

<http://dx.doi.org/10.21707/ga.v10.n04a16>

RESPOSTA ECOTOXICOLÓGICA E PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS EM RIO DE ÁREA COSTEIRA DO NORDESTE BRASILEIRO

WANESSA KALINE ARAÚJO MOURA GOMES¹; RAQUEL FRANCO DE SOUZA²; GUILHERME FULGÊNCIO DE MEDEIROS²
& MARIA CRISTINA CRISPIM³

¹ Doutoranda em Meio Ambiente e Desenvolvimento - DDMA/UFRN.

² Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

³ Universidade Federal do Paraíba - UFPB. E-mail: ccrispim@dse.ufpb.br

Recebido em 23 de setembro de 2015. Aceito em 12 de julho de 2016. Publicado em 30 de setembro de 2016.

RESUMO – O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade da água do rio Doce por meio da análise de parâmetros físicos e químicos e de ensaios ecotoxicológicos utilizando *Ceriodaphnia dubia* Richard, 1894 (Crustacea, Cladocera) e *Ceriodaphnia silvestrii* como organismos teste. As amostragens foram realizadas mensalmente de maio de 2012 a maio de 2013. Os locais de amostragem foram denominados LE, R2, R3, R4 e R5. A análise dos parâmetros físico-químicos evidenciou, no período de amostragem, maio de 2012 a maio 2013, que as águas do Rio Doce ao atravessarem a área dos pontos R3 e R4, de maneira geral, apresentaram valores mais baixos de temperatura, pH e cloreto. Também foi possível observar diferença no comportamento dos parâmetros em relação aos meses ao longo do ano. Os ensaios dos testes de toxicidade crônica indicaram a existência de toxicidade, para *Ceriodaphnia dubia* e *Ceriodaphnia silvestrii*, em todos os pontos amostrados. A alteração encontrada nos parâmetros físicos e químicos medidos em água e os resultados dos testes de toxicidade crônica sugerem que as diversas atividades desenvolvidas no entorno da Bacia podem estar contribuindo para as variações observadas. Como fatores que influenciaram os resultados dos testes ecotoxicológicos e dos parâmetros físicos e químicos apontados no estudo pode-se destacar a proximidade de áreas agrícolas, com consequente utilização indiscriminada de agrotóxicos, o descarte inadequado de resíduos destes produtos, a proximidade de vias de tráfego, além do descarte de esgotos domésticos e crescimento urbano desordenado, observados ao longo da drenagem.

PALAVRAS CHAVE: CLADÓCERO. TOXICIDADE CRÔNICA. RIO DOCE. QUALIDADE DE ÁGUA

ECOTOXICOLOGICAL RESPONSE AND PHYSICAL AND CHEMICAL PARAMETERS OF RIO IN COASTAL AREA OF THE BRAZILIAN NORTHEAST

ABSTRACT – The aim of this study was to evaluate the water quality of the Rio Doce by analyzing physical and chemical parameters and ecotoxicological tests using *Ceriodaphnia dubia* Richard, 1894 (Crustacea, Cladocera) and *Ceriodaphnia silvestrii* as test organisms. Samples were collected monthly from May 2012 to May 2013. The sampling locations were named LE, R2, R3, R4 and R5. The analysis of physical-chemical parameters showed in the sampling period May 2012 to May 2013, the waters of the Doce river to cross the area of R3 and R4 points, in general, had lower values of temperature, pH and chloride. It was also possible to observe difference in the parameters of behavior in relation to the months during the year. The tests of chronic toxicity tests indicated the existence of toxicity to *Ceriodaphnia dubia* and *Ceriodaphnia silvestrii* in all sampled points. The alteration found in physical and chemical parameters measured in water and the results of chronic toxicity tests suggest that the many activities surrounding the Basin may be contributing to the observed variations. The factors that influenced the results of the ecotoxicological tests and the physical and chemical parameters indicated in studies stand out proximity of agricultural areas, with consequent indiscriminate use of pesticides, inadequate waste disposal of these products, proximity to traffic routes, in addition to disposal of domestic sewage and urban sprawl, observed along the drainage.

KEY WORDS: ZOOPLANKTON. CHRONIC TOXICITY. DOCE RIVER. WATER QUALITY

RESUESTA ECOTOXICOLÓGICOS Y PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS EN RÍO DE ZONA COSTERA DEL NORESTE BRASILEÑO

RESUMEN – El objetivo de este estudio fue evaluar la calidad del agua del río Doce mediante el análisis de parámetros físicos y químicos y ensayos ecotoxicológicos utilizando *Ceriodaphnia dubia* Richard, 1894 (Crustacea, Cladocera) y *Ceriodaphnia silvestrii* como organismos de prueba. Las muestras fueron recolectadas mensualmente desde mayo de 2012 hasta mayo de 2013. El muestreo lugares fueron nombrados LE, R2, R3, R4 y R5. El análisis de los parámetros físico-químicos mostró en el periodo de muestreo desde mayo 2012 hasta mayo 2013, las aguas del río Doce para cruzar el área de 4 puntos R3 y R, en general, tenían valores más bajos de temperatura, pH y cloruro. También fue posible observar la diferencia en los parámetros de comportamiento en relación con los meses durante el año. Las pruebas de los ensayos de toxicidad crónica indican la existencia de toxicidad para *Ceriodaphnia dubia* y *Ceriodaphnia silvestrii* en todos los puntos muestreados. La alteración que se encuentra en los parámetros físicos y químicos medidos en el agua y los resultados de las pruebas de toxicidad crónica sugieren que las muchas actividades en torno a la cuenca pueden estar contribuyendo a las variaciones observadas. Como factores que

influyeron en los resultados de los ensayos ecotoxicológicos y los parámetros físicos y químicos indicados en el estudio se puede destacar la proximidad de las zonas agrícolas, con el consiguiente uso indiscriminado de plaguicidas, eliminación de residuos inadecuada de estos productos, la proximidad a las vías de circulación, además de la eliminación de las aguas residuales domésticas y la expansión urbana, observada a lo largo del drenaje.

