



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO - PROGRAD
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE - CCBS
CURSO DE ECOLOGIA

HERMÓGENES PEREIRA DA COSTA SEGUNDO

**DIAGNÓSTICO ECOTOXICOLÓGICO DO RIO APODI-MOSSORÓ (RN)
UTILIZANDO AS ESPÉCIES ZOOPLANTÔNICAS *Ceriodaphnia dubia* E
Daphnia similis (CLADOCERA, CRUSTACEA)**

MOSSORÓ - RN

2018

HERMÓGENES PEREIRA DA COSTA SEGUNDO

**DIAGNÓSTICO ECOTOXICOLÓGICO DO RIO APODI-MOSSORÓ (RN)
UTILIZANDO AS ESPÉCIES ZOOPLANCTÔNICAS *Ceriodaphnia dubia* E
Daphnia similis (CLADOCERA, CRUSTACEA)**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ecologia.

Orientador: Prof. Dra. Aline Fernanda
Campagna Fernandes

Co-orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo
Alves Soares

MOSSORÓ - RN

2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S456d Segundo, Hermógenes Pereira da Costa.
Diagnóstico ecotoxicológico do rio Apodi-Mossoró
(RN) utilizando as espécies zooplancctônicas
Ceriodaphnia dubia e Daphnia similis (CLADOCERA,
CRUSTACEA) / Hermógenes Pereira da Costa Segundo.
- 2018.
43 f. : il.

Orientadora: Aline Fernanda Campagna Fernandes
Campagna.

Coorientador: Carlos Eduardo Alves Soares
Soares.

Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ecologia, 2018.

1. Ecotoxicidade. 2. Apodi-Mossoró. 3. Daphnia.
4. Ceriodaphnia. I. Campagna, Aline Fernanda
Campagna Fernandes, orient. II. Soares, Carlos
Eduardo Alves Soares, co-orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

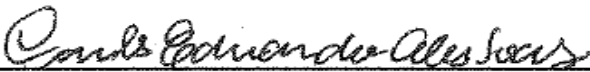
HERMÓGENES PEREIRA DA COSTA SEGUNDO

**DIAGNÓSTICO ECOTOXICOLÓGICO DO RIO APODI-MOSSORÓ (RN)
UTILIZANDO AS ESPÉCIES ZOOPLANCTÔNICAS *Ceriodaphnia dubia* E
Daphnia similis (CLADOCERA, CRUSTACEA)**

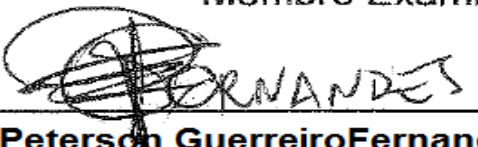
Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em ECOLOGIA.

Defendida em: 14 / 09 / 2018

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Carlos Eduardo Alves Soares (UFERSA)
Presidente


Me. Darlan Dantas Alves de Araújo (UFERSA)
Membro Examinador


Me. Peterson Guerreiro Fernandes (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora Profa. Dra. Aline Fernanda Campagna Fernandes pela orientação, apoio, paciência, dedicação e incentivo de sempre, desde antes da realização deste trabalho. Sem seu apoio e dedicação, nada disso teria se tornado possível! Muito obrigado por tudo! Obrigado por ser um referencial de profissional que me ajuda a ver que este sonho é possível.

Agradeço ao meu coorientador Prof. Dr. Carlos Eduardo Alves Soares pelo tempo dedicado a este trabalho, além do apoio e das ideias que me fizeram enxergar além do que eu pensava anteriormente. Muito obrigado!

Agradeço aos meus colegas do LABETOX – Laboratório de Ecotoxicologia Aquática do Semiárido, Ana Cláudia, Darli e Walter por todo auxílio durante os ensaios e análises. Muito obrigado!

Agradeço a Darlan Dantas, técnico de laboratório no CEPAS, que sempre nos auxiliou nas saídas de campo e na organização das atividades do laboratório, visando a melhoria do LABETOX, muito obrigado.

Agradeço a todos do Limnoaqua, principalmente ao professor Dr. Gustavo Henrique e ao técnico de laboratório Luiz Carlos pelo suporte e auxílio com materiais e equipamentos, muito obrigado!

Agradeço aos meus familiares, Oséas, Cléoman e Gabriel pelo incentivo, paciência e suporte de sempre. Amo todos vocês! Muito, muito obrigado!

Agradeço a minha namorada Mickaelle Medeiros, por todo incentivo na graduação e na realização deste trabalho, me mostrando que havia em mim uma determinação que eu desconhecia! Obrigado por tudo meu amor, principalmente por sua paciência! Te amo!

Agradeço ao meu amigo e pastor Leandro Carvalho pelo incentivo e apoio de sempre. Grande abraço meu amigo.

Agradeço a Banca Examinadora por dedicar uma parte do tempo à leitura e a participação desta banca, muito obrigado a todos.

Agradeço a Ele, por todo cuidado que tem com minha vida. Você sempre foi o meu objetivo, meu maior incentivo, principal motivo para conseguir chegar até aqui, meu Deus. Sem Você, nada do que foi feito teria sido possível. Minha gratidão eterna, meu Pai.

"A vida nunca é completa sem seus desafios".

(Stan Lee)

RESUMO

A água é um recurso imprescindível no desenvolvimento econômico e social, pois constitui a base da maioria das atividades humanas domésticas e industriais, daí a importância de uma gestão eficiente para este recurso. No entanto, a qualidade da água deve estar em níveis que permitam sua utilização pela sociedade e, para tanto, um ecossistema aquático precisa estar equilibrado. Estudos ecotoxicológicos utilizam as respostas de organismos vivos para diagnosticar a qualidade do ambiente. Assim sendo, este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade da água em seis pontos do rio Apodi-Mossoró no período de seca (dezembro de 2015) e chuva (abril de 2016), utilizando organismos zooplancônicos (*Daphnia similis* e *Ceriodaphnia dubia*) como organismos-teste em ensaios de ecotoxicidade aguda e crônica, respectivamente. Nos testes de ecotoxicidade aguda foi avaliada a imobilidade dos organismos em 48 horas de exposição às amostras, enquanto sobrevivência e reprodução em oito dias foram os parâmetros biológicos utilizados nos testes de ecotoxicidade crônica. Ao final dos ensaios, os resultados foram comparados com um controle laboratorial por meio de uma análise de variância para amostras independentes (ANOVA). Previamente aos testes com amostras de água do rio Apodi-Mossoró, testes de sensibilidade foram realizados com cloreto de sódio (NaCl) com ambas as espécies, com intuito de construir uma carta-controle da qualidade das culturas utilizadas no presente estudo, bem como avaliar se os organismos estiveram saudáveis para os ensaios. Os resultados dos testes de sensibilidade mostraram que os organismos de ambas as espécies estiveram aptos para os ensaios ecotoxicológicos com amostras ambientais, uma vez que a CE(I)50;48h de todos os lotes utilizados responderam com imobilidade entre 1,99 g/L e 1,34 g/L para *D. similis* e *C. dubia*, respectivamente, valores concordantes com outros laboratórios de estudos ecotoxicológicos no Brasil. Quanto aos ensaios com as amostras de água, não foi verificada ecotoxicidade aguda para *D. similis* em nenhum dos pontos avaliados considerando ambos os períodos de coleta. Entretanto, ecotoxicidade crônica para *C. dubia* foi observada nos pontos P3, P4, P5 e P6, considerando a sobrevivência e/ou a reprodução. A sobrevivência foi afetada significativamente em relação ao controle ($p < 0,05$) apenas em abril de 2016, com 40%, 40% e 30% de sobrevivência em P4, P5 e P6, respectivamente. Valores extremamente baixos de reprodução foram encontrados nos mesmos pontos, com efeitos mais severos também no período chuvoso. Neste período, a porcentagem de

produção de neonatas em relação ao controle foi de 50%, 0%, 3% e 0% nos pontos P3, P4, P5 e P6, respectivamente, demonstrando efeitos tóxicos significativos ($p < 0,05$). Em dezembro de 2015 foi detectada cerca 30% de produção de neonatas em relação ao controle ($p < 0,05$) em P3 e P4. Os resultados demonstraram que com exceção de P1, os pontos estão com qualidade comprometida, visto que ocorreu toxicidade crônica em ao menos um período de coleta para todos. As amostras de abril de 2016 apresentaram maior impacto nos organismos, demonstrando que as poucas, porém presentes chuvas do período podem ter desempenhado o papel de contribuidoras de contaminantes e não de fator de diluição conforme esperado.

Palavras-chave: Ecotoxicidade. Apodi-Mossoró. *Daphnia*. *Ceriodaphnia*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Mapa da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró com ênfase nos pontos de coleta de água ao longo do curso rio Apodi-Mossoró.	45
Figura 2	–	Carta controle para <i>D. similis</i> com faixa de sensibilidade determinada pelo LABETOX.....	54
Figura 3	–	Carta controle para <i>C. dubia</i> com faixa de sensibilidade determinada pelo LABETOX.....	56
Figura 4	–	Porcentagem de sobrevivência de <i>Ceriodaphnia dubia</i> exposta em amostras de água do rio Apodi-Mossoró nos períodos de dezembro/2015 e abril/2016.....	57
Figura 5	–	Porcentagem de neonatas de <i>Ceriodaphnia dubia</i> exposta em amostras de água do rio Apodi-Mossoró nos períodos de dezembro/2015 e abril/2016, em relação ao controle.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Identificação, localização geográfica e caracterização dos pontos de amostragem de água na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.....	45
Tabela 2	– Valores das variáveis obtidas <i>in situ</i> em amostras de água do rio Apodi-Mossoró, coletadas em dezembro de 2015.....	50
Tabela 3	– Valores das variáveis obtidas <i>in situ</i> em amostras de água do rio Apodi-Mossoró coletadas em abril de 2016.....	51
Tabela 4	– Testes de sensibilidade com <i>D. similis</i> utilizando NaCl como substância de referência NaCl.....	53
Tabela 5	– Testes de sensibilidade com <i>C. dubia</i> utilizando NaCl como substância de referência NaCl.....	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1	A Poluição no Ambiente Aquático e a Gestão das águas.....	12
2.2	Os ensaios ecotoxicológicos.....	15
2.3	O zooplâncton como organismo-teste.....	17
3	OBJETIVOS.....	18
4	METODOLOGIA.....	19
4.1	ÁREA DE ESTUDO E AMOSTRAGEM	19
4.1.1	COLETA DE ÁGUA	21
4.2	TESTES ECOTOXICOLÓGICOS	22
4.2.1	TESTE DE TOXICIDADE AGUDA.....	23
4.2.2	TESTE DE TOXICIDADE CRÔNICA.....	23
4.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	24
5	RESULTADOS.....	24
6	DISCUSSÃO.....	31
7	CONCLUSÃO.....	34
8	REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

A água é considerada um recurso de grande importância para o ser humano, pois é essencial para o seu crescimento, como também para o desenvolvimento da economia e à preservação do meio ambiente (ATHAYDE JUNIOR et al., 2008).

