

AVALIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA EM RIO DE ÁREA COSTEIRA DO NORDESTE BRASILEIRO

Wanessa Kaline de Araújo Moura Gomes

Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela UFRN
wanessakmoura@gmail.com

Raquel Franco de Souza

Profa. Dra. do Departamento de Geologia da UFRN
francodesouza.raquel@gmail.com

Maria Cristina Crispim

Profa. Dra. do Departamento de Sistemática e Ecologia da UFPB
ccrispim@hotmail.com

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar espacial e temporalmente a qualidade da água do rio Doce por meio da análise de parâmetros físicos e químicos e de metais traço. As amostragens foram realizadas bimestralmente de fevereiro a outubro de 2014. Os locais de amostragem foram denominados R2, R3, R4 e R5. A análise dos parâmetros físico-químicos evidenciou que os menores valores de Oxigênio dissolvido foram registrados nos pontos R3 e R4. Também foi possível observar diferença no comportamento das variáveis em relação aos meses amostrados ao longo do ano. Os resultados obtidos das análises de metais traço mostraram níveis acima dos limites estabelecidos pela resolução 357 do CONAMA e acima do limite de toxicidade aguda e crônica para organismos de água doce para ferro, cádmio, cobre e níquel. A alteração encontrada nos parâmetros físicos e químicos medidos em água e os resultados obtidos das análises de metais traço sugerem que as diversas atividades desenvolvidas no entorno da Bacia podem estar contribuindo para as variações observadas. Como fatores que influenciaram os resultados dos metais traço e dos parâmetros físicos e químicos 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: Rio Doce. Qualidade de água. Metais traço. Parâmetros físicos químicos.

SPATIAL AND TEMPORAL ASSESSMENT OF WATER QUALITY IN A RIVER IN THE COASTAL AREA OF NORTHEASTERN BRAZIL

Abstract

The aim of this work was to evaluate temporal and spatially the water quality of Doce river through the analysis of physical and chemical parameters, and concentration of trace metals. The sampling was conducted bi-monthly from February to October 2014. Sampling sites were named R2, R3, R4 and R5. Analysis of physical and chemical parameters showed that the smallest values of dissolved oxygen were identified in sites R3 and R4. It was also possible to notice difference in the behavior of parameters in relation to the months sampled throughout the year. The results of the analyses of trace metals showed levels above the limits established by the resolution 357 CONAMA and above the threshold of acute and chronic toxicity to freshwater organisms for iron, cadmium, copper and nickel. The alterations found in physical and chemical parameters measured in water and

the results of the analyses of trace metals suggest that the various activities surrounding the watershed may be contributing to the observed variations. As factors that influenced the results of trace metals and of the physical and chemical parameters can highlighted the vicinity of agricultural areas, with consequent indiscriminate use of pesticides, improper disposal of residues of these products, the proximity of traffic routes, in addition to the disposal of domestic sewage and disordered urban growth, observed along the drainage.

Keywords: Doce River. Water quality. Trace metals. Physical and chemical parameters

1 Introdução

A poluição dos recursos aquáticos tornou-se um problema crescente atualmente. Os rios são o recurso mais importante de água doce no mundo e, infelizmente, são poluídos de forma indiscriminada pela descarga de esgotos e resíduos tóxicos provenientes das atividades humanas (BOTELHO, 2013). Estas descargas podem conter agentes químicos que não são eliminados durante o tratamento, resultando na liberação de contaminantes para o meio ambiente (RANK e NIELSEN, 1998).

A preservação da qualidade da água do rio exige um acompanhamento eficaz. Análises físico-químicas são frequentemente conduzidas a fim de detectar a presença de agentes químicos potencialmente perigosos para o meio aquático (VAN DEROOST *et al.*, 2003). Os metais traço são componentes naturais presentes nos ecossistemas, e elementos importantes, indispensáveis nos processos bioquímicos e fisiológicos dos seres vivos. No entanto, muitos desses elementos, quando encontrados em níveis elevados, podem ter efeitos adversos sobre a biota aquática (GOYER *et al.*, 2004; IL'YASOVA e SCHWARTZ, 2005; LU *et al.*, 2005; SIVULKA, 2005).

Os metais traço podem ser encontrados na água como resultado de atividades antropogênicas ou de processos naturais, podendo ter teores altos em solos ou sedimentos de rios, associados às anomalias geoquímicas das rochas, determinando quais íons serão mais abundantes nas águas dos rios, indicando poluição antropogênica (ALLOWAY e AYRES, 1993; COOPER e THORNTON, 1994; SMITH e HUYCK, 1999).