PALAVRAS CHAVE: ZOOPLANKTON. TOXICIDAD CRÔNICA. RIO DOCE. CALIDAD DEL AGUA

INTRODUÇÃO

Os ambientes aquáticos naturais são sistemas abertos e dinâmicos de interações diversas entre seus componentes bióticos e abióticos. Nestes ambientes, os organismos podem ser expostos a agentes químicos presentes na água e nos sedimentos, e dessa contaminação podem surgir alterações na biodiversidade aquática, resultando na desestruturação dos ambientes físicos, da dinâmica química e das comunidades biológicas (Callisto *et al.*, 2001; Costa *et al.*, 2008).

A preservação da qualidade da água dos rios requer monitoramento efetivo; no entanto, a avaliação do grau de contaminação dos ambientes aquáticos tem sido feita principalmente através de análises físico-químicas (USEPA 1992). Tais análises, na maior parte dos casos, não são suficientes para medir a situação real da qualidade da água e devem ser complementadas por ensaios ecotoxicológicos (Forget *et al.*, 2000; Cairns, 2002).

O baixo curso da bacia do rio Doce em Natal inclui uma planície fluvial cujo leito ativo do rio é naturalmente perenizado pelas contribuições das águas subterrâneas do sistema aquífero Dunas-Barreiras, cujas efluências no vale mantêm o fluxo de base do rio. Destaca-se também um complexo de lagoas e dunas fixas e móveis, as quais favorecem a recarga do aquífero Dunas/Barreiras e controlam as interações águas subterrâneas-águas superficiais (Moura *et al.*, 2013a).

Esta é considerada uma região de ocupação emergente, a qual já apresenta um quadro que pode e deve ser considerado preocupante, tomando-se por base o comprometimento dos padrões de qualidade da água deste rio e de parte do cordão dunar que o envolve, a aglomeração desordenada da população ribeirinha, a precariedade de serviços e equipamentos urbanos básicos, dentre outros aspectos (Américo *et al.*, 2007; Soares, 2006). Entre os diversos usos da água na região, o mais importante deles é o abastecimento de água para Zona Norte do Município, proveniente da Lagoa de Extremoz. A Lagoa é alimentada diretamente pelos lençóis subterrâneos da Formação Barreiras, recebendo ainda as contribuições dos rios Guajirú e do Mudo. No grupo Barreiras, predominam argilas, arenitos, siltitos e arenitos caulínicos (IDEC, 1991).

A bacia hidrográfica do rio Doce é uma das 14 bacias principais do Estado do Rio Grande do Norte ocupando uma área de 387,8 km² (SERHID, 2006). O rio Doce e o complexo de lagoas a ele associado formam o sistema flúvio-lacustre que localiza-se na zona limítrofe entre os municípios de Natal e Extremoz, sendo o rio Doce o principal curso d'água da referida bacia hidrográfica, a qual recebe o seu nome.

Uma parcela significativa (cerca de 30%) dos moradores das comunidades Pajussara Sítio, Gramoré Sítio e Gramoré Povoado, adjacentes ao rio Doce, tem como ocupação o cultivo de hortas (Américo *et al.*, 2007). A produção nas hortas ocorre em pequenas propriedades que variam de menos de um até seis hectares. A prática cultural empregada é a do plantio de leiras baixas ou suspensas (balcões) e há a predominância de agricultura familiar. As principais culturas são coentro, alface, cebolinha, e as mais sazonais como pimentão e couve dentre outras. Para

irrigar é utilizada a água do rio, sendo de uso comum os adubos e agrotóxicos (Adissi; Almeida, 1999; Almeida, 2001, Moura *et al.*, 2013b)

Os estudos ecotoxicológicos com amostras ambientais para a análise da qualidade da água do rio Doce são poucos e recentes (Anjos, 2009; Moura *et al.*, 2010). Os procedimentos de testes ecotoxicológicos com *Ceriodaphnia sp.* já são normatizados pela ABNT (2005) e utilizados em outras regiões do país, especialmente na região sudeste. Alguns estudos apresentam dados sobre a sensibilidade de *Ceriodaphnia dubia* em relação à *Ceriodaphnia silvestrii* em amostras ambientais, como os de Fonseca (1997) e Botelho *et al.* (2013).

Diante desses apontamentos, e pela carência de estudos ecotoxicológicos em regiões costeiras do nordeste brasileiro, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a qualidade da água do rio Doce por meio de ensaios ecotoxicológicos e análises físicas e químicas, no trecho do rio compreendido entre a Lagoa de Extremoz e a Redinha, utilizando os cladóceros *Ceriodaphnia dubia* e *Ceriodaphnia silvestrii* como organismos teste, de forma a avaliar a interferência das ações humanas ao longo do rio.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo encontra-se inserida na Zona de Proteção Ambiental (ZPA – 9). Está situada na zona limítrofe entre os municípios de Natal-RN e Extremoz-RN, abrangendo o rio Doce, desde a lagoa de Extremoz, situada a montante, entendendo-se a jusante por 14 quilômetros, até a sua desembocadura, no estuário do Potengi/Jundiá - RN. Esta ZPA foi criada com o objetivo de assegurar a perenização do rio e a recarga do aquífero, além de manter o grande potencial paisagístico e turístico, e dar suporte às atividades agrícolas.