No Rio Grande do Norte, o qual possui grande parte do seu território apresentando o clima semiárido, a presença desse recurso se torna ainda mais essencial, pois este clima é caracterizado pela irregularidade de chuvas e intensos períodos de estiagem, o que acaba por causar transtornos socioeconômicos para a região (ALMEIDA et al, 2006).

Além dos próprios fatores ambientais e naturais que já limitam o aspecto quantitativo deste recurso, muitas atividades antrópicas causam prejuízos à qualidade da água dos rios, como por exemplo, o lançamento de efluentes (domésticos, agrícolas e industriais) sem nenhum tratamento; a supressão de mata ciliar e assoreamento das margens, entre outros fatores. Estas e outras fontes poluidoras atingem o rio Apodi-Mossoró, principal curso d'água da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, uma das mais importantes do estado do Rio Grande do Norte, fator este que ressalta a imprescindibilidade de se prezar pela qualidade destas águas (OLIVEIRA, 2009). Neste sentido, evidencia-se que, além de todos os serviços ambientais que oferece à população humana e comunidades biológicas aquáticas, por ser de natureza intermitente, o rio Apodi-Mossoró ainda é de grande importância para que se possa conhecer o comportamento de suas características físicas, químicas e biológicas, tendo em vista que pouco foi explorado neste sentido os ambientes aquáticos do semiárido brasileiro (CARVALHO et al., 2011).

Apesar de sua importância, o rio Apodi-Mossoró encontra-se em situação de grave poluição tanto em zonas rurais quanto urbanas. Estudos anteriores, utilizando parâmetros químicos e biológicos, demonstraram que as águas se apresentam eutrofizadas e sob um processo acelerado de poluição (ARAÚJO, et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2009; OLIVEIRA-JÚNIOR, 2009; BEZERRA et al., 2013). Entretanto, através de uma revisão bibliográfica detalhada, percebeu-se que os estudos sobre a qualidade da água realizados neste rio são limitados e nenhum deles trazem como base a avaliação ecotoxicológica utilizando-se organismos modelo.

O uso de análises físicas, químicas e ecotoxicológicas são importantes indicadores que ajudam a descrever e controlar as condições do ambiente aquático

(BEZERRA, 2013). Enquanto as análises físicas e químicas indicam o nível de poluição na água, as ecotoxicológicas quantificam o dano que estes poluentes desencadeiam na biota. Assim, é imprescindível que as análises supracitadas sejam utilizadas de forma integrada para um diagnóstico preciso sobre a qualidade da água, bem como para controlar e monitorar as ações em seu entorno.

Zagatto e Bertoletti (2006) afirmaram que a ecotoxicologia permite avaliar os danos ocorridos nos diversos ecossistemas após contaminação e também prever impactos futuros, além de ter como objetivo proteger as populações e comunidades, podendo utilizar os próprios animais que se pretende proteger.

Por ser um ambiente degradado, no rio Apodi-Mossoró pode-se encontrar uma gama de substâncias em diferentes concentrações, as quais podem também provocar mudanças na estrutura e função dos organismos e ecossistemas aquáticos. Assim, apenas os testes ecotoxicológicos são capazes de quantificar estas respostas e dar informações sobre os reais efeitos desta mistura de contaminantes aos organismos (CAMPAGNA, 2008).

Diante disto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade da água do rio Apodi-Mossoró (RN) para a vida aquática, utilizando ensaios ecotoxicológicos de caráter agudo e crônico com as espécies zooplancônicas *Daphnia similis* e *Ceriodaphnia dubia* como organismos-teste, respectivamente. Ambas as espécies são amplamente utilizadas em nível nacional e internacional para diagnósticos desta natureza, uma vez que os procedimentos experimentais são padronizados por normas técnicas possibilitando maior controle da qualidade e confiabilidade nos resultados gerados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A Poluição no Ambiente Aquático e a Gestão das águas

Sobre a utilização da água, Tundisi (2003) discorre sobre a sua importância para a sociedade afirmando que os recursos hídricos sempre foram fundamentais para a incrementação da economia, atuando como um fator de desenvolvimento em níveis regional, nacional e internacional. As principais atividades às quais a água é direcionada são os usos domésticos, irrigação, uso industrial e hidroeletricidade.

Tundisi (2003) também afirma que a urbanização, acelerada em todo o planeta, produz inúmeras alterações no ciclo hidrológico, aumentando enormemente as demandas para grandes volumes de água e, conseqüentemente, os custos de tratamento; a demanda por energia para distribuição de água e por último, a pressão sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Para Tundisi (2008), os principais problemas e processos que causam a chamada “Crise da água” no amplo contexto social, econômico e ambiental no século XXI são: a) a intensa urbanização, o que causa um aumento na demanda pela água, ampliando a descarga de recursos hídricos contaminados e com grandes demandas de água para abastecimento e desenvolvimento econômico e social (TUCCI, 2008); b) o estresse e escassez de água em muitas regiões do planeta em razão das alterações na disponibilidade e aumento de demanda; c) infraestrutura pobre e em estado crítico, em muitas áreas urbanas com até 30% de perdas na rede após o tratamento das águas; d) problemas de estresse e escassez em razão de mudanças globais com eventos hidrológicos extremos aumentando a vulnerabilidade da população humana e comprometendo a segurança alimentar (chuvas intensas e períodos intensos de seca); e) problemas na falta de articulação e de falta de ações consistentes na governabilidade de recursos hídricos e na sustentabilidade ambiental.

No âmbito industrial, os usos da água (quantidade utilizada e qualidade descartada) variam de acordo com o ramo e a tecnologia empregada pela empresa no processo de utilização deste recurso, que pode ser usada desde a lavagem de materiais, equipamentos e instalações até a incorporação nos produtos (SOUSA et. al, 2014). Os mesmos autores destacaram que o uso no ramo industrial é um dos principais fatores de poluição hídrica, o que implica em descartes de efluentes

contendo resíduos tóxicos, como metais pesados, fármacos, nanopartículas, entre outros, além de restos de diversos materiais em decomposição.

No estado do Rio Grande do Norte, segundo dados do Plano Estadual de Gestão Integrada de Resíduos do Rio Grande do Norte – PEGIS/RN (2012), são coletadas diariamente o correspondente a 1.836 toneladas de resíduos sólidos. No entanto, é notória a inexistência de uma gestão eficiente para tais resíduos. Os impactos negativos causados devido à má gestão dos resíduos sólidos são inúmeros e resultam em danos ambientais nos compartimentos ar, água e solo. A água atua como receptor final destes danos, seja recebendo contaminantes por deposição seca ou úmida da atmosfera poluída ou da lixiviação de chorume em solos degradados. Destaca-se ainda, o descarte diretamente dos resíduos sólidos nas águas, situação bastante comum verificada no rio Apodi-Mossoró. Tais fatores aliados à ausência de fiscalização dos órgãos ambientais em algumas indústrias da cidade de Mossoró, pois algumas destas fazem o descarte de seus resíduos sólidos e líquidos de maneira inadequada, agravando o quadro de poluição por metais pesados no ambiente deste ecossistema (ARAÚJO e PINTO FILHO, 2010).

De fato, Oliveira e Queiroz (2008) afirmaram que alguns dos mais graves problemas no rio Apodi-Mossoró são o desmatamento da mata ciliar, a contaminação das águas pelo incorreto lançamento de esgotos domésticos e de oficinas, a retirada de areia para construção civil e lixo depositado nas margens do rio, o qual é composto principalmente por restos de materiais de construção, plástico, papel, papelão e material orgânico.

Atualmente, no Brasil, a proteção dos recursos hídricos e gestão da qualidade das águas são orientadas pela Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005), que estabelece alguns parâmetros que se referem à qualidade da água para utilização doméstica e industrial (MORAES et al., 1999), além de fornecer informações quanto à classificação dos corpos d'água baseando-se em sua qualidade ecotoxicológica e química (AQUINO, 2018). Essa legislação permite classificar e diagnosticar os diversos ecossistemas aquáticos do Brasil quanto ao seu grau de poluição, além de buscar também controlar o lançamento de poluentes em níveis nocivos para a biota aquática.

Quanto à classificação dos corpos d'água, a legislação supracitada orienta as classes de acordo com os usos múltiplos que o ecossistema deve atender (abastecimento doméstico, dessedentação animal, lazer, pesca, irrigação,

aquicultura, navegação, harmonia paisagística e proteção das comunidades aquáticas). Uma vez que enquadrados, os rios devem atender aos critérios de qualidade de acordo com a resolução, ressaltando-se ainda que o enquadramento dos corpos d'água nas suas classificações não deve basear-se necessariamente no estado atual da água, e sim nos níveis de qualidade que deveria ter enquanto atende às necessidades da comunidade (BRASIL, 2005).

Em relação ao rio Apodi-Mossoró, não foi realizado um estudo para seu enquadramento em classes e, desta forma, segundo a CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005) o mesmo deve ser considerado de classe 2, não podendo ser observada ecotoxicidade em suas águas (aguda e crônica). Desta forma, o rio deverá ter qualidade para atender a todos os usos citados anteriormente, com tratamento convencional para abastecimento humano.

No que diz respeito à gestão dos recursos hídricos do estado do Rio Grande do Norte, a Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos atua em planejamentos, coordenação e execução de ações públicas estaduais contemplando a oferta e a gestão destes recursos e do Meio Ambiente (SEMARH, 2015). Em suma, a SEMARH vem desenvolvendo ações práticas que se apresentam em quatro linhas de atuações, a saber: A Gestão de Recursos Hídricos, Gestão do Meio Ambiente, Infraestrutura Hídrica e Abastecimento de Comunidades. Além disso, a SEMARH iniciou em fevereiro de 2018 o monitoramento das nascentes do rio Apodi-Mossoró, buscando discutir quais iniciativas ambientais deverão ser executadas e quem poderia auxiliar nas ações (SEMARH, 2018).

Para a gestão dos recursos hídricos, Yassuda (1993) atesta que os objetivos da gestão integrada de tais recursos consistem em assegurar sua preservação, uso, recuperação e conservação em condições satisfatórias para os seus múltiplos usuários e de forma compatível com a eficiência e o desenvolvimento equilibrado e sustentável da região. Ou seja, uma gestão eficiente dos recursos hídricos deve ser executada de maneira sustentável, visando que esses recursos ainda estejam disponíveis para as futuras gerações.

