Niño. A manutenção das populações nessas áreas é dependente da capacidade de armazenamento e eficiência de gestão das águas no período seco.

Historicamente, a maior preocupação em relação à região Nordeste do país diz respeito à disponibilidade de água para a população. Desde o processo de colonização da região semiárida são desenvolvidos instrumentos que possibilitem o acúmulo de água para ser utilizada durante os meses de estiagem. Entretanto, em secas prolongadas, que perduram vários anos, esses instrumentos não são suficientes para a demanda requerida pelas populações, mesmo em condições de racionamento de água, tanto para comunidades rurais, quanto para as urbanas.

Ao longo dos anos a região Nordeste tem sofrido com períodos de estiagem prolongados, gerando diversos prejuízos de ordem ambiental, econômica e social (AZEVEDO et al., 2017). A maior seca registrada, entre 1877-1879, dizimou metade da população e quase todo o rebanho bovino. Depois de 1879, outras grandes secas se seguiram: 1900, 1915, 1919, 1932, 1958, 1979-83, 1987, 1990, 1992-93, 1997-98, 2002-03 (DENYS et al., 2016) e desde o ano de 2012 ao presente ano, 2017, sendo esta última considerada a maior seca dos últimos 100 anos.

A população residente em áreas semiáridas do Nordeste brasileiro tem uma relação muito sensível com a água. Por mais que estejam adaptadas a conviver em condições de escassez hídrica durante parte do ano, períodos mais prolongados de seca podem ter consequências severas, uma vez que essas populações já sofrem limitações em relação à disponibilidade de água. Em condições muito críticas, as famílias podem ficar sem água para atividades domésticas, água para os animais ou mesmo água de qualidade para beber.

Assim, há a necessidade crescente de alternativas para melhorar a disponibilidade e a gestão de águas nessas regiões, de modo a possibilitar melhores condições de vida e a permanência e desenvolvimento das populações no semiárido, com melhor qualidade de vida.

### **3.2 A Convivência com a Seca no Semiárido Nordestino**

A pouca disponibilidade de água na região semiárida é frequentemente apontada como uma das principais limitações ao desenvolvimento do nordeste brasileiro.

Segundo Dias et al. (2016) historicamente os modelos de desenvolvimento adotados para a região semiárida estiveram voltados, principalmente, para "combater a seca", deixando de lado a busca por alternativas para a gestão da água, adaptadas à realidade local, que pudessem permitir às pessoas lidar com esse fenômeno de modo mais eficiente.

Dentre todas as alternativas criadas para "combater as secas" periódicas na região, a que mais se propagou foi a construção de reservatórios superficiais (ARAÚJO et al., 2015). Segundo Zanella (2014) a construção dos primeiros açudes remonta ao século XIX, com maior expansão a partir da década de 60 do século XX. Desde então a presença de grande número de reservatórios, de pequeno ou grande porte, tornou-se comum no cenário nordestino, assumindo importante função em relação ao desenvolvimento econômico e social da região.

Segundo Krol et al. (2011) aumentar o número de reservatórios em nível regional é a maneira historicamente adotada para ampliar a disponibilidade de água na região semiárida, apesar de, segundo os autores, esta estratégia ser ineficaz, já que são muito sensíveis às mudanças climáticas.

Na região semiárida os reservatórios apresentam elevado tempo de residência de água em virtude da baixa precipitação na maior parte do ciclo hidrológico, que associado às elevadas temperaturas e elevadas taxas de evaporação resultam na concentração de nutrientes, tornando esses sistemas mais vulneráveis à eutrofização (BARBOSA et al., 2017). Isso pode comprometer a qualidade da água, diminuindo as possibilidades de seu aproveitamento e a qualidade dos ecossistemas, principalmente em períodos de estiagem, quando as cianobactérias se tornam mais abundantes, e estas são potencialmente produtoras de toxinas (VASCONCELOS et al., 2011).

Além de sofrer com as variações climáticas da região, os reservatórios estão sujeitos a uma intensa pressão de origem antrópica, em função dos seus diferentes usos (consumo humano, irrigação, recreação, pesca) além das alterações ocorridas na bacia de drenagem, que podem afetar os ecossistemas, diminuindo a biodiversidade local e a qualidade das águas (AZEVEDO et al., 2017).

Assim, ainda que seja uma alternativa amplamente adotada, em períodos de seca prolongada há tendência à diminuição da qualidade das águas armazenadas nos reservatórios, inviabilizando o seu uso, bem como, a dificuldade de suprir as diferentes demandas de água na região, visto que os pequenos e médios reservatórios frequentemente secam completamente, e apresentam cada vez menos capacidade de armazenamento, em virtude do assoreamento.

Além da construção de açudes, a utilização de águas de poços tubulares é bastante comum no Nordeste brasileiro. Entretanto, Zanella (2014) ressalta que a utilização de águas subterrâneas através da perfuração de poços é limitada devido à predominância do embasamento cristalino, além de que, frequentemente essas águas apresentam elevados teores de sais. Ademais, os custos de perfuração podem ser elevados, o que dificulta o acesso à água.

Apesar disso, segundo Soares (2013) estima-se que existam mais de 50 mil poços na região Nordeste, mas apenas 20 mil destes em funcionamento em virtude da qualidade da água imprópria para consumo, ou mesmo pela falta de equipamentos para realizar o bombeamento. As águas subterrâneas, no semiárido nordestino são raras e, geralmente, impróprias para consumo.

Em relação às águas de poços com elevados teores de sais, Zanella (2014) ressalta que por meio de ações governamentais federais e estaduais, inúmeras comunidades rurais vêm-se beneficiando do uso de dessalinizadores para a utilização dessas águas. Sabe-se, entretanto, que os custos de operação e manutenção desses equipamentos ainda são bastante elevados, e a sua utilização gera um rejeito com alta concentração de sais, que pode causar grande impacto ao meio ambiente se lançado diretamente ao solo ou aos corpos hídricos, o que de certa forma inviabiliza a utilização dessa técnica.

A partir da década de 90, com o surgimento da Articulação do Semiárido Brasileiro (ASA) consolidou-se uma nova política em relação ao semiárido, não mais de combate, mas de convivência com a seca. A ASA atua fomentando mecanismos capazes de proporcionar às famílias conviver de forma autônoma com as características de regiões semiáridas, principalmente, por meio do armazenamento de águas da chuva em cisternas de placas (DUTRA, 2017).

Nesta nova perspectiva foram elaborados programas governamentais baseados em Tecnologias Sociais Hídricas de baixo custo, por meio de iniciativas como o Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) e o Programa Uma Terra Duas

Águas (P1+2) (ARAÚJO et al., 2015). O P1MC tem o objetivo de beneficiar famílias rurais de baixa renda com dificuldade de acesso à água por meio da construção de cisternas de placas de argamassa, cimento e areia, para armazenamento da água da chuva, bem como proporcionar capacitação e formação para a convivência com o semiárido (MACHADO et al., 2017). O P1+2, nesta mesma perspectiva, objetiva o manejo sustentável de terra e de água suficientes para consumo humano e produção de alimentos de origem animal e vegetal para autoconsumo e geração de renda.

Entre as Tecnologias Sociais Hídricas existentes, a mais representativa no semiárido nordestino é a de cisterna de placas. A captação de água das chuvas para as cisternas de placas é realizada a partir dos telhados das residências. Este tipo de captação tem sido fundamental para o abastecimento das populações rurais do semiárido (ZANELLA, 2014), que não são atendidas por abastecimento público de água e residem, muitas vezes, distantes dos reservatórios. Para Dutra (2017) uma das principais características das tecnologias fomentadas pela ASA é a apropriação e replicação de tecnologias sociais, desenvolvidas em interação com a comunidade, possibilitando a autonomia das comunidades residentes nessas regiões.

A construção de cisternas de placas é bastante difundida, principalmente nas áreas rurais. A infraestrutura requerida gera impacto negativo praticamente nulo e gera um expressivo impacto social positivo (ANDRADE e NUNES, 2014), à medida que permite a captação de água de boa qualidade (chuvas) e a torna disponível no quintal das residências. Soares (2013) considera importante o aproveitamento das águas das chuvas e recomenda a utilização de cisternas para a acumulação dessas águas. Entretanto, reconhece que a tecnologia pode ser insuficiente em períodos prolongados de estiagem, quando muitas vezes as cisternas são abastecidas por carros pipa com águas provenientes de açudes próximos à região.

Uma alternativa mais complexa e controversa de “combate ou convivência com a seca” é o transporte de água de uma região com abundância para outra com escassez hídrica severa. Segundo Zanella (2014) este transporte de águas por meio de adutoras e canais existe em vários locais no semiárido nordestino, a exemplo do Canal da Integração no estado do Ceará, e a ampla rede de adutoras no Rio Grande do Norte, que permitem a distribuição de água para populações que estão distantes das fontes hídricas.

Para a região Nordeste do Brasil a transposição das águas do Rio São Francisco para as bacias hidrográficas dos rios intermitentes de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará, é apontada como solução para a escassez hídrica, gerando uma oferta exógena de água para suprir as demandas dessas regiões (BEZERRA et al., 2008). O Eixo Leste ainda está em desenvolvimento e o Eixo Norte ainda em construção. Estima-se que até o ano de 2025 proporcionem a oferta de água para aproximadamente 12 milhões de habitantes (ALVES et al., 2012). No momento, as águas da transposição já chegaram a Pernambuco e Paraíba, mas ainda não alcançaram o Rio Grande do Norte, nem o Ceará.

### **3.3 O Projeto de Integração das Águas do Rio São Francisco - PISF**

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. Segundo o Ministério da Integração Nacional é a maior obra de infraestrutura hídrica do País, com 477 quilômetros de extensão para garantir a segurança hídrica de 12 milhões de pessoas em 390 municípios nos estados de Pernambuco, Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba.

O Rio São Francisco é considerado um dos principais rios brasileiros de domínio público da União. Sua bacia hidrográfica estende-se por sete Unidades da Federação – Bahia (48,2%), Minas Gerais (36,8%), Pernambuco (10,9%), Alagoas (2,2%), Sergipe (1,2%), Goiás (0,5%) e Distrito Federal (0,2%) e 504 municípios (aproximadamente 9% do total de municípios do país) (CBHSF, 2015), constituindo-se em um dos principais cursos de água da região semiárida brasileira.

O projeto, que consiste em estender o escoamento das águas do Rio São Francisco, tem como objetivos básicos: aumentar a oferta de água nas bacias receptoras, fornecendo água de forma complementar para açudes existentes na região, para viabilizar a melhor gestão das águas; e reduzir as diferenças regionais causadas pela oferta desigual da água entre bacias hidrográficas e populações (BEZERRA et al., 2008).

Desde o início das obras, o PISF tem sido alvo de debates e controvérsias em relação à viabilidade do empreendimento. O projeto tem um apelo emocional muito grande, uma vez que objetiva levar a água, um item indispensável à vida e ao desenvolvimento, a uma população que sofre desde há muitos anos com períodos

severos de escassez. Então, desenvolveu-se uma expectativa muito grande pela população, para a chegada das águas do Rio São Francisco nas bacias hidrográficas receptoras.

Segundo Roman (2017), em geral a população residente nas bacias receptoras das águas é a favor do projeto, enquanto as que residem nas áreas da bacia hidrográfica doadora são contra. Entre os opositores à ideia da transposição, discute-se a interferência que a retirada das águas pode trazer para o Rio São Francisco, que atualmente sofre com problemas ambientais e escassez de água em diferentes pontos de sua bacia hidrográfica. Além disso, muitos alegam que as regiões que receberão as águas do Rio São Francisco, poderiam adotar alternativas menos dispendiosas e impactantes do que a transposição.

No Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) (BRASIL, 2004) do PISF foram identificados 44 impactos de ordem social, econômica e ambiental. Destes, 23 foram considerados de maior relevância (11 positivos e 12 negativos). Segundo o RIMA, a execução do projeto contribui para a geração de renda e melhoria da economia, com a geração de postos de trabalho na construção das obras; para o aumento da oferta hídrica para os meios urbano, rural e utilização agrícola, incentivando a permanência da população nessas áreas; e para a melhoria da qualidade de água e da saúde.

Durante a execução das obras previu-se a perda de emprego e renda em virtude das desapropriações, e a introdução de tensões e rupturas sociais pela não possibilidade de alocação de toda a população interessada em trabalhar nas obras. O RIMA ainda aponta como pontos negativos, a interferência nas populações indígenas e danos ao patrimônio cultural (como os sítios arqueológicos), além de vários impactos ambientais como a perda e fragmentação da vegetação nativa, perda dos habitats de fauna terrestre, a modificação das comunidades biológicas aquáticas, a introdução de espécies exóticas e a redução da biodiversidade.

Azevedo et al. (2005) e Lima (2010) afirmaram que os impactos negativos resultantes de transposições de bacias hidrográficas já são esperados, mesmo para aqueles casos considerados bem-sucedidos. Segundo o Ministério da Integração Nacional (MIN), alternativas à transposição foram avaliadas, mas esta foi eleita como a melhor opção para minimizar os efeitos da escassez hídrica no Nordeste.

Em relação aos impactos negativos observados, o MIN afirma que 10% dos investimentos do PISF são destinados a programas ambientais, correspondendo a mais de um bilhão de reais, direcionados a 38 programas que possibilitam o

conhecimento profundo da fauna e flora do bioma Caatinga, além de aspectos econômico-sociais e arqueológicos da região. Além disso, há um projeto de recuperação das nascentes do Rio São Francisco (Plano Nascente) elaborado pela Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF), e revitalização do rio.

Há ainda preocupação em relação a quem de fato irá se beneficiar com a chegada das águas. Uma das reivindicações dos Estados doadores e Organizações Não Governamentais (ONGs) que se opõem ao projeto é que a transposição irá beneficiar apenas grandes proprietários de terras e agronegócios e não à população em geral, o que poderia aumentar ainda mais a desigualdade socioeconômica na região nordeste (ANDRADE et al., 2011).

Sobre o acesso às águas pelos pequenos produtores rurais, o MIN afirma que 294 comunidades rurais serão beneficiadas por meio de sistemas de distribuição de água, atendendo a cerca de 78 mil habitantes próximos aos eixos em 12 comunidades quilombolas, 23 de etnias indígenas e nove assentamentos do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). O PISF também entregou 18 Vilas Produtivas Rurais (VPRs) para 848 famílias que residiam na faixa de obra dos canais, nos estados de Pernambuco, Ceará e Paraíba.

Em meio a discussões e controvérsias, as obras prosseguiram e, atualmente, parte das obras está concluída. As obras do PISF estão divididas em dois Eixos (Norte e Leste) e passam pelos seguintes municípios: Eixo Norte - Cabrobó, Salgueiro, Terra Nova e Verdejante (PE); Penaforte, Jati, Brejo Santo, Mauriti e Barro (CE); e São José de Piranhas, Monte Horebe e Cajazeiras (PB). Já no Eixo Leste, o empreendimento atravessa os municípios pernambucanos de Floresta, Custódia, Betânia e Sertânia; e entra em Monteiro, na Paraíba (PISF, 2017).

Na Figura 1 é apresentado o esquema do Projeto de Integração do Rio São Francisco, com os seus dois eixos de execução.

Figura 1 - Eixos Norte e Leste do Projeto de Integração do São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional - PISF



Fonte: BRASIL (2004)

A integração do Rio São Francisco com as bacias dos rios temporários do semiárido será possível com a retirada contínua de  $26,4 \text{ m}^3/\text{s}$  de água, o equivalente a 1,4% da vazão garantida pela barragem de Sobradinho, que segundo o MIN, não representa um prejuízo ao Rio São Francisco. Nos períodos de cheia, em que o reservatório de Sobradinho estiver vertendo, o volume captado poderá ser ampliado para até  $127 \text{ m}^3/\text{s}$ , contribuindo para o aumento da garantia da oferta de água para múltiplos usos.

No estado da Paraíba, a água chegará pelos dois eixos do projeto. Pelo Eixo Norte, a água do Rio São Francisco deverá chegar ao estado do Ceará, até o início de 2018, de onde seguirá pelos canais para contemplar também outras cidades da Paraíba e o estado do Rio Grande do Norte, no entanto essa parte da obra não foi completada.

No Eixo Leste, a entrada das águas ocorre pelo leito do Rio Paraíba, a partir do município de Monteiro (PB). Este Eixo já está em operação e foi inaugurado em março de 2017. Os reservatórios já começaram a receber as águas e as cidades passaram a ser abastecidas com essas novas águas. No mês de abril, de 2017, as águas chegaram ao açude Presidente Epitácio Pessoa (Boqueirão), que estava com 2,8% da sua capacidade máxima de reserva hídrica. O açude voltou a receber recargas significativas de água, e o racionamento (implantado em dezembro de 2014) foi suspenso no mês de setembro de 2017, quando o volume de água armazenado no açude ultrapassou o volume morto.

### **3.4 Os Recursos Hídricos no Estado da Paraíba – O Rio Paraíba**

A bacia hidrográfica do Rio Paraíba está localizada entre as latitudes 6°51'35" e 8°26'21" Sul e as longitudes 34°48'35" e 37°2'15" Oeste. Possui área de 20.000 km<sup>2</sup>, constituindo a maior bacia hidrográfica do estado da Paraíba, abrangendo 32% do território estadual e drenando cerca de 70% da região semiárida do Estado (XAVIER et al., 2012).

O Rio Paraíba, além de ser o mais extenso (360 km) é o principal rio da bacia. Sua nascente encontra-se na Serra do Jabitacá, no município de Monteiro - PB, fronteira com o estado de Pernambuco, e estende-se no sentido sudoeste-nordeste até chegar à sua foz no Oceano Atlântico, município de Cabedelo - PB, onde forma um estuário e desemboca no Oceano Atlântico.

O Rio Paraíba apresenta uma sub-bacia (rio Taperoá) e três regiões (Alto Paraíba, Médio Paraíba e Baixo Paraíba). O alto curso do Rio Paraíba está inserido em uma das regiões mais secas do país, o Cariri, com médias anuais pluviométricas em torno de 500 mm, concentradas em quatro meses do ano. Essa característica climática confere ao rio o caráter intermitente na maior parte de seu percurso, o que, associado às demandas hídricas da região, resultou na construção de inúmeros açudes de pequeno, médio e grande porte (XAVIER et al., 2012). Do interior para o litoral, os índices pluviométricos vão aumentando gradativamente até o total anual médio de 1700 mm, em João Pessoa - PB (XAVIER et al., 2012).

A bacia hidrográfica do Rio Paraíba apresenta um potencial de armazenamento hídrico de mais de um bilhão de m<sup>3</sup> (AESAs, 2017). Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH/PB (PARAÍBA, 2006), a maior reserva hídrica da Paraíba está concentrada na vazão regularizada dos reservatórios (21,7

m<sup>3</sup>/s), com 63 açudes, responsáveis por 72,4% da disponibilidade total. A maior disponibilidade da bacia hidrográfica do Rio Paraíba encontra-se na região do médio curso do Rio Paraíba, em virtude da presença dos reservatórios Presidente Epitácio Pessoa (Boqueirão) e Argemiro de Figueiredo (Acauã).

Segundo Brito (2013) a bacia hidrográfica do Rio Paraíba destaca-se no Estado em alguns fatores: é a mais importante do ponto de vista socioeconômico; é a maior bacia hidrográfica do domínio estadual, com toda a área de drenagem no território paraibano; apresenta a maior concentração demográfica, abrigando uma população de, aproximadamente, 1,8 milhões de habitantes (52% da população do Estado); e engloba, total ou parcialmente, 71 municípios, dos quais os quatro maiores centros urbanos do Estado: João Pessoa, Campina Grande, Santa Rita e Bayeux.

Com uma precipitação média anual inferior a 700 mm, valores médios de evaporação de aproximadamente 2.500 mm, além de eventos sucessivos de secas (MONTENEGRO e MONTENEGRO, 2012) e aumento das demandas hídricas, a bacia hidrográfica apresenta sérios problemas no que diz respeito à disponibilidade hídrica e qualidade da água.

Após cinco anos de seca, a Paraíba no início do ano de 2017 apresentava 117 municípios em situação de racionamento de água e 40 cidades totalmente sem água nas torneiras (TORQUARTO, 2017), estando, a maior parte destes municípios, localizada na zona semiárida do Estado. Nas cidades onde os reservatórios que as abasteciam secaram completamente, o abastecimento passou a ser realizado por meio de poços e/ou carros pipa, disponibilizados pelo exército, pela prefeitura ou muitas vezes, pagos pela própria população (TORQUARTO, 2017).

### **3.5 Gestão de Recursos Hídricos – A Bacia Hidrográfica como Unidade de Gestão**

Com base na gestão de recursos hídricos, a Lei nº 9.433/1997, em vigor no país, estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Segundo Veiga e Magrini (2013), acompanhando a tendência internacional de gestão de águas, a Lei das Águas (Lei nº 9.433/1997) estabeleceu um novo quadro organizacional no Brasil, envolvendo a gestão de recursos hídricos de forma compartilhada e descentralizada.

Segundo Dias et al. (2016), a Lei 9.433/97 incorporou alguns conceitos fundamentais para uma visão sustentável do uso da água, incluindo a gestão descentralizada dos recursos hídricos, a compreensão da água como um recurso de valor econômico para induzir novos comportamentos e promover a participação social e a responsabilidade na sua gestão. Esses conceitos ressaltaram a preocupação do Brasil em relação à gestão sustentável dos recursos hídricos.

Com a promulgação da nova Política de Recursos Hídricos no país, a gestão de recursos hídricos passou a ser organizada por bacias hidrográficas. Desse modo, a bacia hidrográfica passou a ser considerada a unidade de território para a prática da Política Nacional de Recursos Hídricos e para a ação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

Uma bacia hidrográfica é uma área de captação natural de água das chuvas, composta por um conjunto de vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que convergem até resultar em um único leito no seu exutório (PORTO e PORTO, 2008).

A adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão ambiental decorre do conhecimento da relação entre a quantidade e qualidade das águas que chegam ao corpo hídrico, com as características de sua bacia de drenagem (ARAÚJO et al., 2009). Segundo os autores, a bacia hidrográfica resulta da interação da água com outros recursos naturais, como a topografia, a vegetação e o clima (ARAÚJO et al., 2009). Além disso, Veiga e Magrini (2013) consideram o modelo de gestão brasileiro, inovador, uma vez que tenta incorporar as diferenças regionais em relação às desigualdades entre demanda e distribuição dos recursos hídricos.

As Políticas Nacional e Estaduais de Recursos Hídricos contam com seis instrumentos de gestão previstos na Lei das Águas: os Planos de Recursos Hídricos; o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; a cobrança pelo uso de recursos hídricos; e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos. Segundo Malheiros et al. (2013) esses instrumentos encontram-se em diferentes estágios de implementação nas bacias hidrográficas brasileiras.

O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, que tem como objetivo principal coordenar a gestão integrada das águas, é formado pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos; a Agência Nacional de Águas (ANA); os Conselhos

de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal; os Comitês de Bacia Hidrográfica; e pelos órgãos dos poderes públicos federal, estaduais, do Distrito Federal e municipais cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos e as Agências de Água (BRASIL, 1997).

Além da descentralização da gestão de recursos hídricos, a Lei nº 9.433/1997 objetiva a maior participação social no processo de gestão por meio da criação dos Comitês de Bacias Hidrográficas. Desse modo, a decisão é trazida a nível local (PORTO e PORTO, 2008), com a participação de diferentes atores sociais.

Segundo Bernardi et al. (2013), a Lei das Águas representou um avanço em direção à gestão sustentável de recursos hídricos, que abordados de forma individual para cada bacia hidrográfica, possibilita o desenvolvimento de estratégias de gestão específicas de acordo com as condições singulares de cada bacia hidrográfica.

### **3.6 Gestão de Recursos Hídricos – A Atuação dos Comitês de Bacias Hidrográficas**

No Brasil, por meio da promulgação da Política Nacional de Recursos Hídricos, permitiu-se a tomada de decisão na gestão das águas pelos comitês de bacias hidrográficas, de forma descentralizada e com a participação de diferentes atores sociais.

Souza e Moraes (2016) afirmam que o comitê de bacia hidrográfica é uma organização inteiramente nova na realidade institucional brasileira. Eles são compostos por diferentes representantes: da União; dos Estados e do Distrito Federal cujos territórios se situem, ainda que parcialmente, em suas respectivas áreas de atuação; dos Municípios situados, no todo ou em parte, em sua área de atuação; dos usuários das águas de sua área de atuação; e das entidades civis de recursos hídricos com atuação comprovada na bacia hidrográfica (BRASIL, 1997).

A composição diversificada dos comitês de bacias hidrográficas contribui para que todos os setores da sociedade com interesse sobre a água na bacia hidrográfica tenham representação e poder de decisão sobre a sua gestão (CBH, 2017). As principais competências dos comitês segundo a Política Nacional de Recursos Hídricos são: aprovar o Plano de Recursos Hídricos da Bacia; arbitrar conflitos pelo uso da água, em primeira instância administrativa; estabelecer mecanismos e sugerir os valores da cobrança pelo uso da água, entre outros.

Segundo a ANA, é um fórum de negociação fundamental nos conflitos da água. Nas reuniões dos comitês de bacias hidrográficas a maioria dos aspectos relacionados com a gestão das águas na bacia são discutidos; entretanto, nem sempre há a efetiva transmissão dos assuntos discutidos para as instituições pelos seus representantes (BARBOSA et al., 2017). Os autores ressaltam a necessidade de as instituições transmitirem internamente os aspectos discutidos nos comitês e também de retornar aos mesmos, uma posição por parte da instituição.

Com a instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos, em 1997, o número de comitês de bacias hidrográficas foi aumentando progressivamente. Até o ano de 2010 existiam no Brasil 9 comitês interestaduais e 164 comitês estaduais. No estado da Paraíba, no ano 2006 foram criados o CBH do Rio Paraíba (Dec. nº 27.560) (PARAÍBA, 2006a), o CBH Litoral Sul (Dec. nº 27.562) (PARAÍBA, 2006b) e o CBH Litoral Norte (Dec. nº 27.561) (PARAÍBA, 2006c). Há ainda no Estado, a atuação de um comitê de bacia interestadual, o CBH Piancó – Piranhas – Açu.

### **3.7 Uso e Ocupação dos Solos e a Qualidade das Águas em Bacias Hidrográficas**

O processo de ocupação do território brasileiro foi marcado, historicamente, pela intensa exploração de seus recursos naturais e supressão da vegetação nativa, voltadas para diversas atividades antrópicas, principalmente para a agropecuária e expansão da urbanização (PEREIRA et al., 2016).

A ação antrópica na bacia hidrográfica pode gerar diversos impactos negativos e, conseqüentemente, alterar a qualidade das águas. É sabido que áreas destinadas ao uso urbano, industrial, ou agropecuário apresentam uma qualidade de água inferior às áreas com menor intervenção antrópica (RIBEIRO et al., 2014; CUNHA et al., 2016; TANAKA et al., 2016), de modo que, em geral, os mananciais brasileiros apresentam algum processo de degradação na sua qualidade (BUCCI e OLIVEIRA, 2014).

A supressão da cobertura vegetal natural de uma bacia hidrográfica altera o seu comportamento hidrológico, influencia os processos erosivos nas margens do corpo hídrico, ocasionando assoreamento, além de limitar a sua função de barreira natural contra a entrada de agrotóxicos e também de abrigar espécies nativas, reduzindo assim, a biodiversidade (BUZELLI e CUNHA-SANTINO, 2013).

Alguns dos impactos na qualidade das águas provêm de intervenções diretas nos corpos hídricos, como a construção de barragens e canais, que têm o objetivo de disponibilizar a água para a população. Entretanto, a maioria dos processos de degradação da qualidade das águas origina-se pelo uso inadequado do solo e da água e de fontes pontuais e não pontuais de poluição (SOUZA et al., 2014).

A urbanização é uma das principais causadoras de impactos negativos para a qualidade das águas. Com a impermeabilização do solo nas áreas urbanas, há uma redução nos locais de infiltração de água, dificultando a recarga dos aquíferos e estimulando o escoamento superficial. Como consequência pode ocorrer a redução do volume dos aquíferos, erosão dos solos, assoreamento dos corpos hídricos e enchentes. Além disso, há um aumento na demanda de água necessária para atender a população, o aumento da carga de resíduos sólidos gerados e um maior volume de efluentes domésticos e industriais que muitas vezes são descartados nos corpos hídricos sem nenhum tratamento (BUZELLI e CUNHA-SANTINO, 2013; SOUZA et al., 2014; QUEIROZ et al., 2017).

Segundo Zanella (2014) o principal problema relacionado com a qualidade da água dos rios que drenam o semiárido é a assimilação das cargas orgânicas oriundas dos lançamentos de efluentes, das cargas de natureza difusa decorrentes da drenagem de solos urbanos e agrícolas e, a má gestão dos resíduos sólidos. Esses fatores estão associados a outro relevante problema de qualidade de água no semiárido, que é a eutrofização, bastante comum em reservatórios, principalmente os de pequeno porte. Segundo Lima (2016), as condições climáticas, o regime hidrológico e as cargas poluidoras resultantes das atividades antrópicas rurais e urbanas são fatores que atuam de forma integrada sobre a dinâmica de processos limnológicos em açudes de regiões semiáridas.

O aumento da produção agrícola é um reflexo do crescimento populacional e da necessidade de atender a demanda por alimentos, mas isso afeta grandemente tanto a disponibilidade, quanto a qualidade da água (RIBEIRO et al., 2014). O potencial de contaminação agrícola é extremamente alto, principalmente em sistemas de produção convencionais.

Técnicas agrícolas inadequadas em áreas de grande sensibilidade, como as próximas às nascentes de corpos hídricos, e com emprego indiscriminado de agroquímicos, são fontes de poluição das águas e do solo (ARAÚJO et al., 2009). A utilização de fertilizantes de forma excessiva pode ocasionar o carreamento de

nutrientes para os corpos hídricos que, juntamente com os lançamentos de efluentes, são os principais responsáveis pelos processos de eutrofização, resultando na perda da qualidade da água, em alterações na biodiversidade local (AZEVEDO et al., 2015; MARQUES et al., 2015), e em potenciais riscos à saúde pública, pelo crescimento excessivo de cianobactérias, que são potencialmente produtoras de toxinas.

A piscicultura intensiva em tanques-rede é outra importante fonte de impactos antropogênicos aos recursos hídricos. Relativamente simples e de baixo custo, quando comparado com a criação em viveiros escavados, é um modo de cultura bastante disseminado. Entretanto, os efluentes da criação em tanques-redes, contendo fezes, excretas e ração não consumida, são lançados diretamente nos corpos de água e, associados às elevadas temperaturas da região, favorecem o aumento na densidade de fitoplâncton e das florações de cianobactérias (CRUZ et al., 2013; GORLACH-LIRA et al., 2013; LOPES e HENRY-SILVA, 2014; MENDES et al., 2016), podendo limitar as possibilidades de uso dessa água, inclusive para a própria atividade de aquicultura. Segundo Osti et al. (2017), em pesquisa realizada para avaliar o efeito da piscicultura na inserção de nutrientes na água foi verificado que 26% do nitrogênio total (TN) e 45% do fósforo total (TP) adicionados na ração, foram incorporados para a biomassa dos peixes, 62% do TN e 40% do TP foram retidos nos viveiros; e 12% do TN e 15% do TP foram exportados via efluente. Logo, quando o cultivo é realizado em tanques-rede no próprio ambiente (açudes), 74% de TN e 55% de TP das rações adicionadas, são incorporados na água e sedimentos dos açudes, aumentando o enriquecimento interno e aumentando a eutrofização. Em uma região com carência de água como o semiárido, e com o tempo de residência de água, que chega a anos, visto que muitos açudes não sangram com frequência, a produção de peixes em tanques-rede em açudes deveria ser considerada crime ambiental, visto que eutrofiza os ecossistemas aquáticos (CRISPIM et al., 2013; MOURA et al., 2014) e restringe o uso para formas prioritárias como o consumo humano e animal.

Em um estudo realizado na região do alto curso do Rio Paraíba, Silva et al. (2014) observaram diversos impactos ambientais nas áreas correspondentes aos reservatórios, dentre eles: lançamento de efluentes domésticos, disposição de resíduos sólidos, desmatamento da vegetação nativa, erosão, redução das Áreas de Preservação Permanente (APP) e exploração agropecuária. Como os reservatórios

são as principais fontes de água no semiárido, uma vez que os rios na região são intermitentes, esses impactos podem comprometer a qualidade das águas, já escassas na região.

O aumento da degradação ambiental traz como consequências a diminuição da disponibilidade de água e o comprometimento da qualidade dos corpos hídricos. O monitoramento de ecossistemas aquáticos é imprescindível, pois fornece informações que contribuem para diagnosticar a qualidade das águas e identificar os principais impactos responsáveis pela degradação desses recursos de forma a poderem ser propostas formas de mitigação desses impactos.

Deste modo, Comino et al. (2016) ressaltam a importância de avaliar diferentes possíveis usos da terra em uma bacia hidrográfica, objetivando satisfazer a demanda para vários usos do território e oferecer ao mesmo tempo proteção aos recursos naturais.

### **3.8 Padrões de Qualidade e Monitoramento das Águas**

Qualidade de água é um conceito variável que depende diretamente da finalidade de seus usos, seja para consumo humano, balneabilidade, irrigação, transporte, ou manutenção da vida aquática (NEVES et al., 2014; SOUZA et al., 2014), de modo que, para cada um desses usos existe um padrão de qualidade diferenciado estabelecido na legislação.

Com o objetivo de preservar os corpos de água, a Resolução nº 357 de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (BRASIL, 2005) dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, estabelecendo as condições e padrões de qualidade das águas, com limites individuais para cada substância, considerados os seus diferentes usos. Os itens relacionados com os padrões de lançamento de efluente foram alterados pela Resolução nº 430 de 2011 do CONAMA (BRASIL, 2011).

A Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005) classifica as águas doces em cinco classes diferentes (Especial, 1, 2, 3 e 4). As águas destinadas ao abastecimento para consumo humano estão enquadradas nas classes Especial, 1, 2 e 3. As águas de classe 4 são as com finalidades para navegação e harmonia paisagística.

Segundo a legislação, as águas de classe Especial devem manter as condições naturais dos corpos de água. Para as Classes 1, 2 e 3, a Resolução

estabelece vários padrões de qualidade (BRASIL, 2005). Na Tabela 1 estão apresentados os valores máximos de alguns parâmetros estabelecidos para as Classes 1, 2 e 3, destinadas a consumo humano.

Tabela 1 - Valores máximos de parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para as Classes de água 1, 2 e 3, destinadas a consumo humano.

<b>Parâmetros</b>	<b>Classe 1</b>	<b>Classe 2</b>	<b>Classe 3</b>
Coliformes Termotolerantes	200/100 mL	1000/100 mL	4000/100 mL
DBO <sub>5</sub>	3 mg/L	5 mg/L	10 mg/L
Turbidez	40 UNT	100 UNT	100 UNT
Cor	Natural	75 mg.UNT	75 mg.UNT
pH	6 – 9	6 – 9	6 – 9
Oxigênio Dissolvido	≥ 6mg/L	≥ 5mg/L	≥ 4mg/L
Clorofila a	10 µg/L	30 µg/L	60 µg/L
Cianobactérias	2 mm <sup>3</sup> /L	5 mm <sup>3</sup> /L	10 mm <sup>3</sup> /L
Fósforo total (ambiente lêntico)	0,02 mg/L	0,03 mg/L	0,05 mg/L
Fósforo total (ambiente lótico)	0,1 mg/L	0,1 mg/L	0,15 mg/L
Nitrato	10,0 mg/L	10,0 mg/L	10,0 mg/L
Nitrito	1,0 mg/L	1,0 mg/L	1,0 mg/L
Nitrogênio amoniacal	3,7 mg/L (pH ≤ 7,5)	3,7 mg/L (pH ≤ 7,5)	13,3 mg/L (pH ≤ 7,5)
	2,0 mg/L (7,5 < pH ≤ 8,0)	2,0 mg/L (7,5 < pH ≤ 8,0)	5,6 mg/L (7,5 < pH ≤ 8,0)
	1,0 mg/L (8,0 < pH ≤ 8,5)	1,0 mg/L (8,0 < pH ≤ 8,5)	2,2 mg/L (8,0 < pH ≤ 8,5)
	0,5 mg/L (pH > 8,5)	0,5 mg/L (pH > 8,5)	1,0 mg/L (pH > 8,5)

Fonte: BRASIL (2005)

Além desses parâmetros, as águas de Classes 1, 2 e 3 não devem conter: materiais flutuantes, espumas naturais, óleos e graxas, materiais que conferem sabor ou odor, resíduos sólidos objetáveis, e não devem ser observados efeitos tóxicos crônicos (Classes 1 e 2) e agudos (Classe 3) aos organismos. Todas as águas utilizadas para consumo humano devem passar por um processo de desinfecção (Classe Especial), tratamento simplificado (Classe 1), tratamento convencional (Classe 2) e tratamento convencional ou avançado (Classe 3) (BRASIL, 2005).

O enquadramento de um corpo hídrico em determinada classe dá-se em função do uso que se pretende fazer da água, e requer o conhecimento das condições físicas, químicas e biológicas da mesma e para isso utilizam-se os parâmetros estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005),

atualmente em vigor. No estado da Paraíba, o último enquadramento foi realizado em 1988, com base na Diretriz 201 (Classificação das águas interiores do Estado da Paraíba) (SUDEMA, 1988), anterior à Resolução CONAMA nº 357/2005. Segundo a citada Resolução, quando não se tem aprovado o enquadramento, os corpos hídricos devem ser considerados de Classe 2.

O uso da água destinado ao abastecimento público é um dos que requer maior padrão de qualidade (MENDES e FERREIRA, 2014). A Resolução CONAMA nº 357/2005 é direcionada para as águas brutas, dos corpos de águas superficiais. A Portaria nº 2.914/2011, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011a) estabelece o controle e a vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, nos casos em que esta é distribuída coletivamente por meio de abastecimento de água.

Mesmo havendo um controle da qualidade da água distribuída à população, informações sobre a qualidade da água bruta são fundamentais para a definição da tecnologia adequada para o tratamento com objetivo de abastecimento público (MENDES e FERREIRA, 2014), bem como para a avaliação do desempenho da própria estação de tratamento de água. Os estudos de qualidade da água são importantes para detectar e prever processos de eutrofização, salinização e contaminação e para auxiliar o manejo e gestão dos recursos, auxiliando também na tomada de decisões e oferecendo condições gerenciais para prever situações de risco (TUNDISI, 2000; DINIZ et al., 2006).

No monitoramento da qualidade das águas, a presença de contaminantes é avaliada por meio de suas características físicas, químicas e biológicas. Segundo Neves et al. (2014), as características físicas referem-se aos sólidos presentes na água, que envolvem aspectos como a cor, sabor, odor, turbidez e temperatura. As características químicas, referem-se às substâncias dissolvidas que podem causar alterações no pH, dureza, cloretos, nitrogênio, fósforo, oxigênio dissolvido, matéria orgânica e inorgânica, enquanto as características biológicas, à presença de microrganismos ou outros grupos da biota aquática.

Em virtude dos acelerados processos de eutrofização em reservatórios para abastecimento, a utilização de cianobactérias como um dos parâmetros de qualidade de água dá-se em função do seu potencial risco à saúde pública. O acidente ocorrido em Caruaru – PE, no ano de 2006, em que 52 pacientes que faziam hemodiálise morreram em virtude da contaminação da água por toxinas de

cianobactérias (AZEVEDO et al., 2002), evidenciou a necessidade de fiscalização rigorosa em relação a esse parâmetro.

Outra forma de investigação e monitoramento das águas em relação ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito no crescimento excessivo de algas, dá-se através do Índice de Estado Trófico (IET). Esse índice classifica os corpos de água em diferentes graus de trofia (BUCCI e OLIVEIRA, 2014; MARQUES et al., 2015), a partir do levantamento das concentrações do nutriente limitante (fósforo) e da clorofila-a. Bucci e Oliveira (2014) ressaltam que o IET não equivale a um índice de qualidade de água. Entretanto, ele pode ser considerado um reflexo das atividades humanas na bacia hidrográfica, além de fornecer subsídios para o manejo e gestão de ecossistemas aquáticos.

Conhecer a qualidade das águas de um dado corpo hídrico e adequá-la aos seus diferentes usos é imprescindível para a melhor gestão do recurso. Flynn et al. (2011) relataram a importância da interação entre as características físicas, químicas e biológicas para um diagnóstico mais preciso sobre a qualidade ambiental do sistema, havendo uma complementaridade das informações, uma vez que muitas variáveis estudadas podem ser relacionadas.

### **3.9 Significado Ambiental de Parâmetros Físicos e Químicos do Monitoramento da Qualidade da Água**

Diversos são os parâmetros utilizados para o monitoramento da qualidade da água, dos quais, os principais serão apresentados a seguir.

- **Temperatura:** indica a intensidade de calor presente na água. Ela desempenha um importante papel no meio aquático, afetando as taxas de reações químicas, biológicas e a solubilidade dos gases. Em geral, a temperatura da água varia de acordo com as condições climáticas da região. Aumentos significativos de temperatura nos corpos de água são geralmente decorrentes de ação antrópica, por meio de despejos de origem industrial e descargas de usinas termelétricas.

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (2009) o aumento de temperatura de 0 a 30°C é acompanhado do aumento da condutividade térmica, e redução da viscosidade e tensão superficial. A elevação da temperatura também tem como consequência a intensificação da taxa de decomposição da matéria orgânica, aumentando a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) do ambiente aquático (BUZELLI e CUNHA-SANTINO, 2013).

Como o aumento da temperatura diminui a solubilidade dos gases, conseqüentemente a concentração de oxigênio dissolvido (OD) na água diminui, podendo afetar os organismos aeróbicos ali presentes. Além disso, organismos aquáticos possuem limites de tolerância térmica (visto que de uma forma natural, a temperatura ambiental na água varia pouco, em consequência do elevado calor específico) e temperaturas ótimas para crescimento, migração, desova e incubação dos ovos, e alterações na temperatura podem provocar mudanças nos seus ciclos de vida, visto que na sua evolução não desenvolveram adaptações para isso.

- **Transparência:** é obtida por meio da medida da profundidade em que o disco de Secchi desaparece na coluna de água (profundidade de transparência). A partir desta medida é possível estimar a profundidade da zona fótica (profundidade de penetração vertical de luz solar na coluna de água), que indica o nível da atividade do corpo hídrico (CETESB, 2009). Pouca penetração de luz na coluna de água pode indicar pouca atividade fotossintética, quando relacionado com a presença de material sedimentar em suspensão, reduzindo a produção de oxigênio no ecossistema, em função da menor penetração de luz.

- **Turbidez:** corresponde ao grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte e argila) e detritos orgânicos, bactérias e plâncton em geral (CETESB, 2009).

Aporte de partículas de solo da superfície da bacia hidrográfica em função de chuvas e desmatamentos, processos erosivos, atividades de mineração e lançamentos de efluentes podem resultar em aumento da turbidez da água. Como consequência há a redução da penetração de raios solares, limitando a realização da fotossíntese e a reposição de oxigênio da água, o que pode causar distúrbios aos ecossistemas aquáticos.

- **Condutividade elétrica (CE):** é a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir corrente elétrica (CETESB, 2009), e depende da quantidade de sais dissolvidos, aumentando à medida que a concentração destes sais aumenta. Quando a CE ultrapassa  $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , o ambiente pode estar impactado por ações antrópicas, além de que, valores elevados de CE podem indicar características corrosivas da água (CETESB, 2009). Por outro lado, em regiões do semiárido nordestino, as elevadas taxas de evaporação promovem a concentração dos

elementos presentes em solução, elevando as concentrações de sais na água, resultando em elevada condutividade elétrica (SANTOS et al., 2000).

Este parâmetro contribui para o reconhecimento de impactos ambientais que ocorram na bacia de drenagem ocasionada por lançamentos de resíduos industriais, mineração e esgotos (FARIAS, 2006). Além de que, como observado por Buzelli e Cunha-Santino (2013) pode ser associado aos impactos oriundos do desenvolvimento de atividades agrícolas.

- **potencial Hidrogeniônico (pH):** fornece várias informações a respeito da qualidade da água. Segundo Branco (1986), em águas naturais as variações de pH estão associadas ao consumo/produção de CO<sub>2</sub>. Geralmente os valores de pH em águas naturais variam entre 4 e 9, sendo valores muito ácidos ou básicos, associados à presença de despejos industriais (FARIAS, 2006). As águas destinadas ao abastecimento público devem apresentar valores entre 6,0 e 9,5, de acordo com a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). Ainda assim, esses valores de pH não limitam, necessariamente, a utilização para consumo humano, uma vez que as águas minerais frequentemente apresentam pH abaixo de 6,0.

O pH é diretamente influenciado pelas taxas de fotossíntese do ecossistema, pois quando esta se eleva, favorecida pelo enriquecimento da água por nitrogênio e fósforo, pela absorção do CO<sub>2</sub>, para a realização da fotossíntese, o pH da água tende a aumentar. A variação dos valores de pH em ecossistemas aquáticos pode ser causada também por despejo de resíduos e efluentes domésticos e industriais. O excesso de matéria orgânica contribui para reduzir o pH na água devido à liberação de gás carbônico decorrente de compostos orgânicos ácidos e dos processos de decomposição, liberando ácido carbônico no meio (MAROTTA et al., 2008).

O pH exerce influência sobre a fisiologia de diversas espécies aquáticas, sobre a precipitação de substâncias químicas, sobre a solubilidade de nutrientes (CETESB, 2009), bem como a finalidade de uso da água.

Este parâmetro não é muito decisivo na identificação das condições ambientais, porque varia bastante ao longo do dia.

- **Oxigênio Dissolvido (OD):** em relação ao oxigênio dissolvido, as concentrações na água são menores do que no ar, apresentando-se entre 8 e 10 mg.L<sup>-1</sup> em um corpo de água em boas condições (FARIAS, 2006). A quantidade de

OD presente na água depende da temperatura, salinidade, turbulência, atividade fotossintética de plantas aquáticas e da pressão atmosférica.

As trocas gasosas com a atmosfera e a atividade fotossintética são os principais fornecedores de oxigênio para o corpo hídrico. A respiração de organismos aquáticos e a decomposição e oxidação de íons metálicos como, por exemplo, o ferro e o manganês, são responsáveis pelo consumo de OD no meio (ESTEVES, 1998). A manutenção de concentrações elevadas de OD é importante para a respiração dos organismos que habitam o meio aquático. Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, a menor concentração para OD para águas de Classe 2 é de 5,0 mg.L<sup>-1</sup>.

Despejos de efluentes, em função do consumo de oxigênio para decomposição e da elevação da turbidez, restringindo a atividade fotossintética, são grandes responsáveis pela depleção das concentrações de OD no meio aquático, e a morte daqueles organismos mais exigentes (CETESB, 2009).

É importante salientar que elevadas concentrações de oxigênio durante o dia, por exemplo, superiores a 12 mg.L<sup>-1</sup>, podem significar elevado consumo de oxigênio durante a noite, o que pode causar anoxia no ambiente e mortalidade de peixes, visto que na ausência de luz, todas as microalgas que estavam liberando oxigênio de dia, estarão também respirando e consumindo oxigênio.

- **Nitrogênio:** está presente nos ambientes aquáticos em diferentes formas, como nitrato (NO<sub>3</sub>), nitrito (NO<sub>2</sub>), amônia (NH<sub>3</sub>), íon amônio (NH<sub>4</sub>) (ESTEVES, 1998). É um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos, atuando na produção primária de ecossistemas, por isso, é um dos nutrientes responsáveis pelo processo de eutrofização (JAMES et al., 2011; BUZELLI e CUNHA-SANTINO, 2013) e assim, influencia na quantidade de OD, pH, CE e clorofila-a do meio.

O nitrito e nitrato são formas de nitrogênio com grande importância energética, pois são facilmente assimiláveis pelos produtores primários (PARPAROV e GAL, 2012). A forma amoniacal é bastante tóxica e restritiva à vida dos peixes, sendo que muitas espécies não suportam concentrações acima de 5 mg.L<sup>-1</sup>.

A presença de nitrogênio no meio aquático pode ter origem natural (água da chuva, material orgânico e inorgânico de origem alóctone e a fixação de nitrogênio molecular) ou artificial, sendo proveniente, principalmente, de efluentes domésticos, industriais e agrícolas (BUZELLI e CUNHA-SANTINO, 2013). Quando são lançados

aos rios e lagos, efluentes ricos em nitrogênio fertilizam a água, possibilitando o desenvolvimento de algas, macrófitas e a eutrofização.

Segundo CETESB (2009) pode-se associar as etapas de degradação da poluição orgânica por meio da relação entre as formas de nitrogênio observadas nas zonas de autodepuração natural dos rios: nitrogênio orgânico na zona de degradação; amoniacal na zona de decomposição ativa; nitrito na zona de recuperação; e nitrato na zona de águas limpas.

- **Fósforo:** é um dos fatores limitantes de produtividade nos corpos hídricos e, juntamente com o nitrogênio, são apontados como principais responsáveis pela eutrofização artificial nesses ecossistemas.

Em ecossistemas aquáticos, o fósforo pode ter origem de fontes naturais (presentes na composição de rochas, carregado pelo escoamento superficial da água da chuva, material particulado presente na atmosfera e resultante da decomposição de organismos de origem alóctone) ou por interferência humana, por meio de descargas de esgotos sanitários, efluentes industriais e por lixiviação de áreas agrícolas (CETESB, 2009; BUZELLI e CUNHA-SANTINO, 2013).

O acúmulo desse nutriente na água favorece o desenvolvimento de algas e macrófitas aquáticas, contribuindo para a intensificação da produção primária e com isso levando ao processo de eutrofização e ao aumento da concentração de clorofila-a (BUZELLI e CUNHA-SANTINO, 2013), influenciando também a concentração de OD, de pH e da CE no meio.

### **3.10 Monitoramento Biológico em Bacias Hidrográficas**

O monitoramento biológico é, segundo Silveira et al. (2006), um modo de determinar a qualidade da água pelas alterações estruturais e funcionais das comunidades nos sistemas ecológicos, por meio de sua diversidade e abundância. Entre os principais parâmetros biológicos observados destacam-se a clorofila-a, fitoplâncton, zooplâncton e macroinvertebrados bentônicos.

- **Clorofila-a:** é uma importante variável nos ecossistemas aquáticos, sendo o principal pigmento responsável pelo processo de fotossíntese. Ela representa, aproximadamente, de 1% a 2% do peso seco do material orgânico em todas as algas planctônicas e é, por isso, um indicador da biomassa algal (ESTEVES, 1998; CETESB, 2009), sendo considerada a principal variável indicadora de estado trófico dos ambientes aquáticos.