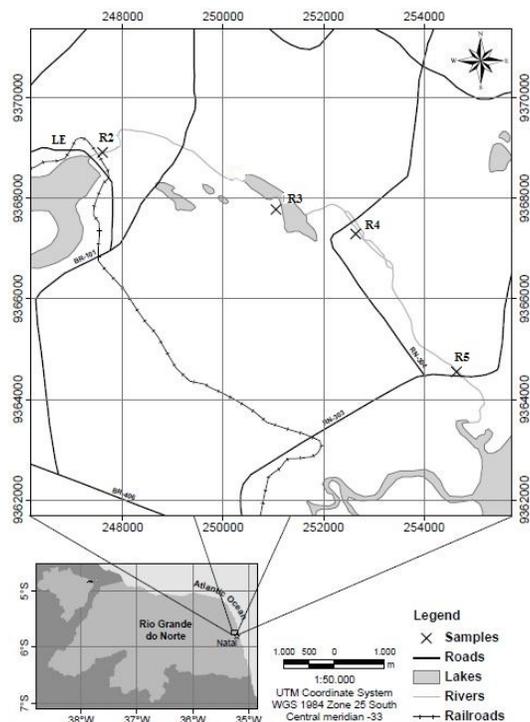
A ZPA-9 apresenta cobertura vegetal dos tipos vegetação de tabuleiros e vegetação de dunas. A mata ciliar do rio Doce é composta por espécies herbáceas, principalmente, nos trechos situados às margens do rio Doce e espécies arbustivas e arbóreas, situadas nas encostas e nos topos das dunas fixas, apresentando, nestas últimas, uma vegetação mais densa (Soares, 2006).

O clima da região é definido como clima tropical chuvoso quente com verão seco. O regime climático caracteriza-se por duas estações bem definidas: uma seca (meses com menos de 60 mm), de setembro a fevereiro ou março, e uma chuvosa, nos meses de março a julho ou agosto.

Os locais de amostragem da água foram denominados pontos LE, R2, R3, R4 e R5 (Figura 1). O ponto LE localiza-se na Lagoa de Extremoz, que é alimentada diretamente pelos lençóis subterrâneos da formação Barreiras; este ponto compreende uma área de lazer com diversos estabelecimentos em sua margem. A água é bastante aerada, com presença constante de vento e existência de vegetação natural.

O ponto R2 localiza-se na saída da Lagoa de Extremoz e durante períodos de precipitação ocorre fluência da água superficial da lagoa de Extremoz para o rio Doce (R2). Após períodos prolongados de baixa precipitação pluviométrica, ocorre uma interrupção desta fluência entre a lagoa de Extremoz e o rio Doce, ocasião na qual o rio é perenizado pelas contribuições das águas subterrâneas do sistema aquífero Dunas-Barreiras.

Figura 1 - Pontos de amostragem no Rio Doce, para análise da qualidade de água. R2: Rio Doce na saída da Lagoa de Extremoz; R3: Lagoa Azul; R4: Pajuçara; R5: Redinha, na confluência do Rio Doce com área de mangue, na Avenida Dr. João Medeiros Filho. R3 e R4 encontram-se em região com atividade de horticultura e LE: Lagoa de Extremoz.



Os pontos R3 e R4 localizam-se nos bairros Lagoa Azul e Pajuçara, respectivamente, local com ampla área de cultivo de hortaliças. O rio Doce no ponto R3 apresenta em seu entorno vegetação natural e cultivada, presença de matéria orgânica, baixa oxigenação e alta turbidez. O ponto R4 localiza-se na estrada que dá acesso à praia de Jenipabu. A água do rio nesta localidade é transparente e é o ponto que apresenta maior vazão em comparação com os outros pontos de amostragem.

O ponto R5 localiza-se no encontro do rio Doce com a Avenida Dr. João Medeiros Filho, no bairro da Redinha, em local com eventual influência de maré; possui em seu entorno vegetação natural e diversas moradias (casas de alvenaria e barracos); nas proximidades ocorre a atividade de retirada de areia para a construção civil. Neste período de amostragens o acesso a alguns pontos de coleta foi dificultado, no período de setembro de 2012 a março 2013, em virtude do baixo volume do rio Doce no ponto R3 e da Lagoa de Extremoz (LE). A maioria dos pontos de coleta descritos possuem estabelecimentos (bares) e são utilizados como área de lazer (LE, R4 e R5).

Precipitação

Os dados de precipitação, em 2012 e 2013, foram obtidos através dos registros da Estação climatológica da UFRN.

Amostragem de água e parâmetros físicos e químicos

Amostras de água para testes ecotoxicológicos foram coletadas mensalmente de maio de 2012 a maio de 2013, com exceção do mês de agosto, ao longo do baixo curso do rio Doce. Os parâmetros físicos e químicos, pH, cloreto, turbidez, condutividade e temperatura foram obtidos em campo, entre julho de 2012 a maio de 2013. Todas as medidas foram realizadas no período da manhã entre 8h e 12h. Para o levantamento dos parâmetros físicos e químicos da água foi utilizada uma Sonda Multiparâmetro (TROLL 9500) em campo.

*Ensaio crônicos com *Ceriodaphnia dubia* e *Ceriodaphnia silvestrii**

Para a realização dos testes, foram utilizados neonatos de *C. dubia* e *C. silvestrii* com 24h de vida. Os filhotes foram retirados dos recipientes de cultivo e introduzidos, individualmente, em recipientes, contendo uma alíquota com 20 ml da amostra teste (água do rio Doce e da lagoa de Extremoz); para cada ponto foram preparadas 10 réplicas. Ao longo de sete dias, período que compreende o teste crônico, a sobrevivência das fêmeas adultas e o nascimento de neonatos foram quantificados. Neste mesmo período a água foi renovada a cada dois ou três dias, sendo fornecido alimento à base de alga e ração. O grupo controle foi exposto à água utilizada no seu cultivo.

Durante a realização dos ensaios ecotoxicológicos, em laboratório, os parâmetros da água de cultivo e das amostras coletadas do rio Doce e na lagoa de Extremoz (pH e OD) foram verificados e registrados periodicamente.