A utilização da água de maneira sustentável é um passo importante na elucidação das adversidades na gestão dos recursos hídricos, como exemplifica Ribeiro (2008) ao afirmar que, no Japão ensina-se que a aprendizagem coletiva de convivência harmônica com a água é um processo civilizatório e cultural em que se aprende a partir dos erros cometidos, ideia que apesar de ser sobre uma outra nação,

apresenta lições que poderiam ser aplicadas na gestão dos recursos hídricos no Brasil, especialmente na região Nordeste.

2.2 Os ensaios ecotoxicológicos

A toxicologia ambiental estuda as interações tóxicas de substâncias químicas no ecossistema e sua capacidade de afetar a fisiologia normal de organismos vivos (BRILHANTE e CALDAS, 1999). A ecotoxicologia é uma área especializada da toxicologia ambiental, a qual concentra seus estudos nos efeitos causados à dinâmica de populações e comunidades integrantes de ecossistemas definidos por agentes químicos e físicos (RONCO et al., 2004). É considerada por Ramade (1985, p.201, apud Zagatto e Bertoletti, 2006, p.6) uma ciência que tem por objetivo estudar as modalidades de contaminação do ambiente pelos poluentes naturais ou sintéticos, produzidos por atividades humanas, seus mecanismos de ação e seus efeitos sobre o conjunto de seres vivos que habitam a biosfera.

Por conseguinte, a ecotoxicologia aquática é uma ciência que surgiu para auxiliar no enfrentamento de problemas de contaminação dos corpos d'água por compostos tóxicos. Os seus instrumentos de análise são capazes de responder preditivamente à toxicidade de compostos químicos, sinalizando os potenciais ecotoxicológicos e seus mecanismos de ação em organismos vivos, avaliando-se a concentração relacionada aos efeitos e respostas dos organismos (MAGALHÃES, 2008). Zagatto e Bertoletti (2006) afirmam que a ecotoxicologia aquática consiste em buscar identificar as causas e efeitos nocivos sobre indivíduos, quantificar e conhecer seus efeitos, mecanismos de ação e outros processos que implicam conhecimento do contaminante no organismo e os fatores que influenciam no seu destino no ambiente.

Os testes de ecotoxicidade são as principais ferramentas da ecotoxicologia e consistem em ensaios realizados *in situ* ou sob condições precisas, específicas e controladas em laboratório, cujo intuito é de avaliar quantitativamente e/ou qualitativamente a toxicidade de substâncias químicas (isoladas ou misturadas), efluentes industriais, domésticos e agrícolas, bem como amostras ambientais, podendo estas últimas ser água, sedimentos ou solos (OLIVI, 2008).

Em resumo, nos ensaios qualitativos, organismos-teste previamente selecionados são expostos às amostras brutas sem diluições, e o efeito tóxico nas mesmas é comparado com um controle laboratorial. A finalidade neste tipo de ensaio é apenas observar se a toxicidade existe ou não em relação ao controle (realizado principalmente com amostras ambientais). Nos ensaios quantitativos, o objetivo é definir concentrações que representam riscos para a vida aquática, sendo estas estabelecidas a partir de uma curva dose-resposta elaborada após a determinação dos efeitos tóxicos produzidos nos organismos-testes em cada concentração avaliada.

Ainda sobre os ensaios quantitativos, as respostas dos organismos muitas vezes podem ser diferentes, sendo que as mais severas acontecem em concentrações mais elevadas e as respostas menos severas ocorrem em menores concentrações (ZAGATTO e BERTOLETTI, 2006). Desta forma, os resultados são apresentados como uma concentração letal média (CL50) e em torno desta é estabelecido um intervalo de confiança, o qual inclui as respostas dos organismos mais sensíveis e mais resistentes à substância avaliada.

Os efeitos tóxicos podem variar de acordo com dois fatores principais: o tempo de exposição e a concentração do agente químico, sendo eles determinantes para a estimativa da toxicidade (OLIVEIRA-FILHO; SISINNO, 2013).

Efeitos letais imediatos e graves, como a mortalidade e imobilidade, observados a partir da exposição de organismos a elevadas concentrações de algum agente tóxico em curto período de tempo são chamados de ecotoxicidade aguda (RAND et al., 1995), enquanto os efeitos subletais (alterações bioquímicas, fisiológicas, histológicas, comportamentais, etc.), observados mediante baixas concentrações dos agentes tóxicos em maior período de exposição, são conhecidos como ecotoxicidade crônica. Neste último, os efeitos negativos são avaliados em uma parte ou em todo o ciclo de vida do organismo que está sendo exposto (OLIVEIRA et al., 2008).

Os testes ecotoxicológicos podem ser realizados com o objetivo de prever possíveis danos futuros, onde a comparação dos efeitos obtidos com os dados de um grupo controle é utilizada para determinar níveis de risco (CAMPAGNA, 2007). Estes testes são utilizados no mundo inteiro, possibilitando comparações ou intercalibrações dos resultados obtidos em experimentos entre diferentes laboratórios (COSTA et al, 2008). Além de garantir confiabilidade dos resultados, a padronização

dos procedimentos por normas técnicas possibilita comparar respostas entre diferentes áreas estudadas e selecionar as prioritárias para planos de recuperação e controle da qualidade.

2.3 O zooplâncton como organismo-teste

O zooplâncton é caracterizado como um dos grupos mais importantes da teia trófica nos estuários e nos demais ambientes aquáticos, variando desde formas unicelulares até pequenos vertebrados, sendo um grupo de protistas e animais (metazoários) não fotossintéticos (BONECKER, 2002). Por ser muito sensível às variações do meio em que se encontra, a comunidade zooplanctônica está submetida à diversas influências biológicas e ambientais (MORGADO et al. 2003).

A sua distribuição, composição e abundância são oriundas de uma série de fatores hidrológicos e biológicos, já que a presença ou ausência de dadas espécies ou grupos de uma região podem ser tidas como indicadores de condições ambientais como afirma Legendre & Demers (p. dd 1984, apud PORTO-NETO, 2003, p.8).

A *Daphnia similis* é pertencente à Família Daphniidae, ordem Cladocera e é uma espécie planctônica filtradora, tendo no máximo 2,74mm de tamanho (LAMEIRA, 2012). A espécie foi implantada em testes de toxicidade pela CETESB por ser melhor adaptada às águas de baixa dureza, características das águas superficiais do estado de São Paulo (ARAGÃO et al 2003). A *Ceriodaphnia dubia*, família Daphniidae e ordem Cladocera, corresponde a uma espécie que ocorre em todos os tipos de água continentais, sendo frequente na região litorânea do estado de Alagoas, como afirma Armengol (1978, apud Lameira, 2008, p. 11), e apresenta comprimento máximo de 0,96mm (JACONETTI, 2005).

Para ser selecionada como um organismo-teste, a espécie precisa atender a alguns critérios, entre eles destacam-se: ser sensível a uma diversidade de agentes químicos, ter as suas características biológicas conhecidas, como por exemplo, hábitos alimentares, reprodução, fisiologia; ou ainda ser de pequeno porte e ciclo de vida não muito longo; ter importância ecológica e econômica, entre outros (ZAGATTO E BERTOLETTI, 2006).

Desse modo, as espécies utilizadas no presente estudo, *C. dubia* e *D. similis*, além de atenderem a grande parte dos critérios exigidos para serem utilizadas como organismos-teste, dispõem de procedimentos padronizados internacionalmente para

ensaios, cultivo e manutenção laboratorial (ABNT, 2016; ABNT, 2017; JACONETTI, 2005), além de apresentarem grande sensibilidade a uma vasta gama de substâncias tóxicas.

Para ensaios de ecotoxicidade aguda geralmente são utilizados indivíduos da espécie *D. similis*, observando-se a imobilidade dos indivíduos em curto período de tempo (48 horas) e, para testes de toxicidade crônica, avaliando-se a sobrevivência e reprodução em sete dias, a espécie *C. dubia* é a mais utilizada (BERTOLETTI, 2014).

Os organismos-teste precisam estar saudáveis para representar com confiabilidade a toxicidade da amostra e, para tanto, é necessário um rígido controle da qualidade das culturas no laboratório. Cuidados padronizados no cultivo e manutenção das espécies, bem como testes de sensibilidade permitem avaliar se as mesmas estão aptas a serem utilizadas nos ensaios com as amostras (amostras ambientais, substâncias químicas, efluentes, entre outras matrizes) (ZAGATTO & BERTOLETTI, 2014; ABNT, 2016; ABNT, 2017).

3 OBJETIVOS

3.1 - OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró por meio de ensaios ecotoxicológicos com espécies zooplanctônicas.

3.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a saúde dos organismos zooplanctônicos por meio de testes de sensibilidade.
- Elaborar uma carta-controle das espécies para a substância de referência NaCl;
- Avaliar se as amostras de água do rio Apodi-Mossoró causaram efeito tóxico agudo na espécie zooplanctônica *Daphnia similis*.
- Avaliar se as amostras de água do rio Apodi-Mossoró causaram efeito tóxico crônico na espécie zooplanctônica *Ceriodaphnia dubia*.
- Verificar se o rio Apodi-Mossoró se encontra em conformidade com a resolução CONAMA 357/05, no que tange a ecotoxicidade.

4. METODOLOGIA

4.1 – ÁREA DE ESTUDO E PONTOS DE AMOSTRAGEM

O rio Apodi-Mossoró é o segundo maior do estado do Rio Grande do Norte, percorrendo mais de 150 quilômetros e compreendendo uma área de 14.276 km², o que correspondente a 28% do território potiguar (OLIVEIRA e QUEIROZ, 2008). Tem sua nascente localizada no município de Luís Gomes/RN, estendendo-se ao longo do oeste potiguar e por fim, desaguando no oceano atlântico entre os municípios de Grossos/RN e Areia Branca/RN (BEZERRA et al, 2013).

O clima na região é caracterizado como muito quente e semiárido, segundo a classificação de Köppen, (IGARN, 1998), e o seu solo é muito utilizado para agricultura e fruticultura irrigada, pecuária extensiva e mineração de calcário (CARVALHO et al, 2011), apresentando também um solo exposto, indicando perda da cobertura vegetal em algumas áreas, o que contribui no carreamento de materiais e assoreamento do rio (SILVA et al, 2017). A bacia hidrográfica vem sofrendo constantes impactos, provenientes da lixiviação e *runoff* de fertilizantes e agrotóxicos das diversas atividades agrícolas desenvolvidas no entorno do rio; carreamento de material alóctone; além das constantes descargas de esgotos domésticos e industriais lançados sem tratamento prévio em toda a extensão da bacia (OLIVEIRA et al., 2009; MARTINS et al., 2011). É relevante destacar que, a bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró é uma das principais do Rio Grande do Norte, com 469.714km³ de água (OLIVEIRA et al, 2009).