O uso e ocupação da bacia hidrográfica e consequente entrada de nutrientes no corpo hídrico, proveniente do despejo de efluentes não tratados ou de lixiviação de áreas agrícolas, favorecem o desenvolvimento e proliferação de algas, elevando as concentrações de clorofila-a. Este parâmetro está relacionado também com as concentrações de oxigênio dissolvido, turbidez, sólidos totais e DBO (BUZELLI e CUNHA-SANTINO, 2013).

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, o valor máximo de clorofila-a é de 30  $\mu\text{g.L}^{-1}$  para águas de Classe 2.

- **Fitoplâncton:** é a base da cadeia trófica nos ecossistemas aquáticos, desempenhando importante papel de ciclagem de nutrientes e a transferência de energia. São excelentes indicadores de impactos de poluição (BARINOVA et al., 2016), suscetíveis às influências de mudanças globais e locais, tais como micronutrientes, temperatura, poluição, predação ou invasão de espécies. O estudo da estrutura da comunidade fitoplanctônica é uma importante ferramenta para indicar o nível de qualidade da água (MULLER et al., 2012; CARDOSO et al., 2013), sendo este grupo um bom bioindicador.

O fitoplâncton responde rapidamente às alterações das condições do ambiente, seja pela redução de espécies, seja pela ocorrência de florações, com aumento da biomassa de uma ou mais espécies (MULLER et al., 2012). Em geral, quanto maior a diversidade de espécies, melhor a qualidade do meio. Segundo Matsumura-Tundisi e Tundisi (2005) um ambiente oligotrófico apresenta elevado número de espécies com poucos indivíduos; já em ambientes eutrofizados ocorre o inverso, um pequeno número de espécies com um elevado número de indivíduos de cada espécie, o que vai refletir nos índices de diversidade específica e de dominância das comunidades fitoplanctônicas.

As cianobactérias são componentes naturais do fitoplâncton e têm recebido uma atenção da comunidade científica e dos órgãos ambientais por desenvolverem florações em ambientes com condições eutróficas (MARQUES et al., 2015). A principal preocupação em relação às cianobactérias é a capacidade desses microrganismos produzirem e liberarem toxinas (cianotoxinas), as quais podem afetar a saúde humana (BUZELLI e CUNHA-SANTINO, 2013). A concentração máxima de cianobactérias estabelecida para águas de abastecimento (corpos hídricos de Classe 2) é de 5  $\text{mm}^3/\text{L}$  (BRASIL, 2005).

O enriquecimento dos corpos hídricos com o despejo de efluentes ricos em nutrientes acelera os processos de eutrofização, propiciando o desenvolvimento de florações de cianobactérias, podendo haver a diminuição nas concentrações de oxigênio, o que causa a morte de diversos organismos aquáticos.

### **3.11 Revitalização de Cursos De Água: Intervenções Adotadas em Corpos D'água no Brasil e no Mundo**

Em áreas urbanas, os rios configuram-se como estruturas importantes na construção da paisagem, não apenas por valores ambientais, mas também culturais e estéticos, podendo propiciar melhoria nas condições ambientais e qualidade de vida, além de apresentar estreita relação com a identidade do local em que estão inseridos e com a história da população (CARDOSO e BAPTISTA, 2011; HOLZ, 2011).

A formação de uma cidade está intimamente ligada à presença de água. Entretanto, Holz (2011) afirmou que, em geral, os corpos hídricos têm sido desconsiderados no planejamento de muitas cidades, sendo utilizados como estruturas de saneamento e drenagem, transformando-se, frequentemente, em paisagens degradadas, poluídas e sem tratamento.

O crescimento acelerado da população urbana não foi acompanhado por investimentos suficientes em infraestrutura, principalmente para coleta e tratamento de esgotos, o que tende a comprometer a qualidade ambiental e os recursos hídricos (MACEDO e MAGALHÃES JR., 2011; GARCIAS e AFONSO, 2013). Além disso, Macedo et al. (2011) apontaram as ocupações irregulares das margens de rios, suprimindo as faixas de proteção e mata ciliar, como uma das causas mais impactantes à qualidade dos recursos hídricos.

Além da descarga de poluentes, outro problema relacionado com os recursos hídricos em áreas urbanas no Brasil é a canalização e impermeabilização dos leitos fluviais (CARDOSO e BAPTISTA, 2011; HOLZ, 2011; MACEDO e MAGALHÃES JR., 2011). Segundo Cardoso e Baptista (2011), essas intervenções contribuem para a redução do tempo de concentração das águas, aumentando os volumes escoados e potencializando os fenômenos de enchentes.

Em virtude das intervenções citadas, muitos corpos hídricos urbanos apresentam-se em condições que impedem a utilização de suas águas. Deste modo, é indiscutível a necessidade de se recuperarem as águas urbanas, pois elas têm

influência direta na qualidade de vida, não apenas porque os reservatórios e cursos de água utilizados como mananciais recebem grandes contribuições de rios e córregos que cruzam as cidades, mas também pela melhoria dos espaços públicos e da paisagem e pela proteção de ecossistemas que dependem das águas (HOLZ, 2011).

A recuperação de rios urbanos e a disponibilização dos serviços desses ecossistemas para as cidades configuram-se como tendências mundiais. Sob várias denominações, restauração, renaturalização ou reabilitação, objetivam devolver os rios urbanos em boa qualidade para as cidades (GARCIAS e AFONSO, 2013).

A Ecological Restoration Society define restauração como o processo de alteração intencional de um local para a sua forma natural, através de processos e intervenções que levem a reestabilizar a relação de sustentabilidade e saúde entre o natural e o cultural (RILEY, 1998 apud MACEDO et al., 2011).

Para Silva e Pires (2007), a restauração de um rio não significa a volta a uma paisagem não influenciada pelo homem, mas corresponde ao desenvolvimento sustentável dos rios e da paisagem em conformidade com as necessidades e conhecimentos contemporâneos. Além de que, retornar um curso de água à sua forma natural ou seminatural é muito raro, por não se conhecerem as condições ambientais originais, pela impossibilidade das condições hidrológicas atuais ou mesmo por restrições financeiras (MACEDO et al., 2011). Desse modo, Teiga et al. (2006) afirmaram que a reabilitação pretende, sempre que possível, retomar as condições do ecossistema anteriores às perturbações, considerando-se os valores culturais atuais. Segundo Macedo et al. (2011), muitos autores incorporam as dimensões paisagística, ecológica e a qualidade de água dentro da perspectiva da restauração de rios.

A reabilitação de um corpo de água deve ser realizada de acordo com as condições particulares de cada ecossistema (TEIGA et al., 2006), levando-se em conta as condicionantes ambientais, ecológicas, biológicas, políticas, financeiras e sociais do local de intervenção (COELHO et al., 2009). Algumas vezes pode ser melhor não implantar nenhuma medida de intervenção e deixar que o ambiente se recupere naturalmente. Entretanto, observa-se que sem a mitigação das condições impactantes ao corpo aquático, a melhoria das condições do mesmo não ocorrerá.

Macedo et al. (2011) afirmaram que, embora alguns autores considerem que em avançado estado de degradação e modificação do entorno, pode ser inviável a

restauração de um rio, deve-se ressaltar a sua importância para pequenos cursos de água, o que pode viabilizar economicamente futuras intervenções em grandes rios impactados. Ou seja, rios de maiores dimensões em uma bacia hidrográfica são ambientes resultantes de toda a água que é trazida pelos seus afluentes, logo, tratando corpos de água de menores dimensões refletir-se-á em rios de maiores dimensões.

Oliveira (2011) aponta algumas dificuldades para a revitalização de cursos de água como: a ocupação irregular das áreas ribeirinhas, necessidade de recursos financeiros, a indisponibilidade de áreas, a resistência das populações em deixar as áreas irregulares e a elaboração de projetos que não estão inseridos em planos abrangentes, que considerem o saneamento de uma maneira integrada.

A reabilitação de um rio é um processo complexo que requer a utilização de mais de uma técnica de restauração e deve-se tomar como base de referência as condições do rio antes das condições impactantes observadas favorecendo a renaturalização do sistema ribeirinho e garantindo a sua integridade ecológica (COELHO et al., 2009).

Para Sanches e Jacobi (2012) a restauração dos corpos hídricos além de melhorar a qualidade das águas, busca reinserir os rios na paisagem urbana, valorizando os serviços ambientais prestados à cidade pelos rios, buscando sempre a participação pública.

#### - Parâmetros e Diretrizes para a Restauração de Cursos de Água

A revitalização de corpos de água é um processo complexo, pois engloba aspectos ambientais, socioeconômicos, políticos e institucionais. Envolve interesses de diversos atores, tais como os gestores públicos, as empreiteiras e a população direta e indiretamente afetada, de modo que esses aspectos devem ser considerados na tomada de decisão em relação às alternativas para a revitalização (COELHO, 2009; OLIVEIRA, 2011).

Em países desenvolvidos, os projetos de restauração possuem, em geral, quatro fases distintas: primeiro são realizados estudos sobre outros projetos de restauração e metodologias utilizadas; o estudo do rio a ser restaurado; a implantação da intervenção proposta; e, a avaliação da implantação através do monitoramento e acompanhamento de metas (MACEDO et al., 2011).

Teiga et al. (2006) apresentaram outras etapas a serem observadas no processo de reabilitação de corpos de água: 1 - Definição de uma estratégia para o sistema ribeirinho; 2 - Identificação dos problemas do sistema ribeirinho; 3 - Identificação dos objetivos de reabilitação; 4 - Identificação de possíveis soluções; 5 - Elaboração do projeto de reabilitação; 6 - Implementação e gestão; 7 - Monitoramento; 8 - Programas de verificação e avaliação de longo prazo; e, 9 - Implementação de medidas mitigadoras e corretoras permanentes.

Para Coelho (2009) e Macedo et al. (2011), um processo de reabilitação deve incluir, primeiramente, uma justificativa para a intervenção com a contextualização das características hidrogeomorfológicas da bacia hidrográfica. Deve-se para tanto caracterizar a qualidade da água do rio e a utilização de suas margens, além de caracterizar a flora e fauna existentes para que se possam incluir no projeto medidas de proteção.

Outro importante procedimento em programas de restauração é encontrar a condição natural do rio, utilizando-se de registros históricos adotando trechos de referência, com características semelhantes ao rio a ser restaurado (MACEDO et al., 2011).

É de grande importância que um programa de restauração, principalmente em área urbana, inclua a sociedade em todas as fases do processo. A apropriação é um fator primordial e é necessário que se desenvolva uma relação de identidade entre o local e seus habitantes (HOLZ, 2011; MACEDO et al., 2011), objetivando a sustentabilidade do local.

Macedo et al. (2011) sintetizaram os objetivos mais comuns dos programas de restauração de cursos de água como: a melhoria da qualidade hídrica, removendo as fontes de poluição; a restauração da vegetação ripária; o aumento e a melhoria dos habitats físicos dentro dos cursos de água; a passagem de peixes; a estabilização das margens e do canal fluvial; e, o controle de enchentes.

Como prestação de serviços ecossistêmicos as intervenções em rios e córregos urbanos devem considerar a inter-relação dos aspectos físicos, bióticos e humanos, com os rios e córregos urbanos como elementos centrais (SANCHEZ e JACOBI, 2012), objetivando a sustentabilidade do meio urbano.

#### -Exemplos de Restauração de Cursos de Água

Diversas ações foram e estão sendo desenvolvidas no cenário internacional, visando a restauração de cursos de água. Observa-se que em muitos casos os tipos

de intervenções foram adaptados ou intensificados em resposta às necessidades locais. É em geral, um processo em andamento, que objetiva principalmente a melhoria da qualidade da água.

No Quadro 1 são apresentados alguns exemplos de intervenções visando a restauração de cursos de água em ambientes internacionais.

Quadro 1 - Local, problemas observados e principais intervenções em cursos d'água em ambientes internacionais.

<b>Local</b>	<b>Problemas observados</b>	<b>Intervenções</b>
Isar (Alemanha)	Poluição difusa e canalização do curso de água	Retiradas de diques de concreto, que foram utilizados como substrato para o desenvolvimento de novos habitats.
Tâmisa (Inglaterra)	Lançamento de efluentes	Instalação de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) e incineradores para sedimentos resultantes do tratamento de esgoto.
Sena (França)	Lançamento de efluentes domésticos e industriais; agricultura	Implantação de novas ETEs; destinação adequada de efluentes industriais.
Cheonggyencheon (Seul)	Cobertura do rio para formação de autoestrada	Restauração histórica e cultural; demolição da estrutura de concreto; tratamento de efluentes; controle de cheias; paisagismo e iluminação.
Perth (Austrália)	Artificialização do canal; lançamento de efluentes	Retirada do concreto; reflorestamento; controle de cheias; remoção de nutrientes e poluentes.
Anacostia (Estados Unidos)	Lixiviação de poluentes pelas chuvas; transbordamento de esgoto em épocas de chuvas	Aprimoramento da limpeza pública.

Fonte: adaptado de Garcias e Afonso (2013); Sanches e Jacobi (2012).

Segundo Macedo e Magalhães Jr. (2011), as abordagens observadas em cenários internacionais, frequentemente incluem a detenção e retenção das águas pluviais antes de atingir os cursos de água, a captação e tratamento de esgotos, e o desenvolvimento de parques e áreas de proteção. Entretanto, como aponta Garcias e Afonso (2013), muitos projetos a nível internacional, ainda não são efetivamente desenvolvidos, de modo que não alcançam efetivamente seus objetivos.

No Brasil, intervenções de restauração de cursos de água são incipientes. Alguns trabalhos no cenário nacional sugerem a restauração de rios urbanos como solução saneadora, urbanística e no controle das cheias, entretanto, muitos representam apenas propostas e não há a efetiva implementação (MACEDO et al., 2011). No Quadro 2 são apresentadas algumas experiências no cenário brasileiro.

Quadro 2 - Local, problemas observados e principais intervenções em cursos de água no Brasil.

Local	Problemas observados	Intervenções
Rio das Velhas (Minas Gerais)	NIF	Educação Ambiental; reconstrução de habitats; plantio de espécies nativas; construção de ETEs.
Rio Mosquito (Minas Gerais)	Lançamento de efluentes	Conscientização da população; e esgotamento sanitário.
Rio Tietê (São Paulo)	Urbanização; lançamento de efluentes	Redução de lançamento de esgoto.
Rio São Francisco	NIF	Esgotamento sanitário; recomposição das margens.
Baleares (Belo Horizonte)	NIF	Contenções pontuais das margens, recomposição da mata ciliar e criação de parques lineares.

NIF – Não Informado;

Fonte: adaptado de Garcias e Afonso (2013); Macedo et al. (2011)

#### - Tipos de Intervenção

Como já mencionado, o tipo de intervenção adotado dependerá das características do corpo de água a ser revitalizado. Mas, em geral, objetivam o favorecimento da renaturalização do sistema ribeirinho, retomando as características anteriores aos impactos observados, e da sua integridade ecológica (COELHO, 2009).

Segundo Limeira et al. (2010), existem diversas medidas específicas que podem ser usadas para recuperar e proteger áreas ribeirinhas: retenção da vegetação nativa existente e suprimir ou remover espécies e sementes invasoras; estabilização e revegetação de áreas ribeirinhas degradadas; e controle e gestão dos estoques de água nas zonas ribeirinhas e do fornecimento através de sistemas de abastecimento.

Coelho (2009) apresentou algumas das medidas de reabilitação fluvial mais usadas e que cumprem, cada uma na sua área de intervenção específica, os principais objetivos de um processo de reabilitação. Essas medidas de reabilitação podem ser observadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Medidas de intervenção adotadas para revitalização de corpos de água.

Nome	Descrição
------	-----------

INTERVENÇÕES NO CANAL (IC)	Blocos de pedras no leito	Pedras colocadas dentro do leito do rio com o objetivo de criar cobertura, abrigos e reduzir a velocidade da corrente.
	Painel de fundo	Estruturas submersas colocadas no fundo do leito do rio para reduzir a erosão do fundo e promover a manutenção do canal.
	Represa, soleira e açude	Construções de diversos materiais, geralmente em toda a largura do canal para retenção de água, para condução a moinhos, para captações ou para abastecimento próprio.
	Passagem para peixes	Estrutura que visa melhorar as condições de movimentação da ictiofauna para montante.
	Assoreamento e dragagem do leito	Colocação ou remoção de material de fundo do canal, permitindo a remodelação da secção do canal.
INTERVENÇÕES NO CANAL E NAS MARGENS (IC/M)	Células de refúgio	Células construídas com vegetação pesada e blocos de pedra, colocadas na parte baixa da margem e que providenciam cobertura, abrigos para peixes, aumentando o substrato orgânico e prevenindo a erosão das margens.
	Deflector de asa	Estruturas de pedra ou madeira colocadas nas margens do rio que não se estendem a toda a largura do canal para favorecer a deposição de sedimentos e a criação de novos meandros.
	Agrupamento específico de pedras na margem	Colocação de pedras no sopé da margem e no fundo do leito para aumentar a deposição de sedimentos e a dissipação da energia da corrente.
	Tapete de Gabions – Colchão Reno	Tapete de pedras presas por uma rede. Pode ser usado no fundo do leito ou na margem, podendo ser vegetado.
	Preenchimento do leito com troncos de árvores	Protege da erosão e, ao mesmo tempo, aumenta a quantidade de substrato orgânico na água.
	Fachina	Estrutura vegetal permeável colocada no sopé da margem e dentro do canal, pode ser dos tipos fachina viva, fachina de ramos mortos ou gabionada. É natural e adapta-se facilmente às necessidades.
INTERVENÇÕES NAS MARGENS (IM)	Reperfilamento das margens com plantação	Controle do talude por diminuição do volume e do peso das terras substituindo-as por terra vegetal.
	Tapete de enrocamento (riprap)	Lençol de pedras de grandes dimensões aplicado livremente e a granel, na base da margem, para controle da erosão.
	Introdução de estacaria viva e criação de terraços	Técnicas que favorecem o controle da erosão: por introdução de plantas altas e de raízes profundas que funcionam como estacas; e criação de terraços longitudinalmente à margem, onde se pode plantar vegetação.
	Empacotamento vivo	Colocação de camadas sobrepostas de ramos e gravilha, ancorados por estacas.
	Sementeira e hidrossementeira	Plantação de mistura de sementes adequadas ao local e que asseguram uma solução econômica e rápida para a vegetação das margens, assegurando a umidade necessária para a germinação.
INTERVENÇÕES NO CANAL, MARGEM E LEITO DE CHEIA (ICML)	Bacia de sedimentação	Zonas de armazenamento temporário fora do leito e onde se depositam águas e detritos arrastados em situações mais críticas.
	Canal de derivação	Estabelecido para o desvio de caudais a partir de pequenos açudes. Deve ser constituído por paredes impermeáveis, mas com capacidade vegetativa para garantir a estabilidade do solo.
	Canal de derivação de caudais de cheia	Canal alternativo que será o percurso principal em casos em que o volume de água afluente ultrapassa um certo valor limite.
	Remeandrização	Construção de meandros para diminuição da energia da corrente e diminuição da inclinação do canal.
	Introdução de espécies autóctones	Reintrodução artificial de fauna aquática e terrestre originária da zona de reabilitação e adaptada às suas condições.
	Exclusão e gestão da vida animal	Implantação de uma vedação para proteção do espaço físico do canal da fauna; aplica-se principalmente em regiões ricas em pastorícia.
	Faixa de floresta ribeirinha	Plantação de vegetação arbórea e arbustiva no leito de cheia, acompanhando o percurso do rio.

Fonte: Coelho (2009).

### - Recuperação dos Rios Urbanos

Para a recuperação dos rios, deve-se trabalhar não apenas a região caudal, mas também a bacia de drenagem, que passa por muitos bairros que, muitas vezes, não tem saneamento básico.

Para minimizar a problemática do lançamento dos esgotos, uma das propostas observadas é a construção de fossas ecológicas (Tanques de evapotranspiração - TEvap) (Figura 2) nas residências ribeirinhas ou outros locais em que não haja saneamento. Essa tecnologia consiste de um sistema para o tratamento de esgotos e o reaproveitamento dos nutrientes presentes em águas negras para a produção de flores e frutas (BODENS e OLIVEIRA, 2009), contribuindo também para o paisagismo local.

Figura 2 - Esquema de um Tanque de Evapotranspiração.



Fonte: GPEC - Grupo de Estudos em Permacultura (2009).

Observa-se também a necessidade de reflorestamento das matas ciliares, que servirão para absorver os nutrientes que estejam sendo lixiviados para os rios. Futuramente, em alguns pontos em que seja aplicado o tratamento por biorremediação, será necessário controlar o tamanho das árvores, por poda, para que não haja sombreamento na água nesses locais.

Nos ambientes aquáticos poderão ser usadas macrófitas de forma controlada. A utilização desses organismos justifica-se por serem eficazes na remoção de nutrientes nos corpos hídricos. Entretanto, ressalta-se a necessidade de controle das mesmas, evitando o crescimento exagerado, o que traria problemas ambientais, pela ausência de luz no ambiente aquático, o que facilitaria apenas atividades de degradação e não de produção, com a consequente diminuição e até anoxia das águas. Além de ser necessário controlar o crescimento das macrófitas, é necessário que seja realizado o manejo, com a retirada das folhas mortas, para que não ocorra a sua decomposição e assim os nutrientes sejam recolocados no ambiente.

Além das macrófitas, pode ser usado o biofilme, que demonstrou ser mais eficiente que a macrófita *Eichornnia crassipes* na retirada de fósforo da água (CRISPIM et al., 2009). Para isso duas estratégias podem ser aplicadas, a inserção de pedras no leito do rio, que permitirá a fixação do biofilme, e fornecerá abrigo e local de postura para algumas espécies de peixes, ou a colocação de estruturas plásticas de fixação de biofilme (Figura 3), como realizado no açude Manoel Marcionilo, em Taperoá, Paraíba, que permitirá a fixação do biofilme em trechos que apresentem alguma profundidade e as pedras não sejam eficientes, por não receberem luz. A grande vantagem das estruturas para fixação de biofilme, é que estas não requerem manutenção no sentido de limpeza, visto que o biofilme aderido será alimento de peixes, que ao retirarem esse alimento, disponibilizam espaço novamente para mais indivíduos se aderirem ou crescerem.

Figura 3 - Estruturas flutuantes, usando plástico como fixador de biofilme, aplicado no Açude Taperoá, Taperoá, PB.



Imagem: Cristina Crispim, 2013.

Alguns projetos de revitalização de rios, como no caso do Tâmsa, em Londres, apenas medidas de saneamento garantiram a recuperação ambiental e a retomada da biota, que antes quase não existia mais. Acredita-se que com medidas mistas, saneamento e biorremediação, essa recuperação seja mais acelerada e obtida em menor espaço de tempo.

Diversos trabalhos têm apontado resultados positivos em relação aos projetos de revitalização de rios urbanos. Entre eles destacam-se: a melhoria das condições

de vida e salubridade da população, a partir do controle de enchentes e tratamento de efluentes; melhoria estética da área e valorização comercial das habitações; melhoria da qualidade da água; a integração dos corpos d'água ao espaço urbano e a dinâmica da sociedade urbana; e melhoria das relações sociais em decorrência das ações de comunicação e Educação Ambiental que criaram nas comunidades um senso de cidadania nitidamente verificado em razão da mudança positiva de hábitos (LIMEIRA et al., 2010; MACEDO e MAGALHÃES JR., 2011; MACEDO et al., 2011; OLIVEIRA, 2011).

Coelho (2009) reforçou que toda intervenção no sistema fluvial envolve condicionantes específicos, que devem ser alvo de regulamentação e avaliação. Indicadores de desempenho são importantes para auxiliar nas tomadas de decisão que envolvem a análise integrada de múltiplas variáveis, como nas intervenções realizadas em corpos hídricos (CARDOSO e BAPTISTA, 2012). O principal objetivo desses indicadores é analisar a qualidade do projeto executado, verificando a adequabilidade dos objetivos e a análise feita dos problemas do sistema ribeirinho (COELHO, 2009).

Os indicadores ambientais (físicos, químicos e biológicos) são amplamente utilizados pela comunidade científica (COELHO, 2009). Sendo assim, propõe-se que sejam usados como indicadores de qualidade de água os indicadores físicos: transparência; os químicos: condutividade elétrica, pH, oxigênio dissolvido, DQO, ortofostato, nitrato, nitrito e amônio; e os biológicos: análise microbiológica (coliformes totais e termotolerantes), clorofila-*a*, comunidades fitoplanctônica, zooplanctônica, bentônica e íctica. Todos esses parâmetros devem ser analisados antes e após a aplicação do projeto de recuperação

Na avaliação de programas de restauração de cursos de água urbanos, a componente social é uma dimensão necessária, embora, segundo Macedo e Magalhães Jr. (2011), muitas vezes ser desconsiderada. A abertura à participação da sociedade nos processos de concessão dos projetos de restauração e de manutenção/proteção das intervenções é essencial, bem como, a avaliação da eficiência dos programas por uma ótica social, uma vez que a população será fortemente responsável pela manutenção da qualidade ambiental obtida.

#### **4 MATERIAL E MÉTODOS**

## 4.1 ÁREA DE ESTUDO

### 4.1.1 A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba

A bacia hidrográfica do Rio Paraíba, com uma área de 20.000 km<sup>2</sup>, compreendida entre as latitudes 6°51'35" e 8°26'21" Sul, e as longitudes 34°48'35" e 37°2'15" Oeste, é a segunda maior bacia hidrográfica do estado da Paraíba, pois abrange 32% do seu território. Considerada uma das mais importantes do semiárido nordestino, ela é composta pela sub-bacia do Rio Taperoá e regiões do alto médio e baixo curso do Rio Paraíba (AESAs, 2017). Em seu território concentra-se uma população superior a 1,5 milhão de habitantes, abrangendo 85 (oitenta e cinco) municípios, dentre eles, João Pessoa, capital do Estado, e Campina Grande, segundo maior centro urbano do Estado (ARAÚJO et al., 2015).

Para a realização do presente trabalho foram selecionados doze pontos de coleta, correspondendo a quatro reservatórios (Poções, Camalaú, Presidente Epitácio Pessoa - Boqueirão e Argemiro de Figueiredo - Acauã) localizados nos alto e médio curso do Rio Paraíba e oito pontos no leito do Rio Paraíba. A escolha dos reservatórios como pontos de análise, justifica-se porque esses ambientes funcionam como acumuladores das informações processadas ao longo da bacia hidrográfica e que são refletidas nas características das águas e da biota presente nesses ambientes. Ou seja, bacias ou partes delas que apresentam menos impactos serão capazes de ter melhor qualidade de água nos reservatórios, enquanto que bacias hidrográficas mais impactadas terão reservatórios com menor qualidade de água (SILVA et al., 2014). Ao mesmo tempo, fatores internos, como a biota presente, também poderão afetar a qualidade da água para melhor ou pior (CRISPIM et al., 2017). Além disso, os reservatórios são a fonte primária de água para abastecer grande número de municípios.

Outro motivo para a escolha dos reservatórios está relacionado com o fato do Rio Paraíba ser intermitente acima de Campina Grande e ficar sem água nos períodos de estiagem. Os demais pontos são localizados a jusante da barragem de Acauã, no baixo curso do Rio Paraíba, que apresenta um fluxo de água permanente. Nessa parte do rio, foram selecionados pontos de amostragem a montante e a jusante das principais cidades que estão nas margens do Rio Paraíba, como Salgado de São Félix, Itabaiana, Cruz do Espírito Santo, Santa Rita e Bayeux, estas duas últimas foram consideradas juntas por estarem conectadas. Assim, pode-se

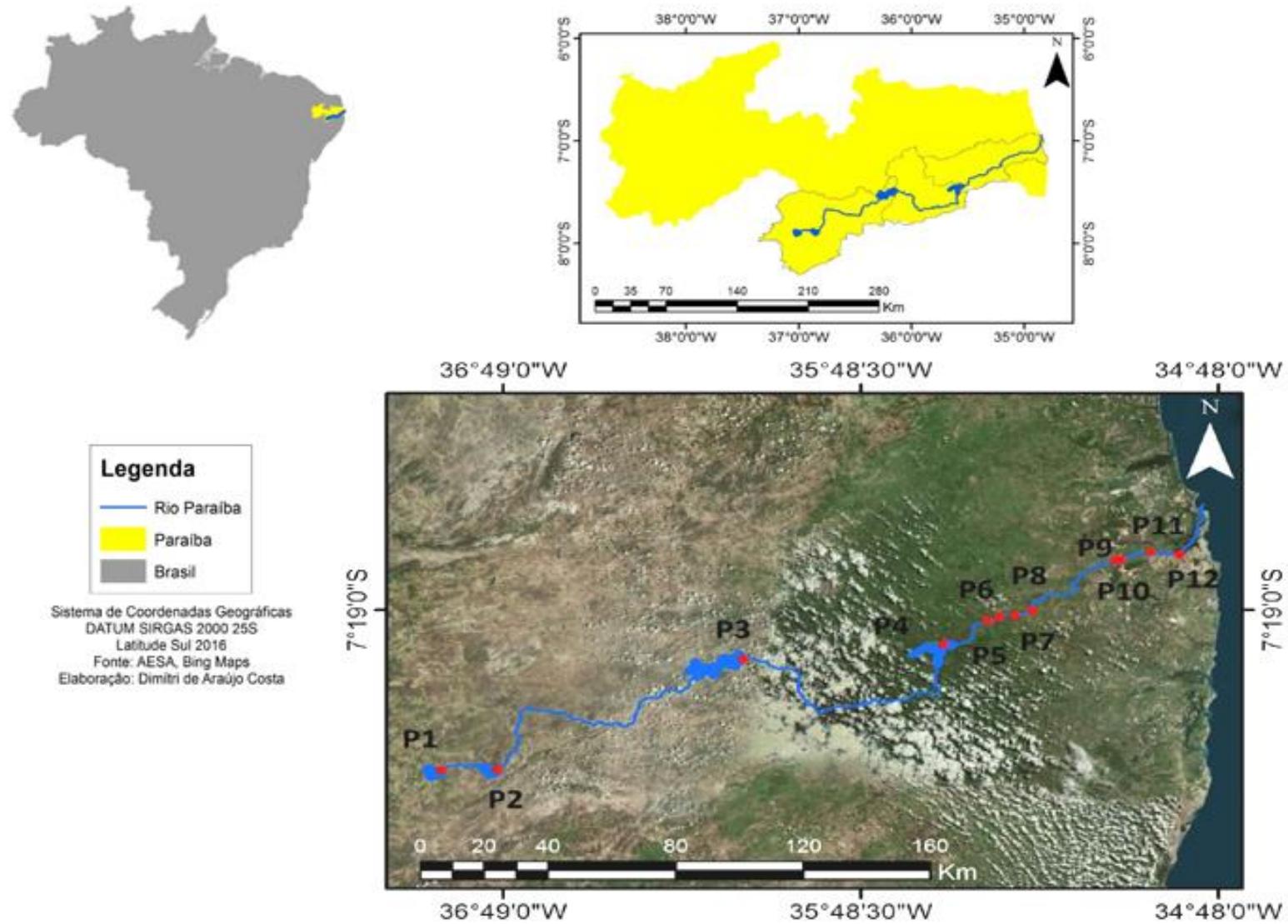
observar melhor a interferência das cidades na qualidade das águas no Rio Paraíba. A identificação dos pontos de coleta e suas respectivas localizações estão descritas no Quadro 4 e apresentadas na Figura 4.

Quadro 4 - Identificação dos pontos de coleta e respectivas localizações na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba – PB.

		
<b>P1</b> Açude Poções <b>Localização:</b> 07°53'18,8"S e 036°59'57,6"W <b>Município:</b> Monteiro	<b>P2</b> Açude Camalaú <b>Localização:</b> 07°53'12,9"S e 036°50'07,8"W <b>Município:</b> Camalaú	<b>P3</b> Açude Epitácio Pessoa (Boqueirão) <b>Localização:</b> 07°29'50,9"S 36°08'42,8"W <b>Município:</b> Monteiro
		
<b>P4</b> Açude Argemiro de Figueiredo (Acauã) <b>Localização:</b> 07°26'35,5"S e 035°34'51,5"W <b>Município:</b> Itatuba	<b>P5</b> Rio Paraíba Antes da zona urbana <b>Localização:</b> 07°21'20,6"S e 035°27'09,6"W <b>Município:</b> Salgado de São Félix	<b>P6</b> Rio Paraíba Depois da zona urbana <b>Localização:</b> 07°20'49,1"S e 035°25'03,3"W <b>Município:</b> Salgado de São Félix
		
<b>P7</b> Rio Paraíba Antes da zona urbana <b>Localização:</b> 07°20'02,5"S e 035°22'43,8"W <b>Município:</b> Itabaiana	<b>P8</b> Rio Paraíba Depois da zona urbana <b>Localização:</b> 07°19'07,6"S 035°19'49,6"W <b>Município:</b> Itabaiana	<b>P9</b> Rio Paraíba Antes da zona urbana <b>Localização:</b> 07°08'35,8"S e 035°05'37,4"W <b>Município:</b> Cruz do Espírito Santo
		
<b>P10</b> Rio Paraíba Depois da zona Urbana <b>Localização:</b> 07°08'21,0"S e 035°04'46,6"W <b>Município:</b> Cruz do Espírito Santo	<b>P11</b> Rio Paraíba Antes da zona urbana <b>Localização:</b> 07°06'51,8"S 034°59'45,7"W <b>Município:</b> Santa Rita	<b>P12</b> Rio Paraíba Final da zona urbana <b>Localização:</b> 07°07'12,6"S 034°54'52,6"W <b>Município:</b> Bayeux

Imagens: Alinne Gurjão (2016).

Figura 4 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba e dos pontos de amostragem.



Os reservatórios estudados diferem consideravelmente quanto ao potencial para acumulação de água. Os açudes Poções, Camalaú e Presidente Epitácio Pessoa (Boqueirão) estão localizados no alto curso do Rio Paraíba. O Argemiro de Figueiredo (Acauã) no médio curso do Rio Paraíba. Os quatro reservatórios, em função da estiagem prolongada, apresentaram seus volumes baixos durante todo o período estudado, incluindo a sua capacidade de acumulação.

Na Tabela 2 estão apresentadas as características dos reservatórios estudados.

Tabela 2 - Caracterização dos reservatórios estudados na bacia hidrográfica do Rio Paraíba – PB.

<b>Reservatório</b>	<b>Poções</b>	<b>Camalaú</b>	<b>Presidente Epitácio Pessoa</b>	<b>Argemiro de Figueiredo</b>
<b>Localização</b>	Alto curso	Alto curso	Alto curso	Médio curso
<b>Capacidade total (m<sup>3</sup>)</b>	29.861.562	48.107.240	418.088.514	253.000.000
<b>Ano de Construção</b>	1982	1980	1956	2001

#### 4.1.2 Região do Alto Curso do Rio Paraíba

A região do alto curso do Rio Paraíba compreende os municípios de Amparo, Barra de São Miguel, Boqueirão, Cabaceiras, Camalaú, Caraúbas, Congo, Coxixola, Monteiro, Ouro Velho, Prata, São Domingos do Cariri, São João do Cariri, São João do Tigre, São Sebastião do Umbuzeiro, Serra Branca, Sumé e Zabelê.

O clima é do tipo BSh, ou seja, semiárido quente, de acordo com a classificação climática de Köppen (SILVA et al., 2014). Nessa região as temperaturas anuais do ar variam entre 18°C e 31 °C. O regime pluviométrico é caracterizado por precipitações médias anuais que variam entre 350 mm e 600 mm, com totais anuais concentrados em fevereiro, março, abril e maio (AESAs, 2017). A taxa de evaporação varia entre 2500 e 3000 mm anuais (BRITO, 2013).

O Rio do Meio e o Rio Sucuru são afluentes do Rio Paraíba no seu alto curso pela margem esquerda, e as contribuições dos rios Monteiro e Umbuzeiro são recebidas pela margem direita (SILVA et al., 2014). A vegetação predominante é natural de caatinga hiperxerófila, hipoxerófila, floresta caducifólia e subcaducifólia. Essa vegetação caracteriza-se pela perda das folhas no verão, exceto em áreas

onde existe vegetação rasteira constituída por herbáceos espinhosos, arbustos e aglomerados rasteiros (PARAÍBA, 2006).

A região do alto curso do Rio Paraíba está inserida na escarpa sudoeste do planalto da Borborema, com as cotas mais altas superiores a 600 m, em relevo ondulado, forte ondulado e, em algumas áreas, também montanhoso, sendo observado o tipo de solo Bruno não Cálcico, que cobre todo o cristalino (PERH-PB, 2006). Em estudo na região do alto curso do Rio Paraíba, Silva et al. (2014) identificaram diversos impactos na bacia que podem interferir na qualidade das águas. A principal fonte de poluição apontada foi o lançamento de efluentes no rio, uma vez que as cidades localizadas nesta região apresentam sistema de coleta e tratamento de esgotos precários, o que se reflete em uma grande carga orgânica e de nutrientes que é recebida pelo corpo hídrico; a exploração agropecuária em toda a bacia; a deposição incorreta de resíduos sólidos ao longo do rio; a remoção da vegetação nativa e os processos erosivos no leito do rio são também apontados pelos autores como impactantes para a qualidade das águas.

#### **- Açude Poções:**

O açude Poções está localizado no alto curso do Rio Paraíba, no Riacho Mulungu, no município de Monteiro – PB, a aproximadamente 15 km a jusante da sede municipal. A cidade de Monteiro dista 164 km de Campina Grande e 292 km de João Pessoa.

O açude tem capacidade de armazenamento de 29.861.562 m<sup>3</sup>, formando um espelho de água de 773,41 ha e drenando uma área de 656 km<sup>2</sup> (DNOCS, 2016). Esse açude recebe o canal de transposição do Eixo Leste do Rio São Francisco para o estado da Paraíba.

A finalidade principal do açude é o aproveitamento do potencial hídrico para irrigação e abastecimento humano (DNOCS, 2016). De acordo com Brito (2013) em virtude da baixa qualidade das águas do açude, que recebe efluentes da cidade de Monteiro – PB, ele não é utilizado para abastecimento humano urbano da cidade ou das comunidades próximas ao açude. A qualidade das águas do açude Poções é uma das preocupações em relação à manutenção da qualidade das águas provenientes do Rio São Francisco.

Analisando a qualidade da água do reservatório, Silva et al. (2014) observaram a permanência de elevadas Demandas Químicas de Oxigênio (DQO)

(200 – 479 mg.L<sup>-1</sup>) e de elevadas concentrações de Fósforo Total (2,73 – 9,56 mg.L<sup>-1</sup>), acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (0,03 mg.PT/L<sup>-1</sup>), evidenciando a problemática relacionada com o lançamento de esgotos no reservatório e o comprometimento da qualidade das águas.

Ainda em relação à qualidade das águas, Silva (2012) observou uma predominância de cianobactérias no reservatório Poções, principalmente de *Microcystis aeruginosa*, potencial produtora de cianotoxinas, que podem comprometer a saúde humana. Segundo o autor, o reservatório apresentou-se eutrófico durante o período de estudo (seco e chuvoso) (SILVA, 2012).

#### **- Açude Camalaú:**

O açude Camalaú está situado no alto curso do Rio Paraíba, na cidade de Camalaú - PB. Atualmente ele é responsável pelo abastecimento da cidade de Camalaú, com uma capacidade de acumulação de água de 48.107.240 m<sup>3</sup>. Suas águas são utilizadas para abastecimento humano, bem como, utilizadas para aquicultura, dessedentação de rebanhos, lazer e irrigação (AESA, 2017). É o segundo açude localizado no eixo da cascata da transposição do Rio São Francisco no estado da Paraíba.

Segundo Silva et al. (2014) há variação na qualidade das águas do reservatório em relação ao período seco e chuvoso. Analisando as concentrações de DQO (56 – 125 mg.L<sup>-1</sup>) e de Fósforo Total (0,14 – 0,6 mg.L<sup>-1</sup>), os autores observaram que estas estavam acima dos valores permitidos pela legislação (0,03 mg.PT.L<sup>-1</sup>) (BRASIL, 2005), com águas de melhor qualidade no período de chuvas, com o aumento do volume de água acumulado. Brito (2013) relatou a utilização das águas do açude pelas comunidades vizinhas ao mesmo tempo em que a consideram de boa qualidade para consumo humano. Silva (2012), entretanto, observou abundância de cianobactérias no reservatório, em relação a outros taxa fitoplanctônicos, com predominância de *Microcystis aeruginosa*, produtora potencial de cianotoxinas. Desse modo, há preocupação em relação à utilização dessas águas que mesmo com o tratamento convencional podem comprometer a saúde da população. O reservatório apresentou variação de estado de trofia entre mesotrófico (período de chuvas) e eutrófico (período seco) (SILVA, 2012).

#### **- Açude Presidente Epitácio Pessoa (Boqueirão):**

O açude Presidente Epitácio Pessoa (Boqueirão) é o divisor entre o alto e médio cursos do Rio Paraíba. É o segundo maior reservatório do Estado, perdendo apenas para o açude Coremas/Mãe D'água. Sua barragem fica no município de Boqueirão, cuja bacia hidráulica estende-se para os seguintes municípios: Boqueirão (alto/médio Paraíba), Barra de São Miguel (alto Paraíba) e Cabaceiras (sub-bacia do Rio Taperoá).

Quando o reservatório foi construído a sua capacidade era de, aproximadamente, 536.000.000 m<sup>3</sup>, mas devido ao assoreamento a sua capacidade de armazenamento vem reduzindo (PARAÍBA, 2006). Atualmente seu volume máximo de acumulação é de aproximadamente 411.686.287 m<sup>3</sup>. O lago formado cobre uma área de 2.680 ha e a sua bacia hidrográfica ocupa uma área de 12.410 km<sup>2</sup>.

É utilizado principalmente para fins de abastecimento e outras atividades, como: irrigação, piscicultura, perenização do rio e turismo. É responsável atualmente pelo abastecimento de 20 municípios da região do Cariri paraibano (AESA, 2017), inseridos na mesorregião de Campina Grande.

O reservatório sofre uma série de impactos que têm repercutido sobre a sua capacidade de acumulação e qualidade das águas, entre eles: desmatamento da mata ciliar, assoreamento, uso desordenado do solo e da bacia hidráulica, construção de pequenas e médias barragens a montante do açude, construção de moradias na ilha e nas margens do manancial, atividade irregular de irrigação, e lançamento de efluentes das comunidades lindeiras ao açude (BRITO, 2013).

Franco et al. (2007) afirmaram que a área no entorno do açude sofre processo acelerado de degradação ambiental, devido ao manejo inadequado do solo, com significativo desprovimento da cobertura vegetal, tornando-o propenso à erosão.

Segundo Silva Jr. (2013), o reservatório apresenta degradação na qualidade de suas águas, com elevados níveis de fósforo, advindos das práticas de uso e ocupação do solo na sua bacia hidrográfica. Predominantemente, o reservatório apresenta estado eutrófico, com diminuição da transparência da água, anoxia durante o verão (camada de hipolímnio) e problemas de surgimento de macrófitas.

O reservatório Presidente Epitácio Pessoa também apresenta problemas relacionados com a presença de cianobactérias, tendo como mais representativa a *Planktothrix agardhii*. Segundo Silva (2012), no período estudado, o açude

apresentava-se oligotrófico na estação de chuvas e mesotrófico na estação de estiagem.

#### **4.1.3 Região do Médio Curso do Rio Paraíba**

A região do médio curso do Rio Paraíba compreende os municípios de Alcantil, Aroeiras, Barra de Santana, Barra de São Miguel, Boa Vista, Boqueirão, Campina Grande, Caturité, Fagundes, Gado Bravo, Itatuba, Montadas, Natuba, Pocinhos, Puxinanã, Queimadas, Riacho de Santo Antônio, Santa Cecília e Umbuzeiro.

O clima é classificado como semiárido quente. As temperaturas variam entre 18 °C e 31 °C. Os dados pluviométricos indicam que a região apresenta precipitação média anual diferenciada, decrescendo de Leste (1100 mm) para Oeste (600 mm). A umidade relativa do ar na região varia de 68% a 85%, ocorrendo valores máximos entre os meses de junho e agosto, e os mínimos de novembro a janeiro (PARAÍBA, 2006).

A vegetação predominante é do tipo caatinga hiperxerófila, hipoxerófila, floresta caducifólia e subcaducifólia. Quanto ao relevo, está situada na parte do planalto da Borborema, apresentando três faixas de transição entre a depressão sublitorânea e a região da serra da Borborema, com setores ondulados, forte ondulados e montanhosos, e os solos predominantes são do tipo: Bruno não Cálculo de pouca espessura, Litólicos, Solonetz Solodizado, Regossolos e Cambissolos (PARAÍBA, 2006).

Nessa região está situado o segundo maior reservatório da bacia hidrográfica do Rio Paraíba e o terceiro maior reservatório estadual, o Argemiro de Figueiredo, também conhecido como Acauã.

#### **- Açude Argemiro de Figueiredo (Acauã):**

O açude Argemiro Figueiredo está localizado no Agreste do Estado, na fronteira entre os municípios de Aroeiras, Itatuba e Natuba (AESAs, 2017). Sua bacia hidrográfica ocupa uma área de 1.725 ha e apresenta capacidade máxima de armazenamento de 253.142,247 m<sup>3</sup> de água.

Além de reforçar o sistema de abastecimento de água de Campina Grande (nunca efetivado), o reservatório foi projetado para atender ao abastecimento das cidades de Itabaiana, Salgado de São Felix, Natuba, Pilar, Itatuba, Mogeiro, Ingá,

São Miguel de Itaipú e Aroeiras; para propiciar o desenvolvimento de irrigação e pesca; contenção de enchentes na região do baixo Paraíba; e fornecimento de vazão regularizada na calha do Rio Paraíba (BRITO, 2013). Diversos estudos de qualidade das águas do reservatório apontam a dominância de cianobactérias, principalmente, *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Microcystis aeruginosa*, *Oscillatoria* sp., *Planktothrix* sp. e *Pseudoanabaena* sp. (BARBOSA e MENDES, 2004; LINS, 2006; LUNA, 2008), a maioria potencialmente produtora de toxinas. Segundo Luna (2008) o reservatório apresentou-se na condição de eutrófico e hipereutrófico, com florações de cianobactérias desde o ano de seu enchimento.

De acordo com Oliveira e Ceballos (2014) o açude mantém níveis elevados de eutrofização, sem condições de autodepuração, em virtude das altas cargas de matéria orgânica que recebe. Além disso, há a contribuição da vegetação submersa, ainda em estado de decomposição, visto que não houve desmatamento da área antes da inundação, e das fossas sépticas e os lixões das populações de Melancia e Pedro Velho, que ficaram submersas junto com as residências.

Brito (2008) avaliando cargas poluidoras no médio Rio Paraíba identificou que parte da poluição hídrica da bacia hidrográfica advém de esgotos mal tratados oriundos de efluentes da ETE da Catingueira, em Campina Grande, recebidos pelo Rio Bodocongó, que se inicia no sangradouro do açude homônimo, formando o Riacho de Bodocongó. Este passa por vários ambientes não saneados, entra no município de Barra de Santana, seguindo seu curso, para desembocar, ainda dentro desse município, no médio curso do Rio Paraíba, que lança suas águas no açude de Acauã. A água do médio curso do Rio Paraíba e do Rio Paraibinha contribuem para aumentar o grau de eutrofização já evidente nessa barragem.

#### **4.1.4 Região do Baixo Curso do Rio Paraíba**

A região do baixo curso do Rio Paraíba está localizada na parte litorânea do estado da Paraíba. Limita-se ao sul com a sub-bacia do Rio Gramame e com o estado de Pernambuco, ao norte com a bacia do Rio Mamanguape e Rio Miriri, a oeste com a região do médio curso do Rio Paraíba e a leste com o Oceano Atlântico. A região é drenada pelo baixo curso do Rio Paraíba, que deságua no Oceano Atlântico na cidade de Cabedelo, e tem como principal afluente o Rio Paraibinha, possuindo uma área de 3.940,45 km<sup>2</sup>, da qual 15,04 km<sup>2</sup> encontram-se fora dos limites do Estado (PARAÍBA, 2006).

O baixo curso do Rio Paraíba compreende os municípios de Alagoa Grande, Bayeux, Cabedelo, Caldas Brandão, Cruz do Espírito Santo, Fagundes, Gurinhém, Ingá, Itabaiana, Itatuba, João Pessoa, Juarez Távora, Juripiranga, Lagoa Seca, Lucena, Mari, Massaranduba, Mogeiro, Mulungu, Pedras de Fogo, Pilar, Queimadas, Riachão do Bacamarte, Riachão do Poço, Salgado de São Félix, Santa Rita, São José dos Ramos, São Miguel do Taipu, Sapé, Serra Redonda e Sobrado.

Em relação ao aspecto climático, na região do baixo curso do Rio Paraíba vigora o clima do tipo Aw', isto é, úmido, conforme a classificação de Köppen, com variações de temperatura de 28°C a 32°C. A precipitação média anual varia entre 1.200 e 1.700 mm, com valores decrescentes da região litorânea para o interior. Observa-se que a maior concentração do total precipitado ocorre nas áreas costeiras (PARAÍBA, 2006).

Existem algumas áreas com vegetação de mata Atlântica nativa e ecossistemas associados, como, manguezais, campos de várzeas e formações mistas dos tabuleiros, cerrados e restingas. A região tem sofrido com o desmatamento para dar lugar a culturas de cana-de-açúcar, abacaxi, inhame, mandioca, etc. (PARAÍBA, 2006).

#### **4.2 Levantamento de Dados**

O levantamento de dados para esta pesquisa baseou-se em cinco etapas principais:

- i) Levantamento bibliográfico na temática de estudo;
- ii) Levantamento de dados pluviométricos e de volumes dos açudes, disponibilizados no "site" da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA);
- iii) Atividade de campo e realização de entrevistas semiestruturadas com gestores municipais nas áreas de interferência do Rio Paraíba, onde foram realizadas as coletas de águas;
- iv) Atividades de campo, com visitas e observação *in loco* das áreas de estudo e das interferências que ocorrem na bacia;
- v) Atividades de campo para coleta e análise de amostras ambientais e biológicas da água;
- vi) Elaboração de propostas para mitigação dos impactos levantados pelo estudo.

### **4.3 Atividades de Campo e Coletas de Amostras**

#### **4.3.1 Entrevistas Semi-estruturadas e Análise do Uso do Solo**

Este projeto foi enviado para o Comitê de Ética CEP-CCM-UFPB e obteve aprovação sob protocolo nº 27939710.

As atividades de campo para realização de entrevistas semi-estruturadas (Apêndice 1) ocorreram entre março de 2016 e janeiro de 2017. As entrevistas foram realizadas com representantes das prefeituras dos municípios próximos às margens do Rio Paraíba (prefeitos ou secretários municipais) e a partir destes, atores sociais envolvidos no uso do solo e qualidade das águas.