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce (**figura 1**) vem enfrentando, nos últimos 40 anos, modificações ambientais significativas, resultantes do desmatamento e da rápida ocupação humana. Há demanda hídrica para abastecimento doméstico e industrial, problemas de erosão dos solos, de poluição da água por rejeitos industriais, entre outros cenários, além de exercer função muito importante para os seus habitantes, tanto para o desenvolvimento de atividades econômicas, como para questões de sustentabilidade (FAUSTINO *et al.*, 2014).



Figura 1: Bacia Hidrográfica do rio Doce (SERHID, 2006).

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 mantém 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, que controlam as interações águas subterrâneas - águas superficiais, além de compreender um ambiente de elevado potencial paisagístico e turístico (MOURA et al., 2013).

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).

Diante desse cenário o objetivo deste trabalho foi avaliar espacial e temporalmente a qualidade da água do rio Doce por meio da análise de parâmetros físicos e químicos e de metais traço.

2 Metodologia

2.1 Local de amostragem

As amostras de água foram coletadas bimestralmente, no período da manhã entre 8h e 12h, nos meses de fevereiro, abril, junho, agosto e outubro de 2014, ao longo do baixo curso do Rio Doce. Os locais de amostragem foram denominados pontos R2, R3, R4 e R5 (**Figura 2**). 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. Ao longo do estudo foi possível observar a diminuição da vegetação natural, causada por desmatamento, tanto da margem do rio quanto no seu entorno.

Os pontos R3 e R4 localizam-se nos bairros Lagoa Azul e Pajuçara, respectivamente, local com ampla área de cultivo de hortaliças e crescimento urbano desordenado. O ponto R3 apresenta em seu entorno vegetação natural e cultivada. Em área próxima, em um perímetro de menos de 300 metros, há muitas residências e comércios diversificados, como mercados, casas de material de construção, farmácias, oficinas mecânicas, além da criação de animais, como aves e cavalos.

O ponto R4 localiza-se no trecho do rio Doce próximo à 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. É possível observar ainda a presença de bares no entorno do rio, com as mesas dispostas em sua margem, sendo parte dos resíduos provenientes desses estabelecimentos descartados diretamente na drenagem.

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 parte do seu entorno vegetação natural, diversas moradias (casas de alvenaria e barracos de taipa) e bares; eventualmente verifica-se a atividade de retirada de areia para a construção civil.