Foram estabelecidos 6 pontos de coleta de amostras superficiais de água no percurso do rio Apodi-Mossoró tomando por base estudos anteriores (HENRY-SILVA et al 2010; FARIAS-JUNIOR, 2016; SILVA, 2017; AQUINO, 2018) e visitas a campo, definindo-se a área de coleta de acordo com possíveis fontes poluidoras e graus de antropização. Os pontos P1 e P2 estiveram localizados na cidade de Apodi, o ponto 3 (P3) no município de Governador Dix-Sept Rosado e os pontos P4, P5 e P6, na zona urbana da cidade de Mossoró (Figura 1). Abaixo, segue a caracterização e descrição detalhada de cada ponto e usos em seu entorno (Tabela 1).

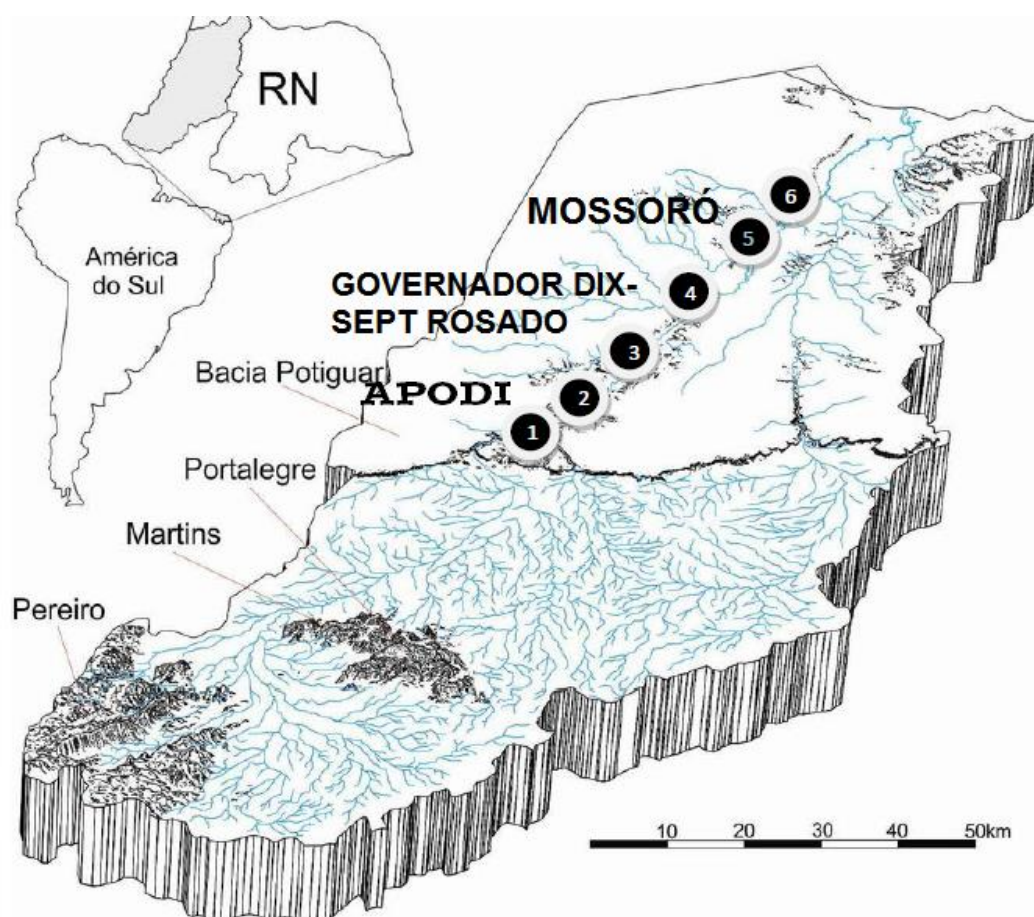


Figura 1: Mapa da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró com ênfase nos pontos de coleta de água ao longo do curso do rio Apodi-Mossoró. **Fonte:** Adaptado de Aquino (2018).

Tabela 1: Identificação, localização geográfica e caracterização dos pontos de amostragem de água na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.

Ponto de Coleta	Localização Geográfica	Coordenadas geográficas	Descrição
P1	Apodi – RN (Ponte entre Caraúbas-RN e Apodi-RN)	5° 43' 11" S 37° 45' 35,20" W	Ocorrência de atividades antrópicas (pecuária e lazer). Margens erodidas, com pequena faixa de mata ciliar.
P2	Apodi – RN (Bico Torto)	5° 40' 31,7" S 37° 46' 32,6" W	Registros de atividades antrópicas de pecuária e lazer, destacando-se travessia de pessoas, motocicletas e animais. Margens erodidas, presença de pequena faixa de mata ciliar.
P3	Governador Dix-Sept Rosado - RN (Poço Feio)	3° 27' 38,8" S 37° 31' 25" W	Utilização na pecuária, pesca e lazer. Margens erodidas e residências no entorno. Presença e incipiente mata ciliar.

P4	Mossoró - RN (Prainha/Bom Jesus)	5° 13' 58,1" S 37° 22' 1,7" W	Registro de atividades como agricultura, pecuária, extração de areia e lazer, com destaque para bombeamento de água para abastecimento. Área com moderado assoreamento das margens.
P5	Mossoró - RN (Barragem Genésio)	5° 13' 9,4" S 37° 21' 46,4" W	Atividades antrópicas de lazer e pesca, com destaque para alto grau de eutrofização das águas. Registros de restos de alimentos e animais.
P6	Mossoró - RN (Barragem Central)	5° 11' 51,9" S 37° 20' 14,1" W	Registro de atividades antrópicas de lazer e pesca, enfatizando-se altíssimo grau de eutrofização, grande quantidade de resíduos sólidos, despejos de esgotos. Ausência de mata ciliar.

Fonte: Adaptado de Silva (2017)

4.1.1 – COLETA DE ÁGUA

As coletas de amostras de água em cada ponto de amostragem foram realizadas nos períodos de dezembro de 2015, que refletiu o período de estiagem, e em abril de 2016, correspondente ao período chuvoso.

Com auxílio de uma bombona de plástico inerte, com capacidade para 10 litros, a água foi superficialmente coletada após o recipiente ter sido colocado em contato com a água do rio Apodi-Mossoró até que o mesmo enchesse por completo, tomando-se o cuidado para não fazer muitos movimentos e causar turbulências na água, evitando-se assim, sua excessiva aeração e alteração de suas características químicas e físicas. Nos locais de difícil acesso ou com volume menor de água, foram usadas garrafas menores para coletar a água, e em seguida o conteúdo foi despejado cuidadosamente na bombona e fechado com tampa do tipo rosca.

As amostras de água foram imediatamente levadas para o laboratório (LABETOX) e, quando possível, realizados também imediatamente os ensaios ecotoxicológicos. As amostras que não foram testadas imediatamente foram então refrigeradas a 4°C por 48 horas e, na impossibilidade da execução dos ensaios neste período, ou até mesmo havendo necessidade de repetição dos ensaios, as mesmas foram congeladas.

In situ, no momento da coleta de cada ponto, foram medidas as variáveis pH, temperatura, turbidez, oxigênio dissolvido, sólidos totais e condutividade elétrica a partir do uso de uma sonda multiparâmetro, marca Horiba® e modelo U-10.

4.2 – TESTES ECOTOXICOLÓGICOS

Os organismos aquáticos cladóceros, *Daphnia similis* e *Ceriodaphnia dubia*, foram inicialmente trazidos de laboratório externo, o Laboratório de Limnologia e Ecotoxicologia Aquática do Núcleo de Estudos em Ecosystemas Aquáticos (NEEA), localizado na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), na Universidade de São Paulo (USP).

Os mesmos foram aclimatados gradativamente no Laboratório de Ecotoxicologia Aquática do Semiárido (LABETOX) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido e a manutenção e cultivo das culturas, bem como a realização dos testes de sensibilidade e ensaios ecotoxicológicos foram realizados conforme a NBR 12713 para *D. similis* (ABNT, 2016); NBR13373 para *C. dubia* (ABNT, 2016).

Depois de aclimatados e, portanto, atendendo aos critérios descritos nas normas para sobrevivência e reprodução das fêmeas, foram realizados os testes de sensibilidade para avaliar se os organismos estavam aptos a serem utilizados nos ensaios de toxicidade aguda e crônica com as amostras do rio Apodi-Mossoró.

Inicialmente, os testes de sensibilidade foram realizados quinzenalmente e, posteriormente, mensalmente. Nos testes de sensibilidade, foi utilizada a substância de referência NaCl, com o intuito de avaliar em qual concentração os organismos respondiam com 50% de imobilidade num período de 48 horas (Concentração Efetiva que afeta 50% dos organismos – CE50%; 48h).

Depois de realizados 16 testes para *D. similis* e 17 testes para *C. dubia*, foi determinada uma faixa de sensibilidade ao NaCl e construída uma carta-controle de qualidade para cada espécie (ABNT, 2016), o que permitiu o controle da qualidade das culturas e validação dos ensaios ecotoxicológicos com as amostras ambientais.

Os testes de sensibilidade ao NaCl para *D. similis* e *C. dubia* foram montados a partir de seis concentrações-teste, sendo elas: 0,4; 0,8; 1,6; 3,2; 6,4 g/L e 0,6; 1,0; 1,3; 1,6; 2,5 g/L de NaCl, respectivamente. Além disto, foi adicionado um controle laboratorial, constituído apenas de água reconstituída (pH: 7,0 a 7,6; dureza: 40 a 48 mg de CaCO₃/L; condutividade abaixo de 200 µS/cm).

Em cada concentração, foram colocados 20 indivíduos neonatas com 6 a 24 horas de vida, sendo 5 em cada réplica (total de 4 réplicas), num tempo total de exposição de 48 horas sem adição de alimento e em ambiente sem luminosidade e com temperatura controlada ($25^{\circ}\text{C} \pm 2$). Ao final do teste, foram contabilizados os organismos imóveis em cada réplica e calculada a CE(I)50;48h por meio do método de interpolação linear Trimmed Spearman-Kärber (HAMILTON et al., 1977).