Foram realizadas entrevistas com representantes das prefeituras, nas secretarias municipais de agricultura, infraestrutura e meio ambiente, da Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), moradores que residem próximos ao rio, agricultores, e representantes da agrovila Laffayet, objetivando levantar informações sobre condições de saneamento, agricultura, pecuária e pesca, potenciais impactos à qualidade das águas e expectativa de impactos sociais e ambientais do processo de transposição do Rio São Francisco.

Foram também realizadas visitas *in loco*, para obtenção de informações sobre a qualidade ambiental e impactos que pudessem ser observados visualmente. Foram realizados registros desses impactos com o uso de câmera fotográfica.

Foram analisados os principais usos do solo nas seguintes cidades localizadas próximas às margens do rio (seguindo o seu curso): Monteiro, Camalaú, Congo, Caraúbas, Cabaceiras, Boqueirão, Itatuba, Salgado de São Félix, Itabaiana, Cruz do Espírito Santo, Santa Rita e Bayeux. João Pessoa e Cabedelo não foram inseridas neste trabalho por já serem áreas de estuário.

#### **4.2 Coleta de Amostras de Águas**

As coletas de água foram realizadas bimestralmente, nos doze pontos selecionados, entre março de 2016 a janeiro de 2017 (compreendendo o período anterior à transposição do Rio São Francisco); e entre maio e julho de 2017 (após a chegada das águas do Rio São Francisco no estado da Paraíba). Após a transposição do Rio São Francisco, as coletas foram realizadas nos três açudes que começaram a receber as águas: o Açude Poções – P1, o Açude Camalaú – P2 e o Açude Presidente Epitácio Pessoa – P3.

#### 4.4 Parâmetros Analisados

Para a análise da qualidade da água algumas medidas foram tomadas em campo com o auxílio de sondas pHmetro e oxímetro digitais (pH, oxigênio dissolvido e temperatura) e a Transparência, utilizando um Disco de Secchi. Para as demais análises, amostras de água foram acondicionadas em frascos apropriados, resfriadas, devidamente identificadas e levadas para o Laboratório de Ecologia Aquática da UFPB para processamento e posterior análise segundo a APHA. No Quadro 5 estão apresentados os parâmetros e respectivos métodos de análises utilizados.

Quadro 5 - Parâmetros de análise de qualidade da água e respectivos métodos de análises.

Análise	Método
Temperatura	Sensor de temperatura
Ph	pHmetro digital
Oxigênio Dissolvido	Oxímetro digital
Transparência	Disco de Secchi
Nitrito	4500 NO <sub>2</sub> – B Método colorimétrico (CLESCERI et al., 2005)
Nitrato	4500 NO <sub>3</sub> – E Método da coluna de cádmio (CLESCERI et al., 1998)
Amônia	4500 NH <sub>3</sub> – F Método do fenol (CLESCERI et al., 2005)
Ortofosfato	4500 P – E Método do ácido ascórbico (CLESCERI et al., 2005)
Fósforo Total	4500 P – B.5 Método da digestão pelo Persulfato/ 4500 P – E Método do ácido ascórbico (CLESCERI et al., 2005)
Clorofila – a	Extração com Acetona (90%)/ Lorenzen (1967)

Para a análise de clorofila-a, as amostras foram coletadas em frascos de polietileno e concentradas sob pressão negativa, em filtros de fibra de vidro Whatman GF/C de 47 mm de diâmetro. Como solvente foi utilizado acetona a 90%. Após 24 horas de extração, no escuro e a baixa temperatura, as medidas de absorvância dos extratos foram tomadas espectrofotometricamente a 665nm e 750nm de comprimento de onda, antes e após a acidificação com HCl a 1N. As concentrações de clorofila-a foram obtidas através da fórmula proposta por Lorenzen (1967) (Equação 1).

$$\text{Clorofila} - a (\mu.L^{-1}) = P \times (A_{665} - A_{750}) \times \frac{1000 \times V}{v \times PL}$$

**Equação 1**

Em que:

**P** = Constante de proporcionalidade para acetona (26,7 cm.mg.L<sup>-1</sup>).

**A<sub>665</sub>** = Absorbância do extrato no comprimento 665, corrigido com a absorbância do extrato acidificado.

**A<sub>750</sub>** = Absorbância do extrato no comprimento 750, corrigido com a absorbância do extrato acidificado.

**V** = Volume filtrado da amostra.

**v** = Volume do extrato (10 mL).

**PL** = Comprimento ótico da cubeta (1cm).

Os resultados físicos, químicos e biológicos foram comparados 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.

Para a avaliação da qualidade da água utilizou-se como referência águas de Classe 2, segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, atualmente em vigor, uma vez que o último enquadramento realizado no Estado foi em 1988, com base na Diretriz 201 (Classificação das águas interiores do Estado da Paraíba) (SUDEMA, 1988), e segundo o Artigo 42 (Resolução CONAMA nº 357/2005), enquanto não aprovados os enquadramentos, as águas doces serão consideradas como de classe 2.

A partir dos resultados obtidos foram gerados os Índices de Estado Trófico – IET proposto por Carlson (1977) e modificado por Lamparelli (2004), segundo as Equações 2, 3, 4, 5, 6, e 7. A classificação dos estados tróficos é inferida de acordo com as Tabelas 2 e 3.

#### - Rios

$$IET (CL) = 10 \times \left( 6 - \left( \frac{(-0,7 - 0,6 \times (\ln CL))}{\ln 2} \right) \right) - 20$$

**Equação 2**

$$IET (PT) = 10 \times \left( 6 - \left( \frac{(-0,42 - 0,36 \times (\ln PT))}{\ln 2} \right) \right) - 20$$

**Equação 3**

$$IET (PT) = \left( \frac{IET(PT) + IET(CL)}{2} \right)$$

**Equação 4**

Em que:

**CL** = concentração de clorofila medida à superfície da água em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ .

**PT** = concentração de fósforo total medida à superfície da água em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ .

Tabela 3 - IET e equivalência com medidas de fósforo total e clorofila-a em rios, segundo Carlson (1977) e Lamparelli (2004).

<b>Categoria (Estado Trófico)</b>	<b>Ponderação</b>	<b>P-total (<math>\text{mg/m}^3</math>)</b>	<b>Clorofila a (<math>\mu\text{g/m}^3</math>)</b>
Ultraoligotrófico	$\text{IET} \leq 47$	$P \leq 13$	$\text{CL} \leq 0,74$
Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$	$13 < P \leq 35$	$0,74 < \text{CL} \leq 1,31$
Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$	$35 < P \leq 137$	$1,31 < \text{CL} \leq 2,96$
Eutrófico	$59 < \text{IET} \leq 63$	$137 < P \leq 296$	$2,96 < \text{CL} \leq 4,70$
Supereutrófico	$63 < \text{IET} \leq 67$	$296 < P \leq 640$	$4,70 < \text{CL} \leq 7,46$
Hipereutrófico	$\text{IET} > 67$	$640 < P$	$7,46 < \text{CL}$

#### - Reservatórios

$$\text{IET (CL)} = 10 \times \left( 6 - \left( \frac{-0,92 - 0,34 \times (\ln \text{CL})}{\ln 2} \right) \right)$$

**Equação 5**

$$\text{IET (PT)} = 10 \times \left( 6 - \left( \frac{-1,77 - 0,42 \times (\ln \text{PT})}{\ln 2} \right) \right)$$

**Equação 6**

$$\text{IET (PT)} = \left( \frac{\text{IET(PT)} + \text{IET(CL)}}{2} \right)$$

**Equação 7**

Em que:

**CL** = concentração de clorofila a medida à superfície da água em  $\mu\text{g/L}$ .

**PT** = concentração de fósforo total medida à superfície da água em  $\mu\text{g/L}$ .

Tabela 4 - IET equivalência com medidas de fósforo total, clorofila a e transparência em reservatórios, segundo Carlson (1977) e Lamparelli (2004).

<b>Categoria (Estado Trófico)</b>	<b>Ponderação</b>	<b>Secchi – S (m)</b>	<b>P-total (mg.m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Clorofila a (µg.m<sup>-3</sup>)</b>
Ultraoligotrófico	IET ≤ 47	S ≥ 2,4	P ≤ 8	CL ≤ 1,17
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52	2,4 > S ≥ 1,7	8 < P ≤ 19	1,17 < CL ≤ 3,24
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59	1,7 > S ≥ 1,1	19 < P ≤ 52	3,24 < CL ≤ 11,03
Eutrófico	59 < IET ≤ 63	1,1 > S ≥ 0,8	52 < P ≤ 120	11,03 < CL ≤ 30,55
Supereutrófico	63 < IET ≤ 67	0,8 > S ≥ 0,6	120 < P ≤ 233	30,55 < CL ≤ 69,05
Hipereutrófico	IET > 67	0,6 > S	233 < P	69,05 < CL

#### 4.5 Análises Estatísticas

A estatística descritiva dos dados ambientais (média, mediana, desvio padrão, máximo e mínimo), análises de correlação e análise de componentes principais (ACP) foram realizadas utilizando-se o programa Past (HAMMER et al., 2001).

## REFERÊNCIAS

- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba.** Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/>> Acesso em setembro de 2017.
- ALMEIDA, V. L. S.; DANTAS, E. W; MELO-JUNIOR, M; BITTERN COURT-OLIVEIRA, M.C. ; MOURA, A. N. Zooplanktonic community of six reservoirs in northeast Brazil. **Braz. J. Biol.**, v. 69, n. 1, p. 57-65, 2009.
- ALMEIDA, V. L. S.; MELÃO, M. G. G.; MOURA, A. N. Plankton diversity and limnological characterization in two shallow tropical urban reservoirs of Pernambuco State, Brazil. **An Acad Bras Cienc**, v. 84, n. 2, p. 537-550, 2012.
- ALMEIDA, H. A.; FREITAS, R. C.; SILVA, L. Determinação de períodos secos e chuvosos em duas microrregiões da Paraíba através da técnica dos quantis. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 30, No. 1, 2013.
- ALVES, T. L. B; LIMA, V. L. A; FARIAS, A. A. Impactos ambientais no Rio Paraíba na área do município de Caraúbas – PB: região contemplada pela integração com a bacia hidrográfica do rio São Francisco. **Caminhos da Geografia**, v. 13, n. 43, p. 160–173, 2012.
- ANDRADE, J. A.; NUNES, M. A. Acesso à água no Semiárido Brasileiro: uma análise das políticas públicas implementadas na região. **Revista espinhaço**, v. 3, n. 2, p. 28-39, 2014.
- ANDRADE, J. G. P.; BARBOSA, P. S. F.; SOUZA, L. C. A.; MAKINO, D. L. Interbasin Water Transfers: The Brazilian Experience and International Case Comparisons. **Water Resour Manage**, v. 25, n. 1, p. 25 – 1925, 2011.
- ARAÚJO NETO, J. R.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; SALES, M. M.; MAIA, A. R. S. Influence of land use/occupation on water quality in the Trussu river valley, Ceará, Brazil. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 1, p. 59-69, 2017.
- ARAÚJO, F. V; VIANNA, P. C; SOUZA, M. C. S; RUFFO, C. L. M. Das grandes obras às pequenas obras hídricas: análise preliminar das formas de convivência com a seca na região da bacia do Rio Paraíba. **Geosaberes**, v. 6, número especial (2), p. 168 – 177, 2015.
- ARAÚJO, L. E.; SANTOS, M. J.; DUARTE, S. M.; OLIVEIRA, E. M. Impactos ambientais em bacias hidrográficas – caso da bacia do Rio Paraíba. **Tecno-lógica**, v. 13, n. 2, p. 109-115, 2009.
- AZEVEDO, E. L.; BARBOSA, J. E. L.; VIANA, L. G.; ANACLETO, M. J. P.; CALLISTO, M.; MOLOZZI, J. Application of a statistical model for the assessment of environmental quality in neotropical semi-arid reservoirs. **Environ Monit Assess**, 189 – 65, 2017.
- AZEVEDO, D.J.S.; BARBOSA, J.E.L.; GOMES, W.I.A.; PORTO, D.E.; MARQUES, J.C.; MOLOZZI, J. Diversity measures in macroinvertebrate and zooplankton communities related to the trophic status of subtropical reservoirs: Contradictory or complementary responses? **Ecological Indicators**, v. 50, n. 1, p. 135–149, 2015.

AZEVEDO, L.G.T.; PORTO, R.L.L.; MELLO JR., A.V.; PEREIRA, J.G.; ARROBAS, D.L.P.; NORONHA, L.C.; PEREIRA, L.P. **Transferência de Água entre Bacias Hidrográficas**. 1ª Edição. Brasília, 2005.

AZEVEDO, S.M.F.O. CARMICHAEL, W. W.; JOCHUMSEN, E. M.; RINEHART, K. L.; LAU, S.; SHAW, G. R.; EAGLESHAM, G. K. Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru-Brazil. **Toxicology**, v. 182, p.441-446, 2002.

BARBOSA, M. C. MUSHTAGB, S.; ALAMA, K. Integrated water resources management: Are river basin committees in Brazil enabling effective stakeholder interaction?. **Environmental Science and Policy**, v. 76, n. 01, p. 1–11, 2017.

BARBOSA, J. E. L.; MENDES, J. Estrutura da comunidade fitoplanctônica e aspectos físicos e químicos das águas do reservatório Acauã, semiárido paraibano...**Anais...** Reunião Brasileira de Ficologia, Salvador, 2004.

BARINOVA, S.; LIU, N.; DING, J.; AN, Y.; QIN, X.; WU, C. Ecological assessment of water quality of the Songhua River upper reaches by algal communities. **Acta Ecologica Sinica**, v. 36, n. 1, p. 126–132, 2016.

BARROSO, A. D.; GIAVARINI, K.; MIRANDA, T. O.; STERZA, J. M. Phytoplankton-zooplankton interactions at Duas Bocas Reservoir, Espírito Santo State, Brazil: Growth responses in the absence of grazing. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 6, n. 1, 2011.

BERNARDI, E. C. S.; PANZIERA, A. G.; BURIOL, G. A.; SWAROWSKY, A. Bacia hidrográfica como unidade de gestão. **Disciplinarum Scientia. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas**, v. 13, n. 2, p. 159-168, 2013.

BEZERRA, L. A.; PAULINO, W. D.; GARCEZ, D. S.; BECKER, H.; SANCHES-BOTERO, J. I. Limnological characteristics of a reservoir in semiarid northeastern Brazil subject to intensive tilapia farming (*Oreochromis niloticus*, Lineus, 1758). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 26, n. 1, p. 47-59, 2014.

BEZERRA, P. T. C.; HOLANDA, R. M.; ABREU, B. S.; FERNANDES NETO, S.; SILVA, A. V.; GUIMARÃES, P. B. V.; BARBOSA, E. Análise do conflito ambiental nas obras de transposição da bacia do Rio São Francisco. **Revista Educação Agrícola Superior**, v.23, n.1,p.17-22, 2008.

BODENS, F. e OLIVEIRA, B.. **Fossa Ecológica - Tanque de Evapotranspiração (TEVAP)**. Disponível em <[http://mundogepec.blogspot.com.br/2009/07/fossa-ecologica-tanquede\\_13.html](http://mundogepec.blogspot.com.br/2009/07/fossa-ecologica-tanquede_13.html)> Acesso em dezembro de 2014.

BRANCO, S. M. Hidrologia Aplicada à Engenharia Sanitária. 3. ed. São Paulo, CETESB, 620p.1986.

BRASIL. **LEI Nº 9.433/1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. LEI Nº 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997.

BRASIL. **RIMA- Relatório de Impacto Ambiental – Projeto de Integração do Rio São Francisco às Bacias do Nordeste Setentrional**. 2004.

BRASIL. **Conselho Nacional de Meio Ambiente – Conama**. 2005. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.

BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente (2011)**. Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011. Ministério do Meio Ambiente. 2011a.

BRASIL. **Ministério da Saúde**. Portaria Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011.

BRITO, F. B. **Conflitos pelo acesso e uso da água: Integração do rio São Francisco com a Paraíba (Eixo Leste)**. 2013. 369f. Tese. (Programa de Pós Graduação em Geografia). UFRGS, Porto Alegre, 2013.

BRITO W. O. **Critérios de outorga para a piscicultura na bacia do Rio Paraíba**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental - Universidade Federal de Campina Grande, 2008).

BUCCI, M. H. S.; OLIVEIRA, L. F. Índices de Qualidade da Água e de Estado Trófico na Represa Dr. João Penido (Juiz de Fora, MG). **Rev. Ambient. Água**, v. 9, n. 1, p. 130 – 148, 2014.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Ambi-Agua**, v. 8, n. 1, p. 186-205, 2013.

CARDOSO, A. S.; FILHO, S. M. P. S.; ALVES, A. E.; ROCHA, Cacilda M. C.; CUNHA, M. C. C. Fitoplâncton como bioindicador de eventos extremos na bacia do rio Una, Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 4, p. 697-710, 2013.

CARDOSO, A. S.; BAPTISTA, M. B. Metodologia para Avaliação de Alternativas de Intervenção em Cursos de Água em Áreas Urbanas. **RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 01, p. 129-139, 2011.

CARLSON, R.E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, v. 22, n. 2, p. 361-369, 1977.

CBHSF. **Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco**. Disponível em < <http://cbhsaofrancisco.org.br/>> Acesso em 23 de outubro de 2015.

CBH – **Comitê de Bacias Hidrográficas**. Disponível em < <http://www.cbh.gov.br>> Acesso em maio de 2017.

CETESB. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. Relatório Técnico. CETESB, 2009, 46p.

CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo - 2004**. Relatório Técnico. CETESB, 2005.

CLESCERI, S.L., GREENBERG, A.E. & EATON, A.D. 2005. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA)**. 21 ed. Washington: American Public Health Association.

COELHO, J. M. A. **Desenvolvimento de indicadores de acompanhamento de obras de reabilitação fluvial**. 2009. 196f. Dissertação (Mestrado de Engenharia Civil), Universidade Federal do Porto, Porto, Portugal, 2009.

COELHO, J.; TEIGA, P.; MAIA, R. Proposta de indicadores de acompanhamento de obras de reabilitação fluvial – caso de estudo do Rio Este, Braga. **Anais...** In: Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, 2009.

COMINO, E.; BOTTERO, M.; POMARICOA, S.; ROSSO, M. The combined use of Spatial Multicriteria Evaluation and stakeholders analysis for supporting the ecological planning of a river basin. **Land Use Policy**, v. 58, n. 1, p. 183 – 195, 2016.

CRISPIM, M. C.; VIEIRA, D. M.; GURJÃO, A. O efeito da biota na qualidade de água. In: MESSIAS, A. S.; COSTA, L. **Rios Urbanos Limpos: possibilidades e desafios**. Recife: Fasa, 1<sup>o</sup> ed., 2017. 1616p.

CRISPIM, M. C.; ARAÚJO, K. P. P.; MELO JUNIOR, H. N. M. Environmental impact analysis of aquaculture in net cages in a Brazilian water reservoir, based in zooplankton communities. **African Journal of Biotechnology**, v. 12, n. 17, p. 2234-2248, 2013.

CRISPIM, M. C.; VIEIRA, A. C. B.; COELHO, S. F. M.; MEDEIROS, A. M. A. Nutrient uptake efficiency by macrophyte and biofilm: practical strategies for small-scale fish farming. **Acta Limnol. Bras.**, v. 21, n. 4, p. 387-391, 2009.

CRUZ, P. S.; BARBOSA, G. L.; RODRIGUES, M. L.; LIMA, S. M. S.; CEBALLOS, B. S. O. Grupos funcionais em mesoambientes com piscicultura: efeitos da eutrofização artificial na dinâmica e estrutura funcional do fitoplâncton. **Revista Verde**, v. 8, n. 2, p. 27-40, 2013.

CUNHA, D. G. F.; SABOGAL-PAZA, L. P.; DODDSBA, W. K. Land use influence on raw surface water quality and treatment costs for drinking supply in São Paulo State (Brazil). **Ecological Engineering**, v. 94, n. 1, p. 516–524, 2016.

DANTAS, E. W.; ALMEIDA, V. L.; BARBOSA, J. E. L.; OLIVEIRA, M. C. B.; MOURA, A. N. Efeito das variáveis abióticas e do fitoplâncton sobre a comunidade zooplânctônica em um reservatório do Nordeste brasileiro. **Iheringia, Sér. Zool.**, v. 99, n. 2, p. 132-141, 2009.

DENYS, E.; ENGLE, N.L.; MAGALHÃES, A.R. **Secas no Brasil: política e gestão proativas**. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos- CGEE; Banco Mundial, p. 292, 2016.

DIAS, F. T.; VALENÇA, A. D.; ARAÚJO, I. T.; GOMES, R. C.; MOREIRA, M. R. Water Resources Management. Coexistence and Conflict in Semiarid Brazil. **Desenvolvimento em Questão**, v. 14, n. 34, p. 91-126, 2016.

DINIZ, C. R.; BARBOSA, J. E. L.; CEBALLOS, B. S. O. Variabilidade Temporal (Nictemeral Vertical e Sazonal) das condições Limnológicas de Açudes do Trópico

Semi-árido Paraibano. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. Supl., n. 1, p. 1-19, 2006.

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. **Açude Poções**. Disponível em <<http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/barragens/Barragem%20da%20Paraiba/pocoos.htm>> Acesso em agosto de 2016.

DUTRA, C. K. T. **O papel da Articulação do Semiárido Brasileiro (ASA) e o Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) no Semiárido Potiguar**. 2017. 132f. Dissertação (PRODEMA), Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal – RN, 2017.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2ª Ed. Rio de Janeiro, RJ: Interciência, 1998. 602p.

FARIAS, M. S. S. **Monitoramento da qualidade da água na bacia Hidrográfica do rio cabelo**. 2006. 152f. Tese (PPGEA), Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande - PB, 2006.

FLYNN, H. N.; LOURO, M. P.; SILVA, L. C. M.; ROSSI, M. V. Indicadores de qualidade da água e biodiversidade do Rio Jaguari-Mirim no trecho entre as pequenas centrais hidrelétricas de São José e São Joaquim, São João da Boa Vista, São Paulo. **Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, v. 4, n. 2, p. 19-35, 2011.

FRANCO, E. S.; LIRA, V. M.; FARIAS, M. S. S.; PORDEUS, R. V.; LIMA, V. L. A. Uso de imagens tm/landsat-5 na identificação da degradação ambiental na microbacia hidrográfica em Boqueirão – PB. **CAMPO-TERRITÓRIO: revista de geografia agrária**, v. 2, n. 3, p. 79-88, 2007.

GARCIAS, C. M.; AFONSO, J. A. C. Revitalização de rios urbanos. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v. 1, n. 1, p. 131-144, 2013.

GARCIA, H. L.; SILVA, V. L.; MARQUES, L. P.; GRACIA, C. A. B; ALVES, J. P. H. SILVA, M. G.; CARVALHO, F. O. Nível trófico do reservatório de Jacarecica I – Sergipe – Brasil. **Scientia Plena**, v. 8, n. 7, p. 1-9, 2012.

GERALDS, A. M.; GEORGE, C. Limnological variations of a deep reservoir in periods with distinct rainfall patterns. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 24, n. 4, p. 417-426, 2012.

GORLACH-LIRA, K.; PACHECO, C.; CARVALHO, L.C.T.; MELO JÚNIOR, H.N.; CRISPIM, M.C. The influence of fish culture in floating net cages on microbial indicators of water quality. **Braz. J. Biol.**, v. 73, n. 3, p. 457 - 463, 2013.

Hammer, O., Harper, D.A.T.; Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica** 4: 1–9. Disponível em <[http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)> Acesso em dezembro de 2017.

HOLZ, I. H. Águas urbanas: da degradação à renaturalização. **Anais...** In: VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis – Vitória-ES, 2011.

JAMES, R. GARDNER, W. S.; McCATHY, M. J.; CARINI, S. A. Nitrogen dynamics in Lake Okeechobee: forms, functions, and changes. **Hydrobiologia**, v. 669, p.199-212, 2011.

KROL, M. S.;-VRIES, M. J. OELL, P. R.; ARAÚJO, J. C. Sustainability of Small Reservoirs and Large Scale Water Availability Under Current Conditions and Climate Change. **Water Resour Manage**, v. 25, n. 1; p. 3017–3026, 2011.

LAMPARELLI, M.C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento.** 238f. 2004. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, SP. 2004

LIMA, P. F. 211 f. 2016. **Índices de estado trófico, eutrofização e dominância de cianobactérias em açude do semiárido cearense durante forte déficit hídrico.** Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Ceará, 2016.

LIMA, S. M. S.; BARBOSA, L. G.; CRUZ, P. S.; WANDERLEY, S. L.; CEBALLOS, B. S. O. Dinâmica funcional de reservatórios de usos múltiplos da região semiárida/Paraíba-Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 4, p. 18-25, 2012.

LIMA, L.E.C. Transposição das águas: um "ensaio teórico" sobre essas situações ambientalmente perigosas. **Ângulo**, v. 123, p. 65 – 69, 2010.

LIMEIRA, M. C. M.,; SILVA, T. C.; CÂNDIDO, G. A. Gestão Adaptativa e Sustentável para a Restauração de Rios: Parte I Enfoques Teóricos sobre Capacitação Social. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, n. 1, p. 17-26, 2010.

LINS, R. P. M. **Limnologia da Barragem Acauã e seus codeterminantes socioeconômicos de seu entorno: Uma nova interação do limnólogo com sua área de estudo.** 135 f. 2006. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – PB. 2006.

LOPES, Y. V. A.; HENRY-SILVA, G. G. Efeito da criação de tilápia-do-nilo sobre variáveis limnológicas de um reservatório do semiárido do Rio Grande do Norte em um período de 24 horas. **Bol. Inst. Pesca**, v. 40, n.3, p. 299 – 313, 2014.

LORENZEN, C. J. Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equations. **Limnology and Oceanography**, v. 12, n. 2, p. 343-346, 1967.

LUNA, B. J. C. **Características espaço temporais do sistema de açude Acauã, e seu atual índice de estado trófico.** 118f. 2008. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – PB. 2008.

MACEDO, D. R.; MAGALHÃES JR., A. P. Percepção Social no Programa de Restauração de Cursos D'água Urbanos em Belo Horizonte. **Sociedade & Natureza**, v. 23, n. 1, p. 51-63, 2011.

MACEDO, D. R.; CALLISTO, M.; MAGALHÃES JR., A. P. Restauração de Cursos d'água em Áreas Urbanizadas: Perspectivas para a Realidade Brasileira. **RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 3, p. 127-139, 2011.

MACHADO, T. T. V.; DIAS, J. T.; SILVA, T. C. Evolução e avaliação das políticas públicas para a atenuação dos efeitos da seca no semiárido brasileiro. **Gaia Scientia**, v. 11, n. 2, p. 84-103, 2017.

MALHEIROS, T. F.; PROTA, M. G.; RINCÓN, M. A. P. Participação comunitária e implementação dos instrumentos de gestão da água em bacias hidrográficas. **Ambi-Agua**, v. 8, n. 1, p. 98-118, 2013.

MAROTTA, H.; SANTOS, R. O.; ENRICH-PRAST, A. Monitoramento limnológico: um instrumento para a conservação dos recursos hídricos no planejamento e na gestão urbano-ambientais. **Ambiente & Sociedade**, v. 11, n. 1, p. 67-79, 2008.

MARQUES, A. K.; BARROS, D. J.; MORAIS, P. B. Análise temporal de Cyanobacteria e Índice de Estado Trófico na PCH Porto Franco, Tocantins. **J. Bioen. Food Sci**, v. 02, n. 4, p. 137-144, 2015.

MATSUMURA - TUNDISI, T.; TUNDISI, J. G. Plankton richness in a eutrophic reservoir (Barra Bonita Reservoir, SP, Brasil). **Hydrobiologia**, v. 542, n.1, p. 367 - 378, 2005.

MELO, G.; MORAIS, M.; SOBRAL, M. C.; GUNKEL, G.; CARVALHO, R. Influência de Variáveis Ambientais na Comunidade Fitoplanctônica nos Reservatórios Receptores do Projeto de Integração do Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 1, p. 1300-1316, 2012.

MENDES, C. F.; BARBOSA, J. E. L.; NERY, J. F. Microcystin Accumulation and Potential Depuration on Muscle of Fishes of Fish Farm: Implications to Public Health. **International Journal of Innovative Studies in Aquatic Biology and Fisheries (IJISABF)**, v. 2, n. 2, p. 1 - 10, 2016.

MENDES, L. S.; FERREIRA, I. M. Influência da sazonalidade na qualidade da água bruta no município de Ituiutaba – MG. **Hygeia**, v. 10, n. 19, p. 97-105, 2014.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Olhares sobre as políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. In: GHEYI, H. R. et al. (Ed). **Recursos hídricos em regiões semiáridas**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2012, p. 2 – 24.

MOURA, R. S. T.; LOPES, Y. V. A.; HENRY-SILVA, G. G.. Sedimentation of nutrients and particulate matter in a reservoir supporting aquaculture activities in the semi-arid region of Rio Grande do Norte. **Quím. Nova [online]**, v. 37, n. 8; p.1283-1288, 2014.

MORAIS, M. M.; PEDRO, A.; ROSADO, J.; PINTO, P. **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, 2009.

MULLER, C. C.; CYBIS, L. F.; RAYA-RODRIGUEZ, M. T. Monitoramento do Fitoplâncton para a Qualidade da Água de Abastecimento Público — Estudo de Caso de Mananciais do Rio Grande do Sul. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 2, p. 203-211, 2012.

NEVES, F. M. C.; CASTRO, F. B. G.; GODEFROID, R. S.; SANTOS, V. L. P. Avaliação da qualidade da água do rio Bacacheri, Curitiba/PR. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade | Ed. Especial**, v. 7, n. 3, p. 659-674, 2014.

OLIVEIRA, M. C. N.; CEBALLOS, B. S. O. Níveis de eutrofização de um reservatório localizado no Semiárido paraibano. **Anais...** Congresso Nordestino de Biólogos - Vol. 4: Congrebio 2014.

OLIVEIRA, R. P. Revitalização de bacias hidrográficas: a experiência de Belo Horizonte. **Anais...** In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011.

OSTI, J. A. S.; MORAES, M. A. B.; CARMO, C. F.; MERCANTE, C. T. J. Nitrogen and phosphorus flux from the production of Nile tilapia through the application of environmental indicators. **Braz. J. Biol.**, v.1, n.1, p. 1-7, 2017.

PARAÍBA. **Decreto n.º 27.560, de 04 de setembro de 2006.** Institui o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba e dá outras providências. Estado da Paraíba. 2006a.

PARAÍBA. **Decreto n.º 27.561, de 04 de setembro de 2006.** Institui o Comitê das Bacias Hidrográficas do Litoral Norte e dá outras providências. Estado da Paraíba. 2006b.

PARAÍBA. **Decreto n.º 27.562 de 04 de setembro de 2006.** Institui o Comitê das Bacias Hidrográficas do Litoral Sul e dá outras providências. Estado da Paraíba. 2006c.

PARAÍBA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado Paraíba.** 2006. Disponível em: <[www.aesa.pb.gov.br](http://www.aesa.pb.gov.br)> Acesso em 22 de julho de 2015.

PARPAROV, A.; GAL, G. Assessment and implementation of a methodological framework for sustainable management: Lake Kinneret as a case study. **Journal Of Environmental Management**, v. 101, n. 1, p.111-117, 2012.

PEREIRA, B. W. F.; MACIEL, M. N. M.; OLIVEIRA, F. A.; ALVES, M. A. M. S.; RIBEIRO, A. M.; FERREIRA, B. M.; RIBEIRO, E. G. P. Uso da terra e degradação na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, PA, Brasil. **Rev. Ambient. Água**, v. 11, n. 2, p. 472-485, 2016.

PETESSE, M. L.; PETRERE JR, M.; AGOSTINHO, A. A. Defining a fish bio-assessment tool to monitoring the biological condition of a cascade reservoirs system in tropical area. **Ecological Engineering**, v. 69, n. 1, p. 139–150, 2014.

PISF. **Projeto de Integração do Rio São Francisco.** Disponível em <<http://www.mi.gov.br/web/projeto-sao-francisco>> Acesso em Outubro de 2017;

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de Bacias Hidrográficas. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 43 - 60, 2008.

QUEIROZ, L. G.; SILVA, F. T.; PAIVA, T. C. B. Caracterização estacional das variáveis físicas, químicas, biológicas e ecotoxicológicas em um trecho do Rio Paraíba do Sul, SP, Brasil. **Rev. Ambient. Água**, v. 12, n. 2, p. 238-248, 2017.

RIBEIRO, K. H.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; SOUZA, L. C. P.; MINELLA, J. P. G.; ALMEIDA, L.; RAMOS, M. R. Quality of surface water related to land use: a case study in a catchment with small farms and intensive vegetable crop production in southern Brazil. **R. Bras. Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 656-668, 2014

RILEY, A. L. **Restoring streams in cities: a guide for planners, policy makers, and citizens**. Washington, DC: Island Press. 423p., 1998.

ROMAN, P. The São Francisco interbasin water transfer in Brazil: Tribulations of a megaproject through constraints and controversy. **Water Alternatives**, v. 10, n. 2, p. 395-419, 2017.

ROSSONI, F.P.; ROSSONI, H.A.V.; LIMA, S.E.P.B. Políticas públicas e conflito ambiental na bacia hidrográfica do rio São Francisco. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v.3, n.1, p.74-80, Julho, 2013.

SANCHEZ, S. S.; JACOBI, P. R. Políticas de recuperação de rios urbanos na cidade de São Paulo. **R. B. Estudos Urbanos e Regionais**, v. 14, n. 2, p.119-132, 2012.

SANT'ANNA, E. M. E.; MENEZES, R. C.; COSTA, I. S. D.; ARAÚJO, M. D.; PANOSSO, R. D.; ATTAYDE, J. L. Braz. Zooplankton assemblages in eutrophic reservoirs of the Brazilian semi-arid. **J. Biol.**, v. 73, n. 1, p. 37-52, 2013.

SANTOS, J. S.; OLIVEIRA, E.; MASSARO, S. Avaliação da salinização de açudes no semi-árido brasileiro por ICP-AES. **Química Nova**, v. 23, n.4, p. 453-456, 2000.

SILVA, M. B. R.; AZEVEDO, P. V.; ALVES, T. L. B. Análise da degradação ambiental no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Paraíba. **Bol. Goia. Geogr. (Online)**, v. 34, n. 1, p. 35-53, 2014.

SILVA JR., W. R. **Estudo do estado trófico em reservatório público de usos múltiplos em região do semiárido nordestino utilizando a técnica de modelagem computacional como ferramenta de gerenciamento da qualidade da água**. 2013. 85 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2013.

SILVA, P. R. N. **Dinâmica Espaço Temporal da Comunidade Fitoplanctônica de reservatórios em cascata da Bacia do Alto Rio Paraíba**. 2012. 48f. TCC (Licenciatura em Ciências Biológicas), Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande – PB, 2012.

SILVA, P. J; PIRES, M. A. F. Renaturalização de rios, em áreas de trechos, urbanos com a aplicação de técnicas de bioengenharia em obras de engenharia hidráulica. **Anais...** In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídrico, 2007.

SILVEIRA, M. P.; BUSS, D.F.; NEISSIMIAN, J. L.; BAPTISTA, D. F. Spatial and temporal distribution of benthic macroinvertebrates in a southeastern Brazilian river. **Brazilian Journal of Biology**, v. 1, n.66, p. 623-632, 2006.

SOARES, E. Seca no Nordeste e a transposição do rio São Francisco. **Geografias**, v. 9, n. 2, p.75-86, 2013.

SOUZA, J. S.; MORAES, B. S. Análise das Políticas Públicas Implementadas para a Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil. **Ciência e Natura**, v.38 n.2, p. 913 – 919, 2016.

SOUZA, J. R.; MORAES, M. E. B.; SONODA, S. L.; SANTOS, H. C. R. G. A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. **REDE - Revista Eletrônica do Prodem**, v. 8, n. 1, p. 26-45, 2014.

SUDEMA. **Superintendência de Administração do Meio Ambiente** (1988). Sistema Estadual de Licenciamento de atividades poluidoras – SELAP. DZS 201: Classificação das águas interiores do Estado. João Pessoa.

TANAKA, M. O.; SOUZA, A. L. T.; MOSCHINI, L. E.; OLIVEIRA, A. K. Influence of watershed land use and riparian characteristics on biological indicators of stream water quality in southeastern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 216, n.1, p. 333–339, 2016.

TEIGA, P.; GOMES, F. V.; MAIA, R.; PINTO, T. Estudos de reabilitação de cursos de água. **Anais...** In: 1º Jornada de Hidráulica Recursos Hídricos e Ambiente, 2006.

TORQUARTO, S. Paraíba tem 117 municípios em situação de racionamento de água e 40 totalmente sem água nas torneiras. **Jornal da Paraíba (online)**, 06 de fevereiro, 2017. Disponível em [http://www.jornaldaparaiba.com.br/vida\\_urbana/paraiba-tem-117-municipios-em-acionamento-e-40-totalmente-sem-agua-nas-torneiras.html](http://www.jornaldaparaiba.com.br/vida_urbana/paraiba-tem-117-municipios-em-acionamento-e-40-totalmente-sem-agua-nas-torneiras.html) Acesso em julho de 2017.

TUNDISI, J. G. Limnologia e Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos: avanços conceituais e metodológicos. **Ciência e Ambiente**, v. 21, p. 9-20, 2000.

TUNDISI, J. G.; GENTIL, J. G.; DIRICKSON, C. Seasonal cycle of primary production of nano and microphytoplankton in a shallow tropical reservoir. **Rev. Bras. Bot.**,v.1, p.35-39, 1999.

VASCONCELOS, J.F.; BARBOSA, J.E.L.; DINIZ, C.R.; CEBALLOS, B.S.O. **Cianobactérias em reservatórios do Estado da Paraíba: ocorrência, toxicidade e fatores reguladores**. Boletim Ablimno, v. 39, n. 2, p. 1-20, 2011.

VEIGA, E. L. B. E.; MAGRINI, A. The Brazilian Water Resources Management Policy: Fifteen Years of Success and Challenges. **Water Resour Manage**, v. 27, n.1, p. 2287-2302, 2013.

XAVIER, R. A.; DORNELLAS, P. C.; MACIEL, J. S.; BU, J. C. Caracterização do regime fluvial da bacia hidrográfica do Rio Paraíba – PB. **Rev. Tamoios**, v. 8, n. 2, p. 15-28, 2012.

ZANELLA, M. E. CONSIDERAÇÕES SOBRE O CLIMA E OS RECURSOS HÍDRICOS DO SEMIÁRIDO NORDESTINO. **Caderno Prudentino de Geografia**, Volume Especial, n.36, p. 126-142, 2014.

## 5 Capítulo 1 -

### DIAGNÓSTICO DO USO DO SOLO NAS MARGENS DO RIO PARAÍBA: IMPACTOS POTENCIAIS SOBRE AS ÁGUAS

**Resumo:** As interferências diretas nos corpos hídricos, como a construção de barragens e reservatórios, e o uso inadequado do solo e da água são responsáveis por impactarem negativamente a qualidade das águas. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar o uso dos solos nas margens do Rio Paraíba, receptor das águas advindas da transposição do Rio São Francisco e identificar os principais impactos potenciais sobre a qualidade das águas e a vida das populações residentes nessas áreas. Foram realizadas 23 entrevistas semi-estruturadas, com representantes das prefeituras dos municípios localizados próximos às margens do Rio Paraíba (Monteiro, Camalaú, Congo, Caraúbas, Cabaceira, Boqueirão, Itatuba, Salgado de São Félix, Itabaiana, Cruz do Espírito Santo, Santa Rita e Bayeux). Dentre as principais fontes de degradação identificadas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, foram expressivos os problemas relacionados com a ocupação urbana, principalmente em relação aos efluentes domésticos, industriais e de resíduos sólidos; com as atividades de agricultura e pecuária, piscicultura e extração de areia, em áreas rurais, entre outros. Além destes impactos, a transposição das águas do Rio São Francisco alterou a rotina e o modo de gestão de água para as populações residentes nas áreas onde foram construídos os canais. Com as obras muitos poços secaram, dificultando o acesso a água, além de que foi necessário o deslocamento das famílias que residiam nessas áreas por onde agora passam os canais. Apesar dos impactos negativos identificados em relação às obras da transposição do Rio São Francisco, a chegada das águas à Paraíba reacendeu a esperança da população que depende das águas do rio, destacando-se a necessidade de uma boa gestão das novas águas que chegam para suprir a demanda hídrica na região.

**Palavras-chave:** Qualidade de água; Ocupação do solo; Impactos.

**Abstract:** Direct interferences in water bodies, such as the construction of dams and reservoirs, and the inadequate use of soil and water are responsible for negatively impacting water quality. The objective of this study was to characterize the use of the soils on the banks of the Paraíba River, which receives the water from the São Francisco River and to identify the main potential impacts on the water quality and life of the populations living in these areas. Twenty-three semi-structured interviews were carried out, with representatives of municipalities located near the banks of the Paraíba River (Monteiro, Camalaú, Congo, Caraúbas, Cabaceira, Boqueirão, Itatuba, Salgado de São Félix, Itabaiana, Cruz do Espírito Santo, Santa Rita and Bayeux). Among the main sources of degradation identified in the Paraíba River Basin, there were significant problems related to urban occupation, mainly in relation to domestic, industrial and solid waste effluents; with the activities of agriculture and livestock, fish farming and extraction of sand, in rural areas, among others. Besides these impacts, the transposition of the waters of the São Francisco River altered the routine and the way of water management for the populations residing in the areas where the canals were constructed. With the works many wells dried up, making access to water difficult, and it was necessary to relocate the families who lived in these areas through which the canals now pass. Despite the negative impacts identified in relation to the works of the São Francisco River transposition, the arrival of the waters in Paraíba rekindled the hope of the population that depends on the waters of the river, emphasizing the need for a good management of the new waters that arrive to supply the water demand in the region.

**Keywords:** Water quality; Soil occupation; Impacts.

## 5.1 INTRODUÇÃO

Os usos e os modos de ocupação das áreas em uma bacia hidrográfica podem provocar alterações não apenas aos solos, mas também na disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos (SOUZA e GASTALDINI, 2014), o que pode acarretar prejuízos para as populações que necessitam utilizar a água.

Alguns dos impactos na qualidade das águas provêm de intervenções diretas nos corpos hídricos, como a construção de barragens, reservatórios e canais, que têm o objetivo de disponibilizar a água para a população. Entretanto, a maioria dos processos de degradação da qualidade das águas origina-se pelo uso inadequado do solo e da água e de fontes pontuais e não pontuais de poluição (SOUZA et al., 2014).

A bacia hidrográfica do Rio Paraíba é a segunda maior bacia hidrográfica do estado da Paraíba (abrange 38% do território estadual) é considerada muito importante no semiárido nordestino, apresenta cidades muito populosas, como João Pessoa (capital do Estado) e Campina Grande (segundo maior centro urbano) (AESAs, 2017).

O Rio Paraíba, com nascente no município de Monteiro, deságua no mar no município de Cabedelo. Ao longo de seu trajeto o rio recebe diferentes influências em relação ao uso e ocupação dos solos na sua bacia de drenagem, resultando em diversos impactos, o que agrava ainda mais a situação de escassez hídrica, principalmente nas áreas semiáridas que compreendem a bacia do Rio Paraíba.

Estudos relacionando o tipo de uso e ocupação do solo com a disponibilidade e qualidade da água (VANZELA et al., 2010; RIBEIRO et al., 2014; CUNHA et al., 2016; TANAKA et al., 2016), têm constatado que áreas destinadas ao uso urbano, industrial ou agropecuário apresentam uma qualidade de água inferior às áreas com menor intervenção antrópica.

Vanzela et al. (2010) avaliaram a interferência da ocupação do solo na qualidade da água do córrego Três Barras, Marizópolis (SP) e constataram que áreas ocupadas por matas e pastagens de menor intensidade apresentam maior disponibilidade e melhor qualidade de água em comparação com áreas habitadas (urbanizadas), com atividade agrícola e matas degradadas. A redução da permeabilidade do solo reduz a quantidade de água infiltrada (conseqüentemente, a maior concentração de poluentes), além de favorecer o escoamento superficial e o carreamento de matéria orgânica e de nutrientes (VANZELA et al., 2010).

Resultados semelhantes foram observados por Cunha et al. (2016) no estado de São Paulo, que observaram a melhor qualidade das águas nas áreas florestadas, enquanto as terras utilizadas para fins industriais/urbanos e agrícolas afetaram negativamente a qualidade das mesmas.

As principais fontes de impacto relacionadas com o meio urbano são: a impermeabilização do solo, reduzindo os locais de infiltração de água, a elevada demanda de água requerida para abastecimento e a geração elevada de resíduos sólidos e efluentes domésticos e industriais (BUZELLI e CUNHA-SANTINO, 2013; SOUZA et al., 2014; ZANELLA, 2014; QUEIROZ et al., 2017). Em áreas agrícolas, a utilização de técnicas inadequadas de manejo de solo e irrigação, a utilização indiscriminada de agroquímicos e fertilizantes são os principais responsáveis pela degradação da qualidade das águas (ARAÚJO et al., 2009; AZEVEDO et al., 2015; MARQUES et al., 2015). O cultivo de peixes e tanques-rede dentro de reservatórios é considerado uma atividade que impacta negativamente o corpo hídrico pela inserção de nutrientes, provocando a eutrofização dos ecossistemas aquáticos (CRISPIM et al., 2013; MENDES et al., 2016; OSTI et al., 2017).

Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar o uso dos solos nas margens do Rio Paraíba, receptor das águas advindas da transposição do Rio São Francisco e identificar os principais impactos potenciais sobre a qualidade das águas e a vida das populações residentes nessas áreas.

## **5.2 METODOLOGIA**

A área de estudo e metodologias utilizadas no presente trabalho foram previamente descritas nas páginas 55 – 65.

Para diagnosticar os usos do solo e potenciais impactos na bacia hidrográfica do Rio Paraíba foram realizadas 23 entrevistas semi-estruturadas, com representantes das prefeituras dos municípios, principalmente com os secretários de agricultura e meio ambiente, quando existentes no quadro municipal. A partir da indicação desses, outros atores sociais foram indicados e entrevistados nos municípios de Monteiro (agricultores e assentados da agrovila Laffayette) e Camalaú (agricultores dos assentamentos Novo Mundo, Carajás e Beira Rio; e pescadores da cooperativa de pescadores da região). No total 12 municípios foram analisados.

### **5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A qualidade da água de um corpo hídrico está diretamente relacionada com o uso e ocupação do solo, uma vez que as atividades que ocorrem na área de drenagem podem alterar as suas condições naturais.

Dentre as principais fontes de degradação identificadas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba, foram expressivos os problemas relacionados com a ocupação urbana, principalmente em relação aos efluentes domésticos, industriais e de resíduos sólidos; com as atividades de agricultura e pecuária, piscicultura e extração de areia, em áreas rurais, entre outros.

Os resultados de caracterização de uso do solo da bacia hidrográfica do Rio Paraíba estão apresentados no Quadro 6. Estão apresentadas também, as expectativas da população em relação à transposição do Rio São Francisco para a Paraíba.

Quadro 6 - Caracterização do uso do solo, principais impactos e expectativas em relação à transposição do Rio São Francisco na bacia hidrográfica do Rio Paraíba.

	Abastecimento Urbano	Coleta de esgoto	Tratamento de esgoto	Coleta de resíduos sólidos	Agricultura	Pecuária	Piscicultura	Impactos	Perspectivas com a transposição
Monteiro	Sim (100%)	Sim (60%)	Sim (60%)	100% (lixão)	Sim (agricultura tradicional e orgânica)*	Caprinos, bovinos, suínos, aves	Pesca e Piscicultura nos açudes**	Uso de agrotóxicos; resíduos de granjas e abatedouros; obras da transposição	Melhoria da disponibilidade e qualidade de água para diversos fins
Camalaú	Sim (100%)	Sim (10%)	Não (Fossas)	100% (aterro controlado)	Sim (agricultura familiar orgânica)*	Caprinos, ovinos, bovinos e aves	Sim (tanques-rede e tanques escavados)**	Retirada de água para abastecer outras regiões; contaminação da água por animais; resíduos de granjas e abatedouros	Possibilidade de irrigação e retorno ao desenvolvimento de culturas; melhoria e desenvolvimento da piscicultura
Congo	Sim (100%)	Sim (90%)	Não (Fossão)	Não	Sim (agricultura tradicional familiar e orgânica)	Caprinos, bovinos e ovinos	Sim**	Uso de agrotóxico	Melhoria e desenvolvimento da agricultura
Caraúbas	Sim (100%)	Não	Não (Fossão)	100% (lixão)***	Sim (tradicional e orgânica)*	Caprinos, bovinos, suínos e aves	Sim**	Matadouros	Melhoria da disponibilidade para diversos fins, mas há apreensão por não saber como se dará o uso da água
Cabaceiras	Sim (80%)	Não	Não (Fossão)	100% (lixão)***	Sim (tradicional e orgânica)*	Caprinos e bovinos	Sim**	Cortume	Melhoria da renda com o desenvolvimento

									da agricultura
Boqueirão	Sim (100%)	Sim (50%)	Sim (50%)	100% (lixão)	Sim (tradicional e orgânica)*	Caprino, bovino, aves	Sim**	--	Melhoria da qualidade da água e do abastecimento; melhoria da renda com o desenvolvimento da agricultura
Itatuba	Sim (100%)	Não	Não (Fossão)	100% (lixão)	Sim (tradicional e orgânica)*	Caprinos, bovinos e suínos	Sim (tanques-rede e tanques de cimento)	Não identificam impacto	Maior disponibilidade de água para a criação de tilápia
Salgado de São Félix	Sim (90%)	Não	Não (Fossas individuais)	100% (lixão)***	Sim (tradicional e orgânica)*	Caprinos, ovinos e bovinos	Sim (tanques de cimento)	Agrotóxicos e seu potencial cancerígeno	Melhoria e desenvolvimento da agricultura
Itabaiana	Sim (100%)	Sim (60%)	Sim (60%)	100% (lixão)	Sim (tradicional e orgânica)*	Caprinos, ovinos e bovinos	--	Esgotos	Melhoria da agricultura
Cruz do Espírito Santo	Sim (80%)	Sim (80%)	Sim (80%)	100% (lixão) ***	Sim (familiar e principalmente de cana-de-açúcar)	Bovinos	Tanque em viveiros	Retirada de areia	Melhoria e desenvolvimento da agricultura
Santa Rita	Sim (100%)	Não	Não (Fossão)	100% (aterro sanitário)	Sim (agricultura familiar tradicional, orgânica e principalmente de cana)	Caprinos, ovinos, bovinos, suínos e aves	Pesqueira	Usinas de beneficiamento de cana-de-açúcar	Aumentar a disponibilidade de água no baixo curso do Rio Paraíba, possibilitando o seu uso
Bayeux	Sim (100%)	Sim (45%)	--	100% (aterro sanitário)	Pouco desenvolvida	Pouco desenvolvida	--	Esgotos sanitários	Possibilidade de uso dessa água

\* Pouco praticada no período de estudo em razão da indisponibilidade de água, mantida apenas por famílias que têm poços em suas propriedades.