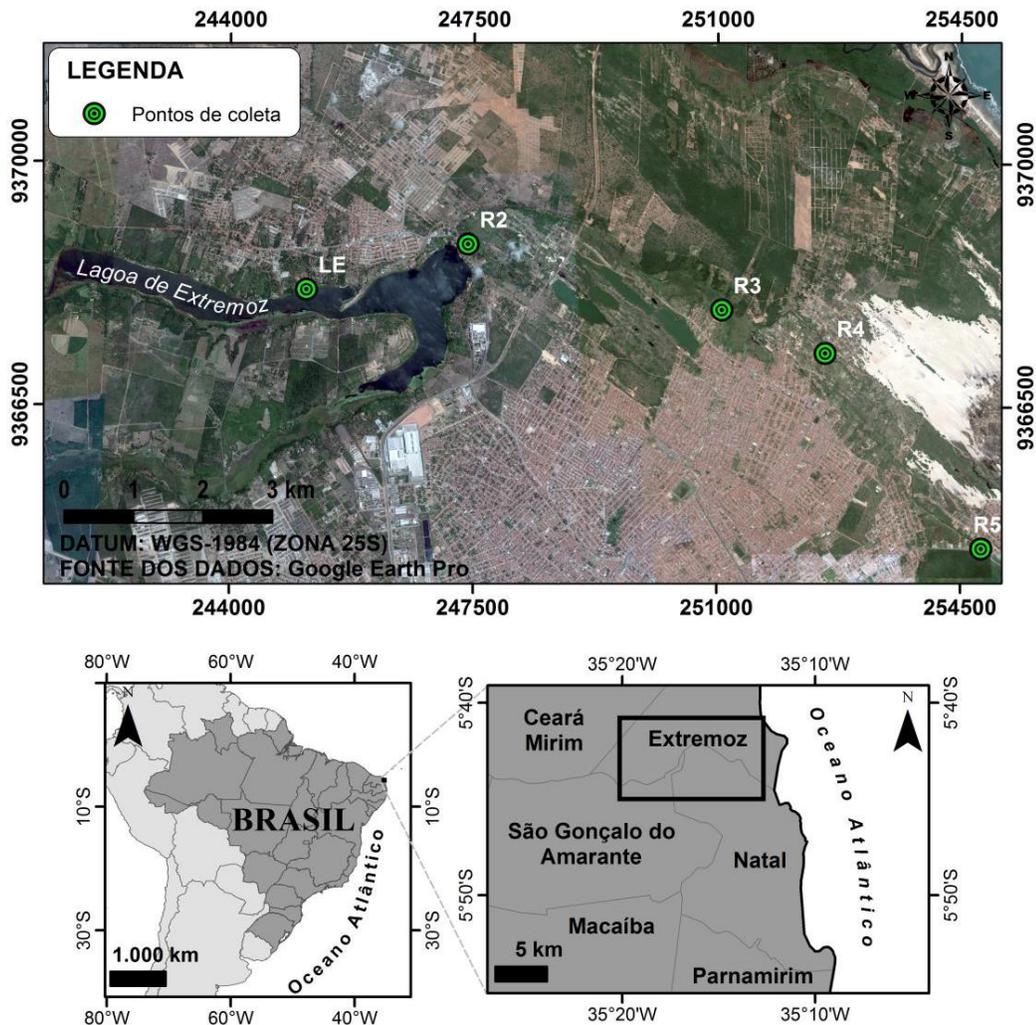


Figura 2: Pontos de amostragem no Rio Doce. R2: Rio Doce na saída da Lagoa de Extremoz; R3: Lagoa Azul; R4: Pajuçara; R5: Redinha, na confluência do Rio Doce com área de mangue, na Avenida Dr. João Medeiros Filho. R3 e R4 encontram-se em região com atividade de horticultura e crescimento urbano desordenado.

2.1 Amostragem de água

Garrafas plásticas com capacidade de 2 litros foram preenchidas com água do local de coleta, próximo à margem do corpo hídrico, com no máximo 1 metro de profundidade. A amostra para OD foi coletada em recipiente separado. As análises foram realizadas no laboratório da Empresa de Pesquisa Agropecuária (EMPARN). Os parâmetros da água avaliados em cada local incluíram pH, condutividade elétrica, nitrito, turbidez, cloreto, oxigênio dissolvido e dureza de acordo com os métodos e procedimentos descritos em Golterman *et al.*, (1978). Os metais traço dosados foram Zinco (Zn), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Ferro (Fe), Cádmiio (Cd) e Cromo (Cr).

As análises foram realizadas obedecendo a procedimentos metodológicos definidos pela APHA (1998). Após a digestão da amostra todos os extratos foram analisados por Espectrofotometria de Absorção Atômica-EAA (Varian FS), empregando-se o sistema chama-aracetileno, em um aparelho com limites de detecção de $0,01 \text{ mg/L}^{-1}$ (**Quadro 1**).

Parâmetro	Unidade	Procedimento	Limites de Detecção
Condutividade	µS/cm	Potenciometria	-
Dureza	mg/L	Titulometria	1,00
Nitrito	mg/L	Método colorimétrico	0,02
pH	Adimensional	Potenciometria	-
Oxigênio Dissolvido	mg/L	Titulometria	-
Turbidez	UT	Método colorimétrico	5,00
Cloreto	mg/L	Titulometria	-
Metais traço	mg/L	Standard Methods 1995	0,01

Quadro 1: Parâmetros, técnica analítica e limite de detecção dos métodos utilizados nas análises dos parâmetros físicos e químicos

Os valores detectados foram comparados com os valores para qualidade de água estabelecidos pela Resolução 357/2005 do CONAMA (BRASIL, 2005), que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento.

2.3 Precipitação e temperatura em Natal

Os dados de precipitação e temperatura do ar em Natal para os anos de 2012 e 2013 foram obtidos através dos registros da Estação climatológica da UFRN e do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP, respectivamente.

3 Resultados e discussão

3.1 Metais traço

A **Figura 3** (A, B, C, D, E, F) demonstra o comportamento dos metais traço analisados na água em cada ponto de amostragem, no período de fevereiro a outubro de 2014. Para fins de comparação, em cada figura são apresentados os limites estabelecidos pela resolução 357 do CONAMA para águas de classe 1 e 2 (linha contínua) e o limite de toxicidade aguda e crônica para organismos de água doce (linha tracejada). Os limites de toxicidade aguda e crônica foram calculados para cada metal separadamente, tendo por base os valores de dureza, utilizando as equações sugeridas por Buchman (2008).

A análise dos metais traço nas amostragens realizadas mostra a ocorrência de contaminação química causada por diferentes tipos de metais traço (**figura 3**) acima dos limites permitidos pela legislação ambiental brasileira (BRASIL, 2005).