Análise estatística dos testes ecotoxicológicos

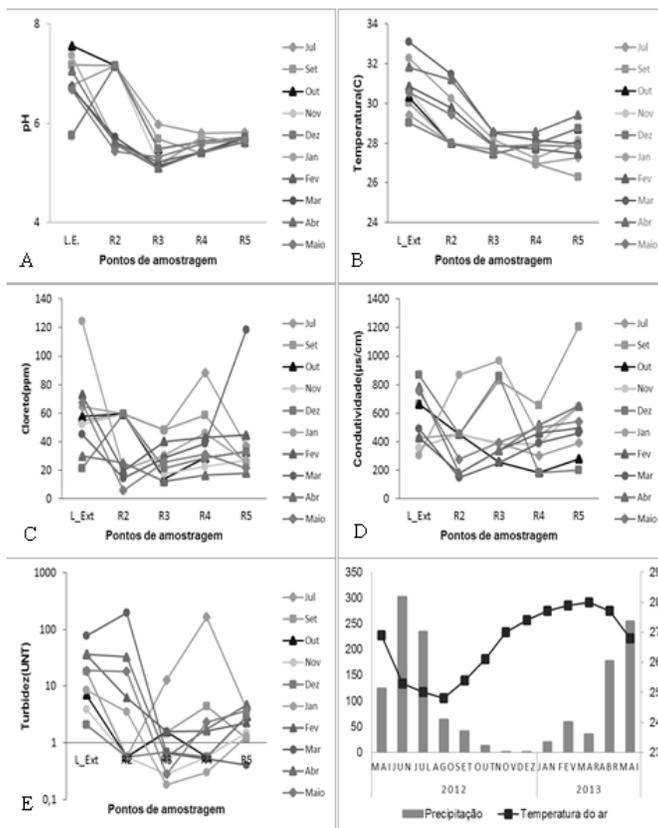
Para analisar os dados estatisticamente foi utilizado o programa Toxstat, aplicado para amostras ambientais, analisadas sem diluição. A normalidade e a homogeneidade de variâncias foram avaliadas com os testes de Shapiro Wilk's e Teste F, respectivamente. Para as variáveis que não apresentaram distribuição normal e diferiram na homogeneidade foram utilizados os testes Stoll Many One e Kruskal-Wallis; para as variáveis que apresentaram distribuição normal e homogeneidade de variâncias os testes de Dunnett e Tukey, foram utilizados. Foram aceitos como estatisticamente significativos os testes com nível $p < 0,05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parâmetros físicos e químicos

A Figura 2 (A, B, C, D, E, F) demonstra o comportamento dos diversos parâmetros analisados na água em cada ponto de amostragem, no período de maio/2012 a maio/2013, sendo os mesmos ordenados de acordo com a distribuição dos pontos.

Figura 2 - Representação gráfica dos parâmetros físico-químicos da água do Rio Doce (A, B, C, D, E), e da precipitação média mensal (F) em Natal, no período de maio a dezembro de 2012 e janeiro a maio de 2013.



Para fins de comparação, na mesma Figura 2 (F) são apresentados os dados de precipitação pluviométrica média mensal e temperatura do ar em Natal, de acordo com os registros da Estação Climatológica da UFRN e do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP, respectivamente. A precipitação cumulativa mensal registrada foi de 1.242 mm e 1.846 mm respectivamente para os anos de 2012 e 2013.

Os meses de junho de 2012 e maio de 2013 apresentaram a maior precipitação, com valor cumulativo mensal de 302,1 e 254,9 mm respectivamente. A menor precipitação observada ocorreu no mês de novembro, com cumulativo mensal de 0,7 mm em 2012.

O pH (figura 2A) apresentou valores inferiores (pontos R2 e R3) ao limite estabelecido pela Resolução 357/05 do CONAMA para a classe 1 e 2, que determina valores entre 6 a 9 para este parâmetro. No ponto R2 foi possível observar que os valores do pH diminuem significativamente de janeiro a maio de 2013; tal fato também foi observado no ponto R3, entretanto com menor intensidade.

Segundo Esteves (2011), de maneira geral, os corpos de água continentais apresentam valores de pH que variam entre 6 e 8,5; no caso dos ambientes que se mostram mais ácidos ou alcalinos, as comunidades animais e vegetais apresentam peculiaridades que possibilitem sobreviver nestas condições.

Entre setembro de 2012 e março de 2013 houve diminuição gradativa na precipitação pluviométrica da área de estudo. Esta diminuição na precipitação ocasionou uma interrupção na fluência da água superficial entre a lagoa de Extremoz e o rio Doce, causando a alteração em alguns parâmetros físico-químicos. Os meses compreendidos entre janeiro a maio de 2013 apresentaram baixas precipitações no corpo hídrico, o que pode ter levado aos baixos níveis de pH. No período de baixa precipitação, pode ser que o abastecimento pelo lençol freático, com contribuição do sistema aquífero Dunas-Barreiras (de águas mais ácidas) para a manutenção do fluxo do rio, tenha sido mais importante que o abastecimento pela lagoa, fato que explicaria o pH mais ácido em meses de menor precipitação. Castro (2000) relata que no curso inferior da Bacia, no extremo leste, o pH varia entre 4,7 a 6,4, o que contrasta com os valores de pH mais elevados a montante da Lagoa de Extremoz (5,2 a 7,8). Moura *et al.* (2013), em pesquisa realizada em 2010 na mesma área, observaram uma tendência geral de diminuição do pH da água entre os meses de julho a novembro, quando há também diminuição da precipitação e aumento da temperatura ambiente.