\*\* Pouco praticada no período de estudo em razão da indisponibilidade de água.

\*\*\* Apresentam projeto para efetivação da gestão de resíduos sólidos no município.

Todas as cidades estudadas apresentam abastecimento urbano de água em pelo menos 80% das residências. Entretanto, em virtude do prolongado período de seca na região, as cidades localizadas na região do baixo curso do Rio Paraíba (Monteiro, Camalaú, Congo, Caraúbas, Cabaceiras e Boqueirão) tiveram seu abastecimento comprometido, sofrendo com racionamento na distribuição de água nas cidades.

Das cidades estudadas, 41,6% não apresentam coleta e tratamento de esgotos domésticos. Ainda, algumas cidades que apresentam coleta, não apresentam estação de tratamento de efluentes e apesar de coletarem, não realizam o tratamento dos efluentes, como observado nas cidades de Camalaú e Congo. 91% das cidades apresentam coleta de resíduos sólidos urbanos, entretanto, apenas 16,6% das cidades direcionam os resíduos ao aterro sanitário (Santa Rita e Bayeux), sendo os demais depositados em lixões ou aterro controlado.

A agricultura, pecuária e piscicultura, geralmente bem desenvolvida nessas regiões, principalmente nas áreas rurais, em virtude da seca observada na região, tiveram suas atividades diminuídas. A agricultura orgânica é pouco desenvolvida na bacia, e a utilização de agrotóxicos foi apontada como uma das principais atividades causadoras de impactos na bacia hidrográfica. A criação de caprinos, bovinos, suínos e aves é bem desenvolvida ao longo de toda a bacia hidrográfica, apesar da seca. A atividade que mais sofreu em relação à baixa disponibilidade de água na região foi a piscicultura, uma vez que muitos açudes da região, onde esta é realizada, ou de onde é retirada a água, secaram completamente.

Quando questionados sobre os potenciais impactos à qualidade das águas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba, a utilização de agrotóxicos na agricultura foi apontada como a atividade de maior impacto por 25% dos municípios estudados; abatedouros (25%); esgotos sanitários (16,6%); e retirada de água para abastecimento de outras regiões, retirada de areia, criação de animais, cortumes, usina de cana-de-açúcar e as obras da transposição foram apontadas por 8,3% dos municípios estudados.

Em relação à perspectiva sobre a transposição do Rio São Francisco, 100% dos municípios estudados esperam a melhoria das condições e possibilidades de uso dessa água, principalmente para o desenvolvimento da agricultura e da piscicultura, atividades que foram grandemente impactadas pela escassez hídrica severa observada nos últimos anos na região. Essa perspectiva é observada mesmo

por aqueles municípios que não fazem uso das águas do Rio Paraíba para o desenvolvimento dessas atividades, como os municípios de Santa Rita e Bayeux.

#### - Ocupação Urbana e Problemas Relacionados com Saneamento Básico

Na bacia hidrográfica do Rio Paraíba há grandes diferenças na ocupação urbana, com diferentes estágios de urbanização ao longo do rio, que se estende desde a sua nascente no município de Monteiro, até Cabedelo na sua foz. Algumas cidades são de pequeno porte e outras são maiores, o que se reflete em impactos diferenciados no Rio Paraíba. Na Tabela 5 estão apresentadas as características dos municípios.

Tabela 5 - Área total e população residente nos municípios localizados próximos ao leito do Rio Paraíba.

Município	Área (km <sup>2</sup> )	População (hab)		
		Urbana	Rural	Total
Monteiro	986,370	20.261	10.591	30.852
Camalaú	603,060	2.887	2.862	5.749
Congo	333,471	2.942	1.745	4.687
Caraúbas	497,204	1.517	2.382	3.899
Cabaceiras	452,925	2.217	2.818	5.035
Boqueirão	424,646	12.006	4.882	16.888
Itatuba	244,205	5.955	4.246	10.201
Salgado de São Félix	201,852	11.976	5.250	6.726
Itabaiana	218,847	19.731	4.750	24.481
Cruz do Espírito Santo	195,596	7.440	8.817	16.257
Santa Rita	726,565	103.717	16.593	120.310
Bayeux	31,973	98.793	923	99.716

Fonte: IBGE (2016).

Concentrações populacionais nos centros urbanos geram importantes fontes de impacto aos corpos hídricos, como as elevadas demandas de água, elevada demanda de coleta e tratamento de efluentes domésticos e industriais, bem como, de coleta e tratamento de resíduos sólidos domiciliares.

A região semiárida do estado da Paraíba vem sofrendo com um longo período de estiagem (2011-2017), repercutindo nos baixos volumes de água armazenados nos reservatórios, comprometendo o abastecimento público. Seguindo o curso do Rio Paraíba existem quatro importantes reservatórios, o Açude Poções

(Monteiro/PB), o Açude Camalaú (Camalaú/PB), o Açude Presidente Epitácio Pessoa (Boqueirão/PB) e o Açude Argemiro Figueiredo (Itatuba/PB), utilizados para o abastecimento público de água das cidades e para outros fins como agropecuária e pesca.

Em condições normais, a cidade de Monteiro é abastecida com água dos açudes Pocinhos, no município de Monteiro, e Cordeiro, no município do Congo, em virtude da baixa qualidade das águas do açude Poções, que recebe toda a carga de efluentes da cidade de Monteiro. Segundo representante da prefeitura, como os dois reservatórios (Pocinhos e Cordeiro) secaram, a cidade passou a ser abastecida com águas do açude Poções e por 60 poços tubulares existentes no município, mesmo a água do açude sendo considerada de baixa qualidade.

A cidade de Monteiro, segundo o IBGE (2010), apresenta cerca de 56,1% da população urbana atendida pela coleta de esgotos. Além disso, e apesar da coleta de efluentes domésticos não ser total na cidade, o volume de esgotos gerados é superior à capacidade de suporte da Estação de Tratamento de Esgotos – ETE da cidade (Figura 5). A ETE não opera eficientemente, apresentando apenas tratamento primário e secundário, sem oxigenação, contribuindo para a poluição do rio. No ano de 2016, segundo os gestores municipais, a cidade iniciou a ampliação da ETE, com a construção de novas lagoas de estabilização, para posteriormente ampliar a rede coletora de esgotos para os demais domicílios da cidade. O impacto gerado pelos efluentes da cidade repercute na qualidade das águas do reservatório Poções, localizado a 15 km da cidade, o que faz com que a água deste açude não seja direcionada preferencialmente para o consumo, principal objetivo da sua construção. A qualidade das águas do Açude Poções era uma das preocupações em relação à transposição das águas do Rio São Francisco, uma vez que ele é o primeiro receptor das águas no estado da Paraíba (G1 PB, 2018).

Figura 5 - Estação de Tratamento de Esgoto – ETE, na cidade de Monteiro/PB.



Imagem: Alinne Gurjão (maio de 2016)

Outras cidades próximas ao curso do rio passaram por períodos de racionamento de água, em que a distribuição desta era interrompida durante alguns dias da semana, como nas cidades de Caraúbas, Cabaceiras, Boqueirão, assim como, as demais cidades abastecidas pelo Açude Presidente Epitácio Pessoa (entre os anos de 2014 e 2017).

Em relação aos Açudes Camalaú (Camalaú/PB) e Presidente Epitácio Pessoa (Boqueirão/PB), que apresentavam, visualmente, melhor qualidade das águas, foi observada a retirada diária de água em carros pipa para abastecer aquelas cidades onde não havia mais distribuição de água nas torneiras, representando elevada pressão sobre o volume de água armazenado nos açudes. Segundo moradores próximos ao Açude Camalaú, eram retirados diariamente, aproximadamente, 120 carros pipa de água (Figura 6), despertando na população a preocupação em relação à disponibilidade futura de água para a cidade, o que acabou se verificando, quando este açude deixou de ser usado, por ter alcançado níveis críticos.

Figura 6 - Retirada de água em caminhões pipa no Açude Camalaú/PB.



Imagens: Alinne Gurjão (janeiro de 2017).

A partir do mês de abril de 2017, com a chegada das águas do Rio São Francisco nessas áreas, a distribuição de água para a população foi progressivamente restabelecida. Observou-se ainda a retirada de água para aquelas cidades não abastecidas pelos reservatórios que começaram a receber recargas de águas do Rio São Francisco.

As cidades de Itatuba, Salgado de São Félix e Itabaiana, abastecidas pelo Açude Argemiro de Figueiredo (Itatuba/PB), apesar do baixo volume de água acumulado, não tiveram alterações no seu abastecimento. Durante os anos de 2016 e 2017 observou-se, entretanto, a diminuição do volume de água corrente no Rio Paraíba, após o reservatório, que atua regulando a vazão de água liberada para a manutenção do curso do rio, em virtude do baixo volume do açude. Já nas cidades localizadas mais próximas ao litoral (Cruz do Espírito Santo, Santa Rita e Bayeux), onde as precipitações são maiores, observou-se a manutenção do curso do rio, em consequência também das contribuições de efluentes das cidades próximas ao seu curso, para além do abastecimento pelo lençol freático, por serem solos sedimentares.

Assim como na cidade de Monteiro, a ausência ou ineficiência dos sistemas de esgotamento sanitário é observada em grande número de cidades da bacia hidrográfica. Segundo o IBGE (2010) a cidade de Monteiro foi a que apresentou maior abrangência da rede de esgotamento sanitário (56,1%), entretanto o restante acaba sendo canalizado para o Rio Paraíba. Seguindo-se o curso do rio, as porcentagens de saneamento por município são as seguintes: Camalaú (17,9%); Congo (47%); Caraúbas (36,2%); Cabaceiras (26,1%); Boqueirão (50%); Itatuba (20,7%); Salgado de São Félix (3,4%); Itabaiana (34,6%); Cruz do Espírito Santo (21,9%); Santa Rita (21,1%); e, Bayeux (45,9%). Segundo os representantes

municipais consultados, alguns destes estão em processo de licitação para a ampliação e reestruturação das redes de coleta e tratamento de esgotos (Camalaú, Congo, Caraúbas e Cabaceiras). Observa-se que os municípios citados apesar de terem coleta de esgoto não têm estações de tratamento de esgotos, e quando as têm são com tratamento insuficiente, lançando no rio grande carga orgânica, que afeta a qualidade da água, como pode ser visto na cidade de Monteiro (Figura 7).

Segundo a Agência Nacional de Águas, entre os municípios estudados, em apenas dois existe ETE (Monteiro e Santa Rita) (BRASIL, 2017). Apesar do órgão estadual responsável pelo tratamento do esgoto (CAGEPA) ter sido procurado pela equipe de pesquisa para implantação de sistemas de biorremediação (SOUSA, 2015), para melhorar o tratamento da ETE de Monteiro, com baixo custo e elevada eficiência, a empresa não se mostrou interessada em melhorar o tratamento dos esgotos. Após a chegada das águas do Rio São Francisco, em que a mídia deixou de criticar a falta de tratamento adequado do esgoto em Monteiro, não se falou mais sobre esse assunto.

De modo geral, nos municípios da bacia hidrográfica, a coleta não abrange todas as residências, e como evidenciado pelos entrevistados e observado “*in loco*” há diversos pontos de escoamento de águas cinzas no meio das ruas em diferentes cidades (Figura 7), que são direcionadas para o Rio Paraíba pelos canais pluviais.

Além disso, os tratamentos frequentemente adotados (fossas sépticas ou mesmo lagoas de estabilização) não são eficazes para a remoção de nutrientes que acabam por enriquecer os corpos hídricos, contribuindo para o processo de eutrofização, bem como, as elevadas demandas de oxigênio para a estabilização da matéria orgânica, que promove a depleção do oxigênio dissolvido, comprometendo a qualidade da vida aquática. Há ainda o risco de contaminação da população em virtude da ineficiente rede de saneamento (SILVA e ARAÚJO, 2017), uma vez que, ao longo de todo o rio são desenvolvidas atividades de contato direto com a água, seja para pesca, irrigação ou para recreação.

Figura 7 - Escoamento de águas cinzas no meio das ruas, na ausência de chuvas, nos municípios de Monteiro (A), Camalaú (B), Salgado de São Félix (C) e Bayeux (D). 2016.



Imagens: Alinne Gurjão (2016).

O resultado do tratamento inadequado dos esgotos, faz com que o Açude Poções, que recebe esses resíduos líquidos apresente cor marrom e são visualizados episódios de mortalidade de peixes com frequência (Figura 8).

Figura 8 - Açude Poções com água característica e peixes mortos.



Imagem: Cristina Crispim (2016).

Os municípios estudados apresentam coleta de resíduos sólidos urbanos, entretanto, a disposição final adotada pela maioria é o “lixão”. Apenas as cidades de Santa Rita e Bayeux direcionam os seus resíduos para aterro sanitário (CONDIAM/PB – Aglomeração Metropolitana de João Pessoa), em cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010). Segundo os representantes das prefeituras, os municípios de Congo, Caraúbas, Cabaceiras, Salgado de São Félix e Cruz do Espírito Santo integram, ou pretendem integrar o Consórcio Intermunicipal de Gestão Pública Integrada dos Municípios do Baixo Paraíba (COGIVA) objetivando a gestão integrada dos resíduos sólidos, em acordo com o estabelecido pela PNRS. Segundo a Organização dos Consórcios Públicos Federais, integram a COGIVA os municípios paraibanos de Camalaú, Gurinhém, Ingá, Juripiranga, Mogeiro, Salgado de São Félix, São José dos Ramos, São Miguel de Itaipú e Sapé (OCPF, 2017).

Ainda que tenha coleta de resíduos sólidos domiciliares, em vários pontos ao longo do Rio Paraíba pode-se observar o acúmulo de resíduos sólidos, mesmo nas áreas nas margens do corpo hídrico (Figura 9) e próximas às cidades. Em caso de ocorrência de enxurradas e aumento do volume do rio, esses resíduos alcançarão o corpo de água, comprometendo a qualidade do manancial, principalmente pela depleção das concentrações de oxigênio dissolvido (OD), causado pelo aumento da atividade das bactérias decompositoras, para a degradação da matéria orgânica. Esses resíduos, além de impactarem esteticamente o ambiente, contribuem para a proliferação de pragas e insetos e outros animais vetores de doenças, comprometendo a saúde da população, bem como, para a diminuição da qualidade das águas, devido à lixiviação de chorume, que contém grande quantidade de contaminantes orgânicos (medidos como Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>), amônia, metais pesados, nitrogênio, fósforo e fósforo) (AZIZ et al., 2010). Muitas vezes esses resíduos são incinerados, contribuindo para a poluição do ar. Silva et al. (2014) também relataram o descarte inadequado de resíduos sólidos na sub-bacia hidrográfica do alto curso do Rio Paraíba, também nas proximidades dos reservatórios.

Figura 9 - Disposição inadequada de resíduos sólidos na cidade de Itabaiana – PB.



Imagem: Alinne Gurjão (março de 2016).

Os problemas relacionados com o saneamento na bacia hidrográfica do Rio Paraíba condizem com a situação evidenciada por Zanella (2014), que identificou a assimilação das cargas orgânicas pelos rios da região, oriundas dos lançamentos de efluentes e da má gestão dos resíduos sólidos.

Em sequência aos contatos realizados pela pesquisadora nas secretarias dos diversos municípios, o representante da Secretaria de Meio Ambiente de Itabaiana (município que mais contribui com o aumento de impactos negativos na qualidade de água do Rio Paraíba) (Capítulo 3) procurou o Laboratório de Ecologia Aquática (LABEA-UFPB) para propor uma parceria na instalação de fossas ecológicas (círculos de bananeiras e tanques de evapotranspiração) nesse município, visando o controle da poluição difusa. Apesar disso, a parceria não seguiu adiante, a coordenação do LABEA não foi mais procurada. No entanto parceria foi firmada com a Secretaria de Agricultura de Santa Rita, com o mesmo objetivo e a construção dessas fossas iniciar-se-á em dezembro de 2018.

#### **- Agricultura, Pecuária e Piscicultura**

Na região semiárida do Nordeste brasileiro é comum a retirada das espécies nativas da caatinga para a utilização das áreas nas atividades de agricultura e pecuária (SILVA et al., 2014). As atividades agrícolas estão entre as que mais impactam os ambientes aquáticos, pois além da retirada da vegetação nativa, a utilização de fertilizantes e defensivos agrícolas comprometem a qualidade das águas (BUZELLI e CUNHA-SANTINO, 2013).

Ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba são desenvolvidas atividades de agricultura familiar nas margens dos reservatórios e do rio (Figura 10), mas com o

agravamento da escassez de água, observou-se uma diminuição nas áreas destinadas para essa atividade.

Na município de Monteiro a atividade agrícola diminuiu em função da longa estiagem. Além disso, a atividade que era desenvolvida pelas famílias nas margens do Rio Paraíba, em virtude das obras dos canais da transposição, foram interrompidas. Houve a relocação dessas famílias para uma agrovila em uma Vila Produtiva Rural (uma das 18 vilas entregues pelo Governo Federal nos estados de Pernambuco, Ceará e Paraíba), mas até novembro de 2017 ainda não havia sido iniciado o processo de produção.

Segundo representante da prefeitura, até o início do ano de 2016 havia produção de hortaliças também na Bacia Hidrográfica do Açude Poções, principalmente de tomate que, como evidenciado pelo entrevistado, era uma preocupação em relação à qualidade das águas, pelo uso de agrotóxicos, comumente utilizados nessa cultura (CARVALHO et al., 2016). A manutenção da atividade no município foi possível por algumas famílias que têm poços tubulares, garantindo a água necessária para a produção. Na Figura 10 é apresentada a produção agrícola desenvolvida no município, utilizando um sistema semelhante à mandala, graças à existência de poço tubular na propriedade.

Figura 10 - Agricultura familiar desenvolvida no município de Monteiro (A) e mercado da agricultura familiar no município de Monteiro (B). Abril de 2017.



Imagem: Alinne Gurjão (2017).

No município de Camalaú foram identificados cultivos orgânicos próximos ao açude e em três assentamentos rurais existentes: Assentamento Beira Rio, com 29 famílias; Assentamento Novo Mundo, com 87 famílias; e Assentamento Carajás, com 16 famílias. Em virtude da limitação da utilização das águas, pouca atividade foi

observada nos três assentamentos. Em períodos normais de chuva, segundo os moradores, há a produção de milho, feijão, mamão, acerola, tomate e hortaliças em geral. O Assentamento Beira Rio foi o que apresentou maior produção (Figura 11A). Segundo o agricultor, toda a produção é orgânica, sendo proibida a utilização de agrotóxicos no assentamento.

Essa ação já existente de produção orgânica é muito importante e reflete-se com certeza na qualidade de água do Rio Paraíba, devendo a produção orgânica ser difundida e os órgãos governamentais, como a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER), Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR) e outros capacitarem os pequenos produtores para este tipo de atividade, que além de garantir uma melhor qualidade ambiental, traz benefícios sociais, para a saúde e para a economia familiar. Por outro lado, as produções convencionais de tomate e pimentão, citadas nas entrevistas, devem ser fiscalizadas e controladas, de forma a que os agrotóxicos não sejam carregados para o Rio Paraíba, afetando a qualidade de água a jusante.

Em Camalaú foi observada a atividade de agricultura familiar associada com a criação de peixes utilizando a água dos tanques de cultivos, rica em nutrientes, para a irrigação das hortaliças (Figura 11B). A adoção dessa prática, além de uma alternativa à impossibilidade de utilização de água do açude, constitui prática sustentável e eficiente de reutilização de um recurso escasso e rico em nutrientes necessários às plantas. Os peixes alimentam-se da ração e produzem excretas que são convertidas nos nutrientes que, posteriormente, serão absorvidos pelas plantas (CARNEIRO et al., 2015). Esta metodologia é proposta nos sistemas de cultivo “Mandala”, desenvolvido pelo paraibano Willy Pessoa (FIASCHITELLO, 2014), que utiliza os nutrientes da aquicultura na fertirrigação, diminuindo os insumos com adubos químicos, utilizando compostos já estabilizados e de fácil assimilação pelas plantas (CARNEIRO et al., 2015). Além disso, a renovação de água pela retirada de água para a agricultura, mantém os viveiros com melhor qualidade ambiental para os peixes, refletindo-se numa melhor produção, com menos risco de falta de oxigênio.

Figura 11 - Agricultura familiar desenvolvida no Assentamento Beira Rio, Camalaú/PB, julho de 2016 (A). Cultivo de hortaliças utilizando água de tanques de cultivo de tilápia, Camalaú/PB, julho de 2016 (B).



Imagem: Alinne Gurjão (2016).

Ao longo da bacia hidrográfica a ausência de chuvas e as limitações ao uso das águas em virtude do baixo volume dos açudes, foi acompanhada da redução na atividade agrícola. De modo geral, nos municípios de Congo, Caraúbas, Cabaceiras e Boqueirão, produzia-se milho, feijão, batata-doce, tomate, pimentão, cenoura, cebola, coentro e demais hortaliças, e tiveram a produção diminuída (entre os anos de 2011 e 2017). Segundo os representantes das prefeituras, para a maioria desses cultivos há a utilização de agrotóxicos. A agricultura orgânica é pouco praticada, ainda que seja incentivada por alguns municípios, como o Congo, com a assimilação de parte da produção orgânica para a merenda escolar. Com o agravamento da situação do volume de água dos reservatórios, a produção foi mantida apenas por agricultores que possuíam poços em suas propriedades. Na Figura 12A é apresentado um cultivo agrícola nas margens do Açude Presidente Epitácio Pessoa, em março de 2016, antes da proibição da utilização da água para irrigação.

Figura 12 - Agricultura familiar desenvolvida nas margens do Açude Presidente Eptácio Pessoa, Boqueirão/PB. (A); agricultura orgânica desenvolvida no município de Itatuba/PB. Agosto de 2017 (B).



Imagem: Alinne Gurjão (A - março de 2016; B – março de 2017).

Os municípios abastecidos com águas do Açude Argemiro de Figueiredo não tiveram, até novembro de 2017, restrições quanto ao uso para a irrigação.

Segundo os entrevistados, a atividade agrícola foi beneficiada pela construção da barragem, disponibilizando água para a região. Nos municípios de Itatuba, Salgado de São Félix e Itabaiana são produzidos milho, macaxeira, alface, cenoura, verduras e hortaliças em geral, algodão colorido, além de frutíferas como a graviola, manga e acerola, entre outras. Em cultivos grandes, em geral, há a utilização de agrotóxicos, mas em pequenos cultivos há grande utilização de agricultura orgânica, com técnica de irrigação por gotejamento ou microaspersão (Figura 12B), minizando o desperdício de água e possíveis impactos ao solo.

Os municípios de Cruz do Espírito Santo e Santa Rita apresentam a sua atividade agrícola voltada, principalmente, para a monocultura da cana-de-açúcar (Figura 13), em virtude da presença de engenhos na região. Além da cana-de-açúcar, são produzidos feijão, milho, macaxeira, tomate, banana, maracujá, acerola, melancia, e diversos outros cultivos de subsistência. Como a região não depende exclusivamente das águas do Rio Paraíba, não tiveram a atividade agrícola prejudicada em função do baixo volume de água no rio. Entretanto, as atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica podem impactar a qualidade da água, principalmente pelo uso de agrotóxicos e do lançamento de efluentes dos engenhos em afluentes do Rio Paraíba. No município de Bayeux a atividade agrícola próxima ao Rio Paraíba é pouco expressiva, primeiro porque já se encontra localizado em

área de estuário, que é imprópria para irrigação, e também porque a maior parte do município é de ocupação urbana.

Figura 13 - Cultivos de Cana-de-açúcar em Cruz do Espírito Santo/PB (A) e Santa Rita/PB (B).

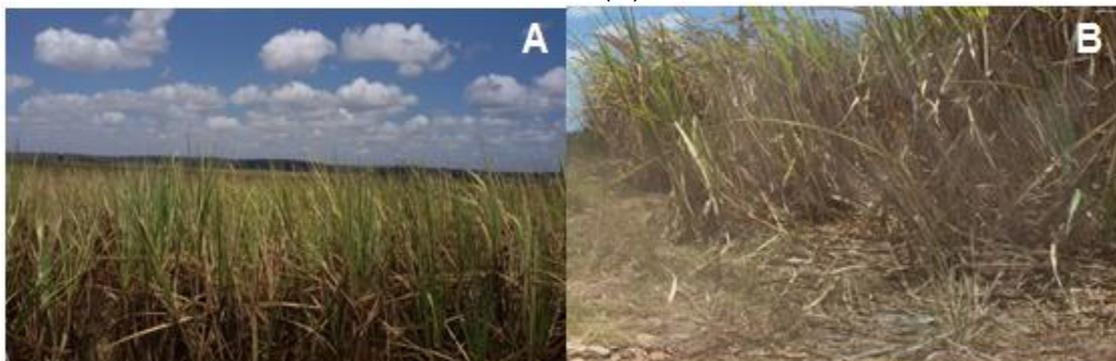


Imagem: Alinne Gurjão (Março de 2016).

Entre os potenciais impactos da agricultura sobre as águas, destaca-se o uso de fertilizantes e de agrotóxicos. Ricos em nutrientes, os fertilizantes contribuem para o enriquecimento das águas e, conseqüentemente, para os processos de eutrofização, comprometendo a qualidade das mesmas. Os agrotóxicos, quando lixiviados, são considerados potenciais poluidores de recursos hídricos, contaminando a água, os solos e a biota (AMÉRICO et al., 2015) e como eles se bioacumulam na cadeia alimentar, podem contaminar outros organismos do meio, inclusive o homem, por exemplo, ao se alimentar de pescado contaminado. Segundo Américo et al. (2015), é comprovado que pequenas concentrações de agrotóxicos podem levar à morte microcrustáceos, peixes e anfíbios. Outro agravante é que em razão da intercomunicabilidade dos sistemas hídricos, pode haver contaminação por agrotóxicos de áreas distintas daquelas onde originalmente esses foram aplicados (VEIGA et al., 2006), aumentando os agravos em relação à utilização indiscriminada destes poluentes químicos.

Silva et al. (2014) verificaram na região do alto curso do Rio Paraíba que nas áreas com mata ciliar, a qualidade das águas era melhor do que nas áreas utilizadas para fins agrícolas. É evidente a capacidade impactante desta atividade sobre a qualidade da água e a sua interferência na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, ressaltando a necessidade de utilização de práticas que minimizem os impactos negativos observados.

A criação de animais (caprinos, ovinos e bovinos) é amplamente difundida em toda a bacia hidrográfica (Figura 14), prevalecendo a criação de bodes e cabras na região do cariri paraibano, e de suínos e bovinos, nas áreas próximas ao litoral. Em algumas áreas há a supressão da vegetação nativa para a formação de áreas de pastoreio, e a retirada da vegetação associada ao pisoteio do solo pelos animais, diminuindo a infiltração das águas (MINOSSO et al., 2017) e, conseqüentemente a recarga dos corpos hídricos. Segundo Silva et al. (2014), a criação de rebanhos, especialmente caprinos, em áreas de caatinga, quando associadas a outras formas de pressão sobre a vegetação, causam o empobrecimento e a redução do porte das plantas.

Figura 14 - Criação de animais ao longo da bacia hidrográfica do Rio Paraíba.



Imagem: Alinne Gurjão (2016).

Um dos problemas relacionados com a criação de animais é a geração de fezes e rejeitos da produção que, quando não tratados adequadamente podem comprometer a qualidade do ambiente. Em alternativa a este problema, no município de Monteiro, uma produtora rural utiliza biodigestor para o tratamento das fezes geradas pelos animais (aves, caprinos, bovinos, etc.) de seu sítio. Para Gomes et al. (2014), a utilização de biodigestor para o tratamento das fezes é uma alternativa sustentável, que além de minimizar os problemas ambientais causados pela produção animal, agrega valor aos dejetos. Nesse caso, toda a matéria orgânica biodegradável gerada no sítio, que seria dispensada, é encaminhada para o

biodigestor, produzindo biofertilizante utilizado nos cultivos agrícolas da família, como também, é produzido biogás, que é utilizado na residência durante o preparo dos alimentos (Figura 15).

Figura 15 - Biodigestor em operação em Monteiro/PB e utilização do biogás para a chama do fogão. Agosto de 2017.



Imagens: Moradora de residência rural no município de Monteiro (2017).

A piscicultura é muitas vezes limitada na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba em virtude da pouca disponibilidade de água. A atividade foi observada nos municípios de Camalaú (cultivo de tilápia e traíra em tanques rede no Açude Camalaú e em viveiros escavados), Congo (cultivo em tanque rede no Açude do Congo), Itatuba (cultivos de tilápia em tanque rede no Açude Argemiro de Figueiredo; e de tilápia e camarão em tanques), Salgado de São Félix (cultivo de tilápia e camarão em tanques) e Cruz do Espírito Santo (cultivos em pequenos viveiros).

No município de Camalaú, vinte piscicultores vinculados à Colônia de Pescadores e Aquicultores (COPESCA) (Figura 16A) desenvolvem atividades em tanques rede no Açude Camalaú e em tanques escavados. Em virtude da pouca disponibilidade de água, o número de tanques rede no açude foi diminuindo, e no início de 2017 existiam apenas 10 tanques rede em uso no açude (Figura 16B). Mesmo os piscicultores que utilizam tanques escavados (Figura 16C) tiveram dificuldades em manter o volume de água nesses, em virtude das restrições ao uso de água do açude. Em geral, a manutenção da atividade foi possível para aqueles que possuem água de poço disponível. Algumas famílias reutilizam as águas dos tanques escavados para a irrigação de horta familiar (Figura 16D). No Açude Argemiro de Figueiredo também há piscicultura em tanques rede dentro deste.

Figura 16 - Colônia de pescadores e aquicultores (A); tanques-redes no açude Camalaú (B); tanque escavado em Camalaú (C); e agricultura familiar irrigada com água dos tanques, em Camalaú (D).



Imagens: Alinne Gurjão (maio de 2016).

A atividade de piscicultura impacta as águas, principalmente, pela adição de ração para a alimentação dos peixes. O excesso de nutrientes pode acelerar os processos de eutrofização do corpo hídrico, o desenvolvimento de cianobactérias e a liberação de cianotoxinas que podem, inclusive, contaminar o pescado. Crispim et al. (2013) e Moura et al. (2014) mostraram a partir de estudos de qualidade de água, baseado em parâmetros químicos e biológicos da água e do sedimento, respectivamente, que a piscicultura em tanques-rede aumenta a carga de nutrientes nos sistemas aquáticos, favorecendo a eutrofização. Por sua parte, a eutrofização diminui os usos possíveis da água, comprometendo a distribuição desta para a população.

A atividade de piscicultura é uma atividade econômica importante e não deve deixar de ser realizada, no entanto, em tanques rede compromete a água para o consumo humano. Quando realizada em viveiros escavados ou cimentados (tanques) o impacto é mínimo e a água ainda pode ser reutilizada para a fertirrigação, como realizado por alguns produtores (Figura 16, C e D). Em tanques rede o impacto é grande e a atividade não é sustentável (visto que com o tempo nem a piscicultura poderá ser realizada), o que coloca em risco o uso de água para

o consumo humano e animal, que deveria ser a prioridade em um ambiente semiárido.

As mulheres pescadoras, mães ou casadas com pescadores, organizaram-se em grupo (AGRIPESCA) visando agregar valor ao pescado, com a venda do material desfiado. Nesse processo, elas desenvolveram um método de beneficiamento do pescado e de aproveitamento dos restos que não seriam utilizados, e conseqüentemente descartados, como as escamas do peixe para a fabricação de peças artesanais (Figura 17), aumentando as possibilidades de lucro advindas da atividade de piscicultura.

Figura 17 - Beneficiamento do pescado no município de Camalaú.



Imagens: Alinne Gurjão (julho de 2016).

A experiência exitosa resultou em dois prêmios de reconhecimento nacional: o prêmio “SEBRAE Mulher de Negócios” (2014) e o “4º Prêmio Consulado da Mulher de Empreendedorismo Feminino” (2016). Este, promovido pelo Instituto Consulado da Mulher, premiou o grupo com 10 mil reais e eletrodomésticos, além de assessoria técnica por um período de dois anos. Com a consolidação do grupo elas puderam aumentar a produção, garantindo a retomada do pescado no mercado e gerando renda para as mulheres da região.

### - Extração de Areia

Ao longo do Rio Paraíba foram observadas atividades de extração de areia do leito do rio (Figura 18). Nobre Filho et al. (2011) ressaltaram a importância econômica da atividade, que gera emprego e renda para famílias locais e matéria prima para a construção civil, além de promover o desassoreamento do canal. Durães et al. (2017) adicionaram aos impactos positivos mencionados, impactos negativos, como a intensificação da erosão do solo, assoreamento do rio, descaracterização da paisagem natural, desmatamento, exposição e compactação do solo (pelo uso de maquinaria pesada).

Figura 18 - Retirada de areia do leito do Rio Paraíba (A); Marcas de fluxo de caminhões na região marginal do Rio Paraíba (B), no município de Santa Rita/PB.



Imagens: Alinne Gurjão (março de 2016).

Analisando os impactos da atividade em questão no Rio Paraíba observou-se que, ainda que a atividade possa auxiliar no desassoreamento do rio, outros impactos ambientais negativos são desencadeados: o aumento da turbidez das águas a jusante, que pode interferir na produção das comunidades planctônicas, que são a base da cadeia alimentar do sistema; a supressão da vegetação e exposição do solo; alterações no leito do rio; e, ainda há preocupação em relação à poluição das águas com óleos e graxas utilizados na maquinaria e nos veículos que ficam nas margens do rio. Nesta área observa-se fortemente a remoção da mata ciliar (Figura 18B).

### - Indústrias

Nas áreas próximas aos reservatórios e ao leito do Rio Paraíba não foi identificado número expressivo de indústrias que interfiram diretamente na qualidade

das águas. Uma única indústria foi localizada na área de estudo, no município de Itabaiana, uma Fábrica de Sabão e Velas (Figura 19) próxima ao leito do rio.

Figura 19 - Fábrica de sabão e velas no município de Itabaiana – PB.



Imagem: Alinne Gurjão (2017).

A produção de sabão, em geral, utiliza para a constituição do produto, surfactantes que podem afetar significativamente os ecossistemas aquáticos, interferindo nas taxas de aeração (pela redução da tensão superficial) fazendo com que as bolhas de ar permaneçam menos tempo no meio. A formação de espuma na superfície dificulta a penetração de luz, essencial para a fotossíntese dos organismos subaquáticos (IVANKOVIC e HRENOVIC, 2010). Além disso, outro componente bastante utilizado na produção é o tripolifosfato de sódio, que é um dos principais nutrientes das algas, e que está associado à eutrofização dos rios, evidenciando a necessidade de um tratamento de efluentes que diminua a concentração de nutrientes antes de serem lançados ao rio. No trecho do Rio Paraíba, próximo à fábrica, é visível o lançamento desses efluentes (às vezes também pelo mau cheiro), juntamente com os efluentes sanitários oriundos das residências da cidade, que contribuem com a liberação desses nutrientes.

Não se pretende aqui propor parar a produção de sabão e vela, mas alerta-se para a necessidade que os efluentes dessa indústria sofram algum tipo de tratamento, antes de serem lançados no rio, principalmente um tratamento biológico que possa absorver os nutrientes e produzir biomassa para outros fins, para que não se impacte mais o rio com mais produtos químicos.

A possibilidade da transposição das águas do Rio São Francisco gerou grandes expectativas para as populações residentes nas bacias hidrográficas que receberiam as águas, principalmente naquelas áreas que vinham sofrendo com o longo tempo de estiagem, dificultando o desenvolvimento das atividades de agricultura, piscicultura e pecuária, como exposto anteriormente.

As águas advindas do Rio São Francisco chegaram à Paraíba também para atender as necessidades dos centros urbanos, que vinham sofrendo com o racionamento de água desde o ano de 2014 (cidades abastecidas pelo Açude Presidente Epitácio Pessoa).

Para atender essa demanda urbana de água, os reservatórios em cascata que antecedem o Açude Presidente Epitácio Pessoa (Açudes Poções e Camalaú) tiveram aberturas nas paredes dos açudes para permitir a passagem da água (Figuras 20 A e B) para o Açude Presidente Epitácio Pessoa (que já operava no volume morto), sem que houvesse a necessidade de enchimento total dos açudes, passando a funcionar como açudes de passagem.

À medida que a água foi chegando aos reservatórios, acumulando minimamente, e o Açude Epitácio Pessoa saiu do volume morto, o abastecimento das cidades foi progressivamente regularizado, ainda que os mesmos apresentassem baixo volume de água acumulada.

Figura 20 - Saída de água dos Açudes Poções em Monteiro/PB (A) e Camalaú em Camalaú/PB (B).



Imagens: Alinne Gurjão (julho de 2017).

A chegada das águas da transposição (pelo Eixo Leste) no Estado reacendeu a esperança da população para a melhoria das condições de vida na região, com a oferta de água para os diferentes usos. Entre os entrevistados prevalece a idéia de

que a transposição melhorará a distribuição e a qualidade da água ofertada para consumo humano, bem como, para o desenvolvimento das atividades de agricultura e piscicultura, possibilitando a melhoria de renda da população. Os municípios que permaneceram com seus cultivos ativos (Itatuba e Salgado de São Félix) almejam o aumento das áreas cultivadas e a implementação de novas culturas, expandindo a agricultura e também a piscicultura, que seria possível com o aumento da vazão do Açude Argemiro de Figueiredo. Sabe-se entretanto, que as águas só chegarão ao açude após o reservatório do Açude Presidente Epitácio Pessoa atingir a sua capacidade máxima.

Para os municípios mais próximos do litoral (Cruz do Espírito Santo, Santa Rita e Bayeux), que pouco dependem das águas do Rio Paraíba, não se observa grande expectativa em relação ao uso dessas águas. Não se sabe qual o volume de água que chegará até esses municípios, mas afirmaram que se houver disponibilidade pode-se estender a agricultura utilizando a água do Rio Paraíba.

Em virtude das obras da transposição do Rio São Francisco, no município de Monteiro áreas que eram utilizadas para a agricultura familiar foram desapropriadas, e as famílias que residiam nessas, onde passam os canais da transposição, foram realocadas na Agrovila Lafayette, em março de 2016 (Figura 21).

Figura 21 - Agrovila Lafayett, Monteiro/PB.



Imagens: Alinne Gurjão (julho de 2016).

Sessenta famílias mudaram-se para esta agrovila, cada uma delas recebendo uma casa e uma área de cultivo. Mas, mesmo com a chegada da água do Rio São Francisco ao município, em abril de 2017, as atividades agrícolas não haviam sido iniciadas (2017), em virtude da proibição da utilização das águas para a irrigação e da necessidade de sistema de irrigação na vila. Segundo o presidente da associação dos agricultores da agrovila, como estavam impossibilitados de produzir,

os moradores recebiam um auxílio (um salário mínimo ao mês) pago pelo Governo Federal, até iniciarem-se os cultivos.

A agrovila, apesar de contar com boa estrutura física, com área de lazer, escola e posto de saúde, não opera eficientemente. Primeiro, eles não tinham até abril de 2017, auxílio da prefeitura para o funcionamento da escola e do posto de saúde, que permaneciam fechados. Além disso, apesar de residirem próximos ao rio e de terem sido alojados na agrovila, muitos dos moradores não são agricultores, e não receberam nenhum tipo de instrução por parte do governo, sobre formas de cultivo, de irrigação ou de proteção ao meio ambiente, de modo que muitas famílias não têm experiência alguma em agricultura. Logo que seja liberada a utilização das águas, o auxílio do governo será cortado, e as famílias poderão iniciar as suas produções. Ressalta-se neste caso que a pouca experiência dificulta o sucesso na produção, e além disso, as famílias só começarão a ter renda advinda da agricultura no momento da colheita, necessitando de planejamento para esse período, entre o plantio e a colheita, quando não estarão recebendo proventos pelo trabalho e provavelmente já não contarão com o subsídio, que já era para ter sido cortado, mas que em negociação com os assentados, foi mantido por tempo indeterminado.

Como ressaltado anteriormente, a agricultura, dependendo da forma que é realizada, pode gerar grandes impactos ao meio ambiente. Sabe-se que técnicas tradicionais de irrigação podem levar à salinização dos solos e à perda da produtividade agrícola, ressaltando a necessidade de capacitar o agricultor rural a gerir adequadamente a água, de forma a minimizar os impactos sobre o solo. No caso de haver salinização dos solos será pior do que não ter água para a produção, porque sem água, nos períodos de chuva poder-se-ia produzir, e com um solo salinizado, nem com chuva isso será possível.

Ainda no município de Monteiro as obras do canal da transposição (Figura 22) provocaram impactos negativos para a população que residia nas áreas próximas, uma vez que muitos poços em torno secaram durante o período de obras (relato de moradores). Além disso, houve a transformação da paisagem para a construção do canal, com a retirada da vegetação e o assoreamento do rio. Na Figura 22 (C e D) pode-se observar a erosão já visível no canal da transposição no município de Monteiro.

Figura 22 - Obras da trasposição do Rio São Francisco no município de Monteiro/PB, evidenciando os processos erosivos no canal (C e D).



Imagens: Alinne Gurjão (maio de 2016 (A) e abril de 2017 (B)).  
Cristina Crispim (abril de 2017 (C e D)).

## 5.4 CONCLUSÕES

A água é um recurso fundamental para o desenvolvimento das atividades observadas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. Em virtude do caráter intermitente do Rio Paraíba, agravado pelo longo período de seca nas regiões do alto e médio cursos do Rio Paraíba, a disponibilidade de água para a população foi afetada, inclusive pelo baixo volume das reservas hídricas localizadas nos açudes, afetando desde o abastecimento das cidades ao desenvolvimento das atividades rurais (agricultura, pecuária e piscicultura).

Ainda que se reconheça a importância da água para o desenvolvimento das atividades na bacia hidrográfica, foram identificados vários impactos potenciais dessas atividades sobre as águas. É necessária a disseminação de técnicas que minimizem os impactos ambientais observados, principalmente daquelas já adotadas na bacia hidrográfica, para serem reproduzidas por outros produtores, como é o caso da agricultura orgânica, do consórcio piscicultura-agricultura e do uso de biodigestores.

Para as atividades de grande geração de impactos, como o cultivo de tomate e pimentão, citados nas entrevistas, e que usam grande quantidade de agrotóxicos, faz-se necessária fiscalização por parte dos órgãos responsáveis, assim como com a piscicultura em tanques rede, que é uma atividade não sustentável e degrada a qualidade de água nos reservatórios, colocando em risco os usos múltiplos da água, principalmente para consumo humano, que tem de ser prioritário em uma região semiárida. A fiscalização é necessária, para que o lucro de alguns empresários não seja a causa da perda de qualidade de vida de toda a população ribeirinha do Rio Paraíba.

Apesar dos impactos negativos identificados em relação às obras da transposição do Rio São Francisco, a chegada das águas à Paraíba reacendeu a esperança da população que depende das águas do rio, destacando-se a necessidade de uma boa gestão das novas águas que chegam para suprir a demanda hídrica na região.

## REFERÊNCIAS

- AESA. **Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba.** Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/>> Acesso em setembro de 2017.
- AMÉRICO, J. H. P.; MANOEL, L. O.; TORRES, N. H.; FERREIRA, L. F. R. O USO DE AGROTÓXICOS E OS IMPACTOS NOS ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 8, n. 13, p. 101-115, 2015.
- ARAÚJO, L. E.; SANTOS, M. J.; DUARTE, S. M.; OLIVEIRA, E. M. Impactos ambientais em bacias hidrográficas – caso da bacia do Rio Paraíba. **Tecno-lógica**, v. 13, n. 2, p. 109-115, 2009.
- AZEVEDO, D.J.S.; BARBOSA, J.E.L.; GOMES, W.I.A.; PORTO, D.E.; MARQUES, J.C.; MOLOZZI, J. Diversity measures in macroinvertebrate and zooplankton communities related to the trophic status of subtropical reservoirs: Contradictory or complementary responses? **Ecological Indicators**, v. 50, n. 1, p. 135–149, 2015.
- AZIZ, S. Q.; AZIZ, H. A.; YUSOFF, M. S.; BASHIR, M. J. K.; UMAR, M. Leachate characterization in semi-aerobic and anaerobic sanitary landfills: A comparative study. **Journal of Environmental Management**, v. 91, p. 2608 - 2614, 2010.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Atlas esgotos: despolição de bacias hidrográficas** / Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental . -- Brasília: ANA, 2017.
- BRASIL.. **Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010)**. LEI Nº 12.305 de 02 de agosto de 2010.
- BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, n.1, 2013.
- CARNEIRO, P. C. F.; MORAIS, C. A. R. S.; NUNES, M. U. C.; MARIA, A. N. V.; FUJIMOTO, R. Y. **Produção integrada de peixes e vegetais em aquaponia**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015.
- CARVALHO, C. R. F.; PONCIANO, N. J.; SOUZA, C. L. M. LEVANTAMENTO DOS AGROTÓXICOS E MANEJO NA CULTURA DO TOMATEIRO NO MUNICÍPIO DE CAMBUCI – RJ. **Ciência Agrícola**, v. 14, n. 1, p. 15-28, 2016.
- CUNHA, D. G. F.; SABOGAL-PAZA, L. P.; DODDSBA, W. K. Land use influence on raw surface water quality and treatment costsfor drinking supply in São Paulo State (Brazil). **Ecological Engineering**, v. 94, n. 1, p. 516–524, 2016.
- CRISPIM, M. C.; ARAÚJO, K. P. P.; MELO JUNIOR, H. N. M. Environmental impact analysis of aquaculture in net cages in a Brazilian water reservoir, based in zooplankton communities. **African Journal of Biotechnology**, v. 12, n. 17, p. 2234-2248, 2013.

DURÃES, M. C. O.; MAIA FILHO, B. P.; BARBOSA, V. V.; FIGUEIREDO, F. P. Caracterização dos impactos ambientais da mineração na bacia hidrográfica do rio São Lamberto, Montes Claros/MG. **Cad. Ciênc. Agra.**, v. 9, n. 1, p. 49-61, 2017.

FIASCHITELLO; Alberto. **Sistema Mandalla: Um Projeto Autossustentável promissor para o Brasil. AGÊNCIA MANDALLA – DHSA.** Epoch Times. 2014. Disponível em: <http://nucleomandalla.blogspot.com.br/>. Acesso em: 15 de setembro de 2016.

GOMES, A. C. A.; ROCHA, M. M.; GALVÃO, A. S.; ALBINO, P. M. B. Incentivos para a viabilização do biogás a partir dos resíduos da pecuária leiteira no Estado de Minas Gerais. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 30, p. 149-160, 2014.

G1 PARAÍBA. Canais da transposição do São Francisco tem esgoto e placas soltas, em Monteiro, na Paraíba. 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/canais-da-transposicao-do-sao-francisco-tem-esgoto-e-placas-soltas-em-monteiro-na-pb.ghtml>> Acesso em junho de 2018.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Censo Demográfico. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>> Acesso em: 09 de novembro de 2016.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv45351.pdf>> Acesso em: 08 de outubro de 2016.

IVANKOVIĆ, T; HRENOVIĆ, J. SURFACTANTS IN THE ENVIRONMENT. **Arh Hig Rada Toksikol**, v. 61, n. 1, p. 95-110, 2010.

MARQUES, A. K.; BARROS, D. J.; MORAIS, P. B. Análise temporal de Cyanobacteria e Índice de Estado Trófico na PCH Porto Franco, Tocantins. **J. Bioen. Food Sci**, v. 02, n. 4, p. 137-144, 2015.

MENDES, C. F.; BARBOSA, J. E. L.; NERY, J. F. Microcystin Accumulation and Potential Depuration on Muscle of Fishes of Fish Farm: Implications to Public Health. **International Journal of Innovative Studies in Aquatic Biology and Fisheries (IJISABF)**, v. 2, n. 2, p. 1 - 10, 2016.

MINOSSO, J.; ANTONELI, V.; FREITAS, A. R. Variabilidade sazonal da infiltração de água no solo em diferentes tipos de uso na Região Sudeste do Paraná. **Geographia Meridionalis**, v. 3, n. 1, p. 86–103, 2017.

MOURA, R. S. T.; LOPES, Y. V. A.; HENRY-SILVA, G. G.. Sedimentation of nutrients and particulate matter in a reservoir supporting aquaculture activities in the semi-arid region of Rio Grande do Norte. **Quím. Nova [online]**, v. 37, n. 8; p.1283-1288, 2014.

NOBRE FILHO, P. A.; SABADIA, J. A. B.; DUARTE, C. R.; MAGINI, C.; NOGUEIRA NETO, J. A.; SILVA FILHO, W. F. Impactos ambientais da extração de areia no canal ativo do Rio Canindé, Paramoti, Ceará. **Revista de Geologia**, v. 24, n. 2, p. 126 - 135, 2011.

OCPF. **Observatório dos Consórcios Públicos e do Federatismo**. COGIVA. Disponível em: <<http://www.ocpf.org.br/consorcio/consorcio-intermunicipal-de-gestao-publica-integrada-nos-municipios-do-baixo-paraiba/>> Acesso em: 01 de dezembro de 2017.

OSTI, J. A. S.; MORAES, M. A. B.; CARMO, C. F.; MERCANTE, C. T. J. Nitrogen and phosphorus flux from the production of Nile tilapia through the application of environmental indicators. **Braz. J. Biol.**, v.1, n.1, p. 1-7, 2017.

QUEIROZ, L. G.; SILVA, F. T.; PAIVA, T. C. B. Caracterização estacional das variáveis físicas, químicas, biológicas e ecotoxicológicas em um trecho do Rio Paraíba do Sul, SP, Brasil. **Rev. Ambient. Água**, v. 12, n. 2, p. 238-248, 2017.

RIBEIRO, K. H.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; SOUZA, L. C. P.; MINELLA, J. P. G.; ALMEIDA, L.; RAMOS, M. R. Quality of surface water related to land use: a case study in a catchment with small farms and intensive vegetable crop production in southern Brazil. **R. Bras. Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 656-668, 2014

SILVA, M. B. R.; AZEVEDO, P. V.; ALVES, T. L. B. ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA. **Bol. Goia. Geogr. (Online)**, v. 34, n. 1, p. 35-53, 2014.

SILVA, M. A.; ARAÚJO, R. R. Análise temporal da qualidade da água no córrego limoeiro e no Rio Pirapozinho no Estado de São Paulo – Brasil. **Revista Formação (online)**, v. 1, n. 24, p. 182-203, 2017.

SOUSA, C. E. **Avaliação de sistemas biorremediadores em efluentes da Lagoa facultativa da estação de tratamentos de esgotos em Mangabeira, João Pessoa/PB**. 2015. 75f. Dissertação (Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) UFPB, João Pessoa – PB, 2015.