Os resultados obtidos mostraram níveis acima dos limites estabelecidos pela resolução 357 do CONAMA para cádmio, cobre, níquel e ferro, e acima do limite de toxicidade aguda e crônica para organismos de água doce (**figura 3**).

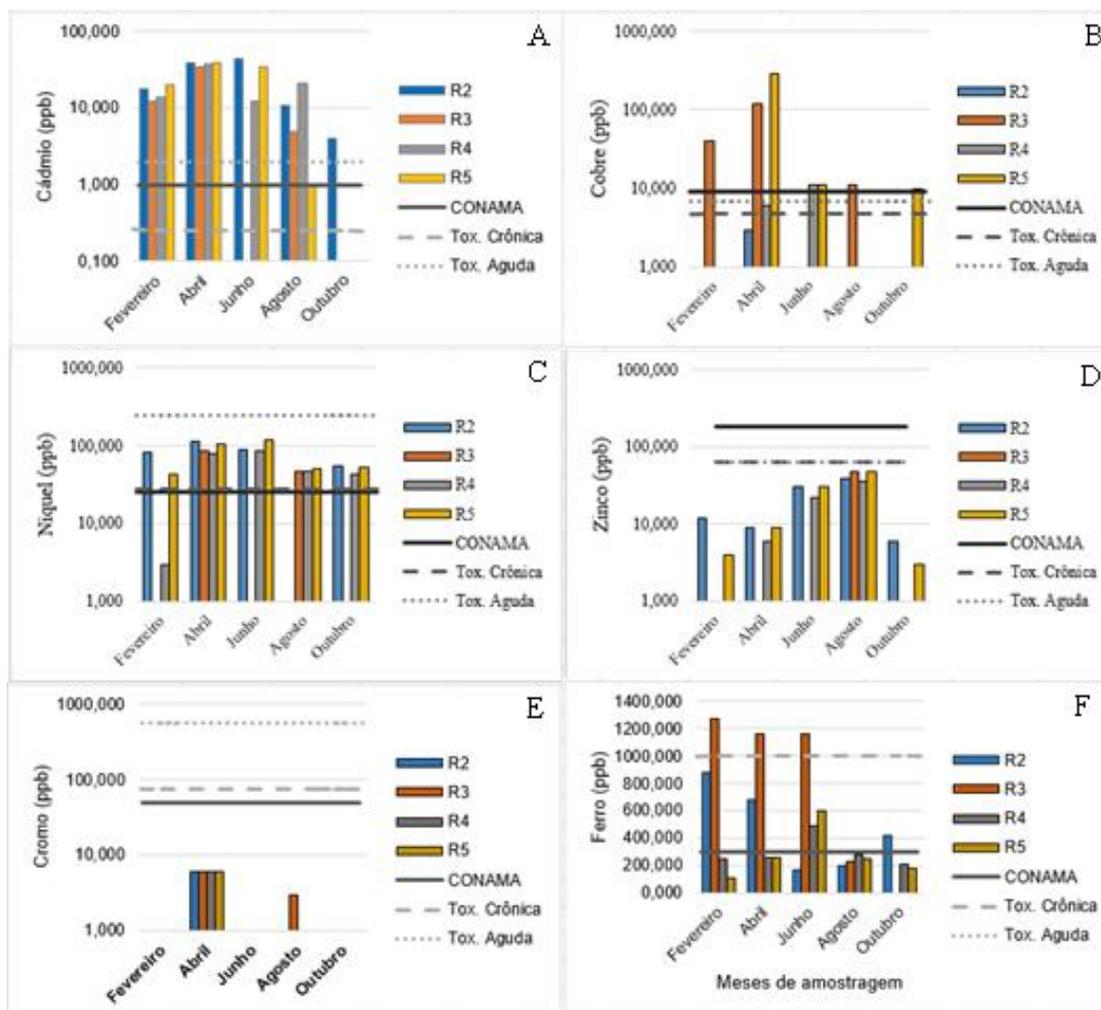


Figura 3 (A, B, C, D, E, F): Comportamento dos metais traço analisados na água no período de fevereiro a outubro de 2014. A linha contínua representa os limites estabelecidos pela resolução 357 do CONAMA para águas de classe 1 e 2; a linha tracejada indica os limites de toxicidade aguda e crônica para organismos de água doce.

Resultados similares de metais traço em água são citados nos estudos de Barbosa *et al.* (2010) realizados na Lagoa de Extremoz em 2007 e Guedes *et al.* (2005) realizado no rio Jundiá. Os mesmos valores de cádmio, cromo, cobre e níquel apresentados neste estudo também foram encontrados em abril de 2007 por Barbosa *et al.* (2010).