Por outro lado, a tendência de diminuição de pH por conta de matéria orgânica, está relacionada a períodos mais chuvosos, quando muita matéria orgânica é carregada para as drenagens. Botelho *et al.*, (2013) em estudo realizado no rio Piracicaba observaram que as alterações dos parâmetros físicos e químicos estão relacionadas com a precipitação. Segundo os autores é comum que durante os períodos de chuva, ocorra um aumento da disponibilidade de xenobióticos tais como metais, pesticidas e nutrientes dos solos agrícolas, contribuindo, para entrada de matéria orgânica nos corpos hídricos. Tal acontecimento altera os parâmetros físicos e químicos da água e interfere na dinâmica do ecossistema aquático.

No período da amostragem a temperatura da água variou de 26,28°C no mês de setembro a 33,1°C no mês de março (Figura 2B). Há uma tendência geral de aumento de temperatura da água entre os meses de julho de 2012 a maio de 2013, fato relacionado com o incremento da temperatura ambiente e a diminuição da precipitação (Figura 2F).

Observa-se ainda que os pontos R3 e R4 apresentam, em geral, temperaturas da água menos elevadas que as registradas nos pontos R5, R2 e LE. No caso de R4, este resultado justifica-se por ser o ponto no qual o fluxo de água é maior e R3 encontra-se em local rodeado por vegetação nativa. Deve ser considerado que a velocidade das águas do rio decresce progressivamente ao longo do período de estiagem, em função da menor contribuição subterrânea do aquífero freático para o fluxo de base do rio (Moura, *et al.*, 2013) e isso poderá interferir também na temperatura, porque águas mais lentas, permitem um maior aquecimento.

Em todos os pontos amostrados os valores do cloreto apresentaram-se dentro do limite estabelecido pela Resolução 357/05 do CONAMA para águas doces de classe 1, que estabelece 250 mg/L para o cloreto (Figura 2C). Este é outro parâmetro que acompanha as variações de temperatura e pH; para um mesmo mês, em geral, observa-se diminuição nos valores obtidos nos pontos R2 e R3, especialmente de janeiro a maio de 2013.

A condutividade (Figura 2D) apresentou um valor mínimo de 198,6µs/cm, no ponto R5

no mês de dezembro e valor máximo de 1204,68 μ s/cm, também no ponto R5, em setembro. Os menores valores de condutividade foram encontrados nos pontos R2 e R3 nos meses de fevereiro a maio. Para Moura *et al.* (2013), a tendência de aumento da condutividade elétrica da água, com a respectiva diminuição das chuvas, provavelmente indica um sensível aumento da salinização condicionado à menor renovação do corpo hídrico pelas chuvas menos intensas. Segundo Esteves (1998) a condutividade da água tende a aumentar com a elevação da temperatura e com a maior concentração de íons dissolvidos, que pode ocorrer a partir da entrada de matéria orgânica no corpo hídrico. É possível que os dois processos estejam agindo no rio Doce.

A turbidez (Figura 2E) encontra-se na faixa de 0,18 UNF (valor mínimo) no ponto R3 (janeiro) e máximo de 199,4 UNF no ponto R2 (março); este último valor é maior que o estabelecido pela Resolução 357/05 do CONAMA, para águas Doces de classe 1 que é de até 40 unidades nefelométricas de turbidez (UNT).

Ensaios crônicos com *Ceriodaphnia dubia* e *Ceriodaphnia silvestrii*

No início da pesquisa foram realizados testes agudos, nos quais não se observou mortalidade. Por esta razão todos os testes ecotoxicológicos realizados no decorrer do trabalho foram crônicos. Foram consideradas tóxicas as amostras que apresentaram diferença significativa quando comparadas com o grupo controle.

Os parâmetros pH e OD obtidos no decorrer dos testes são mostrados na figura 3. Como estes parâmetros foram medidos no início, na renovação e ao final de cada teste, os valores constantes da figura são as médias de todas as medidas realizadas durante um mesmo teste.

Figura 3 - Valores dos parâmetros (pH e OD) verificados em laboratório durante realização dos testes ecotoxicológicos.

Pontos de amostragem	pH											
	Mai	Jun	Jul	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai
Controle	7,6	7,3	7,5	6,9	7,7	7,4	7,3	7,6	7,5	7,4	7,3	7,4
LE	6,7	6,8	6,7	6,6	6,5	7	6,8	6,7	6,6	6,8	6,9	7
R2	5,4	7	7,1	6,8	6,9	6,7	6,8	7	6,8	6,6	6,9	6,5
R3	7,8	7,2	7,4	6,7	5,3	6,1	5,9	6,3	6	6,6	6,7	6,8
R4	7,4	6,8	7,2	6,7	7,2	6	6,1	6,5	6,8	7	7,1	7,2
R5	7,6	7,5	6,6	7,1	7,2	5,8	5,8	6	6,6	7,2	7,5	7,4
Pontos de amostragem	OD											
	Mai	Jun	Jul	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai
Controle	6,2	6,4	6,1	6,4	6,2	6,4	6,3	6	6,3	6,5	6,2	6,1
LE	6,4	6,6	6,8	6,5	6,3	6,7	6,5	6,3	6,5	6,2	6	6,2
R2	3,3	4,4	4,8	4,3	4,2	4	3,9	4,1	3,8	4,5	4,2	4,3
R3	6,4	5,3	5,3	4,9	1,8	1,8	5,8	4,6	5,2	5,3	5,2	4,9
R4	5,7	5,2	5,2	4,7	4,4	2,8	4,8	5,1	5,5	5,3	5,1	5
R5	5,1	5	5,6	5,2	4,3	4,5	5,2	5,6	5,3	5,1	5,2	5,4

As figuras 4, 5, 6 e 7 apresentam os dados dos ensaios ecotoxicológicos da água do rio Doce e da Lagoa de Extremoz. Nas figuras 4 e 6 é mostrado o número de neonatos por fêmea (n/f), respectivamente para *C. dubia* e *C. Silvestrii*. O estabelecimento da toxicidade para cada ponto

amostrado é realizado em comparação com o grupo controle e a representação dos resultados é visualizada nas figuras 5 e 7.