4.2.1 – TESTE DE TOXICIDADE AGUDA

Os testes de toxicidade aguda com as amostras de água foram realizados com *D. similis*, sendo montados em recipientes plásticos descartáveis e inertes com capacidade para 50mL em quatro replicatas por ponto. Em cada réplica, foram adicionados 10 mL das amostras e expostos 5 neonatas entre 6 a 24 horas de vida, totalizando 20 indivíduos por amostra. Foi adicionado um tratamento com apenas água de cultivo, o controle, e nas demais foram colocadas a água referente aos 6 pontos de coleta. A duração total do teste foi de 48 horas e as condições dos ensaios foram as mesmas acima descritas para os testes de sensibilidade. Ao final dos ensaios foi registrada a imobilidade dos organismos em cada ponto, sendo os resultados comparados ao controle. Os ensaios somente foram considerados válidos quando a imobilidade observada no controle não ultrapassasse 10%, segundo critério da NBR 12713 (ABNT, 2016).

4.2.2 – TESTE DE TOXICIDADE CRÔNICA

O teste de toxicidade crônica foi realizado em recipientes de plástico inerte com capacidade para 50 mL, onde foram adicionados 15 mL de cada amostra em 10 replicatas, totalizando 150 mL de água avaliado em cada ponto. Em cada réplica, foi adicionado 1 indivíduo neonato de *C. dubia*, entre 6 a 24 horas de vida, tendo assim 10 indivíduos no total por ponto. Um controle foi adicionado, constituído por água reconstituída com as mesmas características descritas no item anterior.

A cada 48 horas, as fêmeas (neonatas) eram transferidas para outro recipiente com mesma capacidade, contendo uma nova alíquota das amostras, sendo então realizado um teste semiestático com renovação a cada 48 horas. No decorrer da transferência de indivíduos, era avaliada a sobrevivência das fêmeas e contadas as proles nascidas das mesmas, sendo descartados os novos neonatos caso houvesse ocorrência. O teste teve duração de 8 dias e ao final do período foi avaliada

a sobrevivência e reprodução dos organismos em relação ao controle. O teste crônico foi realizado num fotoperíodo de 16:8h claro/escuro, temperatura $25^{\circ}\text{C} \pm 2$, e alimentação diária dos organismos com $2,0 \times 10^5$ células/mL/organismo da alga *Raphidocelis subcapitata*, além de alimento composto de ração de peixe e fermento biológico. Os ensaios somente foram considerados válidos quando a imobilidade observada no controle não ultrapassasse 20%, e a reprodução no mesmo fosse superior a 15 jovens por adulta no período de 8 dias segundo critério da NBR 13373 (ABNT, 2016).

4.3 – ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados dos testes de ecotoxicidade aguda e crônica com as amostras de água foram submetidos ao teste de Chi-quadrado e teste de Hartley para avaliação da normalidade e homocedasticidade dos dados. Para os testes agudos normais e homocedásticos, foi aplicada ANOVA paramétrica (Teste T), para comparar com os seus respectivos controles laboratoriais. Para resultado negativo quanto à normalidade e homocedasticidade, foi aplicada ANOVA não-paramétrica (Wilcoxon's Rank Sum).

Quanto aos testes de toxicidade crônica, para os resultados que atendiam aos critérios de normalidade e homocedasticidade, foi aplicada ANOVA paramétrica (Fisher's exact test) para avaliar a sobrevivência e o teste Dunnet's para avaliar a reprodução, fazendo comparações com os respectivos controles laboratoriais. Em caso contrário, foi aplicada ANOVA não-paramétrica (Steel Many One), para fazer avaliação da reprodução.

5. RESULTADOS

Os resultados dos parâmetros mensurados *in situ* na água dos pontos do rio Apodi-Mossoró, estão dispostos nas Tabelas 2 e 3. Em geral, não houve grande variabilidade entre os períodos avaliados. Entretanto, os valores de sólidos totais dissolvidos (STD), turbidez e condutividade, foram extremamente discrepantes nos pontos inseridos na área urbana, P4, P4 e P5 em relação aos demais.

Em dezembro de 2015 (Tabela 2), notou-se que o pH variou com um valor mínimo de 7,6 (P3) a um valor máximo de 9,01 (P1), estando todos em conformidade com a CONAMA357/05 (entre 6,0 e 9,0). O oxigênio dissolvido (OD) esteve acima de 5,0 mg/L em todos os pontos, atendendo ao limite mínimo estabelecido pela

CONAMA 357/05 e a turbidez com valor de 0 UNT para os pontos P1, P2 e P3, acima de 100 para os pontos P4 e P5, e 21,8 para P6, estando, os dois anteriores em desacordo com a CONAMA 357/05, a qual estabelece o valor máximo de 100 UNT). Quanto aos sólidos totais dissolvidos (STD), os valores variaram entre 180 mg/L em (P2) e máximo 2100 mg/L (P4), estando os pontos P4, P5 e P6 em desacordo com a CONAMA 357/05 (até 500 mg/L).

Tabela 2: Valores das variáveis obtidas *in situ* em amostras de água do rio Apodi-Mossoró, coletadas em dezembro de 2015

Pontos	pH	Condutividade (mS/cm)	OD (mg/L)	OD (%)	STD (mg/L)	Turbidez (UNT)	Temp. (°C)
P1	9,01	0,28	10,42	136,60	184	0	28,01
P2	8,80	0,28	15,94	216,20	180	0	30,35
P3	7,60	0,69	11,72	158,70	441	0	30,21
P4	8,07	3,19	7,16	95,20	2100	117,0	29
P5	8,60	2,89	12,79	166,70	1850	111,0	28,56
P6	8,73	2,10	7,65	103,30	1340	21,80	30

Legenda: OD = oxigênio dissolvido; TDS: sólidos totais dissolvidos.

Fonte: Adaptado de Farias-Júnior (2016).

Quanto às variáveis mensuradas em abril de 2016 (Tabela 3), notou-se que o pH variou de um valor mínimo de 7,57 (P3) a um valor máximo de 8,17 (P1); o oxigênio dissolvido apresentou-se acima de 5,0 mg/L para todos os pontos; a turbidez esteve entre 0 UNT para os pontos P1, P2 e P3, acima de 100 para os pontos P4 e P5, e 7,5 para P6, e, portanto, acima da CONAMA 357/05 (100 UNT). Quanto aos sólidos totais dissolvidos (TDS), os valores variaram entre 114 (P5) e 938 (P6), enquanto que o valor ideal estabelecido pela CONAMA 357/05 é até 500 mg/L. Não houve grandes variações de temperatura, indo de no mínimo 29,58°C a no máximo 31,48°C.

Tabela 3: Valores das variáveis obtidas *in situ* em amostras de água do rio Apodi-Mossoró coletadas em abril de 2016

Pontos	pH	Condutividade (mS/cm)	OD (mg/l)	OD (%)	TDS	Turbidez	Temp. (°C)
P1	8,17	0,284	8,11	108,9	188	0	29,58
P2	8,05	0,270	11,41	155,3	181	0	30,57
P3	7,57	0,581	9,01	124,2	372	0	31,48
P4	7,78	3,33	9,24	125,4	2130	128,0	30,39
P5	7,71	1,170	9,71	130,9	1140	110,0	29,89
P6	7,77	1,47	11,70	159,9	938	7,50	30,83

Legenda: OD = oxigênio dissolvido; TDS: sólidos totais dissolvidos.

Fonte: Autoria própria (2018)

Os resultados referentes aos testes de sensibilidade realizados com *D. similis* e *C. dubia* estão dispostos nas Tabelas 4 e 5, onde constam valores de CE(I)50;48h estabelecida para cada ensaio, o limite superior e limite inferior definidos com 95% de confiança.

A CE(I)50;48h média para *D. similis* exposta ao NaCl foi de 1,99 g/L, variando entre 1,21 g/L a 3,85 g/L. Conforme demonstrado na carta-control (Figura 2), a faixa de sensibilidade calculada para a espécie, considerando a média subtraída a 2 desvios padrões para o limite inferior e a média adicionada de 2 desvios padrões para o limite superior, foi de 0,34 g/L a 3,6 g/L

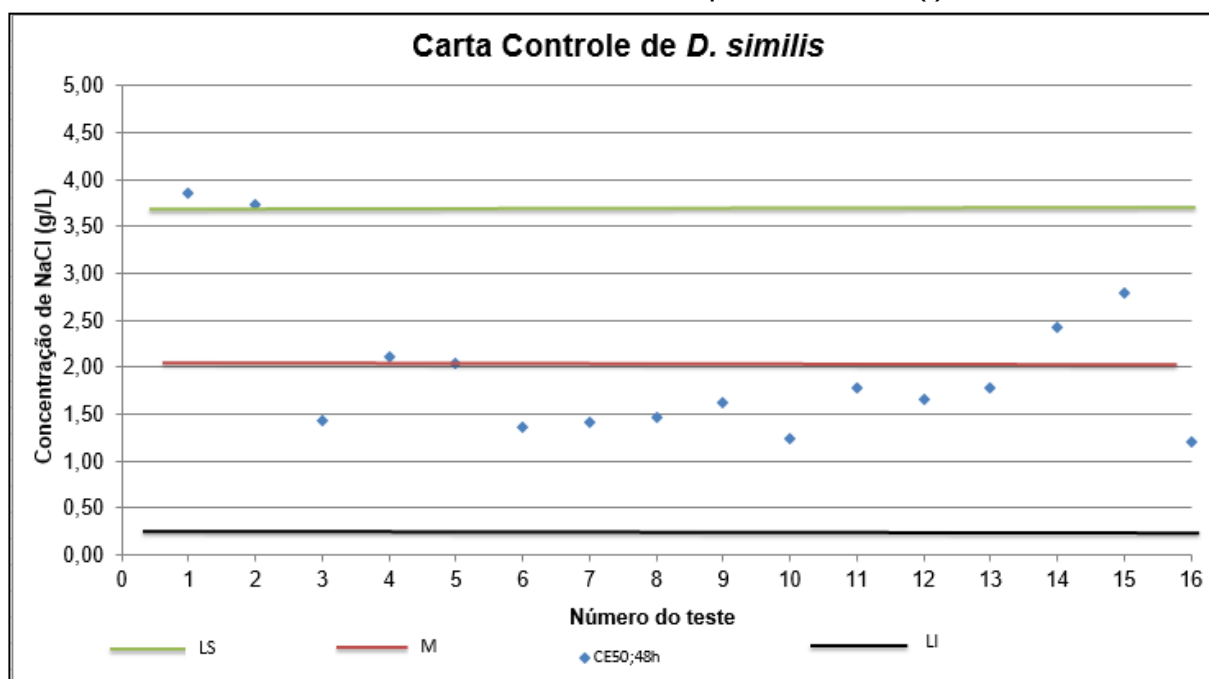
Tabela 4: Testes de sensibilidade com *D. similis* utilizando NaCl como substância de referência NaCl.