A presença de metais traço em amostras de água em concentrações acima daquelas permitidas pelas agências reguladoras ambientais é um forte indicador de atividades antrópicas (MICO *et al.*, 2006; OWENS e NIEMEYER, 2006; MENDIGUCHIA *et al.*, 2007) e devido à sua estabilidade e persistência, a presença desses contaminantes na água representa uma grave ameaça para a saúde dos organismos expostos (FLOREA e BUSSELBERG, 2006; VALKO *et al.*, 2006).

Os metais traço são elementos extremamente importantes em ecossistemas aquáticos porque, ainda que essenciais em pequenas concentrações, muitos são perigosos em altas concentrações, podendo bioacumular e biomagnificar no decorrer da cadeia alimentar, e apresentar riscos para todos os níveis tróficos, incluindo aqueles que estão no topo da cadeia alimentar, os seres humanos (RODGHER, *et al.*, 2005).

3.2 Parâmetros físicos e químicos

A **Figura 4** (A, B, C, D, E, F, G e H) apresenta o comportamento dos diversos parâmetros analisados na água em cada ponto de amostragem, no período de fevereiro a outubro de 2014, sendo os mesmos ordenados de acordo com a distribuição dos pontos.

Para fins de comparação, na mesma Figura (3H) 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 maior precipitação observada foi no mês de junho de 538,5 mm e a menor precipitação no mês de agosto de 29,7 mm.