SOUZA, M. M.; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Eng Sanit Ambient**, v.19, n.3, p. 263-274, 2014.

SOUZA, J. R.; MORAES, M. E. B.; SONODA, S. L.; SANTOS, H. C. R. G. A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. **REDE - Revista Eletrônica do Prodepa**, v. 8, n. 1, p. 26-45, 2014.

TANAKA, M. O.; SOUZA, A. L. T.; MOSCHINI, L. E.; OLIVEIRA, A. K. Influence of watershed land use and riparian characteristics on biological indicators of stream water quality in southeastern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 216, n.1, p. 333–339, 2016.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.14, n.1, p.55–64, 2010.

VEIGA, M. M.; SILVA, D. M.; VEIGA, L. B. E.; FARIA, M. V. C. Análise da contaminação dos sistemas hídricos por agrotóxicos numa pequena comunidade rural do Sudeste do Brasil. **Cad. Saúde Pública**, v. 22, n. 11, p. 2391-2399, 2006.

ZANELLA, M. E. CONSIDERAÇÕES SOBRE O CLIMA E OS RECURSOS HÍDRICOS DO SEMIÁRIDO NORDESTINO. **Caderno Prudentino de Geografia**, Volume Especial, n.36, p. 126-142, 2014.

## 6 Capítulo 2 -

### **PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

**Resumo:** O Rio Paraíba, um dos principais rios do Estado, desempenha importante função econômica, ambiental e social para a região. Entretanto, diferentes impactos nas áreas próximas ao rio interferem na manutenção do curso de água e na qualidade deste recurso, já escasso, em virtude da intermitência do rio. Este trabalho teve como objetivo, a partir da identificação dos principais problemas ambientais no Rio Paraíba, propor medidas simples, de fácil execução e baixo custo, que possam proporcionar a redução desses impactos, melhorando a qualidade do meio ambiente e das comunidades que residem nessa área. As principais atividades impactantes foram relacionadas à urbanização, com o lançamento de esgotos e resíduos sólidos, de forma inadequada e sem tratamento prévio; a piscicultura; a pecuária; a agricultura e a retirada de Areia; e em geral, são comuns ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. Diante disso, algumas alternativas foram propostas para minimizar os impactos ao Rio Paraíba: o uso de cisternas para captação de águas da chuva, círculo de bananeira e tanques de evapotranspiração, biorremediação, coleta seletiva, compostagem, biodigestão, piscicultura em viveiros escavados, fertirrigação, agricultura orgânica e permacultura. Essas alternativas necessitam de baixo investimento financeiro, e podem proporcionar melhorias ambientais e sociais para as áreas onde forem implantadas. Algumas destas já são adotadas na região, demonstrando a aceitação por alguns moradores, que reconhecem a sua importância para a melhoria da qualidade ambiental e de vida das comunidades que as utilizam.

**Palavras-chave:** Qualidade de água; Uso do solo; Tecnologias sociais.

**Abstract:** The Paraíba River, one of the main rivers of the State, plays an important economic, environmental and social role for the region. However, different impacts in the areas near the river interfere in the maintenance of the watercourse and in the quality of this resource, already scarce, due to the intermittency of the river. This paper aimed to identify the main environmental problems in the Paraíba River, to propose simple, easy to implement and low cost measures that can reduce these impacts, improving the quality of the environment and the communities living in the area. The main impact activities were related to urbanization, with the launching of sewage and solid waste, in an inadequate way and without previous treatment; fish farming; cattle ranching; agriculture and the withdrawal of sand; and in general, are common throughout the Paraíba River Basin. Therefore, some alternatives were proposed to minimize the impacts to the Paraíba River: the use of cisterns to collect rainwater, banana tree and evapotranspiration tanks, bioremediation, selective collection, composting, biodigestion, fish farms in excavated nurseries, fertirrigation, organic agriculture and permaculture. These alternatives require low financial investment, and can provide environmental and social improvements to the areas where they are implemented. Some of these are already adopted in the region, demonstrating the acceptance by some residents, who recognize their importance for the improvement of the environmental quality and life of the communities that use them.

**Keywords:** Water quality; Use of the soil; Social technologies.

## 6.1 INTRODUÇÃO

A Resolução CONAMA N° 001/1986 define impacto ambiental como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais.

Segundo Pereira et al. (2016), a ocupação do território brasileiro foi marcada pela exploração intensa dos recursos naturais objetivando a expansão das áreas urbanizadas e das atividades agropecuárias. A supressão da vegetação nativa para a expansão desse tipo de utilização do solo, somado aos resíduos oriundos do manejo dessas áreas são importantes fontes de impactos ao solo, água e ar, que podem comprometer a qualidade dos ecossistemas, principalmente os aquáticos.

Em relação aos recursos hídricos, diversos trabalhos têm verificado que a exploração intensa dos solos, seja para uso urbano, industrial, agrícola ou pecuária, tem comprometido a qualidade das águas (BUCCI e OLIVEIRA, 2014; RIBEIRO et al., 2014; CUNHA et al., 2016; TANAKA et al., 2016), diminuindo a disponibilidade de água de boa qualidade para a população.

Os processos de urbanização são responsáveis pelo aumento da demanda de água para abastecimento da população, pela elevada geração de esgotos sanitários e de resíduos sólidos (CARMO et al., 2014; DUARTE e MACHADO, 2015; CORDEIRO et al., 2016), que exercem forte pressão sobre a disponibilidade e qualidade de recursos hídricos, comprometendo, além do abastecimento humano, a manutenção da qualidade dos ecossistemas aquáticos.

As atividades agropecuárias respondem por diferentes impactos aos recursos hídricos. Em primeiro momento, a retirada da vegetação nativa, seja para agricultura ou formação de pastos, é responsável pela perda das matas ciliares, ocorrendo assim, o transporte de material para o corpo hídrico (LONDE et al., 2015), provocando o assoreamento dos rios. Além disso, há a redução severa da diversidade vegetal, refletindo-se nas comunidades animais que habitam a área (ARAÚJO et al., 2010).

O assoreamento causa homogeneização do sedimento dos rios, o que impede a instalação do biofilme (perifiton), principal produtor primário em ambientes lóticos, responsável por até 90% da produção primária (WETZEL, 1990). A

homogeneização de sedimentos afeta as comunidades bentônicas, (que dependem do tipo de substrato para viverem), e ícticas (em virtude das primeiras dependerem fortemente do tipo de substrato para viverem e as segundas por dependerem do alimento, tanto do biofilme, quanto dos organismos bentônicos), assim como, a presença de irregularidades no sedimento auxilia na reprodução dos peixes que os usam para nidificação ou postura de ovos (LEAL, 2009).

Um dos maiores problemas em relação à qualidade das águas diz respeito ao enriquecimento com nutrientes dos corpos hídricos, acelerando os processos de eutrofização. Efluentes domésticos e industriais, resíduos sólidos, fertilizantes utilizados na agricultura e resíduos de ração utilizados na piscicultura são apontados por diversos autores como as principais fontes de poluição dos corpos hídricos (AZEVEDO et al., 2015; MARQUES et al., 2015; MENDES et al., 2016). Ricos em nutrientes, esses compostos ao atingirem as águas possibilitam o crescimento exacerbado de fitoplâncton e florações de cianobactérias, comprometendo a qualidade do meio ambiente e causando prejuízos à saúde pública.

O desenvolvimento das comunidades biológicas requer água em quantidade e qualidade apropriadas. Entretanto, o desenvolvimento das comunidades humanas tem exercido diferentes impactos sobre as águas, comprometendo as possibilidades de uso das mesmas, tornando este recurso ainda mais escasso. Scremin e Kemerich (2010) ressaltam a necessidade de se identificar e corrigir os problemas ambientais oriundos das atividades humanas, objetivando a melhor qualidade do meio ambiente e a manutenção do desenvolvimento dessas atividades, principalmente em áreas semiáridas onde a água é um recurso vital e escasso.

Diante disso, este trabalho teve como objetivo, a partir da identificação dos principais problemas ambientais no Rio Paraíba, propor medidas simples, de fácil execução e baixo custo, que possam proporcionar a redução desses impactos, melhorando a qualidade do meio ambiente e das comunidades que residem nessa área.

## **6.2 METODOLOGIA**

A partir dos impactos discutidos no Capítulo 1 desta Tese, foram realizadas pesquisas bibliográficas que pudessem trazer contribuições para diminuir os impactos detectados na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.

A área de estudo e metodologias utilizadas no presente trabalho foram previamente descritas nas páginas 55-65.

### **6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os principais impactos e suas consequências ambientais identificados nos municípios estudados na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba estão apresentados no Quadro 7, juntamente com propostas de minimização desses impactos. As principais atividades impactantes foram organizadas em cinco categorias: urbanização (esgotos e resíduos sólidos); piscicultura; pecuária; agricultura e retirada de Areia; e em geral, são comuns nos municípios estudados.

Quadro 7 - Os principais impactos e suas consequências ambientais identificados nos municípios situados na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.

Impacto	Aspectos	Consequências Ambientais	Propostas
Urbanização	- Elevada demanda de água	- Escassez de água	- Uso consciente da água, evitando desperdício; - Captação e Reuso de água da chuva; - Melhoria das condições de distribuição das águas; - Fossas ecológicas que reusam água residual para produção de alimentos
	- Perda de água pelo sistema de distribuição	- Escassez de água	- Transferir o ônus dessa perda para a empresa distribuidora e não para o consumidor final, de forma a incentivar a correção dos vazamentos
	- Escoamento de águas cinzas	- Eutrofização	- Melhoria dos sistemas de coleta de efluentes; Melhoria das ETES; - Fossas ecológicas: Círculo de Bananeiras
	- Escoamento de efluentes sanitários	- Eutrofização; - Disseminação de doenças	- Melhoria dos sistemas de coleta e tratamento de efluentes; - Sistemas alternativos de tratamento com fossas ecológicas (Tanques de Evapotranspiração)
	- Pouca eficiência das ETES	- Liberação de efluentes não estabilizados; - Eutrofização dos corpos hídricos; - Depleção do O <sub>2</sub> na água; - Disseminação de doenças	- Melhoria dos sistemas tradicionais adotados na ETE; - Utilização de biorremediação associada ao tratamento convencional; - Prioridade a sistemas de tratamento domiciliares com fossas ecológicas
	- Resíduos sólidos	- Geração de chorume; - Contaminação do solo e da água; - Eutrofização; - Depleção de O <sub>2</sub> ; - Disseminação de doenças; Desperdício de recursos	- Destinação e disposição final adequada dos resíduos; - Coleta seletiva; - Reciclagem; - Compostagem; - Biodigestão; - Resíduos não utilizáveis devem ser transformados em usina de Beneficiamento de Resíduos sólidos (UBRS)
Piscicultura	- Utilização de tanques-rede nos reservatórios	- Eutrofização	- Cultivo em viveiros escavados ou tanques de alvenaria Biorremediação associado ao cultivo
	- Necessidade de reposição periódica da água	- Elevada demanda de água	- Sistema de biorremediação para minimizar a reposição de água
Pecuária	- Retirada da vegetação para formação de pastos	- Alteração das características do solo (fertilidade e infiltração); - Perda da biodiversidade vegetal	- Manejo controlado dos rebanhos. Agrofloresta
	- Elevada geração de fezes e rejeitos da produção animal	- Eutrofização e contaminação da água	- Compostagem; - Biodigestão
Agricultura	- Elevada demanda de água para irrigação	- Escassez do recurso (geração de conflitos) - Salinização do solo	- Coleta e Reuso de água da chuva; - Técnicas eficientes de irrigação; - Reutilização de águas para irrigação (piscicultura e residuárias). Produção em Mandallas e agroflorestas
	- Uso de agrotóxicos	- Contaminação dos alimentos, do solo e da água	- Desenvolvimento de agricultura agroecológica, permacultura e afins
Retirada de areia	- Remoção da mata ciliar; - Retirada de areia do leito do rio	- Assoreamento; - Perda da capacidade de infiltração; - Diminuição da proteção ao corpo hídrico; - Alterações do canal; - Alterações no ecossistema	- Restauração da mata ciliar

ETE – Estação de Tratamento de Esgotos

## - Urbanização

- Elevada Demanda de Água

A concentração populacional nas cidades resulta em uma demanda de água elevada, diferente daquela observada na zona rural, onde o volume de água necessário para abastecimento humano é relativamente pequeno, em virtude da baixa densidade populacional e características de consumo diferenciadas. Entretanto, a atividade agrícola na zona rural, é responsável pela maior demanda de água.

Carmo et al. (2014) afirmaram que há uma tendência de crescimento da demanda de água em áreas urbanas, justificada pela extensão dos serviços de abastecimento para a população (possibilitando melhor qualidade de vida) e pelo aumento do consumo *per capita*, que está muitas vezes relacionado com o desperdício deste recurso.

A adoção de uma nova visão em relação ao consumo da água é necessária e nos últimos anos, diversas campanhas para a redução do desperdício e para a reutilização da água foram realizadas. Marcena et al. (2017) comprovaram que a captação e utilização de águas das chuvas é uma forma sustentável para minimizar o uso de água potável, proporcionando benefícios para o meio ambiente e para o homem, mesmo em áreas urbanas. A prática, muito comum em áreas rurais, com a utilização de cisternas de placas, tem sido considerada fundamental para a manutenção de famílias em áreas semiáridas (ANDRADE e NUNES, 2014) e pode ser adaptada às necessidades e disponibilidades de área nas residências urbanas.

Entretanto, grande perda de água é observada no momento de distribuição. Segundo o Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS) a Região Nordeste apresenta um índice de perda de água na distribuição de 45,7% (BRASIL, 2015), que somado à necessidade de água para o consumo efetivo nas cidades gera uma forte pressão sobre os reservatórios hídricos, ressaltando a necessidade de mais investimentos para a manutenção dos sistemas de distribuição de água, evitando perdas e desperdícios. Como a empresa de distribuição de água do Estado repassa essa perda para os consumidores, não tem necessidade de se adequar e solucionar esse problema.

- Águas Cinzas e Águas Negras (Efluentes Sanitários)

Uma das consequências da urbanização é o elevado volume de esgotos gerados, que lançados em rios e lagos sem o devido tratamento podem causar diversos prejuízos (CORDEIRO et al., 2016), não só para a biota aquática, mas também para a saúde humana, através da disseminação de doenças (SILVA e ARAÚJO, 2017).

O lançamento de esgotos sanitários é uma constante ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. Além da melhoria dos sistemas de coleta e tratamento de efluentes já operantes nas cidades, a utilização de tecnologias de tratamento alternativas e de baixo custo, podem ser adotadas nas áreas onde as companhias de saneamento básico não atuam, como nas zonas rurais ou regiões periurbanas. Martinetti et al. (2007) ressaltaram a necessidade de adoção de opções para o tratamento de efluentes de fácil construção e operação, fundamentados nos princípios e conceitos da sustentabilidade.

Segundo Monteiro et al. (2015), a prática de segregar efluentes gerados em uma residência é uma opção potencial para o saneamento sustentável, pois facilita a implementação de alternativas de tratamento e reuso, para o aproveitamento dos nutrientes presentes nesses efluentes. Em função das suas origens e características, são distinguidos dois tipos de efluentes residenciais: águas cinzas e águas negras.

As águas cinzas são aquelas produzidas em banheiros, chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar, tanques e pias de cozinha e comumente chamadas de “águas servidas”. Podem apresentar baixa concentração de nutrientes e quando tratadas de forma relativamente fácil, podem ser reutilizadas para diversos fins (MONTEIRO et al., 2015). As águas negras são provenientes dos vasos sanitários, contêm fezes e urina e podem conter papel higiênico (MONTEIRO et al., 2015). Este tipo de efluente requer um tratamento diferenciado por conter elevada concentração de materiais orgânicos, de nutrientes e elevada possibilidade de contaminação por patógenos. Diversos tipos de tratamento para este tipo de água residuária (doméstica) têm sido propostos. A escolha do tipo de tratamento deve levar em consideração as características dos efluentes, as condições de montagem e operação do sistema e a aceitação deste pela população.

Nas residências não atendidas eficientemente pela coleta de esgotos (rurais ou urbanas que tenham área disponível), pode ser realizado o tratamento por meio

de fossas ecológicas como o círculo de bananeiras (águas cinzas) e tanques de evapotranspiração (TEvap) – (águas negras).

O círculo de bananeiras consiste em um poço escavado e preenchido com britas, pedras, galhos (outros tipos de materiais disponíveis) e cobertos por folhas onde se plantam bananeiras no entorno. Estas aproveitam os nutrientes do efluente e absorvem grande parte da água, produzindo alimento e biomassa (MARTINETTI et al., 2007; PAES et al., 2014) e eliminando o excesso de água pela evapotranspiração. O TEvap é basicamente uma cava de ferrocimento ou alvenaria, impermeabilizado, preenchido com diferentes camadas formadas por pneus, tijolos, britas, areia e a instalação de um duto para eliminação de gases e o posterior plantio de espécies com crescimento rápido e com alta absorção de água, como bananeiras, mamoeiros e taiobas (PAES, 2014; FOFONKA et al., 2016) ou outras plantas como hortaliças e verduras. Nas duas técnicas, que tiveram origem na permacultura, a água é eliminada do sistema pela evapotranspiração, enquanto os nutrientes são removidos por meio da sua incorporação à biomassa das plantas, possibilitando a produção de alimentos.

Paes et al. (2014) implantaram essas duas tecnologias no município de João Pessoa/PB, o tanque de evapotranspiração em um condomínio de baixa renda na área urbana, e o círculo de bananeiras em uma área rural (Figura 23). Segundo os autores a população ficou satisfeita com as tecnologias implantadas, com a reprodução dos sistemas de tratamento em outros locais, demonstrando a apropriação dessas metodologias pelas comunidades.

Figura 23 - Círculo de bananeiras (A) e tanque de evapotranspiração (fossa ecológica) (B) em João Pessoa/PB.



Fonte: Paes et al. (2014).

Essas tecnologias são economicamente viáveis, permitindo o tratamento das águas cinzas e negras, além de proporcionar a produção de alimentos nos sistemas, utilizando-se dos nutrientes presentes nos efluentes. Como os efluentes não são escoados nas ruas, diminui-se o risco de proliferação de doenças, além de não contribuir para o aumento de eutrofização dos corpos hídricos, visto que estas água seriam coletadas pelo sistema pluvial urbano.

Outras opções de fossas ecológicas, são os banheiros secos e as fossas biodigestoras. A primeira desenvolvida pela permacultura e as segundas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). No entanto, como os banheiros secos requerem manejo e retirada do composto e as fossas biodigestoras ainda liberam um efluente, o biofertilizante, deu-se preferência às fossas ecológicas do tipo círculos de bananeiras e tanques de evapotranspiração, que não requerem manejo.

- Estação de Tratamento de Esgotos (ETE)

Segundo o SNIS, no ano de 2015 (BRASIL, 2015) apenas 32,2% dos esgotos gerados no Nordeste do Brasil eram coletados, e destes 78,5% direcionados para estações de tratamento. Desse modo, apenas 32,1% dos esgotos gerados são tratados antes do lançamento em córregos e rios. Salienta-se entretanto, que muitas ETEs não operam eficientemente, trabalhando acima da capacidade de depuração de efluentes ou sem lagoas aeradas, resultando na liberação desses efluentes não estabilizados, com elevadas concentrações de nutrientes e patógenos, comprometendo a qualidade do ecossistema.

As ETEs observadas na área de estudo utilizam sistemas convencionais de tratamento, compostos por lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa. Em condições ótimas de operação, estes sistemas possibilitam eficácia na estabilização da matéria orgânica. Entretanto, para a remoção de nutrientes e patógenos de forma eficaz faz-se necessário a adoção de um pós tratamento, como uma lagoa de maturação (VON SPERLING, 2005). A remoção de nutrientes e patógenos diminui os impactos relacionados com a eutrofização do corpo hídrico e a disseminação de doenças.

Uma alternativa à melhoria da atuação das ETEs (com apenas sistemas de lagoas de estabilização) é a utilização de outros sistemas de tratamento, como os de biorremediação, associados aos sistemas convencionais de tratamento. Souza

(2015) estudou a eficiência de sistemas de biorremediação (utilizando biofilme e macrófita) em efluentes da Lagoa Facultativa da ETE de Mangabeira, em João Pessoa/PB. Segundo a autora tanto o biofilme quanto a macrófita mostraram-se eficientes na remoção de nutrientes e melhoria da qualidade da água, sendo indicado, preferencialmente, os dois tipos de tratamento, em simultâneo, em lagoas de tratamento em ETE. Como são tratamentos biológicos, não espera-se o aumento exacerbado de gastos em relação ao tratamento utilizado. Poderiam ser utilizados macrófitas e biofilme nas lagoas de estabilização existentes, objetivando a melhoria do sistema de tratamento, reduzindo o impacto do lançamento desses efluentes nos ecossistemas aquáticos e a baixo custo.

A construção e operação de ETEs é dispendiosa e requer elevado investimento financeiro para a construção e manutenção. Os tratamentos descentralizados propostos no item anterior (círculo de bananeiras e TEvap), além de apresentarem baixo custo, são eficazes na estabilização da matéria orgânica e na assimilação de nutrientes, que são incorporados na biomassa dos vegetais terrestres dos sistemas. Assim não são eliminados nos rios, provocando a eutrofização. Além de que, a adoção de sistemas descentralizados facilita a gestão destes efluentes.

Desse modo, a adoção desses sistemas descentralizados deve ser priorizada sempre que possível, tanto pela eficiência no tratamento, pelo baixo custo de construção, como pela reutilização dos efluentes que manterão um sistema de produção de alimentos.

- Resíduos Sólidos

Das cidades estudadas ao longo do curso do Rio Paraíba, 91% realizam a coleta de resíduos sólidos urbanos. Entretanto, 83,4% destas depositam os resíduos coletados em lixões ou aterros controlados. Esses tipos de disposições acarretam uma série de impactos ambientais, como a proliferação de vetores de doenças e a contaminação do solo e água pela produção de chorume (OLIVEIRA et al., 2007; YOSHITAKE et al., 2010). Além disso, o chorume ao atingir os recursos hídricos, acarreta na diminuição da concentração de oxigênio dissolvido no meio, impactando os organismos aeróbios do sistema e enriquecendo a água com nutrientes contidos nos resíduos orgânicos, intensificando os processos de eutrofização. Duarte e Machado (2015) evidenciaram a implicação da má gestão de resíduos sobre a

saúde pública, diretamente pela proliferação de vetores de doenças e pela condição de dependência da saúde humana com a sustentabilidade dos recursos naturais como a água e o solo.

A gestão eficiente de resíduos sólidos deve objetivar primeiro, a redução da quantidade de resíduos gerados, diminuindo o possível impacto destes no meio ambiente. Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA (2012), a produção *per capita* de resíduos sólidos urbanos na região Nordeste é de 1,22 kg/hab./dia, dos quais, 31,9% são materiais recicláveis, 51,4% matéria orgânica e 16,7% caracterizado como outros (materiais não recicláveis). A coleta seletiva dos materiais é parte importante do processo e possibilita a destinação dos materiais para a reciclagem, de modo que devem ser encaminhados para aterros sanitários apenas os materiais não passíveis de reutilização ou reciclagem (PRADO FILHO e SOBREIRA, 2007). Com essas práticas adiciona-se um fator econômico positivo aos resíduos, através da comercialização dos materiais recicláveis (pela geração de renda e economia dos recursos), alternativa em relação à compra de fertilizantes (através da compostagem e biodigestão) e da possibilidade de geração de energia (biogás). Os resíduos sólidos orgânicos compreendem grande parte dos resíduos gerados em residências urbanas e rurais. A prática de reciclagem desses materiais de forma descentralizada é de fácil execução e constitui importante prática de proteção ao meio ambiente.

A reciclagem dos compostos orgânicos por meio de compostagem é um método barato em comparação com outras formas de tratamento. Além de aumentar a vida útil dos aterros sanitários e de reduzir a contaminação do solo e da água, retorna aos solos os nutrientes presentes nos resíduos (SANTOS et al., 2014), sendo também importante ferramenta para alcançar a sustentabilidade da agricultura. A realização de compostagem em domicílio requer área pequena e é de fácil operação em função da pequena quantidade de resíduos tratados e proporciona o biofertilizante, que pode ser utilizado na própria residência, em jardins ou hortas. Além disso, evita o acúmulo destes no solo e o seu carreamento para os corpos hídricos, principalmente no caso das comunidades próximas ao rio.

Nos biodigestores a decomposição da matéria orgânica é realizada por microrganismos anaeróbios (diferente da compostagem que é aeróbia). Assim, além de gerar o biofertilizante, há a produção do biogás. Para Santos et al. (2017) a biodigestão é uma tecnologia que diminui a contaminação de água, solo e ar,

quando os resíduos são dispostos adequadamente, com benefícios ambientais, econômicos e sociais, evitando o contato humano com os resíduos e a proliferação de pragas. Além de ser uma alternativa eficiente ao tratamento de resíduos (e diferentes efluentes) possibilita o reaproveitamento energético dos resíduos, constituindo-se como importante ferramenta ao desenvolvimento sustentável (DUARTE et al., 2016). O gás gerado pode ser utilizado de acordo com a necessidade de cada local, em cozinhas comunitárias, residências, para iluminação pública, entre outras aplicações.

Desse modo, a reciclagem da matéria orgânica por compostagem ou biodigestão, além de diminuir os impactos sobre o meio ambiente, constitui uma economia de recursos naturais e econômicos, imprescindíveis para a sustentabilidade local. Isso já resolveria grande parte do problema, por serem os orgânicos, cerca de 51,4% dos resíduos sólidos gerados (IPEA, 2012).

Se os 51,4% de resíduos orgânicos fossem compostados, os 31,9% dos resíduos recicláveis fossem para esse destino e os 16,7% caracterizados como outros fossem enviados para uma Usina de Beneficiamento de Resíduos Sólidos (que transforma resíduos sólidos não aproveitáveis, em materiais de construção e mobiliários) todos os resíduos seriam reaproveitados, podendo gerar renda, e não haveria necessidade de aterros sanitários, que ainda apresentam tantos impactos negativos ao meio ambiente (UNIMARKETING, 2015).

### **- Piscicultura**

A piscicultura é uma atividade extremamente dependente de água (AMÉRICO et al., 2013) que exige a manutenção da qualidade da mesma em condições adequadas para a criação de organismos aquáticos (MACEDO e SIPAÚBA-TAVARES, 2010).

Apesar desta dependência, a piscicultura interfere diretamente na qualidade das águas, provocando o aumento dos sólidos suspensos e dos nutrientes, decorrentes da matéria orgânica introduzida no ambiente (ração não consumida e fezes dos peixes), além de interferir de forma direta sobre a eutrofização do corpo hídrico e a possibilidade de comprometimento da qualidade do pescado (AMÉRICO et al., 2013).

Na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba foi registrada a utilização de cultivos em tanques rede em vários açudes. Nos últimos anos observou-se a redução desta

prática, em virtude do baixo volume dos reservatórios e da restrição à utilização das águas. Essa forma de cultivo, apesar de requerer menos investimento financeiro, potencialmente causa mais impactos ao meio do que a prática em tanques escavados (AMÉRICO et al., 2013), em que há um controle maior sobre o potencial de impacto e a qualidade da água.

O cultivo de peixes em tanques escavados foi observado no município de Camalaú, associado também à fertirrigação. Periodicamente é necessária a renovação de parte da água dos viveiros para a manutenção da qualidade da água, e alguns sistemas de cultivo no município utilizam as águas provenientes dos tanques, ricas em nutrientes, para irrigação (Figura 24), permitindo a reutilização e economia de água.

Esta prática de utilizar águas fertilizadas provenientes da criação de peixes para a irrigação é adotada no sistema produtivo “Mandala”, que busca a produção e o consumo de forma equilibrada (LUCENA et al., 2017). Com o direcionamento da água rica em nutrientes para os vegetais, não há a preocupação em relação ao impacto do lançamento dessas águas em corpos hídricos, diminuindo assim, a eutrofização dos ambientes aquáticos e demonstrando ser uma ação de desenvolvimento sustentável, principalmente em áreas carentes de chuva, visto que também diminui os insumos necessários para a agricultura, com o aproveitamento dos nutrientes para a adubação.

Figura 24 - Tanque de cultivo de peixe e utilização de fertirrigação com águas dos tanques.



Imagens: Alinne Gurjão (2016).

Macedo e Sipaúba-Tavares (2010) ressaltaram a importância de tratamento de efluentes de aquicultura, indicando a utilização de macrófitas no processo. Segundo os autores, as macrófitas atuam na assimilação dos nutrientes do meio

(principais causas da eutrofização), e o seu excesso pode ser aproveitado para utilização como fertilizante e fonte de proteínas em tanque de piscicultura, produção de biogás, uso na alimentação de ruminantes, entre outros.

Estudos realizados por Pérez (2015) em um açude no semiárido paraibano avaliaram a eficiência de utilização de biofilme para a melhoria da qualidade da água, por meio da utilização de uma estrutura de fixação para o biofilme dentro do reservatório (Figura 25). Segundo a autora, observou-se a melhoria da qualidade da água próximo às estruturas montadas, indicando a possibilidade de utilização das mesmas para minimizar os impactos nos corpos hídricos. Ressaltou também a possibilidade de utilização desta tecnologia para ambientes mais eutrofizados, como neste caso, os tanques escavados para cultivo de peixes, porque além de melhorar a qualidade de água, gera alimento natural para os peixes ou outros organismos cultivados.

Figura 25 - Estruturas flutuantes, utilizando plástico como fixador de biofilme, aplicado no Açude Taperoá, Taperoá, PB.



Imagem: Cristina Crispim (2013).

A utilização de biofilme pode ser feita tanto nos reservatórios (CRISPIM et al., 2009), quanto nos tanques de cultivo, objetivando a melhoria da qualidade das águas, uma menor necessidade de renovação das águas dos tanques, a melhoria da qualidade do pescado e a manutenção da piscicultura na região, já que muitas vezes a disponibilidade de água é um fator limitante.

## **- Pecuária**

Os impactos ambientais decorrentes das atividades agropecuárias são inevitáveis. Na área de estudo, a criação de caprinos, ovinos, bovinos, suínos e aves foi apontada como uma das principais impactantes do ambiente, sendo realizada em praticamente toda a bacia hidrográfica, constituindo importante fonte de renda para a população.

A retirada da vegetação nativa para a formação de pastos altera drasticamente o ambiente natural da região e tem um grande impacto sobre a biodiversidade, com risco de perda de espécies vegetais e animais, o que pode provocar o desequilíbrio do meio ambiente (ARAÚJO et al., 2010). Há ainda o pisoteio do solo pelos animais que causa a compactação e o aumento da densidade do solo, diminuindo sua porosidade e provocando a redução da sua capacidade de armazenamento de água, afetando diretamente a qualidade dos solos (PEREIRA JÚNIOR et al., 2014).

Por outro lado, o desmatamento e compactação do solo interferem nos processos erosivos, intensificando-os e aumentando a perda de solo superficial, mais rico em nutrientes e aumentando o assoreamento nos ambientes aquáticos (BUZELLI e CUNHA-SANTINO, 2013).

Para minimizar a pressão exercida sobre a vegetação e sobre o solo, faz-se necessário o manejo controlado do rebanho. Araújo et al. (2010) apontam entre as ações necessárias para minimizar os impactos da pecuária, a rotação de pastos, limitar o número de animais por área, implementar o replantio, restringir o acesso dos animais às áreas instáveis e evitar os desmatamentos e queimadas desnecessárias. A adoção de tais medidas possibilita certo controle dos impactos advindos do pastoreio, possibilitando a manutenção da atividade, minimizando a área a ser impactada. No entanto, a criação de caprinos no semiárido é geralmente extensiva e os animais são soltos no campo, o que dificulta qualquer gestão de impactos. Caprinos apresentam uma grande diversidade de opções alimentares, sendo responsáveis também, pela diminuição da restauração da caatinga, por se alimentarem dos brotos da vegetação nativa, quando essa rebrota e deveria servir de reflorestamento natural.

O volume de fezes geradas pelos animais, quando não tratadas e destinadas adequadamente, são fontes potenciais de impactos ao meio ambiente. Gomes et al. (2014) afirmaram que, muitas vezes, os dejetos animais são destinados às lavouras como adubos e fertilizantes orgânicos, porém se utilizados de forma inadequada e

excessiva possibilitam a poluição atmosférica, da água, do solo, e a disseminação de doenças. A utilização das fezes como adubo, constitui uma medida sustentável de reutilização de um material com elevado potencial de poluição, e sua transformação em um importante constituinte do processo agrícola, mas, como ressaltado pelos autores, é necessário, além de um eficiente tratamento, medidas controladas de utilização.

Duas formas de utilização de fezes animais para a agricultura são a compostagem e a biodigestão. A primeira ocorre aerobiamente, e tem como produto final, a produção de composto orgânico que estabilizado, pode ser utilizado para o melhoramento da qualidade do solo. Como produto da biodigestão, além da produção de adubo, tem-se a geração de gás (SANTOS et al., 2017). Segundo Gomes et al. (2014) a utilização de biodigestor para o tratamento das fezes, além de minimizar os problemas ambientais causados pela produção animal, agrega valor aos dejetos. O mesmo pode ser dito em relação à compostagem, com a formação do composto, mas, diferente da biodigestão, não há a possibilidade do aproveitamento energético obtido com a produção do gás. As duas formas de tratamento são de fácil execução e baixo custo. Para a biodigestão, entretanto, é necessário um biodigestor, que pode ser facilmente construído de acordo com a necessidade do local.

Ainda que pouco expressiva, observou-se a utilização de biodigestor por uma produtora rural no município de Monteiro, em que é utilizado matéria orgânica em geral, restos de alimentos e fezes de animais. Com a adoção do biodigestor eles obtêm o biofertilizante, e o biogás gerado é utilizado para o preparo de alimentos da residência (Figura 26).

Figura 26 - Biodigestor em operação em Monteiro/PB e utilização do biogás para a chama do fogão. Agosto de 2017.



Imagens: moradora de residência rural no município de Monteiro.

Se os biodigestores forem difundidos na região da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, haverá menos poluição difusa e menos nutrientes alcançarão o rio, diminuindo os processos de eutrofização.

### **- Agricultura**

A agricultura é potencial causadora de impactos. Segundo Araújo et al. (2010) o manejo inadequado do solo provoca a erosão, que afeta as águas com o aporte de sedimentos, ricos em nutrientes, provocando a eutrofização, bem como, a contaminação das águas por resíduos de agroquímicos.

Grande parte da área estudada é afetada pela irregularidade de ocorrência de precipitações. Grande parte da agricultura é irrigada e em épocas de escassez severa de chuvas, há a ocorrência de conflitos em relação ao uso da água. Em virtude do longo período de estiagem (2011-2017) foi proibida a retirada de água do Rio Paraíba para irrigação, fazendo com que muitos agricultores parassem com seus cultivos.

O volume de água demandado para a agricultura é grande e face à limitação desse recurso, é necessária a busca por alternativas para a manutenção das culturas. Como relatado anteriormente, a fertirrigação realizada em Camalaú com águas de viveiros de cultivos de peixes, constituiu alternativa à impossibilidade de retirada de água do rio e proporcionou a manutenção da piscicultura.

É imprescindível também a adoção de sistemas eficientes de irrigação, minimizando a perda de água no processo. A utilização de irrigação por microaspersão ou por gotejamento, ao otimizar o volume de água aplicado, diminui a demanda do recurso já escasso, além de minimizar a quantidade de sais acumulados no solo. A salinização dos solos, principalmente em áreas semiáridas, é uma das grandes preocupações em relação aos sistemas de irrigação. Alguns produtores na área da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba já utilizam essas técnicas de irrigação, reconhecendo a importância destas para a manutenção da qualidade do solo.

A utilização de agrotóxicos foi apontada por gestores de 25% dos municípios estudados, como a principal forma de contaminação do meio aquático. A utilização de agroquímicos é uma constante nas propriedades agrícolas e produz impactos sobre a saúde humana, poluindo as águas, o solo e o ar, prejudicando a flora e a fauna (ARAÚJO et al., 2010; SCREMIN e KEMERICK, 2010). Alguns cultivos que

utilizam agrotóxicos em grande quantidade ocorrem nas margens do Rio Paraíba, como o de tomate e pimentão.

Durante a pesquisa observou-se a prática da agricultura agroecológica. Entretanto, essa forma de cultivo precisa ser mais incentivada no Estado, ainda mais porque existe uma demanda crescente da população por produtos orgânicos, livres de agrotóxicos, com benefícios para a saúde e o meio ambiente. Alencar et al. (2013) analisando a agricultura orgânica no estado do Ceará observaram a adoção de algumas práticas alternativas à utilização dos agrotóxicos como: a rotação de culturas, que dificulta o surgimento de pragas; a utilização de plantas repelentes nas bordas dos cultivos (cravo de defunto e urtiga); e a utilização de extratos diluídos de plantas (neem, urtiga e mandioca) obtidas nas propriedades. Segundo os autores, com a adoção dessas práticas, as perdas na produção foram mínimas, mantendo a rentabilidade da atividade e minimização dos impactos ao meio ambiente, à saúde do trabalhador e do consumidor.

A manutenção da qualidade do solo é imprescindível para a manutenção da agricultura, por isso a importância do combate à erosão, à salinização e ao uso exacerbado de agrotóxicos. Para minimizar os impactos ao solo, algumas práticas são recomendadas: a manutenção da cobertura vegetal do solo; cultivos integrados; rotação de culturas; plantações em curvas de nível e terraços em áreas inclinadas; reflorestamento; adubação orgânica, em que o biofertilizante gerado pelo biodigestor é altamente recomendado; controle biológico para o combate às pragas; e manutenção das matas ciliares conservando a biodiversidade local (ARAÚJO et al., 2010; BARBOSA e LANGER, 2011).

### **- Retirada de Areia**

As atividades de extração mineral, essenciais ao desenvolvimento de uma região, tanto para a obtenção de matéria prima, como para a geração de emprego e renda (NOBRE FILHO et al., 2011), são responsáveis por grandes impactos ao meio ambiente. A extração de areia é responsável pela intensificação da erosão do solo, assoreamento do rio, descaracterização da paisagem natural, desmatamento, exposição e compactação do solo (pelo uso de maquinaria pesada utilizada para extração) (DURÃES et al., 2017).

Segundo Vieira e Rezende (2015) a ação de cava de leite no rio causa danos ao meio ambiente, frequentemente com o aprofundamento do leito do rio, poluição

orgânica, aumento de turbidez, alteração química devido ao óleo diesel no abastecimento dos motores, e comprometimento da flora e fauna aquática.

Analisando os impactos da atividade em questão no Rio Paraíba observou-se que, ainda que a atividade possa auxiliar no desassoreamento do rio, outros impactos ambientais negativos são desencadeados: o aumento da turbidez das águas a jusante, através da suspensão de sedimentos, diminui a transparência da água e pode interferir na produtividade das comunidades planctônicas, que são a base da cadeia alimentar do sistema; a supressão da vegetação e exposição do solo; as alterações no leito do rio; e ainda há preocupação em relação à poluição das águas com óleos e graxas utilizadas na maquinaria e nos veículos utilizados nas margens do rio. Nesta área observa-se fortemente a remoção da mata ciliar, deixando desprotegidas grandes áreas de solos.

Analisando a sustentabilidade da extração de areia no Rio Canindé, em Paramoti/CE, Nobre Filho et al. (2012) observaram que a cava no leito do rio minimizou os impactos decorrentes das inundações nos períodos de chuvas intensas, possibilitando a maior retenção de água, que pôde ser utilizada pela população e animais da região. Os autores ressaltaram a necessidade de adotar determinadas ações com o objetivo de minimizar os impactos negativos da atividade, como: a limpeza gradual das áreas de acesso ao leito do rio, à medida que forem sendo necessárias, evitando que grandes áreas de solo fiquem descobertas; evitar a escavação aleatória do rio, e, realizá-la na direção de jusante a montante; respeitar as faixas de controle ambiental; e, quando terminar a lavra em determinado setor, este deve ser liberado para recuperação natural, ou replantio de espécies existentes no local, além da recuperação dos solos, quando necessária.

A extração de areia é uma atividade com intenso potencial de impacto, tanto ao solo quanto aos recursos hídricos. No caso do Rio Paraíba, de caráter intermitente, há a preocupação em relação à manutenção do seu curso e da qualidade da água. Sendo uma atividade econômica importante para a região é imprescindível que sejam adotadas ações que minimizem os impactos negativos, como as descritas anteriormente, além de que devem ser observadas as legislações ambientais pertinentes, como o Código Florestal, que prevê o resguardo a Áreas de Preservação Permanente (APP), bem como, as licenças ambientais necessárias para a execução da atividade.

## 6.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Rio Paraíba, um dos principais rios do Estado, desempenha importante função econômica, ambiental e social para a região. Entretanto, diferentes impactos nas áreas próximas ao rio interferem na manutenção do curso de água e na qualidade deste recurso, já escasso, em virtude da intermitência do rio. Diante disso, é necessária a adoção de atitudes e tecnologias alternativas para minimizar os quadros de degradação observados, que sejam de fácil execução e reprodução pelas comunidades.

As alternativas propostas neste trabalho (uso de cisternas para captação de águas da chuva, círculo de bananeira e tanques de evapotranspiração, biorremediação, coleta seletiva, compostagem, biodigestão, piscicultura em viveiros escavados, fertirrigação, agricultura orgânica e permacultura) necessitam de baixo investimento financeiro, e podem proporcionar melhorias ambientais e sociais para as áreas onde forem implantadas. Algumas destas já são adotadas na região, demonstrando a aceitação por alguns moradores, que reconhecem a sua importância para a melhoria da qualidade ambiental e de vida das comunidades que as utilizam.

A adoção dessas alternativas por um número maior de moradores diminuiria os impactos gerados pelas atividades apresentadas e o grau de degradação do ambiente, resultando na melhoria da qualidade de vida para essas comunidades. Por isso a importância de divulgar alternativas ambientalmente mais adequadas, destacando os seus benefícios e experiências exitosas, de forma a incentivar a adoção destas por outros moradores da região.

As alternativas discutidas neste trabalho foram apresentadas aos gestores municipais e alguns moradores de comunidades próximas ao leito do Rio Paraíba e que, de algum modo, possam impactar a qualidade do ambiente, com o objetivo de motivar e auxiliar a adoção destas pelas comunidades, bem como, de acompanhamento das mesmas. Algumas já foram adotadas. Em Camalaú os piscicultores estão utilizando a biorremediação para melhorar a qualidade da água dos viveiros; foi realizado um minicurso de como preparar ração artesanal, minimizando os custos de produção e auxiliado na busca pela sustentabilidade da atividade de piscicultura; algumas prefeituras e comunidades demonstraram interesse em adotar as técnicas alternativas de saneamento, e parcerias estão sendo iniciadas junto ao Laboratório de Ecologia Aquática (LABEA), por meio de projetos de extensão.

## REFERÊNCIAS

- ALENCAR, G. V.; MENDONÇA, E. S.; OLIVEIRA, T. S.; JUCKSCHI, I.; CECON, P. R. Percepção ambiental e uso do solo por agricultores de sistemas orgânicos e convencionais na Chapada da Ibiapaba, Ceará. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, vol.51, n.2, p.217-236, 2013.
- AMÉRICO, J. H. P.; TORRES, N. H.; MACHADO, A. A.; CARVALHO, S. L. Piscicultura em tanques-rede: impactos e consequências na qualidade da água. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 6, n. 7, p. 137-150, 2013.
- ANDRADE, J. A.; NUNES, M. A. Acesso à água no Semiárido Brasileiro: uma análise das políticas públicas implementadas na região. **Revista espinhaço**, v. 3, n. 2, p. 28-39, 2014.
- ARAUJO, M. L. M. N.; REINALDO, L. R. L. R.; SOUSA, J. S.; ALMEIDA, P. G.; ALVES, L. S.; WANDERLEY, J. A. C. Impactos ambientais nas margens do Rio Piancó causados pela agropecuária. **REBAGA**, v.4, n.1, p. 13 – 33, 2010.
- AZEVEDO, D.J.S.; BARBOSA, J.E.L.; GOMES, W.I.A.; PORTO, D.E.; MARQUES, J.C.; MOLOZZI, J. Diversity measures in macroinvertebrate and zooplankton communities related to the trophic status of subtropical reservoirs: Contradictory or complementary responses? **Ecological Indicators**, v. 50, n. 1, p. 135–149, 2015.
- BARBOSA, G.; LANGER, M. Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental. **Unesc & Ciência ACSA**, v. 2, n. 1, p. 87-96, 2011.
- BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente (1986)**. Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Ministério do Meio Ambiente. 1986.
- BRASIL. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento - SNIS. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2015**. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, 2015.
- BUCCI, M. H. S.; OLIVEIRA, L. F. C. Índices de Qualidade da Água e de Estado Trófico na Represa Dr. João Penido (Juiz de Fora, MG). **Rev. Ambient. Água**, v. 9 n. 1, p. 130-148, 2014.
- BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Ambi-Agua**, v. 8, n. 1, p. 186-205, 2013
- CARMO, R. L.; DAGNINO, R. S.; JOHANSEN, I. C. Transição demográfica e transição do consumo urbano de água no Brasil. **R. bras. Est. Pop.**, v. 31, n.1, p. 169-190, 2014.
- CORDEIRO, G. G.; GUEDES, N. M.; KISAKA, T. B.; NARDOTO, G. B. Avaliação rápida da integridade ecológica em riachos urbanos na bacia do rio Corumbá no Centro-Oeste do Brasil. **Rev. Ambient. Água**, v. 11, n.3, p. 702 – 710, 2016.

CRISPIM, M. C.; VIEIRA, A. C. B.; COELHO, S. F. M.; MEDEIROS, A. M. A. Nutrient uptake efficiency by macrophyte and biofilm: practical strategies for small-scale fish farming. **Acta Limnol. Bras.**, v. 21, n. 4, p. 387-391, 2009

CUNHA, D. G. F.; SABOGAL-PAZA, L. P.; DODDSBA, W. K. Land use influence on raw surface water quality and treatment costs for drinking supply in São Paulo State (Brazil). **Ecological Engineering**, v. 94, n. 1, p. 516–524, 2016.

DUARTE, L. G. C.; LEÃO, M. A.; BRAGA, T. B. Biodigestores, uma solução para saneamento a baixo custo. **Educação, Tecnologia e Cultura - E.T.C.**, v. 1, n. 12, p. 6 – 9, 2016.

DUARTE, R.; MACHADO, R. M. Efeitos do tratamento de resíduos sólidos na saúde e na economia. **Arq. Ciênc. Saúde**, v. 19, n. 2, p. 159-161, 2015.

DURÃES, M. C. O.; MAIA FILHO, B. P.; BARBOSA, V. V.; FIGUEIREDO, F. P. Caracterização dos impactos ambientais da mineração na bacia hidrográfica do rio São Lamberto, Montes Claros/MG. **Cad. Ciênc. Agra.**, v. 9, n. 1, p. 49-61, 2017.

FOFONKA, L. ; KIEVEL, M. G. ; PRIEBE, N. C. Alternativas sustentáveis para o tratamento adequado do esgoto doméstico no município de Arroio do Padre/RS. **Revista Educação Ambiental em Ação**, v. 1, n. 1, p. 01 - 08, 2016.

GOMES, A. C. A.; ROCHA, M. M.; GALVÃO, A. S.; ALBINO, P. M. B. Incentivos para a viabilização do biogás a partir dos resíduos da pecuária leiteira no Estado de Minas Gerais. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 30, p. 149-160, 2014.

IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Brasília, 2012. Disponível em <[http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009\\_relatorio\\_residuos\\_solidos\\_urbanos.pdf](http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf)> Acesso em novembro de 2017.

LEAL, C. G. Uso de atributos ecomorfológicos e seleção de hábitat para a caracterização de espécies e comunidades de peixes na bacia do Rio das Velhas, MG. 146f. 2009. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada), Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG. 2009.

LONDE, L. N.; DIAS, L. S.; SILVA, A. S. Avaliação de impacto ambiental aplicado às atividades agrícolas na Lagoa Grande no município de Janaúba – MG. **Revista Desenvolvimento Social**, v. 1, n. 14, p. 29 – 42, 2015.

LUCENA, T. C.; ALENCAR, N. S.; SAMPAIO, J. L. F. Modelo de produção sustentável: sistema mandala no município de Mauriti-Ce. **INTESA – Informativo Técnico do Semiárido**, v 11, n 1, p 01 - 06, 2017.

MACEDO, C. F.; SIPAÚBA-TAVARES, L. H. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações. **Bol. Inst. Pesca**, v. 36, n. 2, p. 149-163, 2010.

MARCENA, E. M.; SILVA, E. S.; GIACOMINI, M. H.; SANTOS, L. C.; GARCIA, R. D'Aloia. Água de uso doméstico, captação e reutilização. **Integrada**, v. IV, n.1, 2017.

MARQUES, A. K.; BARROS, D. J.; MORAIS, P. B. Análise temporal de Cyanobacteria e Índice de Estado Trófico na PCH Porto Franco, Tocantins. **J. Bioen. Food Sci**, v. 02, n. 4, p. 137-144, 2015.

MARTINETTI, T. H.; TEIXEIRA, B. A.; SHIMBO, I. Sistematização e comparação de alternativas mais sustentáveis para tratamento local de efluentes sanitários residenciais. **Anais...** 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007. Disponível em: <[www.saneamento.poli.ufrj.br/documentos/24CBES/II-360.pdf](http://www.saneamento.poli.ufrj.br/documentos/24CBES/II-360.pdf)>. Acesso em: junho de 2017.

MONTEIRO, V. R. C.; SEZERINO, P. H.; PHILIPPI, L. S. Caracterização e tratamento de água cinza residencial empregando a ecotecnologia dos wetlands construídos. **Engenharia Ambiental**, v. 12, n. 2 p. 93-109, 2015.

MENDES, C. F.; BARBOSA, J. E. L.; NERY, J. F. Microcystin Accumulation and Potential Depuration on Muscle of Fishes of Fish Farm: Implications to Public Health. **International Journal of Innovative Studies in Aquatic Biology and Fisheries (IJISABF)**, v. 2, n. 2, p. 1 - 10, 2016.

NOBRE FILHO, P. A.; SABADIA, J. A. B.; DUARTE, C. R.; MAGINI, C.; NOGUEIRA NETO, J. A.; SILVA FILHO, W. F. Sustentabilidade ambiental da extração de áridos: A lavra de areia no canal ativo do Rio Canindé – Paramoti – Ceará. **Geociências**, v. 31, n. 1, p. 5-12, 2012.

NOBRE FILHO, P. A.; SABADIA, J. A. B.; DUARTE, C. R.; MAGINI, C.; NOGUEIRA NETO, J. A.; SILVA FILHO, W. F. Impactos ambientais da extração de areia no canal ativo do Rio Canindé, Paramoti, Ceará. **Revista de Geologia**, v. 24, n. 2, p. 126 - 135, 2011.