Número teste	Data	CE(I)50;48h	LI	LS
1	27/10/2015	3,85	3,35	4,43
2	11/11/2015	3,74	3,17	4,41
3	14/12/2015	1,43	1,13	1,79
4	12/01/2016	2,11	1,81	2,47
5	27/01/2016	2,04	1,83	2,28
6	11/04/2016	1,36	0,94	1,97
7	13/01/2017	1,41	1,09	1,74
8	08/02/2010	1,46	1,16	1,91

9	14/03/2017	1,63	1,22	1,95
10	03/04/2017	1,24	1,00	1,53
11	17/05/2017	1,78	1,20	2,42
12	30/06/2017	1,66	1,32	2,08
13	11/07/2017	1,78	1,31	2,67
14	29/08/2017	2,43	1,98	2,77
15	11/09/017	2,79	2,26	3,21
16	21/02/2017	1,21	0,83	1,77

Fonte: Autoria própria (2018)

Figura 2: Carta controle para *D. similis* com faixa de sensibilidade determinada pelo LABETOX. LI = limite inferior; LS = limite superior; M = CE(I)50;48h media.



Fonte: Autoria própria (2018).

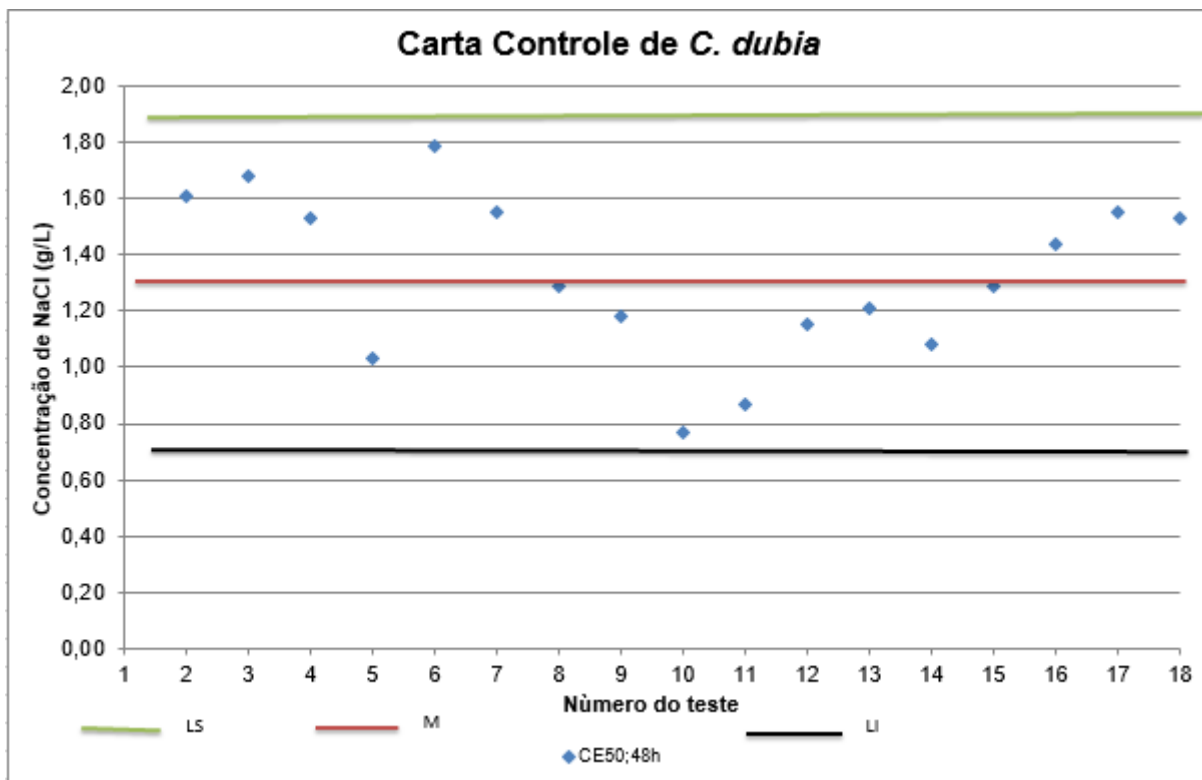
A CE(I)50;48h média para *C. dubia* exposta ao NaCl foi de 1,34 g/L, variando entre 0,77 g/L a 1,79 g/L. Conforme demonstrado na carta-controle, a faixa de sensibilidade calculada para a espécie foi entre 0,7 g/L e 1,9 g/L (Figura 3).

Tabela 5: Testes de sensibilidade com *C. dubia* utilizando NaCl como substância de referência NaCl.

Número teste	Data	CE(I)50;48h	LI	LS
1	11/08/2015	1,61	1,47	1,77
2	19/08/2015	1,68	1,54	1,83
3	26/08/2015	1,53	1,39	1,69
4	02/09/2015	1,03	0,92	1,15
5	29/09/2015	1,79	1,65	1,95
6	14/10/2015	1,55	1,38	1,75
7	14/12/2015	1,29	1,10	1,52
8	12/01/2016	1,18	1,06	1,31
9	13/01/2017	0,77	0,54	1,1
10	08/02/2017	0,87	0,69	1,15
11	14/03/2017	1,15	1,02	1,39
12	02/04/2017	1,21	1,06	1,44
13	20/05/2017	1,08	0,92	1,27
14	05/06/2017	1,29	1,1	1,51
15	11/07/2017	1,44	1,27	1,65
16	29/08/2017	1,55	1,38	1,75
17	11/09/2017	1,53	1,37	1,7

Fonte: Autoria própria (2018)

Figura 3: Carta controle para *C. dubia* com faixa de sensibilidade determinada pelo LABETOX. LI = limite inferior; LS = limite superior; M = CE50;48h média.

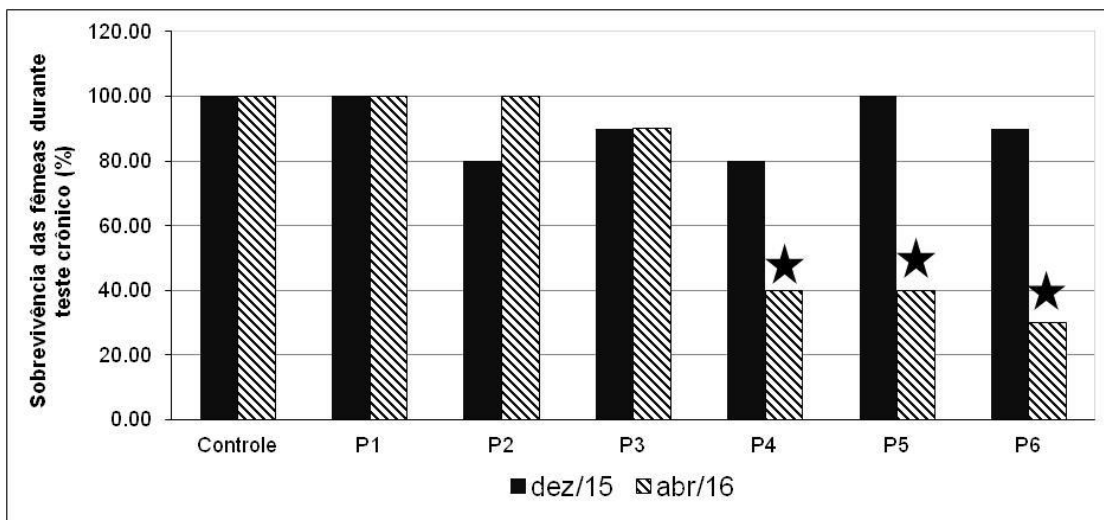


Fonte: Autoria própria (2018)

Quanto aos resultados dos testes de toxicidade aguda com as amostras de água do rio Apodi-Mossoró, a qual avalia a imobilidade dos organismos zooplancônicos, não foi registrada ocorrência de toxicidade aguda em nenhum dos pontos avaliados em ambos os períodos de coleta. A maior porcentagem de imobilidade de *D. similis* foi constatada nos neonatos presentes no ponto P2 em abril de 2016, com 20% de imobilidade, valor não significativo em relação à imobilidade verificada nos indivíduos expostos no controle laboratorial (zero).

Em relação à sobrevivência observada nos testes de toxicidade crônica, os efeitos mais graves foram constatados nos pontos de coleta que estão localizados nos centros urbanos, que são os pontos P4, P5 e P6, com valores de sobrevivência de 40%, 40% e 30%, respectivamente, apresentando diferença significativa em relação ao controle apenas para o período de coleta de abril de 2016 (Figura 4).

Figura 4: Porcentagem de sobrevivência de *Ceriodaphnia dubia* exposta em amostras de água do rio Apodi-Mossoró nos períodos de dezembro/2015 e abril/2016 (★Diferença significativa; $p < 0,05$, Fisher's exact test).

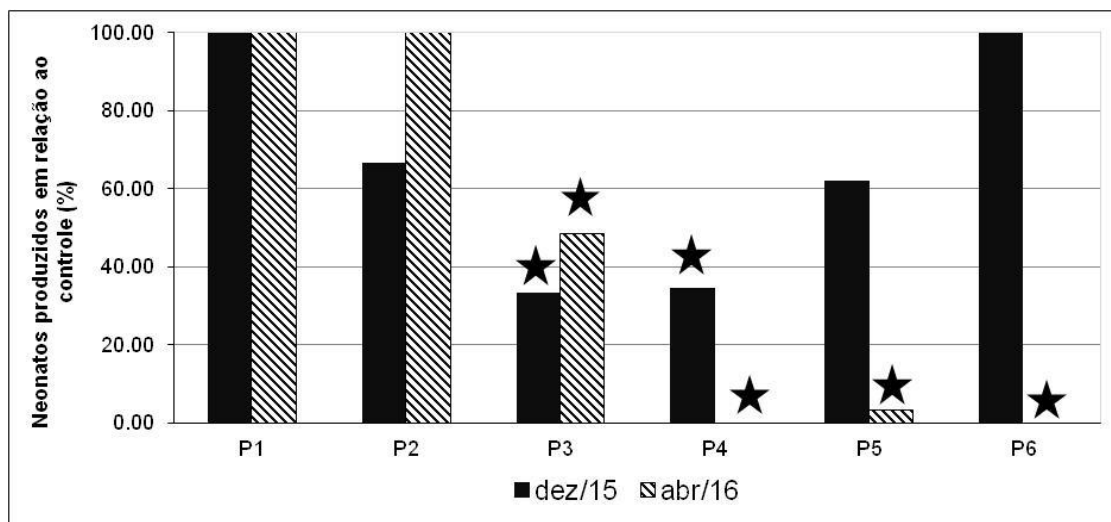


Fonte: autoria própria (2018).