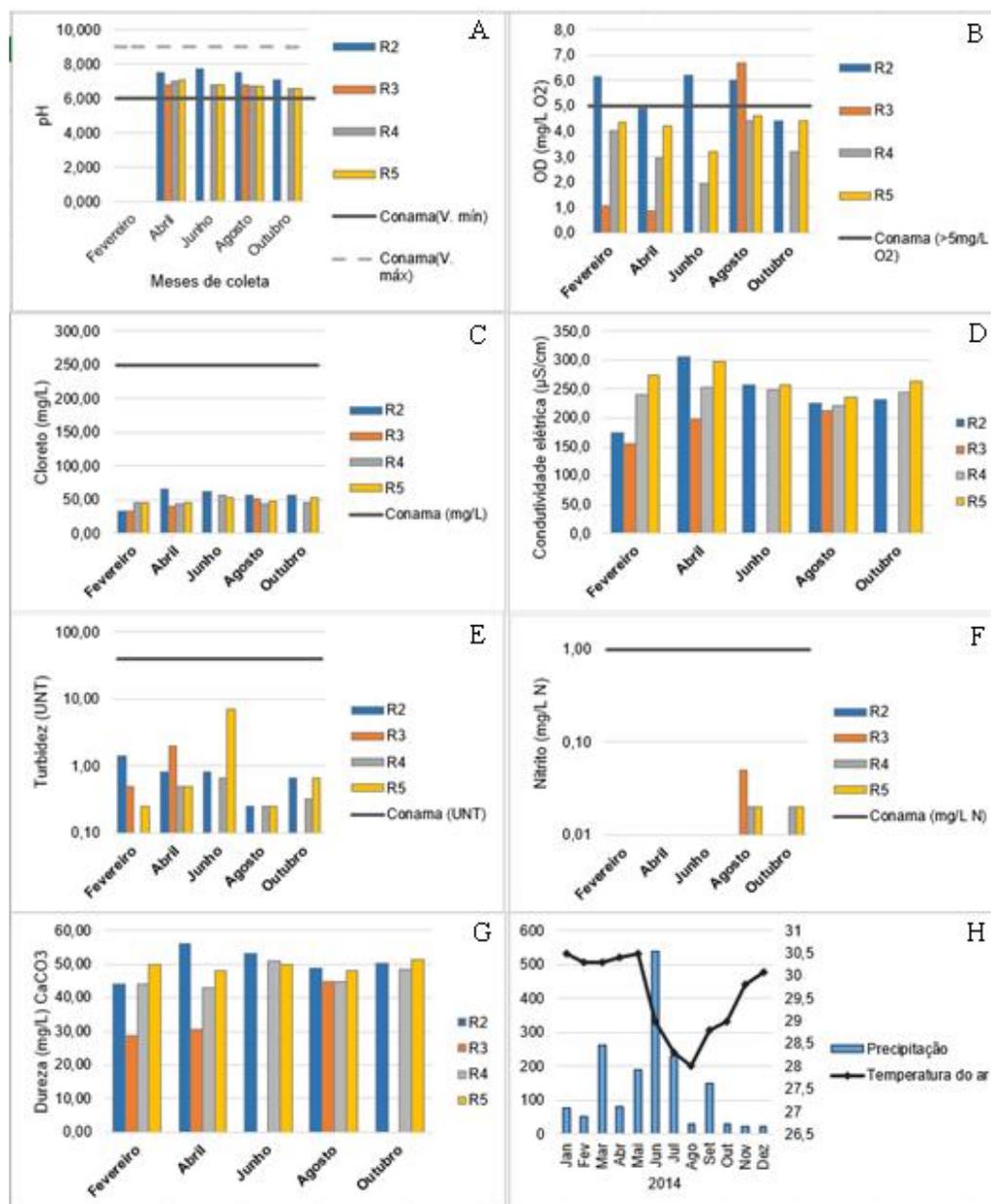


Figura 4: Representação gráfica dos parâmetros físico-químicos da água do Rio Doce (A, B, C, D, E, F, G), da precipitação pluviométrica média mensal e temperatura do ar (H) em Natal, no período de fevereiro a outubro de 2014.

O pH (**figura 4A**) apresentou valores dentro do limite estabelecido pela Resolução 357/05 do CONAMA para a classe 1 e 2, que determina valores entre 6 a 9 para este parâmetro.

Resultados similares de pH foram relatados por Soares (2006) em estudo realizado na mesma área no período de abril e maio de 2005. Moura *et al.* (2013) encontraram uma tendência geral de diminuição do pH da água do rio Doce entre os meses de julho a novembro de 2010, e também observaram diminuição da precipitação e aumento da temperatura ambiente. Resultados similares aos de Moura *et al.* (2013) também foram observados em estudo realizado em 2012 e 2013, nos mesmos pontos de amostragem; nesse caso, nos pontos R2 e R3 os valores do pH diminuíram significativamente de janeiro a maio de 2013 (GOMES *et al.*, submetido).

O Oxigênio dissolvido (**figura 4B**) apresentou valores abaixo do estabelecido pela resolução 357 do CONAMA em todos os meses amostrados. Os menores valores de OD foram observados nos pontos R3 e R4 nos meses de fevereiro e abril de 2014. Soares (2006) e Moura *et al.* (2013) também encontraram diminuição nos valores de OD em seus estudos no período de 2005 e 2010, respectivamente, e para os mesmos pontos da presente pesquisa.

Nos meses de fevereiro e abril de 2014 houve diminuição gradativa na precipitação pluviométrica na 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. A menor precipitação pluviométrica ao longo do período seco, aliada à menor recarga do aquífero freático, e menor contribuição subterrânea deste para o fluxo de base, devem reduzir a velocidade e renovação das águas do rio, que por sua vez é impactado pelo lançamento de poluentes que promovem o aumento do consumo, reduzindo-o a valores abaixo do recomendado (MOURA *et al.*, 2013).

A concentração de oxigênio dissolvido em água é uma das variáveis ambientais mais importantes na dinâmica e caracterização dos ecossistemas aquáticos. Essa variável é influenciada por alterações sazonais da precipitação, temperatura, fluxo de água (RODGHER, *et al.*, 2005). As baixas concentrações de oxigênio dissolvido baixas encontradas no ponto R3 podem ser resultantes da decomposição de matéria orgânica intensiva, o que reduz as concentrações de oxigênio.

Os valores do cloreto (**figura 4C**) apresentaram-se dentro do limite estabelecido pela Resolução 357/05 do CONAMA para águas doces de classe 1 e 2 que é de 250 mg/L em todos os pontos de analisados, com valor mínimo de 33,13 mg/L e máximo de 66,26 mg/L. Moura *et al.* (2013) relatam que não houve um padrão de aumento ou diminuição dos teores de cloreto na água ao longo dos meses, no período entre julho e dezembro de 2010.

A condutividade (**figura 4D**) apresentou um valor mínimo de 154,90 $\mu\text{s}/\text{cm}$, no ponto R3 no mês de fevereiro e valor máximo de 305,10 $\mu\text{s}/\text{cm}$, no ponto R2, em abril. Valores similares para os mesmos pontos foram encontrados nos estudos de Soares (2006) e Moura *et al.*, (2013). Segundo Esteves (1988) os valores de condutividade de ambientes aquáticos em regiões tropicais estão mais relacionados com as características geoquímicas de suas bacias de drenagem e com a climatologia do que com seu estado trófico. Contudo em uma mesma região a condutividade pode ser utilizada como indicadora de eutrofização progressiva.