Figura 4 - Número de neonatos (n/f) observada nos ensaios ecotoxicológicos utilizando *C. dubia* após exposição à água do Rio Doce, coletada no período de maio de 2012 a maio de 2013

Pontos de amostragem	Meses de coleta											
	2012							2013				
	Mai	Jun	Jul	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai
Controle	13,7	14,8	14,3	14,3	14,8	16	14	14,1	15	15,3	15,1	15,3
LE	5*	4,7*	4,6*	4,6*	4,7*	5,6*	12,4	13,6	0*	11,5	12,1	11,1
R2	4*	4*	3*	5,2*	3*	8	0*	0*	0*	0*	0*	1,6*
R3	12,8	12,3	9,9	1,3*	10,9	9,3	0*	0*	0*	0*	0*	12,8
R4	3*	0*	0*	0*	0*	0*	1,2*	1,6*	0*	0*	0*	2,2*
R5	5*	5*	4*	1,7*	5*	6,6*	5*	8	0*	0*	0*	5*

Fonte: Resultados das amostras do Rio Doce (reprodução – n/f) apresentam diferença significativa quando comparadas ao grupo controle, Stell Many One e Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). *Tóxico

Figura 5 - Representação dos resultados dos ensaios ecotoxicológicos utilizando *C. dubia* após exposição à água do Rio doce coletada no período de maio de 2012 a maio de 2013.

Pontos de amostragem	Meses de coleta											
	2012							2013				
	Mai	Jun	Jul	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai
Controle	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
LE	T	T	T	T	T	T	NT	NT	T	NT	NT	NT
R2	T	T	T	T	T	NT	T	T	T	T	T	T
R3	NT	NT	NT	T	NT	NT	T	T	T	T	T	NT
R4	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
R5	T	T	T	T	T	T	T	NT	T	T	T	T

T - Tóxico; NT - Não Tóxico

Os testes crônicos indicaram a existência de toxicidade em todos os pontos com oscilações no decorrer dos meses. Os testes realizados com *C. dubia* apresentaram toxicidade nos pontos R2, R4 e R5 em praticamente todos os meses amostrados (Figura 4).

A toxicidade no ponto R5 pode ser devida ao fato de, neste ponto do rio Doce, a água ser utilizada para diversas atividades da população que mora em seu entorno, como lavagem de roupa, área de lazer, banho de animais domésticos, descarte de resíduos de um matadouro, retirada de areia para construção civil e proximidade da Avenida João Medeiros Filho. O matadouro constitui uma atividade que poderia causar toxicidade no ambiente, pelo aumento de amônia ou nitrito, pela decomposição do sangue. O ponto LE não apresentou toxicidade de dezembro de 2012 a maio de 2013, meses que apresentaram pouca precipitação. O ponto R3 apresentou toxicidade apenas nos meses mais secos, setembro e dezembro de 2012 e janeiro a abril de 2013.

Para a *C. Silvestrii*, os pontos R2 e R3 apresentaram toxicidade na maioria dos meses amostrados, de outubro de 2012 a maio de 2013, meses de pouca precipitação. Apresentaram

toxicidade de novembro de 2012 a fevereiro de 2013 o ponto LE, e de fevereiro a maio o ponto R4. Moura (2010) em seus estudos não encontrou relação da toxicidade com a precipitação pluviométrica no rio Doce; no entanto, mesmo com algumas exceções, o presente trabalho evidencia que a possível causa para a maioria dos resultados de toxicidade terem se concentrado no período de fevereiro a maio de 2013, pode estar relacionada com a baixa precipitação pluviométrica ocorrida entre os meses de setembro de 2012 a março de 2013, levando à concentração das substâncias que se encontram na água.

Os organismos testados *C. dubia* e *C. silvestrii*, são espécies exóticas, oriundas de outras regiões, adaptadas a outras condições climáticas e de qualidade de água; sendo assim, o mais adequado seria a utilização de espécies nativas, como por exemplo a *Ceriodaphnia cornuta* e *Moina minuta*.

Figura 6 - Número de neonatos (n/f) observada nos ensaios ecotoxicológicos utilizando *C. silvestrii* após exposição à água do Rio Doce coletada no período de maio de 2012 a maio de 2013

Pontos de amostragem	Meses de coleta											
	2012							2013				
	Mai	Jun	Jul	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai
Controle	15	13,4	15,3	15,4	13,4	13,4	14,1	13,4	12,7	15,6	15,2	15,3
LE	9,2	8,2	11,4	10,7	8,2	5,7*	5,9*	5,7*	0*	11,2	11,1	9,1
R2	5,6*	5,3*	8,9	8,2	1,4*	1,2*	3*	1,4*	0*	0*	0*	1,5*
R3	6*	6*	12	11,1	1,1	1,4	3*	1,4*	0*	0*	0*	10,8
R4	9,4	7,2	8,5	8,1	9,2	8,2	8,7	9,5	0*	0*	0*	3,2*
R5	7	6,8	1,3*	3*	8,6	9,6	7,6	9,7	0*	0*	0*	6*

Fonte: Resultados das amostras do Rio Doce (reprodução – n/f) apresentam diferença significativa quando comparadas ao grupo controle, Stell Many One e Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). *Tóxico

Figura 7 - Representação dos resultados dos ensaios ecotoxicológicos utilizando *C. silvestrii* após exposição à água do Rio Doce coletada no período de maio de 2012 a maio de 2013.