Quanto à reprodução dos organismos de *C. dubia*, os efeitos foram expressos em porcentagem de produção de neonatos de cada ponto em relação ao controle. De tal forma, quanto menor este valor em porcentagem significa que maior foi o efeito observado. A porcentagem de neonatas produzidas foi significativamente menor nos pontos P3, P4, P5 e P6 em relação ao controle ($p < 0,05$) (Figura 5).

Ressalta-se que em abril de 2016, as amostras apresentaram maior toxicidade em relação a dezembro de 2015. Em dezembro de 2015 as águas que foram classificadas como tóxicas foram apenas as dos pontos P3 e P4, apresentando valores de cerca de 30% em relação à porcentagem de neonatos contabilizados no controle. Em abril de 2016, as amostras de água da maioria dos pontos causaram efeito crônico significativo para os indivíduos de *C. dubia*, com exceção apenas dos pontos P1 e P2. Nos pontos P3, P4, P5 e P6 os valores encontrados foram extremamente baixos, sendo 50%, 0%, 3% e 0% respectivamente em relação ao controle, demonstrando assim uma elevada toxicidade nas águas.

Figura 5: Porcentagem de neonatas de *Ceriodaphnia dubia* exposta em amostras de água do rio Apodi-Mossoró nos períodos de dezembro/2015 e abril/2016, em relação ao controle. (★Diferença significativa; $p < 0,05$; Dunnett's Test e Wilcoxon Rank Sum Teste, dezembro/2015 e abril/2016, respectivamente).



Fonte: autoria própria (2018).

6. DISCUSSÃO

Os resultados dos testes de sensibilidade com ambas as espécies permitiram estabelecer faixas de sensibilidade ao NaCl e, portanto, o controle da qualidade das culturas do LABETOX para os ensaios ecotoxicológicos com amostras ambientais do rio Apodi-Mossoró. Os valores encontrados para *D. similis* e *C. dubia* foram muito semelhantes àqueles verificados por outros autores, como por exemplo, Coelho (2006), que encontrou uma CE50;48h média de 2,3 g/L ao NaCl e uma faixa de sensibilidade entre 1,2 g/L e 2,8 g/L para *D. similis* e Mendonça (2010), o qual constatou uma CE50;48h média de 1,6 g/L de NaCl, com faixa de sensibilidade variando entre 1,3 g/L e 1,8 g/L para *C. dubia*. Além disto, as faixas de sensibilidade ao NaCl estabelecidas no presente estudo foram semelhantes a outros laboratórios de ensaios ecotoxicológicos do Brasil (NEEA-USP; UFS, BIOTOX Ambiental) e, sendo assim, as culturas apresentaram sensibilidade confiável e adequada para avaliação da qualidade da água do rio Apodi-Mossoró.

Não foi registrada ecotoxicidade aguda nas águas do rio Apodi-Mossoró, entretanto, a ecotoxicidade crônica, na sobrevivência e reprodução de *C. dubia* foi observada em quase todos os pontos, com exceção de P1, em ao menos um período de coleta. Os pontos localizados nos centros urbanos (pontos P4, P5 e P6)

apresentaram situações mais críticas, com valores de sobrevivência de 40%, 40% e 30%, respectivamente, em abril de 2016. A reprodução foi ainda mais preocupante, visto que a porcentagem de neonatas produzidas chegou a 50%, 0%, 3% e 0% nos pontos P3, P4, P5 e P6, respectivamente, em abril de 2016.

Os resultados encontrados no presente estudo corroboraram aqueles encontrados por Farias-Junior (2016) e Silva (2017), os quais utilizaram espécies ícticas e bentônicas como organismos-teste em amostras de água e sedimento do rio Apodi-Mossoró nos mesmos pontos avaliados no presente estudo. Em ambos os trabalhos, houve um padrão espacial encontrado nos resultados, com maior impacto negativo dos pontos P4, P5 e P6 nas espécies utilizadas.

O trabalho realizado por Aquino (2018), nos mesmos pontos com amostras de água e sedimento, entretanto, utilizando biomarcadores histológicos em brânquias e fígado da espécie de peixe *Poecilia reticulata*, mostrou resultado semelhante, onde foi constatado que os sedimentos e a água do rio Apodi-Mossoró foram considerados tóxicos em condições críticas para garantir a qualidade da água, uma vez que lesões severas e irreversíveis foram encontradas em organismos expostos em todos os pontos de coleta, com abrangência e severidade maiores nos pontos P4, P5 e P6.

Os mesmos estudos citados anteriormente (FARIAS-JUNIOR, 2016; SILVA, 2017) realizaram análises de metais e nutrientes em água e sedimento e foi possível observar que os valores dos metais foram mais elevados nos mesmos pontos em que os efeitos tóxicos foram mais severos. Nestes pontos, as concentrações de níquel, chumbo e cádmio apresentaram valores acima dos estabelecidos e permitidos pela resolução CONAMA 375/05 e pela resolução CONAMA 454/12 para a proteção da comunidade aquática em amostras de água e sedimento, respectivamente.

Por outro lado, por mais que haja baixas concentrações de metais em alguns pontos, os sedimentos arenosos possuem elevada capacidade de disponibilizar os metais poluentes ali presentes para a coluna de água, apresentando risco para os organismos que vivem neste meio (CAMPAGNA, 2010). Outro fator a ser considerado é que segundo Cooper et. al (2009), a toxicidade pode ser resultado da mistura de poluentes, mesmo em baixas concentrações e, sendo assim, efeitos sinérgicos podem ocorrer e desencadear toxicidade até mesmo em pontos onde as concentrações máximas aceitáveis de metais estejam em conformidade com a legislação. Estas considerações justificam o fato de no presente trabalho ter sido encontrado padrão sazonal nos efeitos em zooplâncton, com efeitos mais severos em

abril de 2016, entretanto, estudos anteriores realizados no mesmo ambiente e período não apontaram um padrão espacial na concentração de metais.

Outros poluentes não mensurados no presente estudo (agrotóxicos, fármacos, nano partículas, drogas ilícitas, entre outros) também podem ter sido os causadores da toxicidade observada nos organismos-teste zooplanctônicos utilizados neste trabalho.

É importante mencionar que Farias-Junior (2016) classificou o rio Apodi-Mossoró em diferentes faixas de qualidade ambiental e demonstrou que o mesmo apresenta condição CRÍTICA em relação à sua qualidade para a preservação da biota aquática em todos os pontos avaliados, uma vez que os elevados teores de metais na água, tais como Cádmio, Níquel e Chumbo, causaram efeitos tóxicos, genotóxicos e histológicos para peixes da espécie *Danio rerio* e *Poecilia reticulata*. Exceção foi encontrada apenas no ponto P1, onde a situação foi considerada de ALERTA.

Ressalta-se que, além das elevadas concentrações de metais, o rio Apodi-Mossoró apresenta elevada carga de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e acelerado processo de eutrofização, principalmente nos pontos P4 e P5, localizados no centro da cidade de Mossoró. Estas condições podem reduzir o oxigênio dissolvido na água e aumentar a produção de gases tóxicos nos sedimentos, podendo também ter colaborado na toxicidade observada no presente estudo. De fato, o presente estudo constatou que nestes pontos, os valores de STD e turbidez estiveram mais elevados, demonstrando a entrada de materiais alóctones, possivelmente, efluentes domésticos.

A resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005) estabelece que rios de classe 2 não devem apresentar toxicidade (aguda e crônica) e, desta forma, foi constatado que as águas do rio Apodi-Mossoró estão em desacordo com a legislação, principalmente nos pontos P3, P4, P5 e P6, tanto em período seco quanto em período chuvoso. Neste sentido, é importante mencionar que no ano estudado não houve grande variabilidade pluviométrica para a região, passando a área de estudo por um período de seca supra sazonal e, por esta razão, pode ter sido verificada a ausência de um padrão temporal mais claro nas respostas dos organismos. Os valores mensurados *in situ* confirmam esta observação.

7. CONCLUSÃO

Os resultados aqui apresentados permitem concluir que:

1) Houve toxicidade nas águas do rio Mossoró, principalmente nos locais mais próximos aos centros urbanos.

2) Os efeitos subletais a longo prazo foram mais severos que os efeitos a curto prazo, constatados por meio dos testes de toxicidade crônica.

3) Todos os pontos, com exceção de P1 mostraram qualidade comprometida para a manutenção da vida aquática em ao menos um período de coleta, estando em desacordo com a Resolução CONAMA 357/05.

4) Em abril de 2016 as amostras de água foram mais tóxicas, demonstrando que os poluentes estão mais biodisponíveis ou em sinergismos para causar a toxicidade.

5) Os efeitos encontrados demonstram condição inadequada da qualidade da água para a manutenção da vida aquática e, se as fontes poluidoras não forem controladas, futuramente, poderá haver perdas biológicas irreparáveis no ecossistema estudado.

6) As diversas atividades humanas nos pontos em questão contribuem diretamente para a degradação do ambiente e também poluição das águas, afetando assim toda a biota nesta área, e desta forma se faz necessária uma fiscalização eficiente e controle de poluição na área de estudo, visando uma diminuição nos danos causados no ecossistema em questão.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAGÃO, M.A., BURATINI, S.V. & BERTOLETTI, E. **Total hardness of surface Waters in São Paulo State (Brazil)**. Acta Limnol. Bras., v.15., n.1., p. 15-18, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12713**: Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda – Método de ensaio com *Daphnia spp* (Crustacea, Cladocera). Rio de Janeiro: Abnt, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13373**: NBR 13373 de 03/2017 Ecotoxicologia aquática – Toxicidade crônica – Método de ensaio com *Ceriodaphnia spp* (Crustacea, Cladocera). Rio de Janeiro: Abnt, 2017.
- ALMEIDA, S. A. S.; CUELLAR, M. Z.; COSTA, A. M. B; AMORIM, R. F. **Caracterização das Bacias Hidrográficas dos rios Apodi/Mossoró e Piranhas/Assú (RN): Mapeamento do uso do solo através das imagens do satélite CBERS 2 e análise sócio-econômica**. Revista FAPERN, v.1, n.4, p. 5-9, 2006.
- AQUINO, D.D. **Estudo Sobre a Qualidade da Água do Rio Apodi-Mossoró (RN) Utilizando Biomarcadores Histológicos em *Poecilia reticulata* (TELEOSTEI, CYPRINODONTIFORMES)**. Dissertação (Curso de Engenharia de Pesca) – Departamento de Ciências Animais, Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró, 2018.
- ARAÚJO, V. S.; SANTOS, J. P.; ARAÚJO, A. L. C. Monitoramento das águas do rio Mossoró/RN, no período de abril/2005 a julho/2006. [s.l.]: Holos, ano 23, 2007.
- ARAÚJO, J. B. S.; PINTO FILHO, J. L. O. Identificação de fontes poluidoras de metais pesados nos solos da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró/RN, na área urbana de Mossoró-RN. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v.5, n.2, p.80-94, jun. 2010.
- ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; NÓBREGA, C. C.; GADELHA, C. L. M.; SANTANA, N. C. B.; COSTA, M. D. Principais usos da água do rio Sanhauá na área de influência do antigo lixão do Roger: proposta de revisão de enquadramento do rio. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 3, n. 3, p. 128-142, 2008.
- BERTOLETTI, E. **Controle Ecotoxicológico de Efluentes Líquidos no Estado de São Paulo**. 2. ed. São Paulo: [s.n.], 2013.