A turbidez (**figura 4E**) encontra-se na faixa de 0,1 UNF (valor mínimo) no ponto R3 (agosto) e máximo de 7,0 UNF no ponto R5 (junho); Moura *et al.*, (2013) apresentaram valor maior que o estabelecido pela Resolução 357/05 do CONAMA, no ponto R5 no mês de outubro de 2010.

O nitrito (**figura 4F**) apresentou valor mínimo de 0,01 mg.L⁻¹ nos pontos R4 e R5 (abril e junho) e valor máximo de 0,05 mg.L⁻¹ no ponto R3 (agosto). No ponto R4 e R5 é presente a existência de casas e bares com área de lazer em seu entorno e visível a descarga de esgoto em ambos os pontos. Os mesmos valores de nitrito também foram encontrados no estudo de Soares (2006). O nitrito é resultante do processo de nitrificação, e geralmente é maior em águas pouco oxigenadas. Os valores mais elevados de nitrito nos pontos R4 e R5, podem estar associados aos baixos teores de OD encontrados nesses mesmos pontos.

A dureza (**figura 4G**) apresentou valor mínimo de 28,5 no ponto R3 (fevereiro) e valor máximo de 56,06 (abril); o limite estabelecido da dureza é de 500 mg/L segundo a portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. A dureza é a medida da concentração de íons de metais traço

como o cálcio, magnésio, ferro e o zinco. A maioria destes íons são adquiridos pela lixiviação da água da chuva que passa pelas rochas. A presença de alguns metais traço como ferro, alumínio, zinco e manganês podem contribuir para o aparecimento da dureza da água, podendo ser tóxicos em altas concentrações (LAGGER 2000).

5 Considerações finais

O presente estudo revelou contaminação química na água do rio Doce, causada pela presença de metais traço. Os resultados obtidos mostraram níveis acima dos limites estabelecidos pela resolução 357 do CONAMA para ferro, cádmio, cobre e níquel, apresentando variação nas concentrações dos metais traço ao longo do rio e oscilações no decorrer dos meses amostrados.

A análise dos parâmetros físicos e químicos evidenciou que o oxigênio dissolvido foi o parâmetro que apresentou maior alteração nos resultados; os menores valores de oxigênio dissolvido (OD) foram identificados nos pontos R3 e R4. Também foi possível observar alterações nos resultados dos parâmetros em relação aos meses amostrados ao longo do ano e ao longo do rio, apesar dos mesmos apresentarem valores dentro do estabelecido pela resolução 357 do CONAMA.

As alterações encontradas nos parâmetros físicos e químicos e os resultados obtidos das análises de metais traço medidos em água evidenciam que ocorreu uma variação espacial e temporalmente das variáveis utilizadas nesse estudo.

Como fatores que influenciaram os resultados dos metais traço 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 bacia drenagem.

Referências

ALLOWAY, B. J.; AYRES, D. C. Inorganic pollutants. In: **Chemical principles of environmental pollution**. London: Blackie Academic and Professional, 1993. p.109-195.

AMÉRICO, M. C. O.; LIMA, R. F. S.; LOPES JUNIOR, E. Processos sócio-ambientais em comunidades de crescimento desordenado. **Serviço Social e Sociedade**, São Paulo, v.90, p.132-153, 2007.

APHA - American Public Health Association, Washington. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater** 20th ed. DC 1998. 1220 p.

BARBOSA, J. S.; CABRAL, T. M.; FERREIRA D. N.; AGNEZ-LIMA, L. F.; BATISTUZZO DE MEDEIROS, S. R. Genotoxicity assessment in aquatic environment impacted by the presence of heavy metals. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.73, p.320-325, 2010.

BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>. Acesso em 28 de agosto de 2015.

BOTELHO, R. G.; ROSSI, M. L.; MARANHO, L. A.; OLINDA, R. A.; TORNISIELO, V. L. Evaluation of surface water quality using an ecotoxicological approach: a case study of the

Piracicaba River (São Paulo, Brazil). **Environmental Science Pollution Research**, v.20, n.7, p.4382-4395, 2013.

BRASIL. 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. 2005.

BRASIL. **Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Poder Executivo, Brasília, 26 de março de 2004.

BUCHMAN, M. F. **Screening quick reference tables**. Seattle: Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 2008. 34 pages. (NOAA OR&R Report 08-1).

COOPER, D. C.; THORNTON, I. Drainage geochemistry in contaminated terrains. In: HALE, M.; PLANT, J. A. **Handbook in drainage geochemistry: drainage geochemistry**, 1994. p.447-497.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciências; FINEP, 1988. 602 p.