OLIVEIRA, T. M. N.; MAGNA, D. J.; SIMM, M. Gestão de resíduos sólidos urbanos: O desafio do novo milênio. **Rev. Saúde e Ambiente**, v.8, n.1, p. 212-231, 2007.

PAES, W. M.; CRISPIM, M. C.; FURTADO, G. D. Uso de tecnologias ecológicas de saneamento básico para solução de conflitos socioambientais. **Gaia Scientia**, v. 8, n. 1, p. 226 - 247, 2014.

PEREIRA, B. W. F.; MACIEL, M. N. M.; OLIVEIRA, F. A.; ALVES, M. A. M. S.; RIBEIRO, A. M.; FERREIRA, B. M.; RIBEIRO, E. G. P. Uso da terra e degradação na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, PA, Brasil. **Rev. Ambient. Água**, v. 11, n. 2, p. 472 – 485, 2016.

PEREIRA JÚNIOR, E. B.; SOUTO, J. S.; SOUTO, P. C.; HAFLE, O. M. Impactos do pisoteio ovino nos atributos físicos do solo em área de coqueiro-anão irrigado, na região do semiárido paraibano. **Gl. Sci Technol**, v. 07, n. 01, p.48 – 55, 2014.

PEREZ, J. M. **Biofilme e macrófitas como ferramenta de biorremediação de ecossistemas aquáticos e tratamento de esgotos**. 2015. 169f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) UFPB – João Pessoa/PB, 2015.

PRADO FILHO, J. F.; SOBREIRA, F. G. Desempenho operacional e ambiental de unidades de reciclagem e disposição final de resíduos sólidos domésticos financiadas pelo ICMS Ecológico de Minas Gerais. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 12, n. 1, p. 52-61, 2007

RIBEIRO, K. H.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; SOUZA, L. C. P.; MINELLA, J. P. G.; ALMEIDA, L.; RAMOS, M. R. Quality of surface water related to land use: a case study in a catchment with small farms and intensive vegetable crop production in southern Brazil. **R. Bras. Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 656-668, 2014.

SCREMIN, A. P.; KEMERICH, P. D. C. Impactos ambientais em propriedade rural de atividade mista. **Disc. Scientia**, v. 11, n. 1, p. 126-148, 2010.

SANTOS, D. F.; GUIMARÃES, W. F. F.; GONÇALVES, C. U. Biodigestores como alternativa à sustentabilidade ambiental no campo brasileiro: Um balanço bibliográfico acerca dos modelos indiano, chinês e batelada. **Ciência Agrícola**, v. 15, número suplementar, p. 35-39, 2017.

SANTOS, A. T. L.; HENRIQUE, N. S.; SHHLINDWEIN, J. A.; FERREIRA, E. STACHIW, R. Aproveitamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos para produção de composto orgânico. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, v. 3, n. 1, p. 15-28, 2014.

SILVA, M. A.; ARAÚJO, R. R. Análise temporal da qualidade da água no córrego limoeiro e no Rio Pirapozinho no Estado de São Paulo – Brasil. **Revista Formação (online)**, v. 1, n. 24, p. 182-203, 2017.

SOUSA, C. E. **Avaliação de sistemas biorremediadores em efluentes da Lagoa facultativa da estação de tratamentos de esgotos em Mangabeira, João Pessoa/PB**. 2015. 75f. Dissertação (Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) UFPB, João Pessoa – PB, 2015.

TANAKA, M. O.; SOUZA, A. L. T.; MOSCHINI, L. E.; OLIVEIRA, A. K. Influence of watershed land use and riparian characteristics on biological indicators of stream water quality in southeastern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 216, n.1, p. 333–339, 2016.

UNIMARKETING. 2015. **SENAI e Mundial TECH lançam nesta quinta-feira, projeto de Usina que transforma lixo em Brita**. Disponível em <[http://www.fiepb.com.br/Senai/noticias/2015/05/20/senai\\_e\\_mundial\\_tech\\_lancam\\_n\\_esta\\_quinta\\_feira\\_projeto\\_de\\_usina\\_que\\_transforma\\_lixo\\_em\\_brita](http://www.fiepb.com.br/Senai/noticias/2015/05/20/senai_e_mundial_tech_lancam_n_esta_quinta_feira_projeto_de_usina_que_transforma_lixo_em_brita)> Acesso em setembro de 2018.

VIEIRA, E. G.; REZENDE, E. N. Exploração Mineral de Areia e um Meio Ambiente Ecologicamente Equilibrado: É possível conciliar? **Sustentabilidade em Debate**, v. 6, n. 2, p. 171-192, 2015.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 3a. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG.

Wetzel, R.G. **Land-water interfaces: metabolic and limnological regulators.** Verh. Int. Ver Limnol., 24: 6-24, 1990.

YOSHITAKE, M.; COSTA JR., M. C.; FRAGA, M. S. O custo social e o controle de resíduos sólidos urbanos. **Science in Helth**, v.1, n.1, p. 34-44, 2010.

## 7 Capítulo 3 -

### AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO PARAÍBA

**Resumo:** O Rio Paraíba é um dos principais rios do estado da Paraíba. Os diferentes usos dos solos na região têm resultado em impactos negativos ao rio, principalmente com o lançamento de efluentes e resíduos sólidos, com o desenvolvimento da agropecuária e os desmatamentos. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivos avaliar as características físicas e químicas das águas do Rio Paraíba; avaliar a sua conformidade com os limites estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357/2005; identificar os Índices de Estado Trófico (IET) ao longo do rio; e, identificar os condicionantes das variações observadas na qualidade da água do Rio Paraíba. As coletas de água foram realizadas em 12 pontos amostrais ao longo do Rio Paraíba, sendo 4 reservatórios (açudes Poções, Camalaú, Presidente Epitácio Pessoa e Argemiro de Figueiredo) e 8 pontos localizados no leito do rio, antes de após as cidades de Salgado de São Félix, Itabaiana, Cruz do Espírito Santo, antes de Santa Rita e ao final da cidade de Bayeux. Em relação ao IET, ao longo do rio prevaleceram condições eutróficas, supereutróficas e hipereutróficas. As melhores condições (mesotrofia) foram observadas nos pontos P3 e P6, e estiveram associadas a grandes densidades de macrófitas e a presença do peixe tucunaré que mantém efeitos *Top Down* sobre o fitoplâncton e favorecer o aumento da transparência e de macrófitas submersas, que manterão estados alternativos de águas claras. Foi observada desconformidade em relação a Resolução CONAMA nº 357/2005, para águas de Classe 2, nas variáveis OD, pH, amônia, fósforo total e clorofila-a, principalmente nos pontos localizados após as cidades de Itabaiana (P8) e Santa Rita/Bayeux (P12) evidenciando a influência dos aglomerados urbanos na qualidade das águas e a necessidade de investir em tecnologias de coleta e tratamento de efluentes urbanos.

**Palavras-chave:** Qualidade de água; Estado trófico; Poluição urbana.

**Abstract:** The Paraíba River is one of the main rivers in the state of Paraíba. The different uses of soils in the region have resulted in negative impacts to the river, mainly with the launch of effluents and solid waste, with the development of agriculture and deforestation. Therefore, the present work had as objectives to evaluate the physical and chemical characteristics of the waters of the Paraíba River; evaluate their compliance with the limits established in CONAMA Resolution 357/2005; identify the Trophic State Indices (EIT) along the river; and, to identify the constraints of the variations observed in the water quality of the Paraíba River. The water samples were collected in 12 sampling points along the Paraíba River, with four reservoirs (Poções, Camalaú, Presidente Epitácio Pessoa and Argemiro de Figueiredo reservoirs) and eight points located on the river bed, before after the cities of Salgado de São Felix, Itabaiana, Cruz do Espírito Santo, before Santa Rita and at the end of the city of Bayeux. In relation to the EIT, eutrophic, supereutrophic and hypereutrophic conditions prevailed along the river. The best conditions (mesotrophy) were observed at points P3 and P6, and were associated with high macrophyte densities and the presence of the tucunaré fish that maintains Top Down effects on the phytoplankton and favor the increase of the transparency and of submerged macrophytes that will maintain states clear-water alternatives. OD, pH, ammonia, total phosphorus and chlorophyll-a, mainly at points located after the cities of Itabaiana (P8) and Santa Rita/Bayeux (P12), showing the influence of urban agglomerates on water quality and the need to invest in technologies for collecting and treating urban effluents.

**Keywords:** Water quality; Trophic state; Urban pollution.

## 7.1 INTRODUÇÃO

A água é um componente indispensável para a sobrevivência das diversas formas de vida na Terra. Sua importância não está apenas relacionada com as funções na natureza, mas também com a saúde, economia, desenvolvimento, qualidade de vida, manutenção do clima (SOUZA et al., 2014), além de características culturais e religiosas da população.

As diferentes formas de utilização de recursos hídricos, associadas às condições climáticas e geológicas da região, são responsáveis por impactar a qualidade da água. A urbanização, com elevadas demandas de água e intensa produção de resíduos sólidos e líquidos, é apontada, juntamente com a agricultura, como as principais causadoras de impactos aos ecossistemas aquáticos (JACINTO JÚNIOR e BARBOSA, 2016).

A disponibilidade de água doce de qualidade é uma necessidade das gerações atuais e futuras. O monitoramento do ecossistema aquático é considerado importante ferramenta para diagnosticar e verificar a qualidade das águas em bacias hidrográficas, relacionando e identificando os principais impactos ambientais (urbanos e rurais) responsáveis pela degradação do meio ambiente (BARCELOS et al., 2017).

Ressalta-se que qualidade de água é um conceito relativo que depende do tipo de uso a que pretende destiná-la. No Brasil, a Resolução CONAMA N°357/2005, estabeleceu a classificação das águas, com parâmetros de limites aceitáveis para diversos elementos, considerando os diferentes usos. De acordo com esta resolução as águas doces são classificadas em 5 Classes (Classe Especial, Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4). O enquadramento das águas é um dos principais instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos e tem como objetivo assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas (BRASIL, 1997).

O conhecimento da qualidade das águas de um corpo hídrico e das formas de uso e ocupação do solo de sua bacia hidrográfica é necessário para o delineamento de estratégias de gestão desses recursos (TUNDISI et al., 2008) objetivando a manutenção e/ou melhoria da qualidade das águas.

O Rio Paraíba, objeto deste estudo, é um dos principais rios do estado da Paraíba, com sua bacia hidrográfica abrangendo 38% do território estadual. Os diferentes usos dos solos na região têm resultado em impactos negativos ao rio.

Silva et al. (2014) em estudo realizado na região do alto curso do Rio Paraíba, identificaram diversos impactos potenciais sobre as águas como, o lançamento de efluentes e resíduos sólidos, a atividade agropecuária e os desmatamentos.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivos avaliar as características físicas e químicas das águas do Rio Paraíba; avaliar a sua conformidade com os limites estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357/2005; identificar os Índices de Estado Trófico (IET) ao longo do rio; e, identificar os condicionantes das variações observadas na qualidade da água do Rio Paraíba.

## **7.2 MATERIAIS E MÉTODOS**

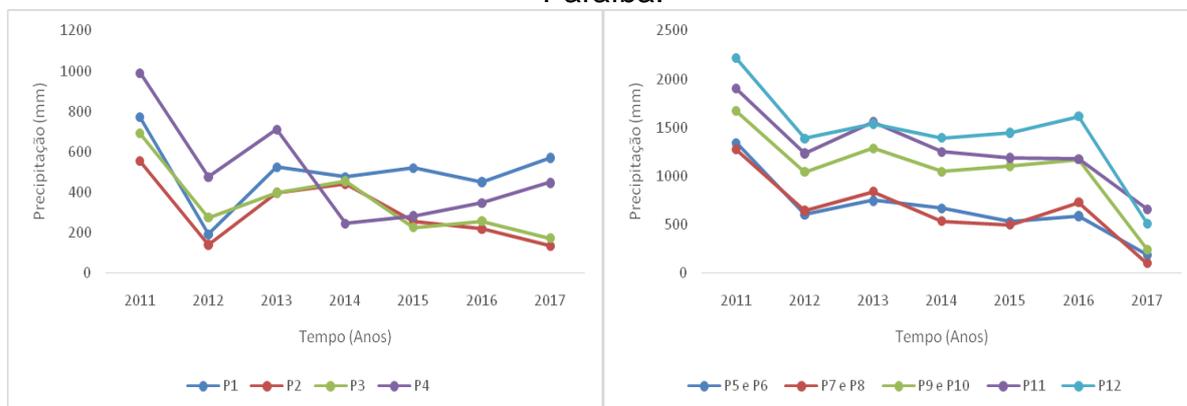
As metodologias utilizadas e os pontos de coleta de água do presente trabalho foram previamente descritas nas páginas 53-70.

## 7.3 RESULTADOS

### Condicionantes Climatológicos

A região semiárida da Paraíba enfrentou, de 2011 a 2017, um dos maiores períodos de seca observados na região. Desde o ano de 2012 o volume de água precipitado diminuiu em relação aos anos anteriores, como observado na Figura 27, principalmente nas regiões do alto e médio cursos do Rio Paraíba, onde estão localizados os reservatórios (P1- Poções/Monteiro; P2- Camalaú/Camalaú; P3- Presidente Epitácio Pessoa/ Boqueirão; P4 – Argemiro de Figueiredo/Itatuba). Durante o período monitorado (março de 2016 a janeiro de 2017) observaram-se chuvas abaixo da média, repercutindo nos baixos volumes das águas armazenadas nos reservatórios, bem como na calha do rio, na região do Baixo Paraíba onde este é perenizado.

Figura 27 - Precipitação acumulada entre 2011-2017 nos pontos analisados no Rio Paraíba.



Fonte: adaptado de AESA (2018).

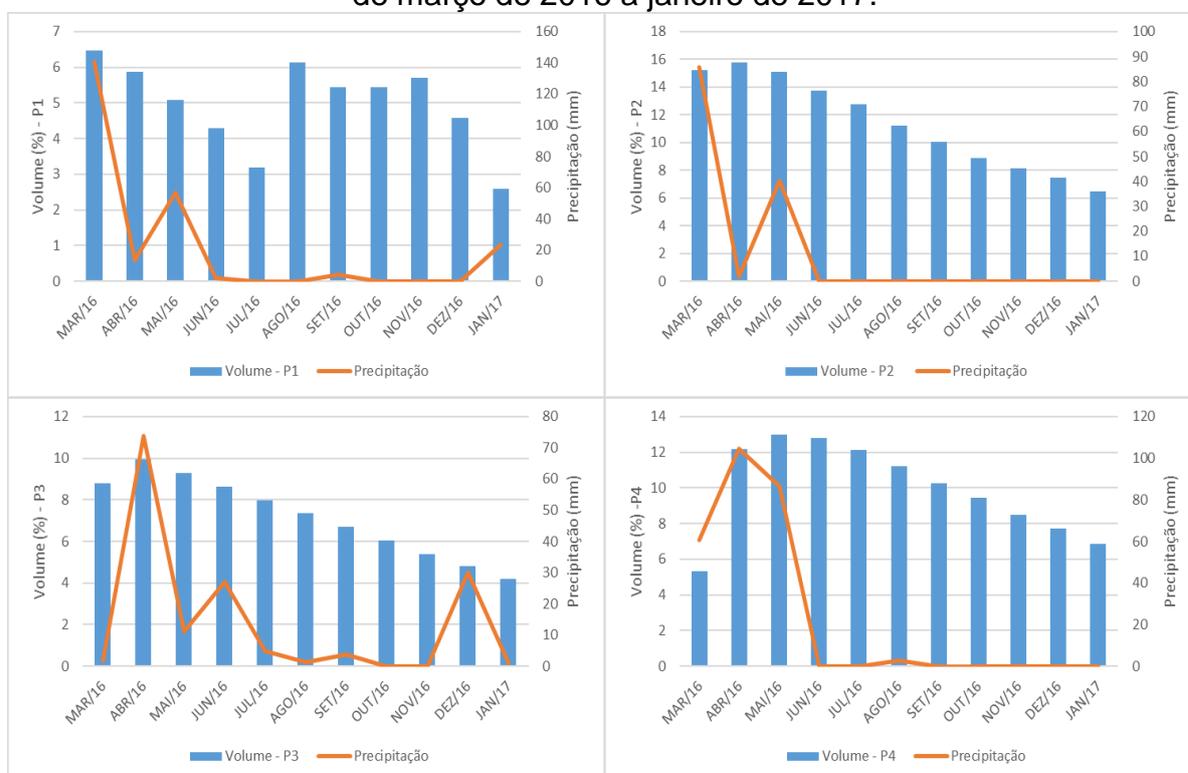
No período monitorado os maiores volumes precipitados foram observados nos meses de março a junho de 2016. Nos pontos analisados nos alto e médio cursos do Rio Paraíba, a maior precipitação foi observada no P1 (Açude Poções) com 140 mm no mês de março de 2016. Na região do baixo curso do Rio Paraíba observou-se aumento no volume de chuvas em direção ao litoral, variando, no período estudado, de 0,0 nos meses de estiagem a 403,10 mm no mês de abril de 2016 no P12 (município de Bayeux).

A baixa incidência de chuvas não foi suficiente para mudar a situação dos reservatórios da região, que já estavam com seus volumes reduzidos no início do

período monitorado. No mês de março de 2016, o Açude Poções – P1 estava com 6,47% de sua capacidade, e ao final de janeiro de 2017, apresentava-se com 2,60%. O Açude de Camalaú - P2, apresentava no mês de março de 2016 um volume de 15,23%, e ao final de janeiro de 2017, tinha 6,45% de sua capacidade. O Açude Presidente Epitácio Pessoa (Boqueirão) – P3 que estava com 8,8% de sua capacidade, apresentava-se, em janeiro de 2017, com 4,21% de água acumulada. O Açude Argemiro de Figueiredo (Acauã) em março de 2016 tinha 5,3% de água acumulada, teve seu volume aumentado no mês de abril, em virtude das precipitações ocorridas na região, atingindo 13,01% em maio de 2016, e chegando ao final de janeiro de 2017 com, aproximadamente, 6,85% de água acumulada no reservatório.

As precipitações e os volumes de águas armazenados nos reservatórios estudados estão apresentados na Figura 28.

Figura 28 - Precipitações e volumes dos reservatório monitorados (P1 - Poções; P2 - Camalaú; P3 – Presidente Epitácio Pessoa; P4 - Argemiro de Figueiredo) no período de março de 2016 a janeiro de 2017.



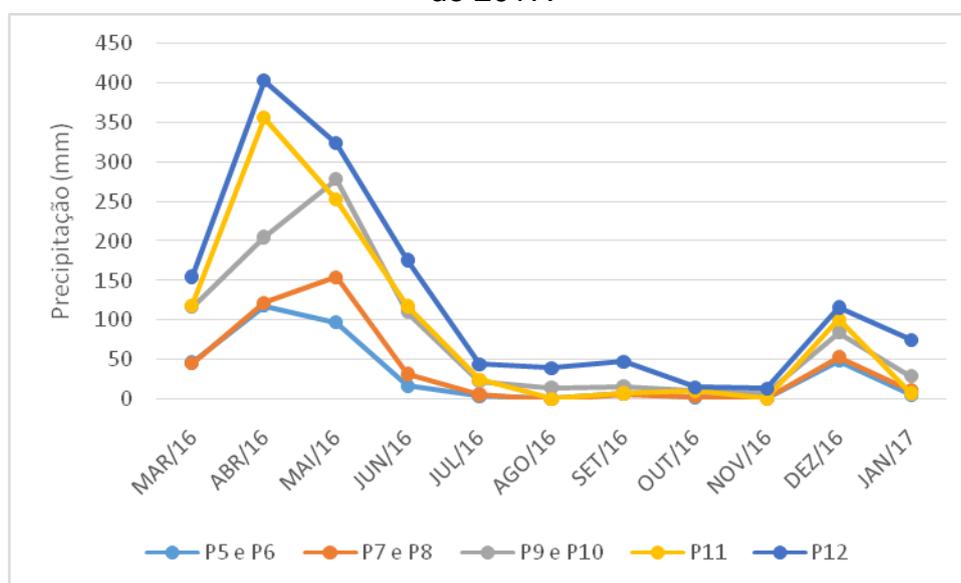
Fonte: adaptado de AESA (2017).

Os quatro reservatórios estudados são utilizados para abastecimento das cidades inseridas nas suas regiões e, em virtude dos baixos volumes armazenados,

muitas dessas cidades passaram por racionamento de água. Além disso, com o baixo volume de água há a maior concentração dos nutrientes, impactando diretamente a qualidade do corpo hídrico em função da eutrofização.

Os pontos P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11 e P12 estão localizados no leito do Rio Paraíba, no baixo curso do rio. Como apresentado na Figura 29, as maiores precipitações foram observadas nos pontos de coleta mais próximos ao litoral.

Figura 29 - Precipitações nos pontos P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11 e P12, localizados no baixo curso do Rio Paraíba, no período de março de 2016 a janeiro de 2017.



Fonte: adaptado de AESA (2018).

Em virtude das baixas precipitações observadas e da redução da vazão do reservatório Argemiro de Figueiredo, responsável pela perenização do rio, a partir do mês de agosto de 2016 não foi observada água fluindo no P7, antes da cidade de Itabaiana (apenas pequenas poças de água). No P8, com as contribuições oriundas dos efluentes da própria cidade, o rio retomou ao seu curso.

### Caracterização Limnológica e Qualidade das Águas

Para efeitos de análise serão apresentados os resultados dos reservatórios e dos pontos no rio separadamente.

Nos reservatórios estudados a temperatura da água variou de 24,4°C no P3 (Açude Epitácio Pessoa) em julho de 2016 a 33,5°C no P1 (Açude Poções) em

março de 2016. As menores temperaturas foram observadas em maio e julho de 2016 e os maiores valores foram registrados em março e novembro de 2016 e janeiro de 2017.

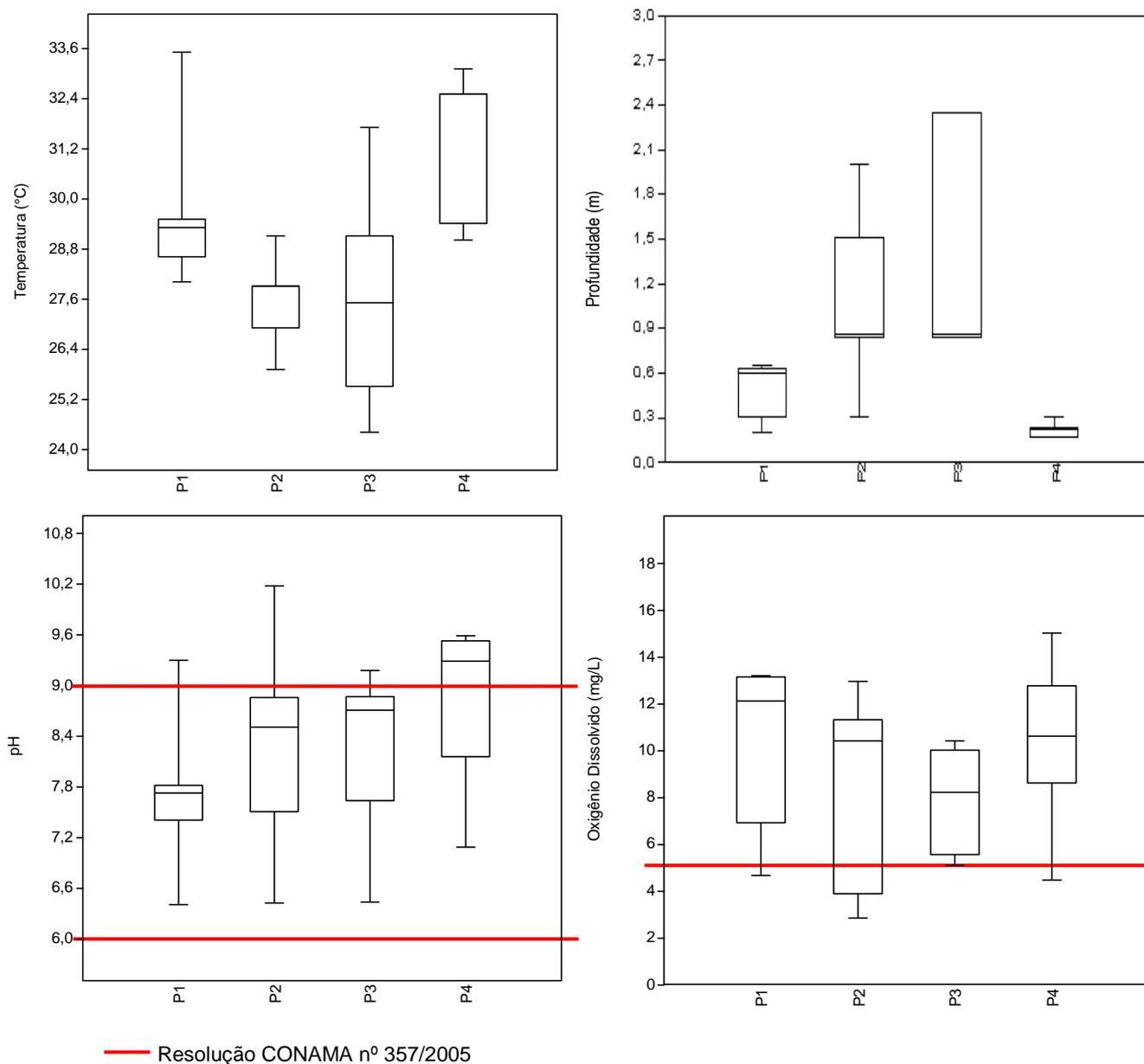
A análise com Disco de Secchi nos reservatórios revelou maiores transparências da água nos pontos P2 e P3 (Açudes Camalaú e Presidente Epitácio Pessoa), com valores superiores a 2 m de profundidade nos dois reservatórios. As menores transparências foram observadas no P1 e P4 (Açudes Poções e Argemiro de Figueiredo), entre 0,20m – 0,65 m e 0,17m – 0,31 m, respectivamente.

Em relação ao pH observou-se variação de 6,4 no P1 em novembro de 2016 a 10,2 no P2 em julho de 2016. Valores superiores a 9,0 (máximo estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005) foram observados nos quatro reservatórios estudados P1 e P2 em julho de 2016; P3 em maio de 2016; e P4 em março, maio e julho de 2016.

Os valores de Oxigênio Dissolvido (OD) variaram de 2,8 mg.L<sup>-1</sup> no P2 em maio de 2016, a 15 mg.L<sup>-1</sup> no P4 em janeiro de 2017. Menores concentrações de Oxigênio Dissolvido em P1, P3 e P4 foram observadas em setembro de 2016. P1, P2 e P4 apresentaram concentrações inferiores ao preconizado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (<5mg.L<sup>-1</sup>).

Os valores de temperatura, profundidade do Disco de Secchi, pH e OD nos pontos P1, P2, P3 e P4 estão apresentados na Figura 30:

Figura 30 - Temperatura, profundidade do Disco de Scchi, pH e OD nos P1 (Açude Poções), P2 (Açude Camalaú), P3 (Açude Presidente Epitácio Pessoa) e P4 (Açude Argemiro de Figueiredo) no período de março de 2016 a janeiro de 2017.



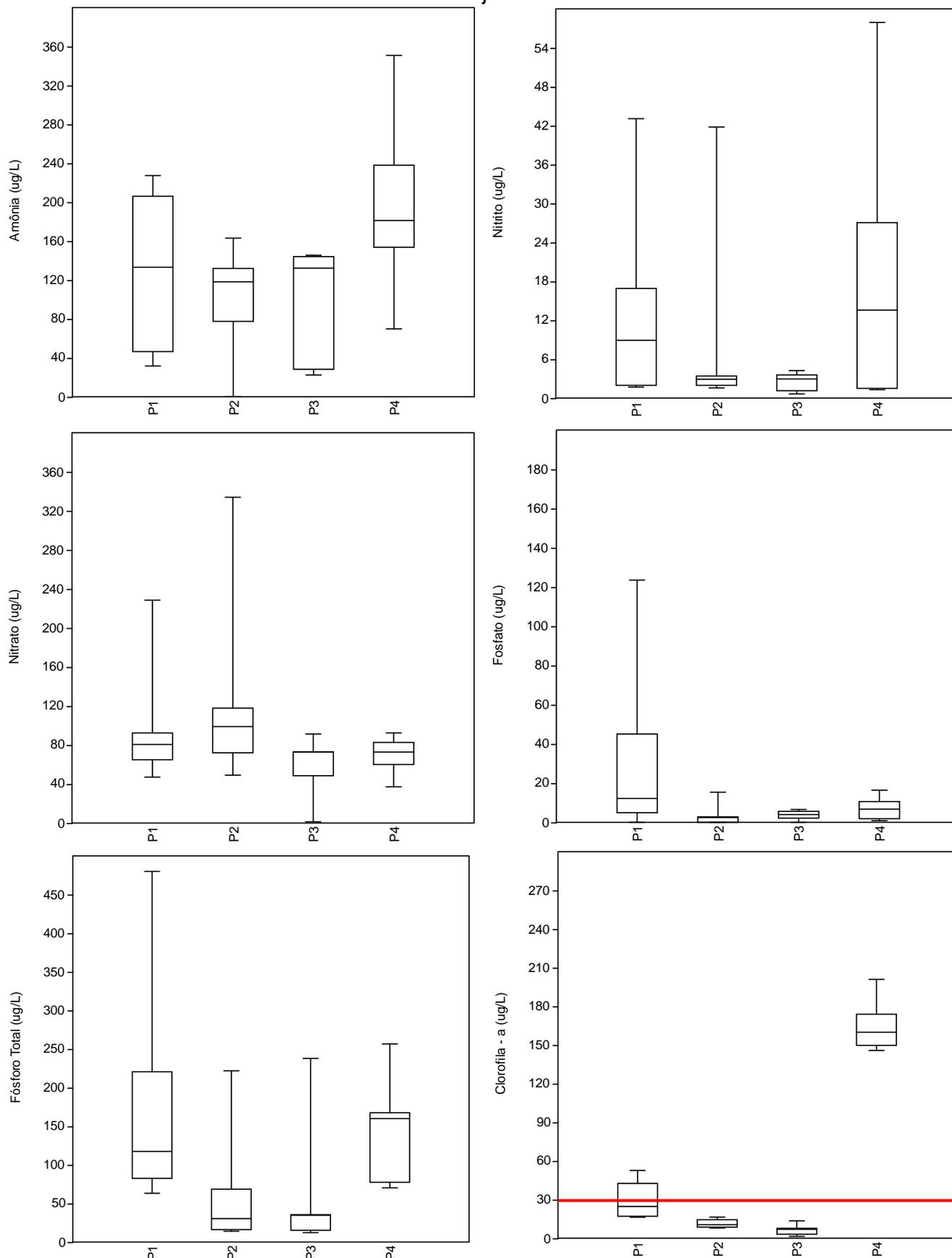
Em relação aos compostos nitrogenados (amônia, nitrito e nitrato) a amônia foi a forma mais representativa. A menor concentração de amônia foi observada no P2 (Açude Camalaú) em novembro de 2016 ( $0,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ ), e a maior no P4 em janeiro de 2017 ( $350,9 \mu\text{g.L}^{-1}$ ). As concentrações de nitrito variaram de  $0,6 \mu\text{g.L}^{-1}$  no P3 em julho de 2016, a  $57,9 \mu\text{g.L}^{-1}$  no P4, no mês de novembro de 2016. No nitrato, a menor concentração foi observada em maio de 2016 no P3 ( $1,3 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) e a maior concentração no P2, em setembro de 2016 ( $333,9 \mu\text{g.L}^{-1}$ ).

Para o ortofosfato (fósforo solúvel reativo), o P1 apresentou as maiores concentrações durante o período estudado, com  $123,5 \mu\text{g.L}^{-1}$  em março de 2016. As menores concentrações foram observadas em P1, P2 e P3 entre os meses de maio e julho de 2016, com concentrações abaixo do nível de detecção da metodologia utilizada. Para o fósforo total, a menor concentração foi observada no P3, em novembro de 2016 ( $12,1 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) e a maior concentração foi observada no P1 em janeiro de 2017 ( $479,9 \mu\text{g.L}^{-1}$ ).

O menor valor de clorofila-*a* foi observado no P3 em novembro de 2016 ( $1,5 \mu\text{g.L}^{-1}$ ). Concentração máxima de  $200,9 \mu\text{g.L}^{-1}$  foi identificada no P4 em janeiro de 2017.

Os valores de amônia, nitrito, nitrato, fosfato, fósforo total e clorofila-*a* para os reservatórios estudados estão apresentados na Figura 31.

Figura 31 - Amônia, nitrito, nitrato, fosfato, fósforo total e clorofila - a nos P1 (Açude Poções), P2 (Açude Camalaú), P3 (Açude Presidente Epitácio Pessoa) e P4 (Açude Argemiro de Figueiredo) na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, no período de março de 2016 a janeiro de 2017.



— Resolução CONAMA nº 357/2005

Com base nos resultados apresentados de clorofila-a e fósforo total foi analisado o Índice de Estado Trófico - IET dos reservatórios estudados, classificando as águas quanto ao seu enriquecimento por nutrientes e seu efeito no crescimento excessivo de algas e cianobactérias, em diferentes graus de trofia: oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico. Na Figura 32 estão apresentados os IET's dos pontos P1, P2, P3 e P4, ao longo do período estudado.

Figura 32 - Índice de Estado Trófico, nos pontos P1(Açude Poções), P2 (Açude Camalaú), P3 (Açude Presidente Epitácio Pessoa) e P4 (Açude Argemiro de Figueiredo), no período de março de 2016 a janeiro de 2017



- Leito do Rio Paraíba

A menor temperatura observada no leito do Rio Paraíba foi 28°C no mês de julho de 2016 no P8, atingindo valor máximo em março de 2016, neste mesmo ponto de coleta (P8). As temperaturas mais elevadas foram registradas em março/2016, novembro/2016 e janeiro/2017, enquanto as menores temperaturas foram observadas em maio, julho e setembro de 2016.

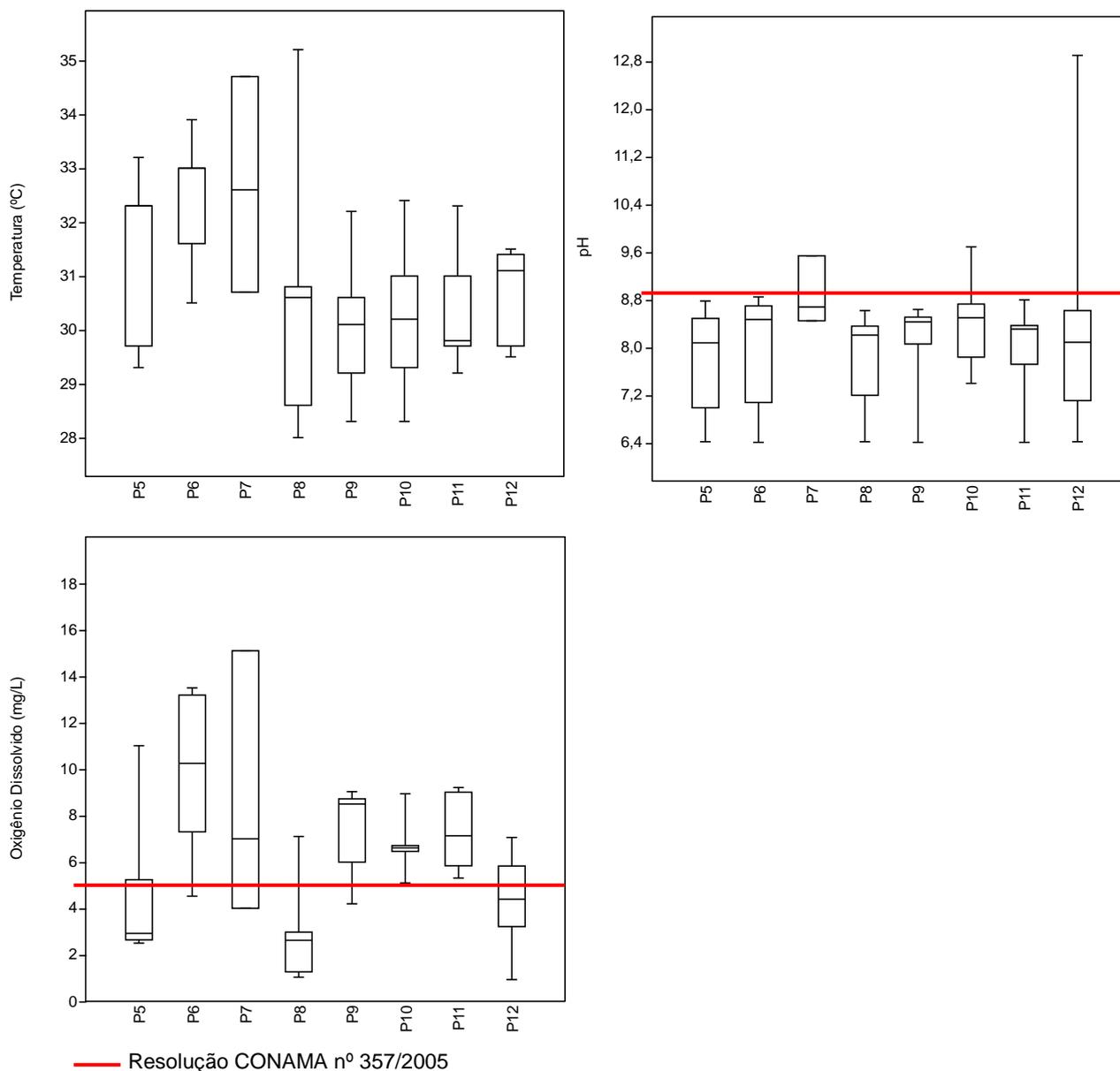
O pH apresentou-se predominantemente alcalino em todo o período de estudo. Valores de pH levemente ácidos foram observados nos meses de novembro/2016 e janeiro/2017 (P5, P6, P8, P9, P11 e P12). Os pontos P7 (março/2016), P10 e P12 (janeiro/2017) apresentaram valores superiores a 9,0 (valor máximo estabelecido na Resolução CONAMA nº 357/2005).

A menor concentração de Oxigênio Dissolvido foi observada no P12 (0,9 mg.L<sup>-1</sup>) em janeiro de 2017, mantendo concentrações abaixo do recomendado

(Resolução CONAMA nº 357/2005) por quase todo o período analisado. Valores abaixo de  $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$  foram observados em P5, P6, P7, P8, P9 e P12.

Na Figura 33 estão apresentados os valores de temperatura, pH e Oxigênio Dissolvido dos pontos analisados no leito do Rio Paraíba.

Figura 33 - Temperatura, pH, Oxigênio Dissolvido nos pontos estudados no Rio Paraíba, P5 – P12, no período de março de 2016 a janeiro de 2017.



Para os compostos nitrogenados a amônia foi a forma mais representante. As concentrações mais elevadas foram observadas no P8 ( $8.273,9 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ ) e P12 ( $5.287,5 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ ). A menor concentração ( $0,0 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ ) foi no P10 em setembro de 2016. Os pontos P7 (março/2016), P8 (março, julho, setembro, novembro de 2016 e

janeiro de 2017) e o P12 (março/2016 e janeiro/2017) apresentaram concentrações de amônia superiores ao preconizado pela CONAMA nº 357/2005, para águas de classe 2, que é a classificação do Rio Paraíba.

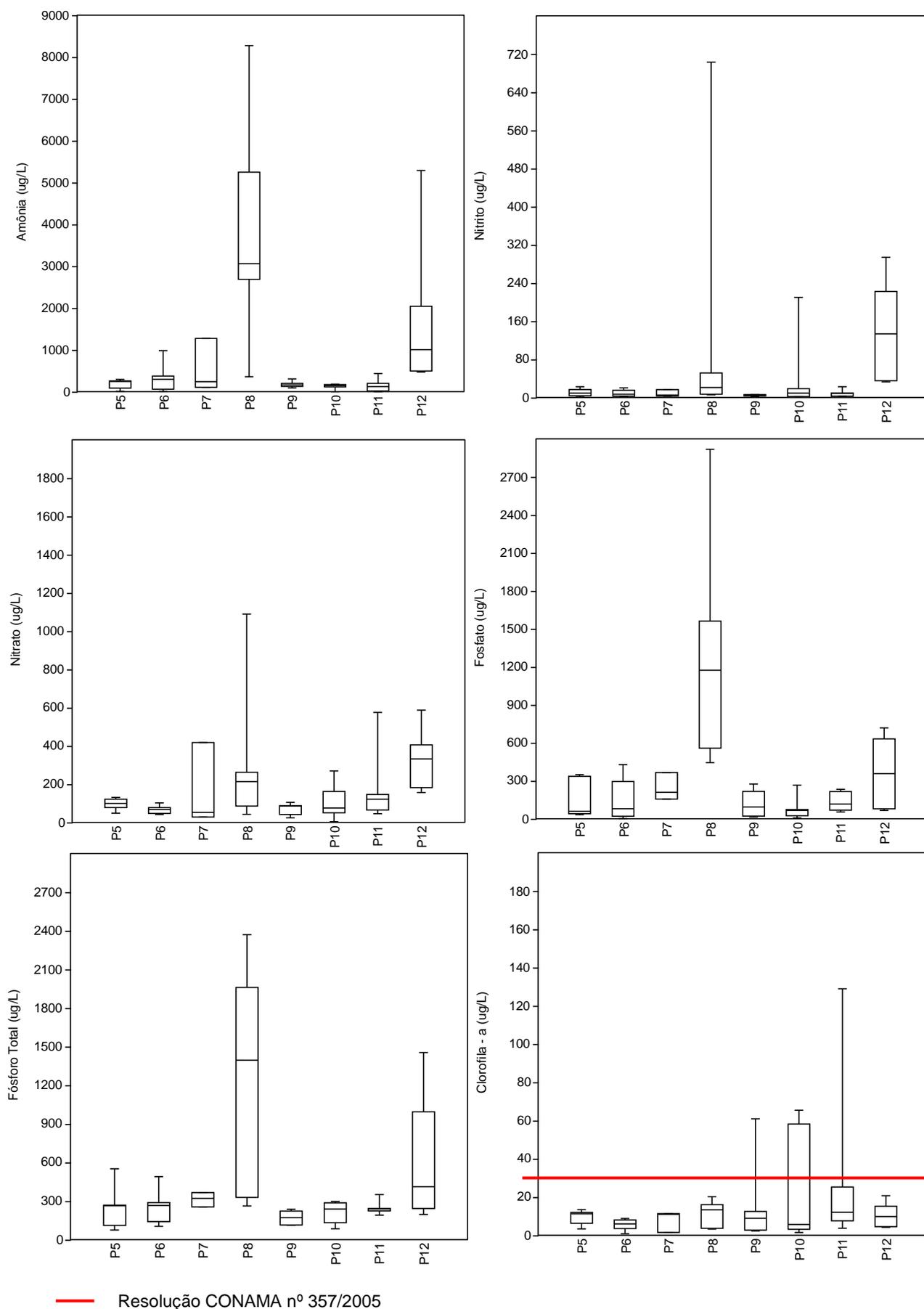
Para o nitrito, a menor concentração foi observada no P9 em julho de 2016 ( $0,51 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) e o maior valor em P8 no mês de maio de 2016 ( $722,5 \mu\text{g.L}^{-1}$ ). Todas as amostras analisadas apresentaram valores inferiores a  $1000 \mu\text{g.L}^{-1}$  (Resolução CONAMA nº 357/2005). As concentrações de nitrato variaram de  $0,0 \mu\text{g.L}^{-1}$  no P3 e P10 (maio de 2016) a  $1.465,7 \mu\text{g.L}^{-1}$  no mês de março no P8. Todos os valores observados estiveram abaixo de  $10000 \mu\text{g.L}^{-1}$  (Resolução CONAMA nº 357/2005).

As maiores concentrações de ortofosfato foram observadas em novembro de 2016 no P8 ( $2.917,4 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) e no P12 ( $717,4 \mu\text{g.L}^{-1}$ ). A menor concentração foi no P6 em julho de 2016 ( $1,9 \mu\text{g.L}^{-1}$ ). O fósforo total, apresentou as maiores concentrações no P8 ( $2.369,9 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) em novembro de 2016 e no P12 ( $1.454,1 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) em janeiro de 2017, enquanto a menor concentração foi registrada no P5 ( $74,9 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) em novembro de 2016. Todos os pontos analisados apresentaram valores superiores a  $100 \mu\text{g.L}^{-1}$  (Resolução CONAMA nº 357/2005).

Em relação à clorofila-a a menor concentração foi observada no P6 ( $0,85 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) em março de 2016. O maior valor registrado foi  $128,9 \mu\text{g.L}^{-1}$  em P11 (setembro de 2016). Os pontos P9, P10 e P11 apresentaram valores superiores a  $30 \mu\text{g.L}^{-1}$  (Resolução CONAMA nº 357/2005).

Os valores médios de amônia, nitrito, nitrato, fosfato, fósforo total e clorofila-a estão apresentados na Figura 34.

Figura 34 - Amônia, nitrito, nitrato, fosfato, fósforo total e clorofila – a nos pontos estudados no Rio Paraíba P5 – P12, no período de março de 2016 a janeiro de 2017.



A classificação em relação ao nível de eutrofização da água está apresentada nas Figuras 35 e 36.

Figura 35 - Índice de Estados Tróficos nos pontos P5-P8 na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, no período de março de 2016 a janeiro de 2017.

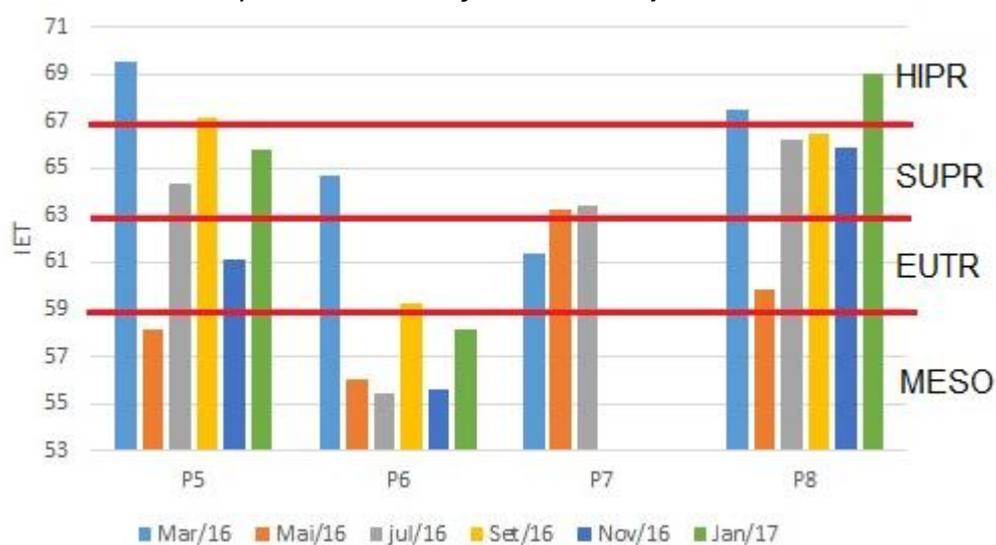
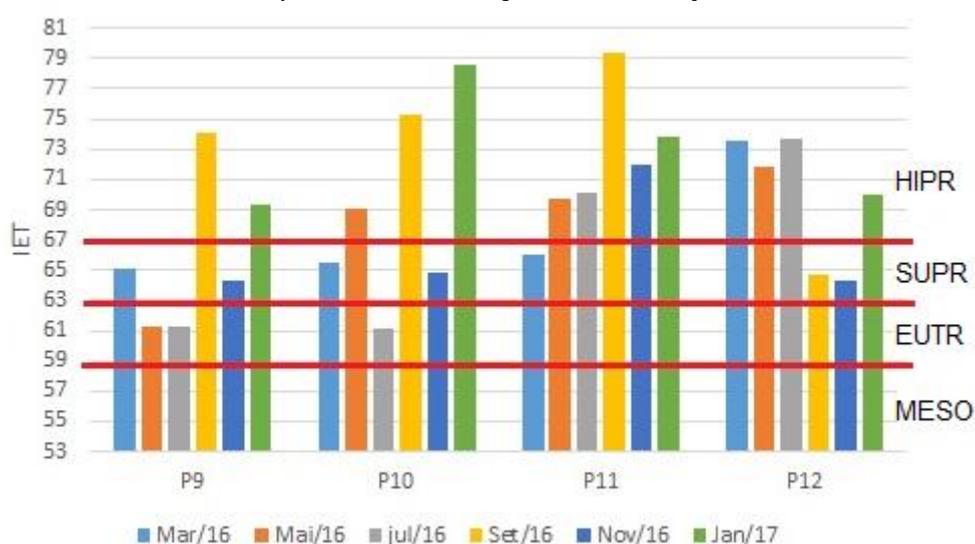


Figura 36 - Índice de Estados Tróficos nos pontos P9-P12 na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, no período de março de 2016 a janeiro de 2017.