Pontos de amostragem	Meses de coleta											
	2012							2013				
	Mai	Jun	Jul	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai
Controle	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
LE	NT	NT	NT	NT	NT	T	T	T	T	NT	NT	NT
R2	T	T	NT	NT	T	T	T	T	T	T	T	T
R3	T	T	NT	NT	T	T	T	T	T	T	T	NT
R4	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	T	T	T	T
R5	NT	NT	T	T	NT	NT	NT	NT	T	T	T	T

T - Tóxico; NT - Não Tóxico

Para Viganó *et al.* (1996), a toxicidade de um rio cuja bacia é fortemente urbanizada, como é o caso deste estudo, pode ser causada por vários fatores como descarte de efluentes agrícolas e domésticos, compostos químicos provenientes de áreas agrícolas, descarte inadequado de resíduos

de agrotóxicos; além disso, os componentes tóxicos presentes podem se concentrar e se dispersar em diferentes períodos durante o ano.

Botelho *et al.* (2013), em estudo que utilizou *Ceriodaphnia dubia* e *Ceriodaphnia silvestrii* em amostras ambientais correlacionaram os resultados observados nos ensaios crônicos com amostras ambientais no rio Piracicaba a uma série de fatores. Para os autores a primeira fonte está relacionada aos contaminantes provenientes de áreas agrícolas localizadas ao longo da bacia do rio Piracicaba. A segunda e terceira fonte de toxicidade pode ser os efluentes industriais e domésticos.

Moura *et al.* (2013), estudando amostras ambientais da bacia hidrográfica do rio Doce, relatam a possível infiltração dos resíduos de produtos químicos no solo arenoso, da área de estudo, o que pode ter como consequência o comprometimento da qualidade da água do rio, com possibilidade de atingir inclusive o lençol freático.

Considerando as possíveis causas dos resultados de toxicidade com amostras ambientais citadas por Viganó *et al.* (1996) e Botelho *et al.* (2013), e os estudos anteriores realizados na mesma área geográfica do presente trabalho (Moura, 2010; Moura *et al.*, 2013), aponta-se que os fatores que possivelmente influenciam os resultados dos testes ecotoxicológicos no trecho do rio Doce entre a lagoa de Extremoz e a Redinha podem ser a proximidade de áreas agrícolas, com consequente utilização indiscriminada de agrotóxicos (R3 e R4), o descarte inadequado de resíduos destes produtos (R3, R4 e R5), a proximidade de vias de tráfego (R2, R4 e R5), além do descarte de esgotos domésticos e crescimento urbano desordenado, observados ao longo da drenagem.

CONCLUSÃO

A análise dos parâmetros físico-químicos evidenciou, no período de amostragem, maio de 2012 a maio 2013, que as águas do rio Doce ao atravessarem a área dos pontos R3 e R4, de maneira geral, apresentaram valores mais baixos de temperatura e pH, provavelmente relacionados com a velocidade da água e a recarga proveniente do aquífero Dunas-Barreiras. Também foi possível observar diferença no comportamento dos parâmetros em relação aos meses ao longo do ano. O pH, cloreto e condutividade apresentaram maior valor nos meses de julho a dezembro de 2012, enquanto que na turbidez e na temperatura os maiores registros foram identificados nos meses de janeiro a maio de 2013.

Os ensaios dos testes de toxicidade crônica indicaram a existência de toxicidade para *C. dubia* e *C. silvestrii*, em todos os pontos amostrados, embora a sensibilidade das duas espécies tenham apresentado respostas diferentes. As duas espécies são exóticas de regiões climáticas diferentes; dessa forma, o uso de organismos nativos deveria ser privilegiado em testes com bioindicadores, porque eles estão mais adaptados às condições ambientais de qualidade de água e clima das águas que são testadas.

A alteração encontrada nos parâmetros físicos e químicos medidos em água e os resultados negativos encontrados em pelo menos 50% dos testes de toxicidade crônica realizados mensalmente no período de um ano evidenciam o comprometimento da qualidade da água do rio Doce pelo menos em parte do ano, e sugerem que as diversas atividades desenvolvidas no entorno da drenagem podem estar contribuindo para as variações observadas.

AGRADECIMENTOS:

CAPES-REUNI e CNPQ

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2005. Ecotoxicologia aquática – Toxicidade crônica – **Método de ensaio com *Ceriodaphnia spp* (Crustácea, Cladocera)**, São Paulo, 15p.
- Adissi, PJ, Almeida, CVB. 1999. O uso de agrotóxicos na horticultura de Natal e Extremoz. **Relatório técnico**. Natal.
- Almeida, CVB. 2001. **Agrotóxicos: percepção de riscos dos horticultores do litoral norte de Natal – RN**. 2001. Dissertação de mestrado - Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA/UFPB. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.
- Américo, MCO, Lima, RFS, Lopes Junior, E. 2007. Processos sócio-ambientais em comunidades de crescimento desordenado. **Serviço Social e Sociedade**, São Paulo, v.90, p.132-153.
- Anjos, KMG. 2009. **Investigação e avaliação da toxicidade aguda dos agrotóxicos mais utilizados no cinturão verde da Grande Natal (RN, Brasil) para o peixe –zebra (*Danio rerio* Hamilton Buchanan, 1822, Teleostei, Cyprinidae)**. Dissertação de mestrado - Pós-Graduação em Ecologia/UFRN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- Brasil. 2005. Leis, decretos, etc. **Resolução CONAMA nº 357, de 17/03/2005**. Diário Oficial da União, nº 53, de 18 de março de 2005. Brasília, 58-63p.
- Botelho, RG, Rossi, ML, Maranhão, LA, Olinda, RA, Tornisielo, VL. 2013. Evaluation of surface water quality using an ecotoxicological approach: a case study of the Piracicaba River (São Paulo, Brazil). **Environ Sci Pollut Res**.
- Cairns, JJ. 2002. Environmental monitoring for the preservation of global biodiversity: the role in sustainable use of the planet. **Int J Sust Dev World** 9:135–150.
- Callisto, M., Moretti, M., Goulart, MDC. 2001. Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. **Rev. Bras. de Recursos. Hídricos**, 6: 71-82.
- Castro, VLL. **Águas subterrâneas no curso da Bacia do Rio Doce/RN: subsídios para um gerenciamento integrado**. 2000. Tese de doutorado - Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia – USP. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Costa, CR, Olivi, P, Botta, CMR, Espindola, ELGA. 2008. Toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Quim. Nova**, 31(7): 1820-1830.
- Cooney, JD. 1995. Fundamentals of Aquatic Toxicology: **Effects, Environmental Fate, and Risk Assessment**. Rand, GM., ed.; 2nd ed., Taylor & Francis: Washington, cap. 2.