FAUSTINO, A. B.; RAMOS, F. F.; SILVA, S. M. P. Dinâmica temporal do uso e cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN) com base em Sensoriamento Remoto e SIG: uma contribuição aos estudos ambientais. **Sociedade e Território**, v.26, n.2, p.18-30, 2014.

FLOREA, A. M.; BUSSELBERG, D. Occurrence, use and potential toxic effects of metals and metal compounds. **Biometals**, v.19, p.419-427, 2006.

GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S.; OHNSTAD, M. A. M. **Methods for physical and chemical analysis of freshwater**. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 1978, 213p.

GOYER, R. A.; LIU, J.; WAALKES, M. P. Cadmium and cancer of prostate and testis. **Biometals**, v.17, p.555-558, 2004.

GUEDES, J. A.; LIMA, R. F. S.; SOUZA, L. C. Metais traço pesados em água do rio Jundiá Macaíba, RN. **Revista de Geologia**, Fortaleza, v.18, n.2, p.131-142, 2005.

LAGGER, J. R.; MATA, H. T.; PECHIN, G. H.; LARREA, A. T.; OTRISKY, R. N.; CESAN, R. O.; CAIMIER, A. G.; MEGLIA, G. E. La importancia de calidad del agua en producción lechera. **Veterinaria Argentina Facultad de Ciencias Veterinaria, UNL Pam**, La Pampa, v.17, n.165, p.346-354, 2000.

IL'YASOVA, D.; SCHWARTZ, G. G. Cadmium and renal cancer. **Toxicology and Applied Pharmacology**, v.207, p.179-186, 2005.

LU, H.; SHI, X.; COSTA, M.; HUANG, C. Carcinogenic effect of nickel compounds. **Molecular and Cellular Biochemistry**, v.279, p.45-67, 2005.

MENDIGUCHIA, C.; MORENO, C.; GARCIA-VARGAS, M. Evaluation of natural and anthropogenic influences on the Guadalquivir River (Spain) by dissolved heavy metals and nutrients. **Chemosphere**, v.69, p.1509-1517, 2007.

MICO, C.; RECATALA, L.; PERIS, M.; SANCHEZ, J. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of a European Mediterranean area by multivariate analysis. **Chemosphere**, v.65, p.863-872, 2006.

GOMES, W. K. A. M., SOUZA, R. F., MEDEIROS, G. F., CRISPIM, M. C.B. Resposta ecotoxicológica e parâmetros físicos e químicos em rio de área costeira do nordeste brasileiro. **Gaia Scientia**. Artigo submetido em setembro de 2015.

MOURA, W. K. A.; SOUZA, R. F.; SOUZA, C.R.; PETTA, R. A.; DINIZ FILHO, J. B. 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. Cap.11, p.221-242.

RANK, J.; NIELSEN, M. H. Genotoxicity testing of waste water sludge using the Allium cepa anaphase-telophase chromosome aberration assay. **Mutation Research**, v.418, p.113-119, 1998.

RODGHER, S.; ESPÍNDOLA, E. L. G.; ROCHA, O.; FRACÁCIO, R.; PEREIRA, R. H. G.; RODRIGUES, M. H. S. Limnological and ecotoxicological studies in the cascade of reservoirs in the Tietê River (São Paulo, Brazil). **Brazilian Journal Biology**, p.65, n.4, p.697-710, 2005.

SIVULKA, D. J. Assessment of respiratory carcinogenicity associated with exposure to metallic nickel: a review. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v.43, p.117-133, 2005.

SOARES, R. C. **Diagnóstico e avaliação ambiental da Zona de Proteção Ambiental (ZPA-9), baixo curso do Rio Doce, Natal/RN**. Dissertação em Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006. 103 p.

SMITH, K. S.; HUYCK, H. L. O. An overview of the abundance, relative mobility, bioavailability, and human toxicity of metals. In: PLUMLEE, G. S.; LOGSDON, M. J. (Eds). The environmental geochemistry of mineral deposits, Part A. Processes, Techniques, and Health Issues, Society of Economic Geologist, **Reviews in Economic Geology**, v.6 (A), p.29-70, 1999.

OWENS, J. E.; NIEMEYER, E. D. Analysis of chemical contamination within a canal in a Mexican border colonia. **Environmental Pollution**, v.140, p.506-515, 2006.

VALKO, M.; RHODES, C. J.; MONCOL, J.; IZAKOVIC, M.; MAZUR, M. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. **Chemical Biological Interaction**, v.160, p.1-40, 2006.

VAN DER OOST, R.; BEYER, J.; VERMEULEN, N. P. E. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v.13, p.57-149, 2003.