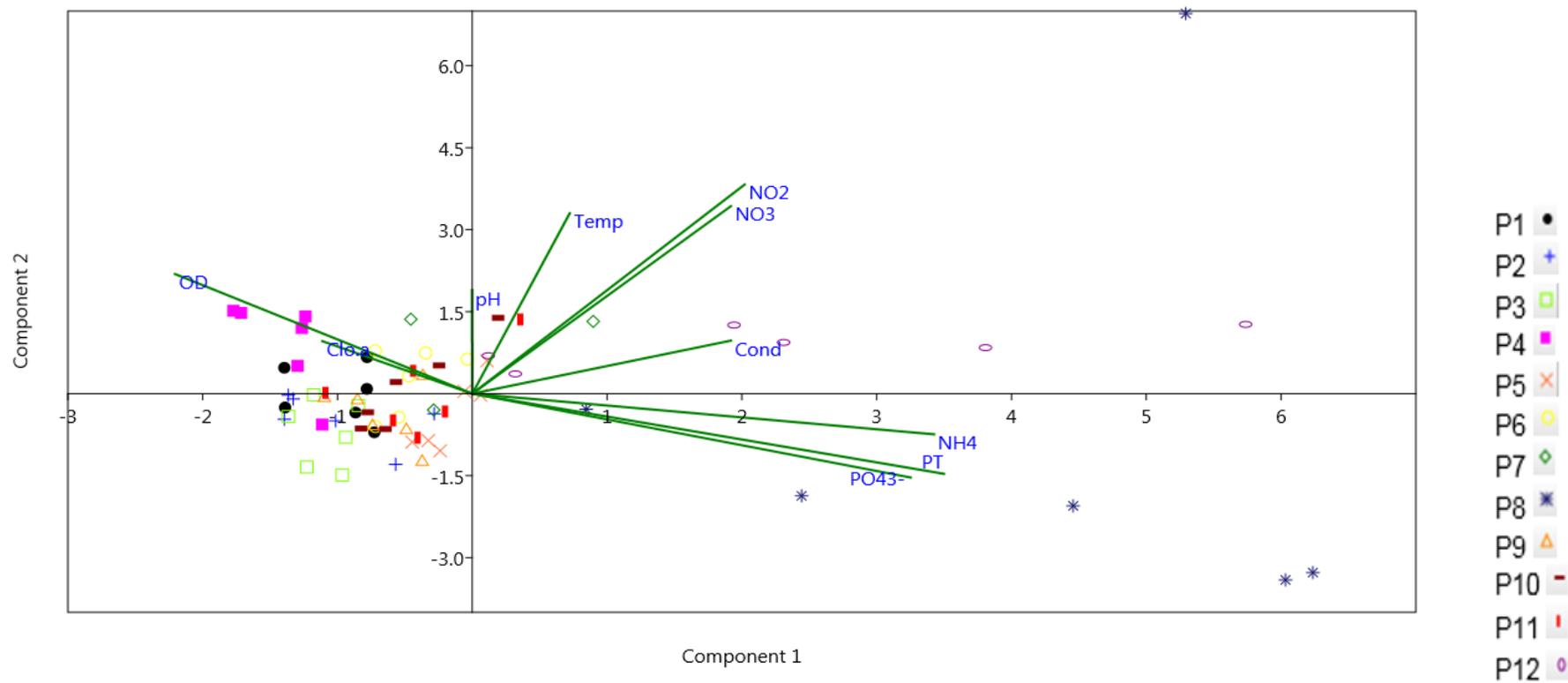
Com os valores de fósforo total e clorofila-a foram calculados os IET's das águas nos trechos de rio. Os diferentes pontos ao longo do rio variaram ao longo do tempo, mas o P6 apresentou melhores condições tróficas, classificado como mesotrófico por mais tempo (maio, julho e novembro de 2016 e janeiro de 2017),

mas também eutrófico (setembro de 2016) e supereutrófico (março de 2016). O P7 variou de eutrófico a supereutrófico. Os pontos P5, P8, P9 e P10 variaram entre eutrófico e hipereutrófico. Os pontos P11 e P12 de supereutrófico a hipereutrófico. Os trechos do Rio Paraíba que apresentaram mais vezes o estado trófico como hipereutrófico foram os pontos mais a jusante, os P11 e P12.

A Análise de Componentes Principais (ACP) foi realizada com as 10 variáveis utilizadas para a avaliação das características da água no Rio Paraíba. A ACP das variáveis explicou 51,16% da variação dos dados por meio dos dois primeiros componentes principais, o componente 1: 33,76% e o componente 2: 17,40%. No Eixo 1 as variáveis mais representativas foram Fósforo Total (PT), Fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), Amônia ( $\text{NH}_4$ ), Nitrato ( $\text{NO}_3$ ), Nitrito ( $\text{NO}_2$ ) e Condutividade Elétrica (Cond). No Eixo 2 foram mais representativas, o Nitrato ( $\text{NO}_3$ ), Nitrito ( $\text{NO}_2$ ), Temperatura (Temp) e Oxigênio Dissolvido (OD).

Na Figura 37 é apresentado o resultado da ordenação dos pontos de coleta. Observou-se variação temporal em relação aos diferentes pontos analisados. Os pontos P8 e P12 localizaram-se tendencialmente no setor positivo da 1ª Componente, associados a elevados valores de PT,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NH}_4$ , Cond,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ . Estes pontos localizam-se geograficamente após as cidades de Itabaiana e Bayeux, e valores elevados destas variáveis podem indicar baixa qualidade das águas, em função da interferência das cidades. Estes dois pontos foram os que apresentaram menor qualidade ambiental ao longo de toda a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.

Figura 37 - ACP dos pontos de coleta nas primeiras duas componentes da ACP, aplicada a parâmetros físico-químicos e biológicos na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, no período de março de 2016 a janeiro de 2017.



Os pontos P1, P4, P6 e P10 apresentaram distribuição no setor positivo da 2ª Componente, associados ao OD, Clo-a, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub> e Temp. Os demais pontos, P2, P3, P5, P7, P9 e P11, apresentaram maior distribuição nos setores negativos das Componentes 1 e 2, associados a valores menores de PT, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, NH<sub>4</sub>, Cond, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, OD, Clo-a e Temp.

## 7.4 DISCUSSÃO

Águas naturais apresentam variações de temperatura sazonais devido ao regime climático normal, e em função da pequena profundidade, principalmente no leito do Rio Paraíba, há uma grande influência da temperatura atmosférica na temperatura da água (FIA et al., 2015). A temperatura da água esteve diretamente relacionada com os horários de coleta em todos os pontos, pressupondo que a mesma tenha aumentado com a temperatura do ar e com as condições climáticas. No Açude Poções iniciavam-se as coletas cerca das 14:00 horas e no Açude Camalaú era coletado em sequência, isso justifica a menor temperatura no P2, em relação a P1 e novamente pelas 8:00 da manhã, reiniciavam-se nas coletas no Açude Camalaú e na sequência até todos os pontos do rio, o que justifica o aumento de temperatura de P4 em relação a P3. Essa diferença ficou menos visível nos pontos lóticos.

Em relação à transparência da água nos reservatórios, os dois pontos com maiores transparências (P2 e P3) apresentaram, durante o período analisado, macrófitas submersas (*Egeria* sp.) (Figura 38) além da presença do peixe tucunaré (*Cichla ocellaris*). Diversos trabalhos têm reportado o papel das macrófitas submersas na diminuição da produtividade algal pela competição por recursos e por meio da produção de substâncias alelopáticas, mantendo a transparência da água, fornecendo proteção ao zooplâncton contra predadores e aumentando a pressão de predação destes sobre o fitoplâncton (JEPPESEN et al. 1997; STANSFIELD et al., 1997; SCHEFFER, 1998; VAN DONK; VAN DE BUND, 2002).

Figura 38 - Macrófitas submersas nos pontos P1 e P3, Açude Camalaú (A) e Açude Presidente Epitácio Pessoa (B) em maio de 2016.



Imagens: Alinne Gurjão (2016).

De acordo com Crispim et al. (2017), a presença do peixe tucunaré provoca um efeito aditivo, em cascata, realizando um efeito “top-down” de biomanipulação, que torna a água mais transparente e com menos nutrientes na coluna de água, o que mudaria o estado trófico desses ambientes. Com o aumento da transparência, a presença de macrófitas submersas é favorecida, o que explicaria a presença de *Egeria* sp. e de outras espécies de macrófitas submersas nesses dois açudes, que competem com o fitoplâncton pelos nutrientes disponíveis, e contribuem para a diminuição da densidade desses organismos, diminuindo o estado trófico observado nos reservatórios. É importante ressaltar que, apesar de não disponíveis na coluna de água, os nutrientes encontram-se retidos na biomassa de macrófitas submersas, podendo ficar novamente disponíveis caso o açude seque e as macrófitas morram.

A ausência do peixe tucunaré nesses ambientes após um episódio de seca, provocará o aumento da quantidade de tilápia (*Oreochromis niloticus*) (predadora do zooplâncton maior), diminuindo a predação sobre o fitoplâncton, que tende a aumentar e impedir que as macrófitas submersas sobrevivam (CRISPIM et al., 2017). A morte dessas macrófitas torna os nutrientes retidos na sua biomassa disponíveis para o fitoplâncton.

Será importante analisar uma forma de inserir a biomassa ou área das assembleias de macrófitas submersas, na avaliação do estado trófico em açudes, como potencial risco para aumentar o estado trófico, visto que esses nutrientes apesar de não poderem ser mensurados pelo índice de estado trófico de Carlson, por considerar apenas o fitoplâncton, medindo a clorofila-a, estão presentes e poderão ficar disponíveis novamente. Logo, deverão de alguma forma ser contabilizados em índices adaptados, para poder-se avaliar corretamente estas novas situações de estados alternativos de águas claras em açudes do semiárido, induzidos inicialmente por processos *Top Down* (efeitos em cascata).

Os valores elevados de OD observados podem ser atribuídos à elevada atividade fotossintética, o que libera o oxigênio na água. No entanto, em ambientes eutrofizados, com elevada concentração algal, durante a noite pode ocorrer o inverso. A grande densidade de algas que durante o dia liberam oxigênio através da fotossíntese, respiram durante a noite, juntamente com os animais aeróbios e as bactérias decompositoras, o que pode levar o ambiente à condição de anoxia, principalmente no hipolímnio e nas horas que precedem o nascer do sol. A disponibilidade de OD no meio é indispensável à manutenção dos organismos

aeróbios, uma vez que a maioria das espécies não tolera concentrações inferiores a  $4,0 \text{ mg.L}^{-1}$  (PINTO et al., 2010).

No Açude Camalaú (P2), nos meses de julho e setembro de 2016, as coletas foram realizadas antes das 08:00h, o que pode explicar as baixas concentrações de OD medidas nessa altura. Concentrações menores que  $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$  estão abaixo do estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005) para águas de Classe 2. Mas como o oxigênio dissolvido apresenta grande dinâmica ao longo do dia, dependendo das taxas fotossintéticas é muito provável que após algumas horas de luz essas concentrações aumentassem. O P4 (Açude Argemiro de Figueiredo) apresentou os valores mais elevados de OD. Isso está relacionado com a densidade microalgal nesse ambiente, o que aumenta as taxas fotossintéticas e com isso a liberação de  $\text{O}_2$  para o meio aquático. No entanto, valores muito elevados durante o dia são um indício de que haverá diminuição acentuada de oxigênio durante a noite, em consequência da respiração destas algas, que consomem oxigênio, o que pode provocar mortalidade de peixes durante a noite.

Concentrações inferiores a  $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$  foram frequentes, principalmente, nos pontos lóticos, como o P5 (50% das amostras), P8 (83,3%) e P12 (66,6%). O P5, localizado após o Açude Argemiro de Figueiredo é bastante eutrofizado, apresentando concentrações consideráveis de clorofila-a. Os nutrientes, pela saída de água do açude, atingem o P5, nutrindo grande concentração de macrófitas flutuantes, que por fazerem sombra no ambiente aquático impedem a fotossíntese pelo fitoplâncton, o que afeta a liberação de oxigênio para a água. Apesar da grande presença de produtores primários na forma de macrófitas, estas liberam o oxigênio para o ar, onde estão localizadas as suas folhas e clorofila. Além disso, as macrófitas entram em processo de decomposição, passando os decompositores a consumir o OD na massa líquida (BUCCI e OLIVEIRA, 2014), bem como, constituem barreiras físicas, diminuindo a ação dos ventos sobre o espelho de água, o que pode contribuir com a diminuição deste gás. Os pontos P8 e P12 estão localizados no final das cidades de Itabaiana e Bayeux, respectivamente, e as baixas concentrações de OD observadas decorrem do lançamento de efluentes de esgotos dessas cidades. A degradação da matéria orgânica presente nestes resíduos consomem OD do meio, resultando na perda da qualidade da água do rio, em função de problemas de urbanização, neste caso, da falta de coleta e tratamento dos esgotos que alcançam o rio.

O pH é diretamente influenciado pelas taxas de fotossíntese e decomposição do ecossistema. Durante a fotossíntese, a absorção de CO<sub>2</sub> diminui a concentração de ácido carbônico da água e conseqüentemente há o aumento do pH (von SPERLING, 2017). A variação deste parâmetro pode ser causada também por despejos de resíduos e efluentes, domésticos e/ou industriais. Segundo Marotta et al. (2008) o excesso de matéria orgânica pode reduzir o pH devido à liberação de gás carbônico decorrente do processo de decomposição, liberando ácido carbônico no meio. Valores de pH inferiores a 6,0 e superiores a 9,0 excedem os limites estabelecidos na classificação das águas doces, segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005 e valores superiores a 9,0 foram observados em diferentes pontos do Rio Paraíba, em conseqüência das elevadas taxas fotossintéticas nos sistemas, ou em decorrência da presença de sabões, de águas cinzas, que apresentam pH alcalino.

Segundo Attayde et al. (2011), o pH básico, predominante na maioria das amostras coletadas, favorece a existência de concentrações elevadas de amônia na água. Para Bucci e Oliveira (2012) pode-se associar as formas de nitrogênio presentes no meio aquático com a proximidade da fonte de poluição, sendo que, quanto mais perto, maior a concentração de amônia em relação às concentrações de nitrito e nitrato. Na maioria dos pontos coletados, a amônia foi a forma nitrogenada mais representante, indicando a proximidade com a fonte de poluição. De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, as concentrações máximas de amônia permitidas em cada classe de águas varia em relação com os valores de pH. Durante o período de análise, valores superiores ao estabelecido para águas de Classe 2 foram observados nos pontos P4, P7, P8 e P12.

A amônia é um composto derivado da decomposição, logo, a sua presença de forma elevada no Rio Paraíba, reflete a presença de esgotos não tratados, que são uma constante ao longo do rio. Esses valores foram especialmente elevados no P8, após a cidade de Itabaiana e no P12, após as cidade de Bayeux. Como a amônia revela decomposição recente, é nitidamente o resultado do lançamento de esgotos *in natura* no Rio Paraíba. Em concentrações elevadas é tóxica para a biota.

Em relação ao nitrito e nitrato, apesar de estarem em conformidade com o preconizado na Resolução CONAMA nº 357/2005, observou-se o aumento nas concentrações dessas formas nitrogenadas nos pontos P8 e P12, após a cidade de Itabaiana e Bayeux, respectivamente, em função dos lançamentos de efluentes dessas cidades. As concentrações mais elevadas de nitrito nos P8 e P12 estão

relacionadas com as menores concentrações de oxigênio dissolvido nesses pontos amostrais, o que dificulta que o nitrito se torne nitrato no processo de nitrificação.

As concentrações de ortofosfato foram, em geral, mais elevadas nos pontos localizados no leito do rio do que nos reservatórios, principalmente nos pontos a jusante da cidade de Itabaiana (P8) e Bayeux (P12), que recebem toda a interferência das cidades, incluindo águas cinzas, ricas em fósforo. Segundo Lamparelli (2004) concentrações maiores de nutrientes em rios do que em ambientes lânticos são esperados. Nos reservatórios, a maior concentração foi observada no P1 – Açude Poções. Isso é o resultado dos esgotos de Monteiro que chegam neste açude, com águas cinzas (águas de lavagem) ricas em sabão e detergentes, que tem elevada quantidade de fósforo.

O ortofosfato é a principal forma de fosfato assimilada pelos vegetais aquáticos. As menores concentrações observadas nos pontos P2, P3 e P4 pode ser explicada pela presença da macrófitas submersas (*Egeria* sp.) nos P2 e P3, e da elevada densidade de fitoplâncton no P4, assimilando o fosfato disponível no meio. Ainda que nos pontos do leito do rio ocorra a presença de macrófitas (*Eichornia crassipes*) (Figura 39), estas não foram capazes de absorver todo o fosfato disponível, principalmente nos locais onde há o lançamento de efluentes das cidades, resultando nas elevadas concentrações, principalmente nos pontos P8 e P12. Além disso, com a morte dessas macrófitas, os nutrientes retornam ao corpo hídrico.

Figura 39 - Macrófitas no leito do Rio Paraíba.



Imagens: Alinne Gurjão (2017).

Em relação ao fósforo total, excetuando-se P2 e P3, que apresentaram, predominantemente, valores dentro dos limites estabelecidos, os demais pontos

mantiveram valores superiores ao preconizado pela legislação ( $30 \mu\text{g.L}^{-1}$  – ambientes lênticos e  $50 \mu\text{g.L}^{-1}$  – ambientes lóticos) (BRASIL, 2005). O fósforo é liberado pela decomposição, e o esgoto do município de Monteiro que chega no P1 é provavelmente a maior fonte deste composto. O P4 em virtude da elevada densidade de fitoplâncton (verificada pelas concentrações de clorofila-*a*), apresentou, depois do P1, os maiores valores de fósforo total. Isso leva à grande produção primária presente neste açude, na forma de fitoplâncton, o que deixa a água menos transparente. Neste açude não tem a presença do predador *Cichla ocellaris* (tucunaré) o que não levou à indução de efeitos *Top Down* para produzir os estados alternativos de águas claras.

Em relação à concentração de nutrientes, fica clara a interferência das cidades na qualidade das águas, principalmente nos pontos P8 (Itabaiana) e P12 (Bayeux). O P8, além de assimilar os efluentes da cidade de Itabaiana, fica próximo a uma fábrica de sabão, que libera os seus efluentes no local. No P12 foi observada a entrada de efluentes domésticos diretamente para o rio, provenientes de um conjunto popular que não possui rede coletora de esgotos (Figura 40).

Figura 40 - Lançamento de efluentes nas ruas de Bayeux (A) (outubro de 2016) e Itabaiana (B) (agosto de 2017), próximas ao Rio Paraíba.



Imagens: Alinne Gurjão A (2016), B (2017).

A clorofila-*a*, um indicador de biomassa microalgal, é frequentemente utilizada como indicadora do nível de eutrofização dos mananciais. Nos pontos de coleta que apresentaram baixas concentrações de clorofila-*a* (P2 e P3), foram observadas grandes quantidades de macrófitas aquáticas, que estariam realizando a assimilação de nutrientes na água e competindo com o fitoplâncton.

O fato do Açude Presidente Epitácio Pessoa ter sido o que manteve melhor qualidade de água está também relacionado com a sua profundidade e volume de

água. Com a grande seca que atingiu a região, este foi o que conseguiu manter mais água armazenada em comparação com os açudes Poções e Camalaú, sendo o Açude Poções o que apresentou o menor volume armazenado. O Açude Argemiro de Figueiredo, apesar de manter um bom volume de água, mantém historicamente característica supereutrófica, em razão das condições de sua construção (OLIVEIRA e CEBALLOS, 2014), a jusante do Rio Paraibinha, que recebe os efluentes da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) de Campina Grande.

Apesar das concentrações de nutrientes serem baixas nos pontos P2 e P3 e a transparência elevada, características de ambientes menos eutrofizados, os nutrientes estão presentes nesses dois reservatórios, armazenados, principalmente, nas macrófitas submersas, que apresentaram grandes assembleias em toda a região litorânea. Estas, juntamente com o biofilme que se instala sobre elas, auxiliam na diminuição dos nutrientes, revertendo o estado trófico dos açudes. No entanto, a água está momentaneamente de melhor qualidade, porque os nutrientes estão lá presentes, embora dentro da biomassa das macrófitas. Na ausência do peixe tucunaré ocorrerá a diminuição da transparência da água, induzindo a morte das macrófitas submersas e os nutrientes serão direcionados novamente para o fitoplâncton, revertendo-se a situação novamente para um estado de elevada eutrofização. Daí a necessidade desta assembleia ser inserida nos cálculos de índices de estado trófico, para alertar sobre a necessidade de manejo da qualidade de água.

Trabalhos anteriores realizados nos reservatórios estudados atestaram as características eutróficas (Açude Poções – P1); de mesotrófico a eutrófico (Açude Camalaú – P2); de oligotrófico a mesotrófico (Açude Presidente Epitácio Pessoa – P3); e de eutrófico a hipereutrófico (Açude Argemiro de Figueiredo – P4) (BARBOSA e MENDES, 2004; LINS, 2006; LUNA, 2008). Com o agravamento da seca e diminuição dos volumes de águas armazenados nos reservatórios e consequente concentração de nutrientes, já era esperado o aumento nos processos de eutrofização desses ambientes.

Em relação aos pontos localizados no leito do rio, o P6 manteve a melhor qualidade de água, em função da maior distância do Açude Argemiro de Figueiredo, juntamente com a presença de bancos de macrófitas entre os P4 e P6, que auxiliaram na depuração do rio, absorvendo nutrientes. Por outro lado, como o P6 está localizado no Rio Paraíba, após a cidade de Salgado de São Félix e está

melhor que antes de passar pela cidade, isso revela que o efeito depurador das macrófitas é mais forte que o efeito do lançamento de esgotos pela cidade, que apresenta uma baixa densidade populacional.

A eutrofização dos sistemas aquáticos pode afetar a vida dos organismos aeróbios (em função da diminuição do  $O_2$ ), pois provoca o florescimento de algas e crescimento incontrolável de outras plantas aquáticas; a produção de substâncias tóxicas por algumas espécies de cianobactérias; elevadas concentrações de matéria orgânica (que se tratadas com cloro, podem criar compostos carcinogênicos); além da restrição ao acesso à pesca e a atividades recreativas (TUNDISI, 1986). No Rio Paraíba observam-se oscilações em relação ao estágio de trofia, prevalecendo estados eutróficos e supereutróficos, revelando a degradação da qualidade da água e preocupação em relação à sua utilização. Espera-se que com o aumento do volume das águas nos açudes e na calha do rio, em consequência da transposição das águas do Rio São Francisco, a qualidade da água melhore e, conseqüentemente, diminua o IET. Por outro lado, verifica-se a necessidade de gestão das águas, e principalmente do tratamento de efluentes líquidos (esgotos), que demonstraram interferir mais negativamente na qualidade de água do rio que a poluição difusa, de maneira a garantir uma melhor qualidade de água e incorporar efetivamente este rio na Classe 2.

A ACP evidenciou diferenças entre os reservatórios estudados, apresentando os pontos P1 e P4 maiores valores de OD, entretanto, com maiores concentrações de nutrientes, o que demonstra menor qualidade de água. Os pontos P2 e P3 ainda que tenham sido relacionados com menores valores de OD, apresentaram menores concentrações das outras variáveis, podendo indicar melhor qualidade das águas. Essa diferença de concentrações de oxigênio esteve diretamente relacionada com as concentrações de clorofila-*a*, do fitoplâncton, que cresce mais em ambientes mais eutrofizados. Observa-se também a distinção na distribuição em relação aos pontos localizados no rio após as cidades (P6, P8, P10 e P12) direcionada por elevadas concentrações de nutrientes; e os pontos localizados antes das cidades (P5, P7, P9 e P11), com menores concentrações de nutrientes. Isso demonstra claramente a interferência negativa de cada aglomerado urbano, principalmente os com maior densidade populacional, como Itabaiana, Santa Rita e Bayeux.

## 7.5 CONCLUSÕES

O Rio Paraíba apresenta desconformidade em relação aos padrões de qualidade de água estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, para águas de Classe 2, nas variáveis OD, pH, amônia, fósforo total e clorofila-a, principalmente nos pontos localizados após as cidades de Itabaiana (P8) e Santa Rita/Bayeux (P12) evidenciando a influência dos aglomerados urbanos na qualidade das águas e a necessidade de investir em tecnologias de coleta e tratamento de efluentes urbanos, objetivando a manutenção dos ecossistemas aquáticos e a disponibilidade de água com qualidade para os diversos usos, ou na implantação de fossas ecológicas, eficientes e menos onerosas.

Em relação ao ÍET, ao longo do rio prevaleceram condições eutróficas, supereutróficas e hipereutróficas. As melhores condições (mesotrofia) foram observadas nos pontos P3 e P6, e estiveram associadas a grandes densidades de macrófitas. As macrófitas submersas juntamente com o biofilme que se instala sobre elas auxiliaram na diminuição dos nutrientes, melhorando o estado trófico do ambiente. Nos açudes com muitas macrófitas submersas, a água apresenta momentaneamente melhor qualidade, porque os nutrientes estão presentes na biomassa das macrófitas. Com eventos de seca dos açudes, em que o peixe tucunaré não sobreviva, para manter efeitos *Top Down* sobre o fitoplâncton e favorecer o aumento da transparência e de macrófitas submersas, que manterão estados alternativos de águas claras, espera-se reversão desta situação. Com a diminuição da transparência da água e a consequente morte das macrófitas, os nutrientes serão direcionados novamente para o fitoplâncton, revertendo-se a situação para um estado de elevada eutrofização, semelhante aos outros açudes que não têm esse predador.

Há a necessidade de reverem-se os parâmetros utilizados na classificação dos corpos hídricos, que são geralmente baseados em dados de clorofila-a e densidade do fitoplâncton, quando outros caminhos na dinâmica ecossistêmica em reservatórios do semiárido podem ocorrer, como no caso de alguns açudes em estudo, em que os nutrientes estiveram armazenados na biomassa das macrófitas submersas.

## REFERÊNCIAS

- AESA. **Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba - AESA**. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/>> Acesso em outubro de 2018.
- ATTAYDE, J. L. .; BRASIL, J. .; MENESCAL, R. A. . Impacts of introducing Nile tilapia on the fisheries of a tropical reservoir in North-eastern Brazil. **Fisheries Management And Ecology**, v. 18, n. 6, p.437-443, 2011.
- BARBOSA, J. E. L.; MENDES, J. Estrutura da comunidade fitoplanctônica e aspectos físicos e químicos das águas do reservatório Acauã, semiárido paraibano...**Anais...** Reunião Brasileira de Ficologia, Salvador, 2004.
- BRASIL. **Lei Federal nº. 9.433 de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Senado, Brasília.
- BRASIL. **Conselho Nacional de Meio Ambiente – Conama**. 2005. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.
- BARCELOS, A. A.; RAMALHO, F. L.; CABRAL, J. B. P.; ALVES, W. S.. Diagnóstico da qualidade das águas do córrego Sucuri (Caçu-Goiás). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, n.3, p. 750-766, 2017.
- BUCCI, M. H. S.; OLIVEIRA, L. F. C. A interferência das atividades antrópicas na qualidade da água em reservatório de abastecimento urbano. Estudo de caso: Represa dr. João Penido (Juiz de Fora, MG). **Eclética Química**, v. 37,n. 1, p. 9-22, 2012.
- BUCCI, M. H. S.; OLIVEIRA, L. F. C. Índices de Qualidade da Água e de Estado Trófico na Represa Dr. João Penido (Juiz de Fora, MG). **Rev. Ambient. Água**, v. 9 n. 1, p. 130-148, 2014.
- CRISPIM, M. C.; VIEIRA, D. M.; GURJÃO, A. O efeito da biota na qualidade de água. In: MESSIAS, A. S.; COSTA, L. **Rios Urbanos Limpos: possibilidades e desafios**. Recife: Fasa, 1º ed., 2017. 1616p.
- FIA, R.; TADEU, H.C.; MENEZES, J.P.C; FIA, F.R..L; OLIVEIRA, L.F.C. Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.20, n.2, p. 267 – 275, 2015.
- JACINTO JUNIOR, J. J. F.; BARBOSA, E. C. A. Avaliação da qualidade da água do rio Gramame ao longo do seu percurso no município de João Pessoa/PB. **Revista Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 97 - 105, 2016.
- JEPPENSEN, E.; LAURINDSEN, T.L.; KAIRESALO, T.; PERROW, M.R. 19. **“Impact of submerged macrophytes on fish-zooplankton interactions in lakes”**. In: Jeppensen, E. ed. The structuring role of submerged macrophytes in lakes. New York: Springer Verlag. p 91 – 114, 1997.

LAMPARELLI, M.C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento.** 238f. 2004. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, SP. 2004

LINS, R. P. M. **Limnologia da Barragem Acauã e seus codeterminantes socioeconômicos de seu entorno: Uma nova interação do limnólogo com sua área de estudo.** 135 f. 2006. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – PB. 2006.

LUNA, B. J. C. **Características espaço temporais do sistema de açude Acauã, e seu atual índice de estado trófico.** 118f. 2008. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – PB. 2008.

MAROTTA, H.; SANTOS, R. O.; ENRICH-PRAST, A. Monitoramento limnológico: um instrumento para a conservação dos recursos hídricos no planejamento e na gestão urbano-ambientais. **Ambiente & Sociedade**, v. 11, n. 1, p. 67-79, 2008.

OLIVEIRA, M. C. N.; CEBALLOS, B. S. O. Níveis de eutrofização de um reservatório localizado no Semiárido paraibano. **Anais...** Congresso Nordestino de Biólogos - Vol. 4: Congrebio 2014

PINTO, A. L.; OLIVEIRA, G. H.; PEREIRA, G. A. Avaliação da eficiência da utilização do Oxigênio Dissolvido como principal indicador da qualidade das águas superficiais da bacia do córrego Bom Jardim, Brasilândia/MS. **Rev. GEOMAE**, v.1, n.1, p.69-82, 2010.

SCHEFFER, M. **Ecology of shallow lakes.** Chapman and Hall, London. 1998.

SILVA, M. B. R.; AZEVEDO, P. V.; ALVES, T. L. B. ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA. **Bol. Goia. Geogr. (Online)**, v. 34, n. 1, p. 35-53, 2014.

SOUZA, J. R.; MORAES, M. E. B.; SONODA, S. L.; SANTOS, H. C. R. G. A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. **REDE - Revista Eletrônica do Prodema**, v. 8, n. 1, p. 26-45, 2014.

STANSFIELD, J. H. et al. Submerged macrophytes as refuges for grazing Cladocera against fish predation: observations on seasonal changes in relation to macrophyte cover and predation pressure. **Hydrobiologia**, v. 342/343, p. 229-240, 1997.

TUNDISI, J. G. Ambiente, Represas e Barragens. **Ver. Ciência Hoje**, v. 5, n. 27, p. 48-54, 1986.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; PARESCHI, D. C. et al. A bacia hidrográfica do Tiete-Jacaré: estudo de caso em pesquisa e gerenciamento. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 159–172, 2008.

VAN DONK E; VAN DE BUND W.J. Impact of charophytes and other submerged macrophytes on phyto- and zooplankton communities: allelopathy versus other mechanisms. **Aquatic Botany**, v. 72, p. 261–274, 2002.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. In: Princípios de tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2017. 472p.

## 8 Capítulo 4 -

### IMPACTOS DO RIO SÃO FRANCISCO NA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO PARAÍBA APÓS A TRANSPOSIÇÃO

**Resumo:** O Projeto de Integração do Rio São Francisco foi uma das alternativas adotadas pelo Governo Federal para minimizar os efeitos da seca no semiárido brasileiro, aumentando a oferta de água e possibilitando a recarga e manutenção de águas nos reservatórios, principais fontes de água para a população. No estado da Paraíba as águas do Rio São Francisco integraram-se às águas do Rio Paraíba, reabastecendo os açudes da região. O conhecimento de possíveis alterações na qualidade da água em projetos de transposição é de suma importância para a gestão das águas, de forma a garantir o abastecimento das populações residentes nas áreas receptoras. Desse modo, o presente trabalho tem como objetivo avaliar os impactos da transposição do Rio São Francisco na qualidade da água nos reservatórios Poções (P1), Camalaú (P2) e Presidente Epitácio Pessoa (P3), na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, que receberam água do Rio São Francisco, até o momento do presente estudo. A transposição das águas do Rio São Francisco para o Rio Paraíba tem alterado a qualidade das águas nos reservatórios. Foi observado o aumento na concentração de nutrientes, principalmente fósforo total, fosfato e amônia nos três açudes estudados. Os valores de pH, OD e fósforo total atingiram valores em desconformidade com o preconizado na legislação para águas de Classe 2. A chegada das águas do Rio São Francisco alterou a transparência das águas no Rio Paraíba, principalmente nos açudes Poções (P1) e Camalaú (P2), o que resultou na diminuição das densidades de macrófitas submersas observadas nos açudes Camalaú (P2) e Presidente Epitácio Pessoa (P3). Ressalta-se que estes ambientes estão em processo de adaptação às novas condições, requerendo mais estudos ao longo do tempo, para averiguar os impactos provenientes deste processo de transposição, após a estabilização dos sistemas aquáticos.

**Palavras-chave:** Transposição de águas; Qualidade de água; Macrófitas.

**Abstract:** The São Francisco River Integration Project was one of the alternatives adopted by the Federal Government to minimize the effects of drought in the Brazilian semi-arid region, increasing the water supply and making it possible to recharge and maintain water in reservoirs, the main sources of water for the population. In the state of Paraíba the waters of the São Francisco River integrated into the waters of the Paraíba River, replenishing the reservoirs of the region. Knowledge of possible changes in water quality in transposition projects is of paramount importance for water management, so as to guarantee the supply of the populations living in the receiving areas. The objective of this study was to evaluate the impacts of the São Francisco River transposition on water quality in the Poções (P1), Camalaú (P2) and Presidente Epitácio Pessoa (P3) reservoirs in the Paraíba River Basin, the São Francisco River, until the present study. The transposition of the waters of the São Francisco River to the Paraíba River has altered the quality of the water in the reservoirs. It was observed the increase in nutrient concentration, mainly total phosphorus, phosphate and ammonia in the three reservoirs studied. The values of pH, OD and total phosphorus reached values in disagreement with that recommended in the legislation for Class 2 waters. The arrival of waters of the São Francisco River altered the transparency of waters in the Paraíba River, mainly in the Poções (P1) and Camalaú (P2), which resulted in a decrease in submerged macrophyte densities observed in Camalaú (P2) and Presidente Epitácio Pessoa (P3) reservoirs. It should be noted that these environments are in the process of adapting to the new conditions, requiring more studies over time, to ascertain the impacts arising from this transposition process, after the stabilization of the aquatic systems.

**Keywords:** Water transposition; Water quality; Macrophytes.

## 8.1 INTRODUÇÃO

A água é um dos componentes mais importantes da biosfera, constituindo-se como elemento fundamental dos organismos vivos, sem a qual a vida não seria possível. É indispensável ao desenvolvimento das atividades humanas, seja para necessidades pessoais, atividades econômicas, agrícolas, industriais ou sociais.

O Brasil apresenta elevada disponibilidade hídrica em seu território (aproximadamente 12% da água doce do mundo). Entretanto, a maior oferta de água no país é observada na Região Norte (cerca de 80%) que apresenta uma baixa concentração populacional, enquanto a Região Nordeste, que dispõe apenas de 3% da água doce do país e elevada densidade populacional, sofre restrições hídricas severas (ANDRADE et al., 2011; ROSSONI et al., 2013; VEIGA e MAGRINI, 2013; SILVA et al., 2014).

O semiárido brasileiro é composto por 1.262 municípios, dos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais. A região é caracterizada pela baixa precipitação pluviométrica e distribuição irregular das chuvas, em geral concentradas entre dois e quatro meses por ano; elevada evapotranspiração; e solos impermeáveis que dificultam a acumulação de águas subterrâneas (AZEVEDO et al., 2005; ALMEIDA et al., 2013; ZANELA, 2014), resultando na formação de uma rede hidrográfica constituída majoritariamente por rios intermitentes, afetando a qualidade e disponibilidade da água na região (MELO et al., 2012).

Os reservatórios são amplamente distribuídos no nordeste brasileiro, constituindo-se como a principal estratégia de acúmulo de água para ser utilizada durante as épocas de estiagem. São fundamentais para o desenvolvimento da região, e suas águas são utilizadas para diversos fins, como: consumo humano, animal, industrial, para irrigação, navegação e piscicultura (ALMEIDA et al., 2009; LIMA et al., 2012). Além disso, Azevedo et al. (2015) afirmaram que a disponibilidade de água no reservatório nos tempos de estiagem contribui para a manutenção da biodiversidade, sendo importantes refúgios para diversas espécies.

O estado da Paraíba, como as demais regiões semiáridas do país, sofre com longos períodos de estiagem, que associadas às elevadas demandas para os diferentes usos, resultam na diminuição progressiva das águas acumuladas nos reservatórios. Assim, em longos períodos de seca, são comuns problemas relacionados com o abastecimento das cidades, com a adoção de medidas de

acionamento de águas; problemas de qualidade das águas em função dos baixos volumes armazenados; ou mesmo o colapso do sistema de abastecimento, quando os reservatórios secam completamente.

Diante dessa problemática evidenciada na Região Nordeste, o Projeto de Integração do Rio São Francisco foi uma das alternativas adotadas pelo Governo Federal para minimizar os efeitos da seca no semiárido brasileiro, aumentando a oferta de água para o Nordeste Setentrional e possibilitando a recarga e manutenção de águas nos reservatórios, principais fontes de água para a população.

No estado da Paraíba as águas começaram a entrar no Açude Poções em março de 2017, e para ofertá-las mais rapidamente para outras regiões a jusante, os açudes Poções e Camalaú tiveram aberturas em suas paredes para possibilitar a passagem das águas para o Açude Presidente Epitácio Pessoa, que responde pela maior demanda hídrica da bacia, e estava próximo ao colapso. No mês de abril de 2017 o Açude Presidente Epitácio Pessoa começou a receber recarga de água e o racionamento (implantado em dezembro de 2014) foi suspenso no mês de setembro de 2017, quando o açude ultrapassou o volume morto.

A transposição de água entre bacias hidrográficas é um método de manejo empregado em diversos países (ROSSITER et al., 2015) mas, em geral, é norteado por diversos conflitos em relação, principalmente, à manutenção da qualidade da água e dos ecossistemas. Segundo Gunkel et al. (2015) os principais problemas associados à transposição de águas são a perda de água na bacia original, a qualidade insuficiente da água no rio e no reservatório receptor após a transposição, a mudança da qualidade da água no canal de transporte, efeitos de bombeamento nos animais e microrganismos da água e invasão de espécies não nativas.

O conhecimento de possíveis alterações na qualidade da água em projetos de transposição é de suma importância para a gestão das águas, de forma a garantir o abastecimento das populações residentes nas áreas receptoras. Desse modo, o presente trabalho tem como objetivo avaliar os impactos da transposição do Rio São Francisco na qualidade da água nos reservatórios Poções, Camalaú e Presidente Epitácio Pessoa, na bacia hidrográfica do Rio Paraíba.

## **8.2 METODOLOGIA**

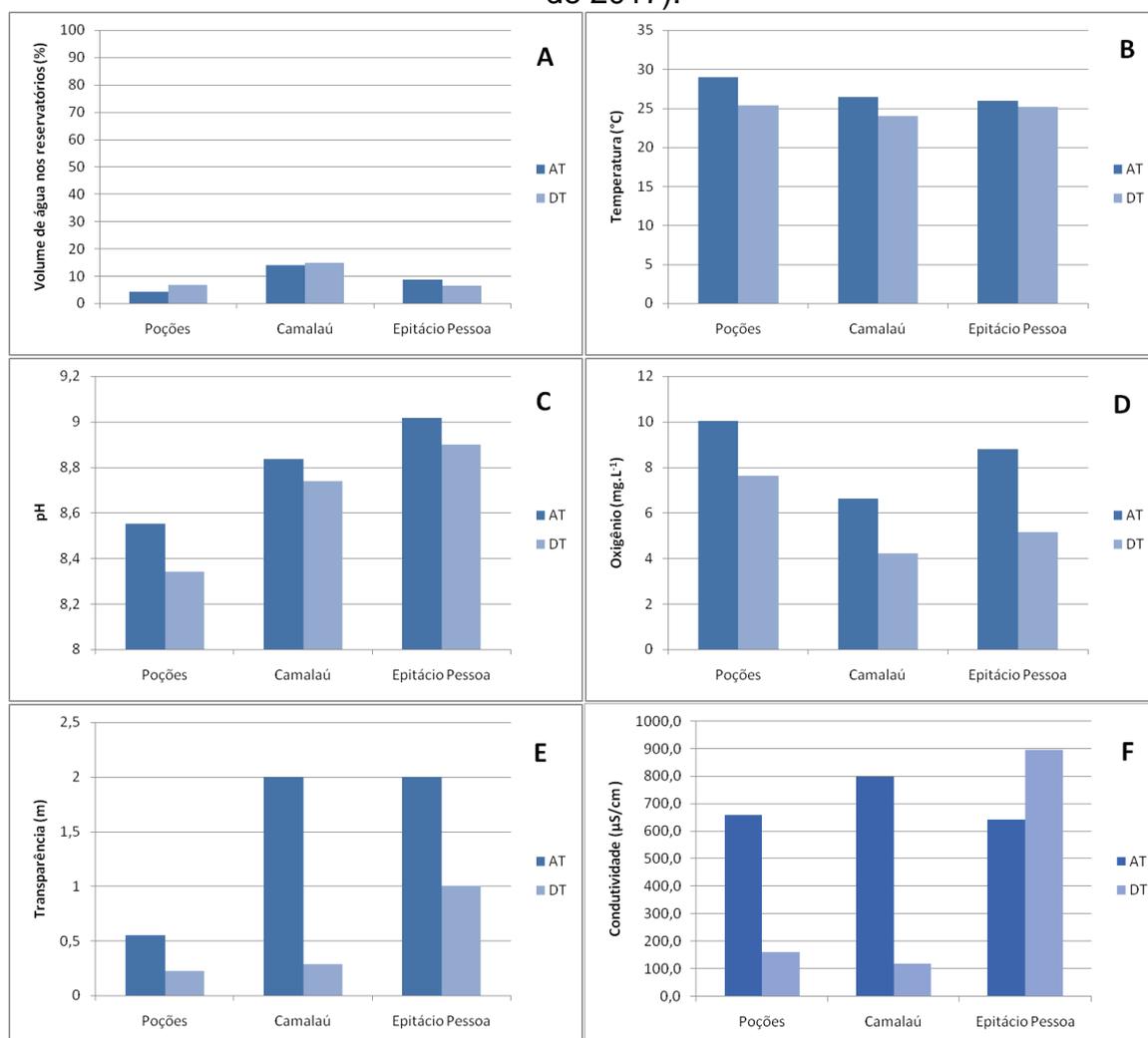
As metodologias utilizadas no presente trabalho, a área de estudo e os locais de coleta de água foram previamente descritos nas páginas 55-70.

Foram selecionados três pontos de coleta, uma vez que apenas os três reservatórios, P1 (Açude Poções), P2 (Açude Camalaú) e P3 (Açude Presidente Epitácio Pessoa) receberam água do Rio São Francisco, até o momento do presente estudo.

### 8.3 RESULTADOS

O resultado dos parâmetros físicos e químicos das análises em amostras de água nos reservatórios Poções (P1), Camalaú (P2) e Presidente Epitácio Pessoa (P3) encontram-se representados nas Figuras 41 e 42.

Figura 41 - Volume armazenado (A); Temperatura (B); pH (C); Oxigênio Dissolvido (D), Transparência (E) e Condutividade Elétrica (F) no P1 – Açude Poções, P2 – Açude Camalaú e P3 – Açude Presidente Epitácio Pessoa, antes da transposição (AT) (maio e julho de 2016) e depois da transposição (DT) das águas (maio e julho de 2017).



A normalidade dos dados foi verificada por meio da execução de teste de normalidade. Como os dados não apresentaram distribuição normal, optou-se por usar o teste t. O teste t só demonstrou diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) após a transposição do Rio São Francisco para os seguintes parâmetros: transparência

( $p=0,01$ ) e CE ( $p=0,02$ ). A temperatura ( $p=0,80$ ), pH ( $p=0,29$ ) e OD ( $p=0,20$ ) não apresentaram diferenças significativas.

Com o aporte de água do Rio São Francisco observou-se o aumento no volume de água nos reservatórios Poções (P1), Camalaú (P2) e Presidente Epitácio Pessoa (P3) atingindo 6%, 14% e 7,7% de suas capacidades, respectivamente, no período monitorado. Os volumes dos reservatórios estão apresentados na Figura 41-A.

Em relação à temperatura da água observou-se uma diminuição após a transposição das águas, com médias entre 24°C e 28,8°C (Figura 41-B).

Os valores médios de pH estiveram entre 8,3 no P1 e 9,0 no P3, dentro dos padrões recomendados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas de Classe 2 (BRASIL, 2005). Observa-se, entretanto, que o P1 (julho de 2016) e o P3 (maio de 2016) apresentaram valores ligeiramente superiores a 9,0 (9,3 e 9,1, respectivamente) (Figura 41-C).

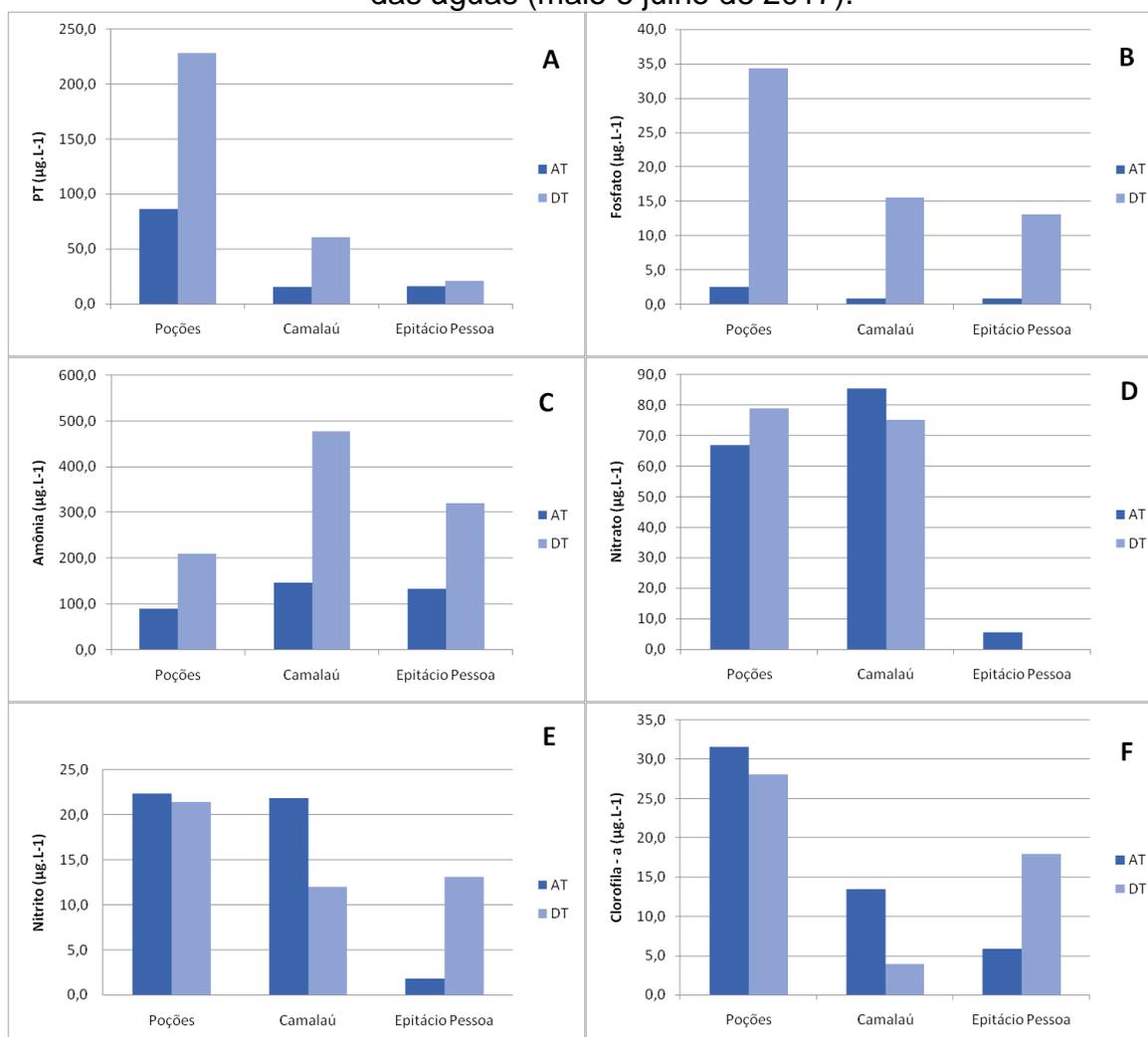
As concentrações de Oxigênio Dissolvido (OD) diminuíram após a chegada das águas do Rio São Francisco. Os valores de OD diminuíram de 10 mg.L<sup>-1</sup> para 7,8 mg.L<sup>-1</sup> no P1, de 6,8 mg.L<sup>-1</sup> para 4,2 mg.L<sup>-1</sup> no P2 e de 8,8 mg.L<sup>-1</sup> para 5,2 mg.L<sup>-1</sup> no P3. Os valores de OD estão apresentados na Figura 41-D.

A transparência diminuiu nos dois primeiros açudes da cascata, Poções (P1) e Camalaú (P2). Em Poções (P1) que já apresentava pouca penetração de luz, observou-se a diminuição da zona eufótica de 0,5m para 0,3m. Já o Açude Camalaú (P2) que apresentava águas bem transparentes antes da transposição (2m de profundidade), diminuiu a profundidade da zona eufótica para 0,3 m. No açude Presidente Epitácio Pessoa (P3), mesmo após a transposição, observou-se pequena alteração na transparência da água. As profundidades observadas nos três reservatórios estudados estão apresentadas na Figura 41-E.

Quanto à condutividade elétrica (CE) observou-se a diminuição de 660,42  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  para 161,27  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  no P1 e de 794,71  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  para 118,77  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  no P2. No P3 observou-se a maior concentração média de sais após a transposição (898,12  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), entretanto com diminuição dos valores de condutividade entre os meses de maio e julho de 2017 (de 1016,5  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  para 782,5  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) (Figura 41-F).

Os valores de fósforo total, fosfato, amônia, nitrato, nitrito e clorofila-a estão apresentados na Figura 42.

Figura 42 - Fósforo total (A), fosfato (B), amônia (C), nitrato (D), nitrito (E) e clorofila-a (F) nos açudes Poções – P1, Camalaú – P2 e Presidente Epitácio Pessoa – P3, antes da transposição (AT) (maio e julho de 2016) e depois da transposição (DT) das águas (maio e julho de 2017).



O teste t demonstrou diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) após a transposição do Rio São Francisco para os seguintes parâmetros fósforo total ( $p=0,008$ ), fosfato ( $p=0,006$ ), amônia ( $p=0,004$ ) e nitrato ( $p=0,003$ ). O nitrito ( $p=0,176$ ) e clorofila-a ( $p=0,842$ ) não apresentaram diferenças significativas.

Em relação ao nutriente fósforo, observou-se o aumento das concentrações das duas formas estudadas após a transposição das águas. Em relação ao fósforo total (PT), o Açude Poções – P1 apresentou as maiores concentrações antes e após a chegada das águas ( $86,17 \mu\text{g.L}^{-1}$  -  $228,25 \mu\text{g.L}^{-1}$ ), seguido pelo Açude Camalaú – P2 ( $15,06 \mu\text{g.L}^{-1}$  -  $60,51 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) e Açude Presidente Epitácio Pessoa – P3 ( $16,12 \mu\text{g.L}^{-1}$  -  $20,67 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) (Figura 42 – A). Para o Fosfato, as concentrações aumentaram

de  $0,45 \mu\text{g.L}^{-1}$  para  $34,34 \mu\text{g.L}^{-1}$  (P1), de  $0,79 \mu\text{g.L}^{-1}$  para  $15,50 \mu\text{g.L}^{-1}$  (P2) e de  $0,80 \mu\text{g.L}^{-1}$  para  $13,02 \mu\text{g.L}^{-1}$  (P3) (Figura 42 – B).