BEZERRA, J. M.; DA SILVA, P.C.M.; BATISTA, R.O.; PINTO, C.H.; FEITOSA, A.P. Análise dos indicadores de qualidade da água no trecho urbano do Rio Apodi-Mossoró em Mossoró-RN, Brasil. - **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3443-3454, 2013.

BONECKER, A.C.T.; BONECKER, S.L.C. & BASSANI, C. **Plâncton marinho**. In: Pereira, RC & AS Gomes (Eds.). *Biologia Marinha*, p.103-125. 2002.

BRASIL. **Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005**. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Brasília: Diário Oficial da União, 18 mar. 2005.

BRILHANTE, O.M. e CALDAS, L.Q.A. **Gestão e avaliação de risco em saúde ambiental**. 1.ed. Rio de Janeiro: Fiocruz, 1999.

CAMPAGNA, A.F. **Estudos limnológicos e ecotoxicológicos da bacia do Alto Jacaré-Guaçu com ênfase no desenvolvimento de sedimentos artificiais para avaliação da toxicidade do cromo**. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2010.

CAMPAGNA, A. F.; ELER, M. N.; FRACÁCIO, R.; RODRIGUES, B. K.; VERANI, N. F. The toxic potential of aldrin and heptachlor on *Danio rerio* juveniles (*Cpriniformes, Cprinidae*). **Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology**, São Carlos, v.16, n.3, p.289-298, mar. 2007.

CAMPAGNA, A.F.; FRACÁCIO, R.; RODRIGUES, B.K.; ELER, M.N.; VERANI, N.F.; ESPÍNDOLA, E.L.G. Analyses of the Sediment Toxicity of Monjolinho River, São Carlos, São Paulo State, Brazil, using Survey, Growth and Gill Morphology of Two Fish species (*Danio rerio* and *Poecilia reticulata*). **Brazilian Archives Of Biology And Technology**. São Carlos - Sp, p. 193-201. fev. 2008.

CARVALHO, R.G. et al. - Indicadores socioeconômicos e gestão ambiental nos municípios da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, RN. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 23 (1): 143-159, abr. 2011

CETESB, Companhia de Tecnologia Saneamento Ambiental. **Métodos de avaliação da toxicidade de poluentes a organismos aquáticos**. São Paulo. 1992.

COELHO, R.S. **Avaliação da toxicidade de fluidos de usinagem através da ecotoxicologia aquática**. Tese (Programa de pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2006.

COOPER, N.L.; BIDWELL, J.R.; KUMAR, A. Toxicity of cooper, lead and zinc mixtures to *Ceriodaphnia dubia* and *Daphnia carinata*. **Ecotoxicology And Environmental Safety**, [s.l.], v.72, n.5, p.1523-1528. Jul. 2009.

COSTA, C. R. et al. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, p. 1820-1830, 2008.

DORNFELD, C.B. **Utilização de *Chironomus sp* (Diptera, Chironomidae) para a avaliação da qualidade de sedimentos e contaminação por metais**. Tese (Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006, 239 f.

Plano Estadual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Norte – PEGIS/RN – Estudos de regionalização da gestão integrada de resíduos sólidos estadual.. **Relatório**. Natal, 2012.

FARIAS-JUNIOR, J.W.M. **Avaliação ecotoxicológica da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró (Rio Grande do Norte - Brasil) utilizando espécies ícticas**. Monografia (Curso de Biotecnologia) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal Rural do Semi-árido. Mossoró. 2016.

HAMILTON, M.A.; RUSSO, R.C.; THURSTON, R.V. Trimmed Spearman-Kärber method for estimating median lethal concentrations in toxicology bioassays. **Environmental Science & Technology**, [s.l.], v.11. n. 7, p.714-719, jul. 1977.

HENRY-SILVA, G.G.; MOURA, R.S.T.; DANTAS, L.L.O. Richness and distribution of aquatic macrophytes in Brazilian semi-arid aquatic ecosystems. **Acta Limnologica Brasiliensia**, [s.l.], v. 22, n.2, p. 147-156, 2010.

Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte - IGARN. **Plano Estadual de Recursos Hídricos (Rio Grande do Norte)**. Natal, p.1-254, nov.1998.

JACONETTI, P.C.M. **Validação de Ensaios Ecotoxicológicos com Organismos Autóctones *Daphnia laevis* e *Ceriodaphnia silvestri***. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais) – Centro de Química e Meio Ambiente, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo. 2005.

LAMEIRA, V. **Estudo dos efeitos ecotoxicológicos dos fármacos paracetamol e dipirona sódica para organismos aquáticos**. Tese (Doutorado em ciências na área de tecnologia nuclear - Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo.2012.

MARTINS, D. F. F.; MOURA, M. F. V.; LOIOLA, M. I. B.; SOUZA, L. D.; SILVA, K. M. B.; MEDEIROS, J. F. Temporal and physiological influence of the absorption of

nutrients and toxic elements by *Eichhornia crassipes*. **Journal Environmental Monitoring**, [s.l.], v.13, p.274-279, 2011.

MENDONÇA, J.M.S. **Avaliação da ecotoxicidade de percolados em áreas de disposição de resíduos na região metropolitana de Natal/RN**. Tese (Programa de Pós-Graduação em Ecologia) – Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal.2010.

MORGADO, F.; QUEIROGA, H.; MELO, F.; SOREE, J.C. Zooplankton abundance in a coastal station off the Ria de Aveiro inlet (north-western Portugal): relations with tidal and day/night cycles. **Acta ecologica**, 24: 175-181, 2003.

OLIVEIRA, M. A.; QUEIROZ, R. A. C. A Poluição do Rio Mossoró (RN) e a Ação Intervencionista do Ministério Público. In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE E SOCIEDADE, 4., 2008, Brasília. **Anais** ... Brasília, 2008. P.1-14. Disponível em <<http://www.anppas.org.br/encontro4/cd/ARQUIVOS/GT6-518-1004-20080517230550.pdf>> Acesso em: 26 ago. 2018.

OLIVEIRA, T. M. B. F.; DI SOUZA, L.; CASTRO, S. S. L. Dinâmica da série nitrogenada nas águas da bacia hidrográfica Apodi/Mossoró - RN - Brasil. **Eclética Química**, São Paulo , v. 34, n. 3, p. 17-26, 2009 .

OLIVEIRA, T. M. B. F.; SOUZA, L.; CASTRO, S. S. L. Dinâmica da série nitrogenada nas águas da bacia hidrográfica Apodi/Mossoró - RN - Brasil. **Eclética Química**, São Paulo, v.34, n.3, p.17-26, 2009.

OLIVEIRA-FILHO, E. C.; SISINNO, C. L. S. Histórico, evolução e conceitos básicos da toxicologia. In: SISINNO, C. L S; OLIVEIRA-FILHO, Eduardo C. **Princípios de toxicologia ambiental**. Rio de Janeiro: Interciência, 2013. p. 1-16.

OLIVEIRA-JÚNIOR, E. T. Bacia Hidrográfica do rio Apodi Mossoró: macroinvertebrados como bioindicadores e a percepção ambiental dos pescadores e marisqueiras do seu entorno. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Ambiente), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009, 141f.

OLIVI, P.; COSTA, C. R.; A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão em métodos de avaliação. **Quim. Nova**, São Paulo, v.31, n.7, p. 1820-1830, set. 2008.

PORTO-NETO, F. **Zooplankton as Bioindicator of Environmental Quality in the Tamandaré Reef System (Pernambuco – Brasil): Anthropogenic Influences and Interaction with Mangroves**. Tese de Doutorado, ZMT Bremen, 167 f., 2003.

RIBEIRO, M. A convivência harmônica com a água: uma lição japonesa. **Estudos Avançados**, v.22, n.63, p.239-241, jan.2008.

RAND, G. M.; WELLS, P. G.; MCCARTY, L. S. Introduction to aquatic toxicology. In: RAND, Gary M. (Ed.). **Fundamentals of Aquatic Toxicology: Effects, Environmental Fate, and Risk Assessment**. 2. ed. Washington: Taylor e Francis, 1995. p. 3-70.

RONCO, A., BÁEZ, M. C. D., GRANADOS, Y. P. **Ensayos Toxicológicos y Métodos de Evaluación de Calidad de Aguas – Estandarización, Intercalibración, Resultados y Aplicaciones**. Otawwa: 2004

Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte. **Apresentação ASCOM/SEMARH**. Disponível em: <http://www.semarh.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=17411&ACT=&PAGE=0&PARM=&LBL=A+Secretaria>>. Acesso em: 26 ago.2018.

Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte. **SEMARH inicia monitoramento das nascentes do rio Apodi-Mossoró**. Disponível em: <http://www.semarh.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=171832&ACT=&PAGE=&PARM=&LBL=NOT%CDICIA>). Acesso em: 26 ago.2018.

SILVA, A. A.; LUCENA FILHO, M. A.; ROCHA, R. M. Recuperação de áreas degradadas em um sistema fluvial urbano no semiárido (Mossoró/RN) com auxílio da ferramenta SIG. **Ciência e Natura**, [s.l.], v. 39, n.2, p.366-377, maio 2017.

SILVA, A.C.A. **Avaliação ecotoxicológica do sedimento da bacia do rio Apodi-Mossoró utilizando espécies planctônicas e bentônicas**. 2017. Monografia (Curso de Ecologia) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal Rural do Semi-árido. Mossoró.

SOUSA, 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**, Fortaleza, v.8, n.1, p.26-45, abr. 2014.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, v.22, n.63, p.97-112, jan. 2008.

TUNDISI, J.G. Recursos Hídricos. **MultiCiência: Revista Interdisciplinar dos Centros e Núcleos da Unicamp**, São Paulo, v.1, n.3, p.1-15, out. 2003.

TUNDISI, J.G. Recursos Hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.22, n. 63, p.7-16, jan. 2008.

ZAGATTO, P. A., BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia aquática: Princípios e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Rima, 2006.

ZAGATTO, P. A., BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia aquática: Princípios e Aplicações**. 3. ed. São Carlos: Rima, 2014.