Esteves, FA. 2011. **Fundamentos de Limnologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência.

Fonseca, AL. **Avaliação da qualidade da água na Bacia do Rio Piracicaba através de testes de toxicidade com invertebrados**. 1997. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Fonseca, AL, Rocha, O. 2004. The life-cycle of *Ceriodaphnia silvestrii* Daday, 1902, a neotropical endemic species (Crustacea, Cladocera, Daphnidae). **Acta Limnol Bras** 16:319–328.

Forget, G, Gagnon, P, Sanchez, WA, Dutka, BJ. 2000. Overview of methods and results of the eight countries International Development Research Centre (IDRC) Water Tox Project. **Environ Toxicol** 15:264–276.

IDEC – Fundação Instituto de desenvolvimento do Rio Grande do Norte. 1991. **Informativo do município de Extremoz**, Natal/RN.

Jungclaus, GA, Lopez-Ávila, V, Hites, RA. 1978. Organic compound in a industrial wastewater: a case study of their environmental impacts. **Environmental Science Technology**. V. 12, p. 88-96.

Knei, JLW, Lopes, BWE. 2004. Testes ecotoxicológicos: métodos, técnicas e aplicações. Florianópolis: FATMA/GTZ. 289p.

Leblanc, GA. 2004. **A Textbook of Modern Toxicology**; Hodgson, E., ed.; 3rd ed., John Wiley & Sons: New Jersey, cap. 26.

Moura, WKA, Lima, RFS, Medeiros, GF, Barreto, WCAMP, Santos, MNR. 2010. Avaliação preliminar da toxicidade da água do rio Doce, Natal-RN utilizando *Ceriodaphnia dubia* como organismos teste. In: **XI Congresso Brasileiro de Ecotoxicologia - XI ECOTOX**, 2010, Bombinhas - SC. ECOTOX 2010. São Paulo: Tec Art Editora Ltda.

Moura, WKA. 2011. **Horticultura no baixo curso do Rio Doce, Zona Norte do Natal/RN: Avaliação da qualidade da água**. Natal, 2011. Dissertação de mestrado - Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA/UFRN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

Moura, WKA, Souza, RF, Souza, CR, Petta, RA, Diniz Filho, JB. 2013. Algumas implicações ambientais da horticultura na região do baixo curso do rio Doce, ZPA-9, zona norte do Natal/RN. **Meio ambiente e saúde humana: práticas, vivências e saberes**. Maria de Fátima Freire de Melo Ximenes e Raquel Franco de Souza (Org.). Natal/EDUFRN. 2013. Capítulo 11, Página 221 a 242.

Rand, GM. 1995. Fundamentals of Aquatic Toxicology. **Effects, environmental fate and risk assessment**. 2ª ed., Washington. 1125p.

Rand, GM, Wells, PG, Mc Carthy, LS. 1995. Introduction to aquatic toxicology. In: Rand, G.M. Fundamentals of Aquatic Toxicology. **Effects, environmental fate and risk assessment**. Washington. p. 3-67.

Rocha, O, Guntzel, A. 1999. Branchiopoda, Cladocera. In: D. Ismael, W. C. Valenti, T. Matsumura-Tundisi, T. & O. Rocha (eds.), **Biodiversidade do Estado de São Paulo, Brasil: síntese do conhecimento ao final do século XX**, 4: Invertebrados de água doce. São Paulo, Fapesp, 176p.

Ronco, A, Báez, MCD, Granados, YP. 2004. Ensayos Toxicológicos y Métodos de Evaluación de Calidad de Aguas - Estandarización, Intercalibración, Resultados y Aplicaciones; Morales, G. C., ed.; **Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo**: Ottawa, cap. 3.

SERHID - Secretaria Estadual de Recursos Hídricos. 2006. Quantificação da oferta hídrica da região da Lagoa de Extremoz/RN. **Plano Estadual de Bacias Hidrográficas**. Natal.

Shaw, IC, Chadwick, J. 1998. **Principles of Environmental Toxicology**, Taylor & Francis: Philadelphia.

Soares, R. C. 2006. **Diagnóstico e avaliação ambiental da Zona de Proteção Ambiental (ZPA-9), baixo curso do Rio Doce, Natal/RN**. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Geociências – PPGeo/UFRN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

Stahl, RGJr. 1991. The genetic toxicology of organic compounds in natural water and wastewater. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 22, p. 94-125.

Shurin, JB, Dodson, SI. 1997. Sublethal toxic effects of cyanobacteria and nonyphenol on environmental sex setermination and development in *Daphnia*. **Environ. Toxicol. Chem.** 16(6), 1269-1276.

USEPA. 1992. **Introduction to water quality based toxics control for the NPDES program**. USEPA, Washington, DC, pp 1-9.

Viganó, L, Bassi, A, Garino, A. 1996. Toxicity Evaluation of Waters from a Tributary of the River Po Using the 7-Day *Ceriodaphnia dubia* Test. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. 35, 199-28.

Zagatto, P. A., Bertoletti, E. 2008. **Ecotoxicologia aquática: princípios e aplicações**. 2ª ed. São Carlos: RiMa.