As concentrações de amônia também aumentaram após a chegada das águas do Rio São Francisco, passando de  $89,83 \mu\text{g.L}^{-1}$  para  $209,83 \mu\text{g.L}^{-1}$  (Poções - P1), de  $147,46 \mu\text{g.L}^{-1}$  para  $478,18 \mu\text{g.L}^{-1}$  (Camalaú - P2) e de  $133,61 \mu\text{g.L}^{-1}$  para  $320,09 \mu\text{g.L}^{-1}$  (Presidente Epitácio Pessoa - P3) (Figura 42 - C).

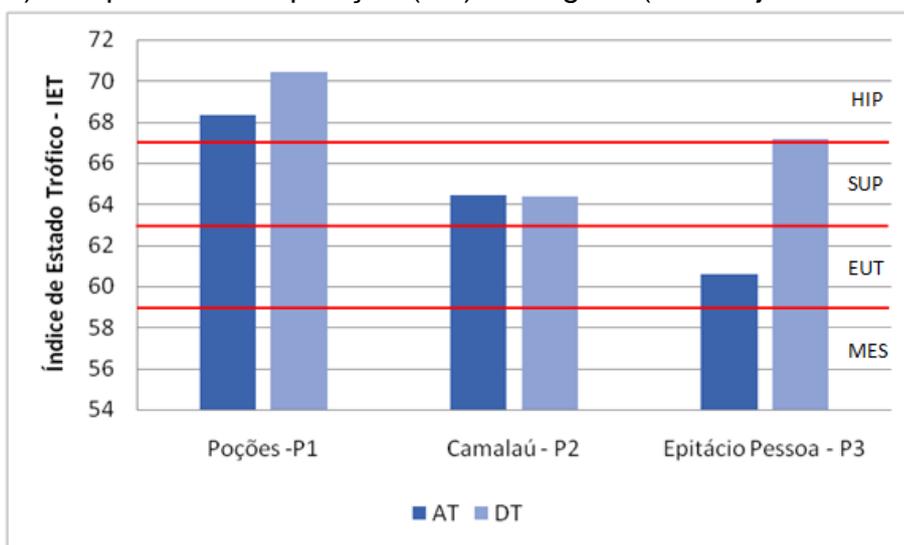
As variações nas concentrações de nitrato antes e depois da transposição foram mais sutis, observando-se o aumento dos valores em Poções - P1 (de  $66,94 \mu\text{g.L}^{-1}$  –  $79,00 \mu\text{g.L}^{-1}$ ), diminuição em Camalaú - P2 (de  $85,42 \mu\text{g.L}^{-1}$  –  $75,00 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) e em Presidente Epitácio Pessoa - P3, onde a concentração passou de  $5,43 \mu\text{g.L}^{-1}$  para  $0,00 \mu\text{g.L}^{-1}$  (valores não detectáveis) (Figura 42 - D). Já quanto ao nitrito observou-se a redução dos valores no P1 (de  $22,39 \mu\text{g.L}^{-1}$  para  $21,44 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) e no P2 ( $21,87 \mu\text{g.L}^{-1}$  para  $11,95 \mu\text{g.L}^{-1}$ ), e aumento no P3 ( $1,8 \mu\text{g.L}^{-1}$  para  $13,12 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) (Figura 42 - E).

Os maiores valores de clorofila-a foram observados no P1. Após o aporte das águas do Rio São Francisco, as concentrações de clorofila - a diminuíram no Açude Poções - P1 ( $31,60 \mu\text{g.L}^{-1}$  –  $28,07 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) e Camalaú - P2 ( $13,43 \mu\text{g.L}^{-1}$  –  $3,86 \mu\text{g.L}^{-1}$ ), e aumentaram no Açude Presidente Epitácio Pessoa - P3 ( $5,87 \mu\text{g.L}^{-1}$  –  $17,97 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) (Figura 42 - F).

O Índice de Estado Trófico (IET) foi elaborado com base nos resultados de clorofila - a e fósforo total. Como observado na Figura 43, o IET aumentou nos açudes Poções - P1 e Presidente Epitácio Pessoa - P3, e manteve-se no Açude Camalaú - P2. O Açude Poções (P1) já apresentava condições hipereutróficas antes da transposição, manteve-se após a chegada das águas do Rio São Francisco, mas com o aumento do IET nesse ambiente. O Açude Camalaú - P2 manteve-se supereutrófico após a entrada das novas águas. O Açude Presidente Epitácio Pessoa - P3 passou de eutrófico (AT) para supereutrófico (DT).

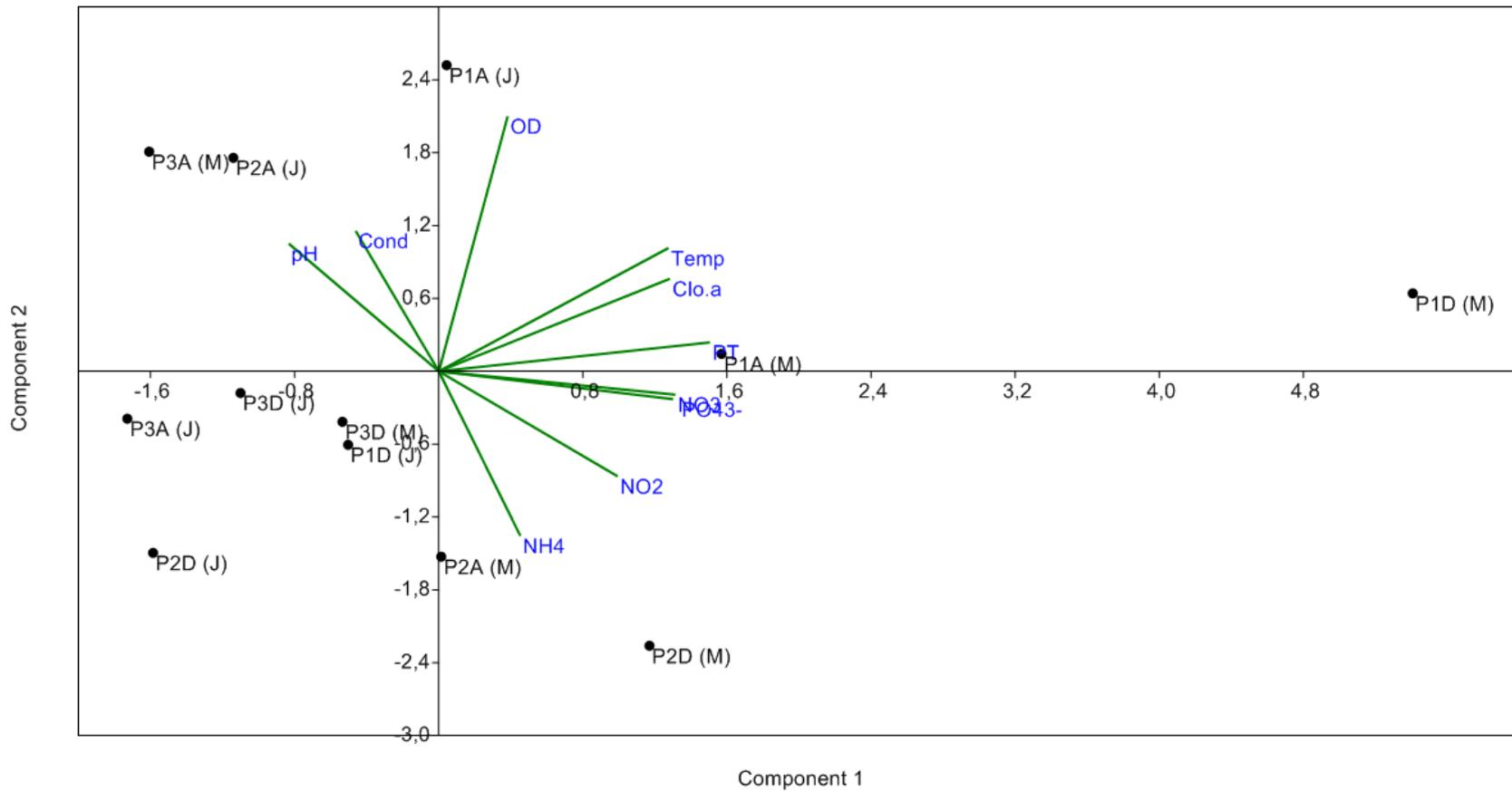
Os valores dos IET's para os açudes Poções – P1, Camalaú – P2 e Presidente Epitácio Pessoa – P3 estão apresentados na Figura 43.

Figura 43 - Índices de Estados Tróficos (IETs) dos açudes Poções – P1, Camalaú – P2 e Presidente Epitácio Pessoa – P3, antes da transposição (AT) (maio e julho de 2016) e depois da transposição (DT) das águas (maio e julho de 2017).



A Análise de Componentes Principais (ACP) (Figura 44) foi realizada com as 10 variáveis escolhidas para a avaliação da qualidade da água nos reservatórios antes e após a transposição do Rio São Francisco. A ACP das variáveis explicou 63,91% da variação dos dados por meio dos dois componentes principais, o Eixo 1: 41,70% e o Eixo 2: 22,21%. No Eixo 1 as variáveis mais representativas foram PT, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, clorofila-a, temperatura e NH<sub>4</sub>. No Eixo 2 foram OD, condutividade elétrica (Cond.) e pH.

Figura 44 - Ordenação espacial dos pontos de coleta P1 (Açude Poçoões), P2 (Açude Camalaú) e P3 (Açude Presidente Epitácio Pessoa), aplicada a parâmetros físicos, químicos e biológicos, realizados antes (A) e depois (D) da transposição, nos meses de maio (M) e julho (J) de 2016 e 2017.



No Açude Poções, os pontos P1A(M) e P1A(J) apresentaram distribuição no setor positivo da 1ª Componente, e no setor positivo da 2ª Componente. Na primeira coleta após a transposição das águas do Rio São Francisco, o P1D(M) manteve a sua distribuição, mas no mês de julho o P1D(J) apresentou-se nos setores negativos das Componentes 1 e 2, revelando menores valores de nutrientes, clorofila-a, pH, Condutividade elétrica e Oxigênio Dissolvido.

No Açude Camalaú, os pontos P2A(M) e P2D(M) apresentaram-se nas porções positiva da Componente 1 e negativa da Componente 2, associados a elevadas concentrações de nutrientes e baixos valores de pH, OD, Cond. e clorofila-a. O P2A(J) esteve associado a baixas concentrações de nutrientes (porção negativa da Componente 1) e elevados valores de clorofila-a, OD, pH, Cond. Já o P2D(J), localizado nos setores negativos das Componentes 1 e 2, está associado a concentrações relativamente mais baixas das variáveis estudadas.

No Açude Presidente Epitácio Pessoa (P3) os pontos P3A(J), P3D(M) e P3D(J) foram localizados nos setores negativos das componentes. O P3A(M), localizado no setor negativo da componente 1 e positivo da componente 2, apresentou baixas concentrações de nutrientes, e elevadas concentrações de OD, clorofila-a, pH e condutividade elétrica (Cond.).

## 8.4 DISCUSSÃO

Os três açudes analisados apresentaram pouco volume de água armazenado durante o período estudado em consequência do longo período de seca na região (2011-2017). Com o aporte de água do Rio São Francisco observou-se o aumento no volume de água nos reservatórios Poções (P1) e Camalaú (P2), não acumulando um volume maior de água em função das rupturas realizadas nas paredes dos reservatórios com o objetivo de acelerar a passagem da água para o açude Presidente Epitácio Pessoa (P3). Este, último a receber as águas do Rio São Francisco, apresentou aumento gradativo no volume de água armazenado, atingindo 7,7% de sua capacidade até o último período amostrado. Os volumes de águas armazenados também ocorreram em consequência das precipitações pluviométricas na região (em menor porcentagem), repercutindo também sobre a temperatura da água, que segundo SOUZA et al. (2014), as temperaturas da água tendem a ser menores em função das precipitações, variando em função da temperatura ambiente.

Os valores de pH apresentaram-se predominantemente alcalinos, observando-se diminuição nos valores de pH após a chegada das águas da transposição. Trabalhos anteriores constataram que as águas do Rio São Francisco apresentam valores de pH entre 6 e 7,4 (SILVA et al., 2010; BATISTA et al., 2016), abaixo dos valores observados nas águas do Rio Paraíba antes da transposição (7,5 – 10,2) resultando na diminuição do pH das águas nos reservatórios. Os valores observados estiveram dentro dos padrões recomendados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas de Classe 2 (BRASIL, 2005), excetuando-se o P1 (julho de 2016) e o P3 (maio de 2016) que apresentaram valores ligeiramente superiores a 9,0 (9,3 e 9,1, respectivamente). Para Rossiter et al. (2015) valores superiores a 9,5 podem desencadear reações tóxicas aos organismos.

As concentrações de OD diminuíram após a chegada das águas do Rio São Francisco. Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, as águas de Classe 2 devem manter concentrações de OD superiores a 5mg.L<sup>-1</sup>. Concentrações iguais e inferiores ocorreram em maio de 2016 (antes da transposição) no P2, maio e julho de 2017 no P2 e em julho de 2017 no P3 (depois da transposição). Silva et al. (2010) e Gonçalves et al. (2011) obtiveram valores de OD no Rio São Francisco entre 2,5 - 7,3 mg.L<sup>-1</sup> e 5,2 - 8,8 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente. O Rio Paraíba, que permaneceu sem água durante longos anos, acumulou grande quantidade de matéria orgânica e

contaminantes, que foram carreados para o interior dos reservatórios, contribuindo para a diminuição das concentrações de OD observadas após a transposição. A baixa concentração de OD no P2 em maio de 2016 pode ser explicada pelo horário da coleta, realizada nas primeiras horas do dia. Ressalta-se que a diminuição da concentração de OD nos reservatórios esteve associada, também, com a diminuição da transparência das águas com a chegada da transposição, diminuindo a zona eufótica e conseqüentemente, a atividade fotossintética.

A transparência diminuiu nos dois primeiros açudes da cascata, Poções (P1) e Camalaú (P2). Essa diminuição da zona eufótica está associada ao aumento dos sedimentos que chegam aos reservatórios em função da passagem das águas, carreando grande quantidade de materiais para dentro dos reservatórios. No Açude Presidente Epitácio Pessoa (P3), mesmo após a transposição, observou-se pequena alteração na transparência da água. A profundidade de 1m observada após a transposição corresponde à profundidade total obtida no ponto de coleta, em função do baixo volume do reservatório.

Quanto à CE, ainda que os valores tenham diminuído em Poções (P1) e Camalaú (P2), em função do maior volume de água nos reservatórios, os valores observados são superiores a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , que segundo Von Sperling (2005) são característicos de ambientes impactados. No Rio São Francisco foram observados valores de CE variando entre 0  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  e 750  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , sendo o maior valor observado próximo a Petrolina (PE) (SILVA et al., 2010; GONÇALVES et al., 2011; BATISTA et al., 2016). No P3 (Açude Presidente Epitácio Pessoa) observou-se a maior concentração média de sais após a transposição, entretanto com diminuição dos valores de condutividade entre os meses de maio e julho de 2017 (de 1016,5  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  para 782,5  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) em virtude do maior volume de água acumulado resultando em menor concentração de sais. Ressalta-se que o açude, em função da diminuição do volume de água armazenado, vinha apresentando um acúmulo na concentração de sais, resultando em elevada CE (1325,5  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  em janeiro de 2017). Por outro lado, os ambientes aquáticos do semiárido são ricos em sais minerais, em consequência das condições geológicas e das elevadas taxas de evapotranspiração.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, a concentração máxima de fósforo total para águas de Classe 2 é de 30  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ , de modo que, com a chegada das águas da transposição, Poções - P1 e Camalaú - P2 ficaram acima dos limites

preconizados na legislação para o fósforo total. Para o fosfato, houve o maior aporte desse nutriente nos reservatórios, que apesar de não haver regulamentação para este parâmetro na legislação vigente (CONAMA 357/2005), representa uma preocupação em relação à qualidade das águas, intensificando os processos de eutrofização.

A forma de nitrogênio mais representativa encontrada foi a amônia. De acordo com a CETESB (2009), a concentração de nitrogênio amoniacal é indicativa de uma zona de decomposição ativa. A passagem da água pelo leito do rio, que estava anteriormente seco, pode carrear grande quantidade de materiais orgânicos, que decompostos pelos organismos aeróbios do sistema, pode resultar na redução do OD no meio. Além disso, com a passagem das águas, muitos nutrientes podem ser lixiviados para os reservatórios, aumentando as suas concentrações, como também observado em relação às formas de fósforo. Lembra-se que o Açude Poções (P1) recebe esgoto não tratado (40% dos esgotos gerados) da cidade de Monteiro, o que pode ter contribuído com o aporte de nutrientes. Com a abertura do paredão da barragem dos açudes de Poções e de Camalaú, a água que está sendo direcionada para jusante, é oriunda do hipolímnio, sendo esta geralmente rica em nutrientes e pouco oxigenada, o que pode também explicar a elevada concentração de nutrientes e baixa concentração de OD.

O aumento nas concentrações de nutrientes após o esvaziamento total e reenchimento de reservatórios é esperado. O mesmo foi observado por Crispim (1998) na Albufeira do Maranhão, em Portugal, visto que houve revolvimento dos sedimentos do reservatório no processo de reenchimento, mas após dois anos, período que demorou para encher novamente, essas concentrações diminuíram para valores abaixo do registrado antes do esvaziamento.

Ainda que em geral as concentrações de nutrientes apresentadas estejam de acordo com a legislação vigente, o aumento da disponibilidade destes nos açudes pode provocar aumento demasiado das comunidades fitoplanctônicas, acelerando a eutrofização e prejudicando a qualidade das águas. Com o aumento do fitoplâncton, e na ausência do tucunaré que não resiste à seca dos açudes, é esperado que os açudes Camalaú e Presidente Epitácio Pessoa aumentem o seu estado trófico.

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, o valor máximo de clorofila-a permitido é de 30  $\mu\text{g.L}^{-1}$  para águas de Classe 2. Após a chegada das águas do Rio São Francisco, foi observada em Poções - P1, a redução da concentração de

clorofila-a, adequando-se ao estabelecido na legislação (BRASIL, 2005). No entanto, monitoramento contínuo é necessário, visto que a diluição das águas está ocorrendo, mas quando o sistema aquático estabilizar-se, dois caminhos poderão ser seguidos: i) a produção primária ser direcionada para o fitoplâncton, e com a presença da tilápia (*Oreochromis niloticus*) nos açudes, o zooplâncton ser altamente predado por esta espécie de peixe, aumentando o fitoplâncton e tornando o ambiente eutrofizado (CRISPIM et al., 2017); ii) a produção primária ser direcionada para o crescimento de macrófitas submersas, que mantêm competição com o fitoplâncton e as águas transparentes. No entanto, essa situação só foi verificada com a presença do peixe tucunaré (*Cichla ocellaris*), que controla as populações de tilápia, evitando o aumento de microalgas do fitoplâncton (CRISPIM et al., 2017).

Associada ao aumento da concentração de nutrientes, a chegada das águas do Rio São Francisco alterou a transparência da água anteriormente observada nos açudes Poções - P1 e Camalaú - P2, com isso diminuiu a zona eufótica, onde ocorre o processo de fotossíntese. No Açude Presidente Epitácio Pessoa - P3 foi observada pouca alteração na transparência da água, até o período estudado, e aparentemente a elevação da disponibilidade de nutrientes possibilitou o aumento da biomassa microalgal, indicada pela clorofila-a. A diminuição da transparência poderá favorecer o caminho da produção primária primordialmente para o fitoplâncton, aumentando a eutrofização, visto que a instalação de macrófitas submersas requer águas transparentes.

Com a chegada das águas do Rio São Francisco observou-se a redução significativa de macrófitas submersas (*Egeria* sp.) presentes nos açudes Camalaú - P2 e Presidente Epitácio Pessoa - P3 antes da transposição (Figura 45). Cavenagui (2003) em um estudo no Rio Tietê, no estado de São Paulo, associou a presença de *Egeria* sp. à maior transparência da água. Assim, com a chegada das novas águas e diminuição da transparência, diminuiu a densidade dessas macrófitas nos reservatórios, o que pode ter interferido também nas condições de oxigenação da água, para além da inserção de nutrientes originada da sua decomposição.

Figura 45 - Macrófitas submersas nos açudes Camalaú – P2 e Presidente Epitácio Pessoa – P3, antes da transposição (A e B) e após a transposição (C e D), respectivamente.



Imagens: Alinne Gurjão (2016) (2017)

O Índice de Estado Trófico (IET) classifica os corpos de água quanto ao seu enriquecimento por nutrientes e seu efeito no crescimento excessivo de algas e cianobactérias. Em Poções (P1) o PT foi a principal componente responsável pelo aumento do IET, uma vez que a concentração deste nutriente aumentou 164,64% após a transposição, enquanto foi observada a redução dos valores de colorila-a, mantendo-se hipereutrófico. O aumento das concentrações de fósforo não seguidas do aumento da clorofila-a é em consequência do aumento da turbidez, que limita o crescimento algal, no entanto, com a deposição do material particulado da água, espera-se que os nutrientes sejam aproveitados pelo fitoplâncton, aumentando a sua produtividade e biomassa algal e reduzindo a transparência. O Açude Camalaú - P2 manteve-se supereutrófico após a entrada das novas águas, que semelhante ao ocorrido no Açude Poções - P1, o aumento do PT foi acompanhado da redução dos valores de colorila-a. Já no Açude Presidente Epitácio Pessoa - P3 foi observado o aumento dos valores de PT e clorofila-a, resultando no aumento do IET, que passou de eutrófico (AT) para supereutrófico (DT). Em todos os casos observa-se IET's elevados, que podem ser associados a águas de qualidade inferior.

De acordo com trabalhos anteriores o Açude Poções – P1 foi caracterizado como eutrófico, Camalaú – P2 com IET variando entre mesotrófico e eutrófico, e o Presidente Epitácio Pessoa – P3 entre oligotrófico e mesotrófico (SILVA, 2012; SILVA JUNIOR, 2013). Os dados obtidos no presente trabalho mostram a diminuição da qualidade das águas relacionadas ao IET, que mesmo com o

aumento do volume das águas armazenadas, não foi observada a melhoria nos estados de trofia dos reservatórios, o que pode ser um processo temporário, pela entrada de novas águas, que revolvem os sedimentos. É possível que quando os açudes estiverem mais cheios, e mais estáveis, com a deposição desses nutrientes, os estados tróficos dos açudes diminuam, embora os P2 e P3 possam aumentá-los, pela não ocorrência de macrófitas submersas, que absorvem os nutrientes, em consequência da ausência do piscívoro tucunaré, que não vai mais controlar as populações de peixes planctívoros.

## 8.5 CONCLUSÕES

A transposição das águas do Rio São Francisco para o Rio Paraíba tem alterado a qualidade das águas nos reservatórios. Foi observado o aumento na concentração de nutrientes, principalmente fósforo total, fosfato e amônia nos três açudes estudados (Poções – P1, Camalaú – P2 e Presidente Epitácio Pessoa – P3), de nitrato no Açude Poções – P1 e de nitrito no Presidente Epitácio Pessoa – P3.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005 estiveram fora dos padrões analisados: o pH no Açude Poções – P1 e Presidente Epitácio Pessoa antes da transposição; o OD em Camalaú – P2 em maio de 2016, maio e julho de 2017, e no Presidente Epitácio Pessoa – P3 em julho de 2017; fósforo total em Poções – P1 e Camalaú – P2 após a transposição. Todas as amostras de amônia, nitrito e nitrato estiveram dentro dos padrões preconizados pelo CONAMA.

Ainda que elevadas concentrações de nutrientes possam provocar o aumento da densidade das comunidades fitoplanctônicas, observou-se a diminuição da clorofila-*a* nos açudes Poções – P1 e Camalaú – P2, possivelmente em virtude da diminuição da transparência das águas observada nestes açudes. No Açude Presidente Epitácio Pessoa – P3, que apresentou águas mais transparentes do que os outros açudes estudados após a transposição, o aumento das concentrações de nutrientes foi acompanhado do aumento da clorofila-*a*.

A diminuição da transparência da água também resultou na diminuição das densidades de macrófitas submersas observadas nos açudes Camalaú – P2 e Presidente Epitácio Pessoa – P3 antes da transposição. A diminuição ou quase extinção desses organismos na água pode interferir nas concentrações de OD nesses ambientes.

Com a chegada das águas do Rio São Francisco não foi observada melhoria nos IET's dos reservatórios estudados. O aumento da concentração dos nutrientes intensificou os processos de eutrofização dos açudes.

Como cada açude apresentava características diferentes antes da transposição, a entrada das águas do Rio São Francisco nestes sistemas provocou alterações diferentes entre eles. Ressalta-se ainda que estes estão em processo de adaptação às novas condições, requerendo mais estudos ao longo do tempo, para averiguar os impactos provenientes deste processo de transposição, após a estabilização dos sistemas aquáticos.

É importante acompanhar a dinâmica destes ecossistemas na presença e ausência do tucunaré, para entender o efeito em cascata (*Top down*) provocado por esta espécie, que ao que tudo indica é uma espécie-chave nos ecossistemas aquáticos em reservatórios, tendo capacidade de alterar todo o ecossistema.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, H. A.; FREITAS, R. C.; SILVA, L. Determinação de períodos secos e chuvosos em duas microrregiões da Paraíba através da técnica dos quantis. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 30, No. 1, 2013.
- ALMEIDA, V. L. S.; DANTAS, E. W.; MELO-JUNIOR, M.; BITTERN COURT-OLIVEIRA, M.C. ; MOURA, A. N. Zooplanktonic community of six reservoirs in northeast Brazil. **Braz. J. Biol.**, v. 69, n. 1, p. 57-65, 2009.
- ANDRADE, J. G. P.; BARBOSA, P. S. F.; SOUZA, L. C. A.; MAKINO, D. L. Interbasin Water Transfers: The Brazilian Experience and International Case Comparisons. **Water Resour Manage**, v. 25, n. 1, p. 25 – 1925, 2011.
- AZEVEDO, D.J.S.; BARBOSA, J.E.L.; GOMES, W.I.A.; PORTO, D.E.; MARQUES, J.C.; MOLOZZI, J. Diversity measures in macroinvertebrate and zooplankton communities related to the trophic status of subtropical reservoirs: Contradictory or complementary responses? **Ecological Indicators**, v. 50, n. 1, p. 135–149, 2015.
- AZEVEDO, L.G.T.; PORTO, R.L.L.; MELLO JR., A.V.; PEREIRA, J.G.; ARROBAS, D.L.P.; NORONHA, L.C.; PEREIRA, L.P. **Transferência de Água entre Bacias Hidrográficas**. 1ª Edição. Brasília, 2005.
- BATISTA, P. H. D.; FEITOSA, A. K.; LEITE, F. E.; SALES, M. M.; SILVA, K. B. Avaliação da qualidade das águas dos rios São Francisco e Jaguaribe para fins de irrigação. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.12, n.1, p.48-54, 2016.
- BRASIL (2005) **Conselho Nacional de Meio Ambiente – Conama**. 2005. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.
- CAVENAGHI, A. L. **Caracterização da qualidade de água e sedimento relacionados com a ocorrência de plantas aquáticas em cinco reservatórios da bacia do Rio Tietê**. 2003. 80f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Agronomia), UNESP, Botucatu, 2003.
- CETESB. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. Relatório Técnico. CETESB, 2009, 46p.
- CRISPIM, M. C.; VIEIRA, D. M.; GURJÃO, A. O efeito da biota na qualidade de água. In: MESSIAS, A. S.; COSTA, L. **Rios Urbanos Limpos: possibilidades e desafios**. Recife: Fasa, 1º ed., 2017. 1616p.
- CRISPIM, M. C. 1998. **Estudo do impacto do esvaziamento da albufeira do Maranhão sobre a comunidade zooplanctônica- principais relações bióticas que afetam os cladóceros**. 1998. 183f. Tese (Doutorado), Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa – PT, 1998.
- GONÇALVES, S. P. P.; SOUTO, D. O.; VIGLIO, E. P.; FILHO, H. B. Qualidade da água superficial do Rio São Francisco entre a foz do Rio das Velhas - MG e Rio

Carinhanha - BA: parâmetros físico-químicos....**Anais...XIII Congresso Brasileiro de Geoquímica**. 9 – 14 de outubro de 2011, Gramado, RS, Brasil.

GUNKEL, G.; LIMA, D.; SELGE, F.; SOBRAL, M.; CALADO, S. Aquatic ecosystem services of reservoir in semi-arid areas: sustainability and reservoir management. **River Basin Management VIII**, v. 197, p. 187-200, 2015.

LIMA, S. M. S.; BARBOSA, L. G.; CRUZ, P. S.; WANDERLEY, S. L.; CEBALLOS, B. S. O. Dinâmica funcional de reservatórios de usos múltiplos da região semiárida/Paraíba-Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 4, p. 18-25, 2012.

MELO, G.; MORAIS, M.; SOBRAL, M. C.; GUNKEL, G.; CARVALHO, R. Influência de Variáveis Ambientais na Comunidade Fitoplanctônica nos Reservatórios Receptores do Projeto de Integração do Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 1, p. 1300-1316, 2012.

ROSSISTER, K.W.L.; BENACHOUR, M.; MATTA, E.; MORAIS, M.M.Q.M.M.; CALADO, S.C.S.; GUNKEL, G. Diagnóstico da qualidade da água ao longo Da transposição de um canal de concreto: Um estudo de caso do canal do sertão alagoano, Brasil. **RBCIAMB**, v.1, n.36, p. 145-154, 2015.

ROSSONI, F.P.; ROSSONI, H.A.V.; LIMA, S.E.P.B. Políticas públicas e conflito ambiental na bacia hidrográfica do rio São Francisco. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v.3, n.1, p.74-80, Julho, 2013.

SILVA, M. B. R.; AZEVEDO, P. V.; ALVES, T. L. B. ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA. **Bol. Goia. Geogr. (Online)**, v. 34, n. 1, p. 35-53, 2014.

SILVA JR., W. R. **Estudo do estado trófico em reservatório público de usos múltiplos em região do semiárido nordestino utilizando a técnica de modelagem computacional como ferramenta de gerenciamento da qualidade da água**. 2013. 85 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE. 2013.

SILVA, P. R. N. **Dinâmica espaço-temporal da comunidade fitoplanctônica de reservatórios em cascata na Bacia do Alto Rio Paraíba**. 2012. 48f. TCC (Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas), UEPB, Campina Grande, 2012.

SILVA, D. F.; GALVÍNCIO, J. D.; ALMEIDA, H. R. R. C. Variabilidade da qualidade de água na bacia hidrográfica do Rio São Francisco e atividades antrópicas relacionadas. **Qualit@s Revista Eletrônica**, v. 9, n. 3, 2010.

SOUZA, J. R.; MORAES, M. E. B.; SONODA, S. L.; SANTOS, H. C. R. G. A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. **REDE - Revista Eletrônica do Prodem**, v. 8, n. 1, p. 26-45, 2014.

VEIGA, E. L. B. E.; Magrini, A. The Brazilian Water Resources Management Policy: Fifteen Years of Success and Challenges. **Water Resour Manage**, v. 27, n.1, p. 2287-2302, 2013.

VON SPERLING, M. Introdução à **qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2005.

ZANELLA, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, Volume Especial, n.36, p. 126-142, 2014.

## 9 DISCUSSÃO GERAL

Nos dois primeiros capítulos dessa Tese foram apresentadas e discutidas as formas de utilização do solo nas áreas próximas às margens do Rio Paraíba. As principais formas de uso observadas (urbanização, agricultura, pecuária e piscicultura) foram identificadas por outros autores como importantes fontes de impactos à qualidade das águas (RIBEIRO et al., 2014; CUNHA et al., 2016; TANAKA et al., 2016).

Ainda que a agricultura tenha sido apontada, em 25% dos municípios estudados, como a atividade de maior impacto à qualidade das águas (principalmente pela utilização de agrotóxicos), durante o desenvolvimento deste trabalho a atividade apresentou-se extremamente reduzida, em função da severa escassez hídrica na região. O mesmo foi observado para a piscicultura, que, principalmente, quando praticada em tanques rede são responsáveis por alterar a qualidade das águas, aumentando a carga de nutrientes nos sistemas aquáticos (CRISPIM et al., 2013; MOURA et al., 2014) e favorecendo a eutrofização. Com as restrições implantadas para o uso da água, a atividade de piscicultura foi descontinuada, em função da pouca disponibilidade de água na bacia hidrográfica.

Diante disso, a urbanização foi o modo de uso do solo que apresentou maior impacto à qualidade das águas durante o período de estudo. Os pontos de coleta de água localizados a jusante dos centros urbanos foram os que apresentaram menor qualidade, como o P1 (Açude Poções) localizado 15 km a jusante da cidade de Monteiro (o que não permitiu o processo de autodepuração do rio) refletindo os impactos observados na cidade, principalmente da ausência e/ou ineficiência dos sistemas de coleta e tratamento de efluentes.

Como o lançamento de efluentes não tratados é constante ao longo da bacia hidrográfica do Rio Paraíba, como observado em P1 (Açude Poções), as concentrações de nutrientes após a cidade de Salgado de São Félix (P6), Itabaiana (P8) e Bayeux (P12) apresentaram-se bem elevadas em relação àquelas observadas nas águas coletadas antes desses aglomerados urbanos, com valores fora dos padrões preconizados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005). Esses resultados evidenciam a interferência negativa das cidades sobre a qualidade das águas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba, e a necessidade da adoção de medidas que minimizem os impactos gerados pela urbanização.

Em relação à qualidade das águas, duas variáveis biológicas foram identificadas: a presença do peixe tucunaré (*Cichla ocellaris*) e de macrófitas (*Egeria* sp.) como fatores associados à melhor qualidade da água. Nos açudes Camalaú (P2) e Presidente Epitácio Pessoa (P3) a presença desses dois organismos proporcionaram a diminuição da produtividade microalgal, e melhores condições de qualidade da água, sendo esses dois açudes, os que apresentaram IETs mais baixos.

A presença do peixe Tucunaré provoca um efeito “top-down” de biomanipulação, que ao se alimentar do peixe tilápia (*Oreochromis niloticus*) possibilita o desenvolvimento do zooplâncton maior, predadores do fitoplâncton, auxiliando na manutenção da transparência da água (CRISPIM et al., 2017), possibilitando o desenvolvimento de macrófitas submersas nesses ambientes. Vários autores têm reportado o papel da *Egeria* sp. no controle do fitoplâncton, seja através da competição por recursos ou pela produção de substâncias alelopáticas, e para a manutenção da transparência da água (JEPPESEN et al., 1997; STANSFIELD et al., 1997; SCHEFFER, 1998; VAN DONK; VAN DE BUND, 2002). Os açudes P2 e P3 apresentaram melhores qualidades de água, em relação aos outros dois reservatórios (P1 e P4), apresentando menores IETs.

No capítulo 2 do presente trabalho foram apresentadas propostas, em geral, de baixo custo e fácil operação, que podem ser implementadas na área de estudo com o objetivo de minimizar os efeitos do uso do solo sobre a qualidade das águas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. Algumas das propostas apresentadas já estavam sendo utilizadas, de formas pontuais, nas áreas estudadas próximas às margens do rio, como o desenvolvimento de agricultura orgânica, com sistemas de irrigação eficientes. Entretanto, essas práticas são pouco frequentes e com o agravamento da escassez hídrica, a atividade agrícola foi diminuindo progressivamente.

Ainda em relação à agricultura, propõe-se a adoção da fertirrigação, como adotada por piscicultores no município de Camalaú, que utilizavam as águas ricas em nutrientes provenientes dos tanques de cultivo para a irrigação de culturas agrícolas, evitando que os nutrientes fossem direcionados para o Açude Camalaú. Essa técnica é semelhante à adotada no sistema “Mandala” de produção (LUCENA et al., 2017), possibilitando a economia e reutilização de água e a produção de forma equilibrada.

Um dos principais impactos relacionados com a pecuária é a elevada geração de fezes e de rejeitos da produção. A realização de compostagem e a utilização de biodigestores são práticas sustentáveis de direcionamento desses resíduos, gerando subprodutos de interesse econômico e ambiental, através da produção de compostos orgânicos e de biogás. Um biodigestor foi observado em operação em uma residência rural no município de Monteiro, possibilitando o direcionamento correto das fezes de animais produzidas na propriedade e o aproveitamento do biogás para acender a chama do fogão. A sua utilização minimiza os efeitos da produção animal sobre a qualidade das águas, retendo os nutrientes que poderiam alcançar os rios, não contribuindo assim, para os processos de eutrofização (GOMES et al., 2014; SANTOS et al., 2017).

O lançamento de efluentes domésticos não tratados foi a principal fonte de impactos observada em relação à urbanização na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. Como há deficiência na coleta e tratamento de efluentes na área estudada, propõe-se a adoção de círculo de bananeiras e Tanque de Evapotranspiração (MARTINETTI et al., 2007; PAES et al., 2014) direcionando os efluentes ricos em nutrientes, que seriam destinados ao rio, a pequenas áreas produtivas, permitindo o tratamento das águas cinzas e negras (respectivamente) associada à produção de alimentos nesses sistemas. As tecnologias sociais indicadas, além de serem de baixo custo e fácil execução, são eficientes no tratamento desses efluentes, principais causadores da perda de qualidade das águas provenientes da transposição do Rio São Francisco no estado da Paraíba.

As águas da transposição do Rio São Francisco chegaram ao estado da Paraíba em abril de 2017. Para acelerar a chegada das águas ao Açude Presidente Epitácio Pessoa, as rupturas realizadas nas paredes dos açudes Poções (P1) e Camalaú (P2), transformando-os em açudes de nível ou de passagem, não possibilitaram o aumento dos volumes de água armazenados nesses reservatórios.

Com a entrada das águas nos sistemas ocorreu o aumento na concentração dos nutrientes, principalmente de fósforo total, fosfato e amônia, nos três açudes estudados. Com o aumento nas concentrações de PT, os pontos P1 e P2 estiveram em desacordo com o preconizado pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Bem como em relação ao OD nos pontos P2 e P3 (BRASIL, 2005).

A diminuição da transparência das águas observada nos açudes Poções (P1) e Camalaú (P2) pode explicar a diminuição das concentrações de clorofila-*a*, mesmo

com o aumento na concentração de nutrientes nesses reservatórios. O Açude Presidente Epitácio Pessoa (P3) manteve águas transparentes após a transposição, possibilitando o aumento da concentração de clorofila-*a* associado ao de nutrientes (PT) no reservatório.

O aumento da concentração de nutrientes (PT) proporcionou o aumento do IET no P1 (Açude Poções), ainda que não tenha havido o aumento da densidade de fitoplâncton. No P3 (Açude Presidente Epitácio Pessoa), o aumento do IET esteve associado ao aumento da concentração de clorofila-*a*, em resposta ao maior aporte de nutrientes ao sistema após a transposição das águas do rio São Francisco.

Ainda que não se tenha observado a efetiva melhoria na qualidade das águas nos açudes estudados (nos primeiros três meses de transposição avaliados), a chegada das águas do Rio São Francisco à bacia hidrográfica do Rio Paraíba, tornou a água disponível para a região e para as populações abastecidas pelos reservatórios, possibilitando a manutenção dessas comunidades na região.

## 10 CONCLUSÃO GERAL

Ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba foram identificados diversos usos dos solos responsáveis por alterar a qualidade das águas, relacionados, principalmente, a urbanização, agricultura, pecuária e piscicultura.

Alternativas de baixo custo, como a reutilização de águas, fossas ecológicas, tanques de evapotranspiração, círculo de bananeiras, biodigestores e biorremediação, podem ser adotadas, objetivando diminuir os impactos advindos dessas atividades observadas.

Em relação ao estabelecido pelo CONAMA nº 357/2005, estiveram acima do padrão para águas de Classe 2, as variáveis oxigênio dissolvido, pH, amônia, fósforo total e clorofila-a, principalmente nos pontos localizados após as cidades de Itabaiana (P8) e Santa Rita/Bayeux (P12) evidenciando a influência dos aglomerados urbanos na qualidade das águas.

A presença de tucunaré (*Cichla ocellaris*) associado a macrófitas submersas (*Egeria* sp.) possibilitaram a manutenção de melhores qualidades das águas dos açudes Camalaú (P2) e Presidente Epitácio Pessoa (P3).

Após a transposição ocorreu o aumento na concentração de nutrientes, principalmente fósforo total, fosfato e amônia nos três açudes estudados (Poções, Camalaú e Presidente Epitácio Pessoa), de modo que os pontos P1 e P2 estiveram em desacordo com o preconizado pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Bem como em relação ao OD nos pontos P2 e P3.

Com a transposição ocorreu a diminuição das concentrações de clorofila-a nos açudes Poções (P1) e Camalaú (P2), possivelmente em virtude da diminuição da transparência das águas observadas nestes açudes. O Açude Presidente Epitácio Pessoa (P3), que apresentou águas mais transparentes, apresentou aumento das concentrações de nutrientes, acompanhado do aumento da clorofila-a.

A diminuição da transparência da água resultou na diminuição das densidades de macrófitas submersas observadas nos açudes Camalaú (P2) e Presidente Epitácio Pessoa (P3) antes da transposição, interferindo nas concentrações de OD no meio.

O aumento dos volumes de águas nos açudes com a chegada das águas do Rio São Francisco, não proporcionou, durante o estudo, melhoria na qualidade das águas. Entretanto, sabe-se que esses ambientes estão em processo de adaptação

às novas condições, requerendo mais estudos ao longo do tempo, para averiguar os impactos provenientes deste processo de transposição, após a estabilização dos sistemas aquáticos.

Apesar dos impactos negativos identificados em relação às obras da Transposição do Rio São Francisco, a chegada das águas à Paraíba reacendeu a esperança da população que depende das águas do rio, destacando-se a necessidade de uma boa gestão das águas na região

## REFERÊNCIAS

- BRASIL (2005). **Conselho Nacional de Meio Ambiente – Conama**. 2005. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.
- CRISPIM, M. C.; ARAÚJO, K. P. P.; MELO JUNIOR, H. N. M. Environmental impact analysis of aquaculture in net cages in a Brazilian water reservoir, based in zooplankton communities. **African Journal of Biotechnology**, v. 12, n. 17, p. 2234-2248, 2013.
- CRISPIM, M. C.; VIEIRA, D. M.; GURJÃO, A. O efeito da biota na qualidade de água. In: MESSIAS, A. S.; COSTA, L. **Rios Urbanos Limpos: possibilidades e desafios**. Recife: Fasa, 1º ed., 2017. 1616p.
- CUNHA, D. G. F.; SABOGAL-PAZA, L. P.; DODDSBA, W. K. Land use influence on raw surface water quality and treatment costs for drinking supply in São Paulo State (Brazil). **Ecological Engineering**, v. 94, n. 1, p. 516–524, 2016.
- GOMES, A. C. A.; ROCHA, M. M.; GALVÃO, A. S.; ALBINO, P. M. B. Incentivos para a viabilização do biogás a partir dos resíduos da pecuária leiteira no Estado de Minas Gerais. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 30, p. 149-160, 2014.
- JEPPENSEN, E.; LAURINDSEN, T.L.; KAIRESALO, T.; PERROW, M.R. 19. **“Impact of submerged macrophytes on fish-zooplankton interactions in lakes”**. In: Jeppensen, E. ed. The structuring role of submerged macrophytes in lakes. New York: Springer Verlag. p 91 – 114, 1997.
- LUCENA, T. C.; ALENCAR, N. S.; SAMPAIO, J. L. F. Modelo de produção sustentável: sistema mandala no município de Mauriti-Ce. **INTESA – Informativo Técnico do Semiárido**, v 11, n 1, p 01 - 06, 2017.
- MARTINETTI, T.H.; TEIXEIRA, B.A.; SHIMBO, I. Sistematização e comparação de alternativas mais sustentáveis para tratamento local de efluentes sanitários residenciais. **Anais... 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2007. Disponível em: <[www.saneamento.poli.ufrj.br/documentos/24CBES/II-360.pdf](http://www.saneamento.poli.ufrj.br/documentos/24CBES/II-360.pdf)>. Acesso em: junho de 2017
- MOURA, R. S. T.; LOPES, Y. V. A.; HENRY-SILVA, G. G.. Sedimentation of nutrients and particulate matter in a reservoir supporting aquaculture activities in the semi-arid region of Rio Grande do Norte. **Quím. Nova [online]**, v. 37, n. 8; p.1283-1288, 2014.
- PAES, W. M.; CRISPIM, M. C.; FURTADO, G. D. Uso de tecnologias ecológicas de saneamento básico para solução de conflitos socioambientais. **Gaia Scientia**, v. 8, n. 1, p. 226 - 247, 2014.
- RIBEIRO, K. H.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; SOUZA, L. C. P.; MINELLA, J. P. G.; ALMEIDA, L.; RAMOS, M. R. Quality of surface water related to land use: a case

study in a catchment with small farms and intensive vegetable crop production in southern Brazil. **R. Bras. Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 656-668, 2014.

SANTOS, D. F.; GUIMARÃES, W. F. F.; GONÇALVES, C. U. Biodigestores como alternativa à sustentabilidade ambiental no campo brasileiro: Um balanço bibliográfico acerca dos modelos indiano, chinês e batelada. **Ciência Agrícola**, v. 15, p. 35-39, 2017.

SCHEFFER, M. **Ecology of shallow lakes**. Chapman and Hall, London. 1998.

STANSFIELD, J. H. et al. Submerged macrophytes as refuges for grazing Cladocera against fish predation: observations on seasonal changes in relation to macrophyte cover and predation pressure. **Hydrobiologia**, v. 342/343, p. 229-240, 1997.

TANAKA, M. O.; SOUZA, A. L. T.; MOSCHINI, L. E.; OLIVEIRA, A. K. Influence of watershed land use and riparian characteristics on biological indicators of stream water quality in southeastern Brazil. Agriculture, **Ecosystems and Environment**, v. 216, n.1, p. 333–339, 2016.

VAN DONK E; VAN DE BUND W.J. Impact of charophytes and other submerged macrophytes on phyto- and zooplankton communities: allelopathy versus other mechanisms. **Aquatic Botany**, v. 72, p. 261–274, 2002.

## APÊNDICES

**APÊNDICE A: Roteiro de entrevista semi-estruturada**

Impactos Gerados pelas Ações Humanas, suas Consequências na Qualidade Ambiental do Rio Paraíba e Propostas para a sua Remediação

Roteiro de Entrevista

Entrevistado: \_\_\_\_\_

Local: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

1) Existe abastecimento público de água? ( ) Sim ( ) Não

2) Qual a porcentagem da população atendida pelo abastecimento de água?

\_\_\_\_\_

3) Qual a origem da água que abastece a população?

\_\_\_\_\_

4) Existe coleta pública de esgotos? ( ) Sim ( ) Não

5) Qual a porcentagem da população atendida?

\_\_\_\_\_

6) Existe tratamento de esgotos? Qual?

\_\_\_\_\_

7) Após o tratamento, para onde é destinado o efluente?

\_\_\_\_\_

8) Nos locais onde não há coleta pública, qual o tratamento e destino dado aos efluentes?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

9) Há coleta regular de resíduos sólidos? Para onde é destinado?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

10) Há atividade agrícola próximo ao rio e reservatório? Qual?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

11) Há o uso de agrotóxicos?

\_\_\_\_\_

12) Qual a origem da água destinada para a irrigação?

\_\_\_\_\_

13) Há atividade pecuária?

\_\_\_\_\_

14) Há atividade pesqueira e piscicultura no rio ou reservatório?

\_\_\_\_\_

15) Há algum tipo de construção (comercial, industrial, residencial) nas margens dos rio ou reservatório?

---

---

16) Há outra atividade desenvolvida na região que possa impactar a qualidade da água? Qual?

---

---

17) Quantas pessoas desenvolve essa atividade? Há quanto tempo é desenvolvida?

---

---

17) Quais os principais impactos advindos dessas atividades?

---

---

---

---

18) Quais medidas adotadas para minimizar os impactos observados?

---

---

---

**APÊNDICE B - Modelo do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.****TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

Prezado (a) Senhor (a)

Esta pesquisa é sobre a análise dos impactos humanos na qualidade das águas do Rio Paraíba, e está sendo desenvolvida pela pesquisadora Alinne Gurjão de Oliveira, aluna do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal da Paraíba, sob a orientação da Professora Dr<sup>a</sup> Maria Cristina Crispim e do Professor Dr. Tarciso Cabral da Silva.

O objetivo do estudo é avaliar as características físicas, químicas e biológicas do Rio Paraíba, identificando a influência das ações humanas no ambiente e propor ações que possibilitem o gerenciamento adequado desses recursos hídricos.

A finalidade deste trabalho é identificar as principais ações que comprometem a qualidade das águas, e propor alternativas, de baixo custo, que possam minimizar os impactos negativos observados. Desse modo, a realização dessa pesquisa pode contribuir para a melhoria da qualidade e para a gestão das águas na região.

Solicitamos a sua colaboração por meio de entrevista semiestruturada, como também a sua autorização para divulgar os resultados do encontro em eventos ou em publicações. Por ocasião da publicação dos resultados, seu nome será mantido em sigilo. Informamos que essa pesquisa não oferece riscos, previsíveis, para a sua saúde.

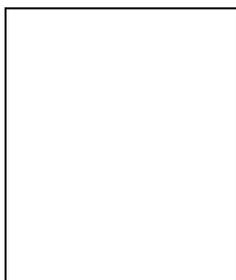
Esclarecemos que sua participação no estudo é voluntária e, portanto, o(a) senhor(a) não é obrigado(a) a fornecer as informações e/ou colaborar com as atividades solicitadas pelo Pesquisador(a). Caso decida não participar do estudo, ou resolver a qualquer momento desistir do mesmo, não sofrerá nenhum dano, nem haverá modificação na assistência que vem recebendo na Instituição (se for o caso).

Os pesquisadores estarão a sua disposição para qualquer esclarecimento que considere necessário em qualquer etapa da pesquisa.

Diante do exposto, declaro que fui devidamente esclarecido(a) e dou o meu consentimento para participar da pesquisa e para publicação dos resultados. Estou ciente que receberei uma cópia desse documento.

---

Assinatura do Participante da Pesquisa ou Responsável Legal



Espaço para impressão dactiloscópica

---

Assinatura da Testemunha

Caso necessite de maiores informações sobre o presente estudo, favor ligar para o (a) pesquisador (a) Alinne Gurjão de Oliveira.

Endereço (Setor de Trabalho): Laboratório de Ecologia Aquática – CCEN, Campus I, Cidade Universitária – João Pessoa/PB.

Telefone: (83) 3216-7776

**Ou**

CCP-CCM

Endereço: Centro de Ciências Médicas, 3º andar, sala 14 – Cidade Universitária – Campus I, Universidade Federal da Paraíba, CEP: 58051-900 – Bairro Castelo Branco – João Pessoa – PB.

Telefone: (83) 3216-7619

E-mail: [comitedeetica@ccm.ufpb.br](mailto:comitedeetica@ccm.ufpb.br)

Atenciosamente,

---

Assinatura do Pesquisador Responsável

---

Assinatura do Pesquisador Participante