



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
STRICTO SENSU EM ENGENHARIA DO MEIO
AMBIENTE - PPGEMA



LAÍS SIMÕES DE MOURA

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DA ÁGUA E SEDIMENTO
DE QUATRO MANANCIAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DO ESTADO DE
GOIÁS

GOIÂNIA – GO

2014

LAÍS SIMÕES DE MOURA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DA ÁGUA E SEDIMENTO
DE QUATRO MANANCIAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DO ESTADO DE
GOIÁS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

Área de Concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Dra. Katia Kopp.

Goiânia – GO

2014

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)
GPT/BC/UFG**

M929a Moura, Laís Simões de.
Avaliação da qualidade ambiental da água e sedimento de quatro mananciais de abastecimento público do estado de Goiás [manuscrito] / Laís Simões de Moura. - 2014.
xv, 99 f. : il., figs, tabs.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Katia Kopp; Co-orientador:
Prof^o. Dr^o. Guilherme Roberto de Oliveira

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás,
Escola de Engenharia Civil, 2014.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras e tabelas.

1. Água – Qualidade – Goiás 2. Abastecimento de água
– Goiás 3. Mananciais de abastecimento – Goiás I. Título.

CDU: 628.16(817.3)

LAÍS SIMÕES DE MOURA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DA ÁGUA E
SEDIMENTO DE QUATRO MANANCIAIS DE
ABASTECIMENTO PÚBLICO DO ESTADO DE GOIÁS**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente no Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, aprovada em **29** de **agosto** de **2014** pela seguinte Banca Examinadora:



Prof. Dr^a. Katia Kopp – Universidade Federal de Goiás

Presidente da Banca



Prof. Dr. Eduardo Queija de Siqueira - UFG

Examinador Interno



Prof. Dr^a. Núbia Natália de Brito – UFG

Examinador Externo

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, irmã, avó, familiares,
amigos e namorado que sempre compreenderam o meu amor pelos estudos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por ter me sustentado por todo esse período da pós-graduação. Foram muitos os dias difíceis e sem Ele eu não teria chegado até o fim.

Agradeço à prof. Katia Kopp pela orientação e convivência harmoniosa. Obrigada por ter dividido essa caminhada comigo!

Agradeço aos meus pais, Juvenil e Helena, pelo amor, carinho e compreensão em todo o tempo. À Juliana, minha irmã, pela amizade, companheirismo e carinho. Aos meus familiares que sempre estiveram ao meu lado, apoiando meus sonhos e entendendo os momentos em que não pude estar presente.

Agradeço ao Victor Daniel pelo companheirismo, estímulo e compreensão sempre. Obrigada pela ajuda insubstituível nas coletas, pois fazer tudo aquilo sem você teria sido algo enfadonho e muito difícil. Obrigada por acreditar que eu sempre posso mais e por compreender a minha variação de humor durante esse período. Agradeço também pelos pequenos, mas indispensáveis, auxílios na etapa de formatação do trabalho. Eu amo você.

Agradeço à minha sogra Erondina Aires pela ajuda que só quem é mãe se dispõe a oferecer. Obrigada por cuidar de mim e me receber em sua casa. Sou eternamente grata.

Agradeço aos meus colegas de turma pelos risos, lanches e companheirismo. Agradeço em especial, à Rafaela Jacob, Aline Lima, Claudinha Guedes, Nady Elle e Diogo Colvero...amizades que quero ter para sempre.

Agradeço ao Uendel Pereira pela ajuda nas coletas. Obrigada pela consideração e disposição sempre em todo o tempo. O meu desejo é que você receba em dobro toda a ajuda que me deu.

Ao prof. Paulo Sérgio Scalize, coordenador do laboratório de Qualidade das Águas e Monitoramento Ambiental – LAQUAMA-UFG/GO, pela disponibilização do laboratório e materiais. Ao prof. Eraldo de Carvalho, coordenador do laboratório de Saneamento-UFG pela disponibilização do laboratório e equipamentos.

Ao prof. Maximiliano Bayer (LABOGEF-UFG) por ter possibilitado a realização das análises granulométricas, prof. Guilherme Oliveira e prof. Paulo Sérgio (IQ-UFG) pela receptibilidade e ajuda nas leituras de amostras de metais na água e prof. Wilson Mozena (LASF-EA-UFG) pela disposição e ajuda nas análises de metais nos sedimentos.

À técnica Nayara Rezende pela ajuda e disposição sempre que precisei. Você merece toda a minha consideração e respeito.

À todos que, mesmo que não tenham tido seus nomes citados, de uma forma ou outra, contribuíram para a realização desse trabalho, recebam o meu muito obrigada!

EPÍGRAFE

**"A mente que se abre a uma nova
ideia jamais volta ao seu tamanho original."**

Albert Einstein

Sumário

| | |
|------------------------------|----|
| RESUMO..... | i |
| ABSTRACT | ii |
| INTRODUÇÃO | 1 |
| REFERÊNCIAS | 4 |
| CAPÍTULO 1 | 6 |
| INTRODUÇÃO | 8 |
| OBJETIVO | 9 |
| METODOLOGIA..... | 9 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO | 10 |
| CONCLUSÕES | 15 |
| REFERÊNCIAS..... | 16 |
| CAPÍTULO 2 | 18 |
| INTRODUÇÃO | 19 |
| MATERIAIS E MÉTODOS | 20 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 21 |
| CONCLUSÕES | 27 |
| REFERÊNCIAS | 28 |
| ABSTRACT | 29 |
| CAPÍTULO 3 | 30 |
| INTRODUÇÃO | 32 |
| MATERIAIS E MÉTODOS | 34 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 38 |
| CONCLUSÕES | 56 |
| REFERÊNCIAS | 58 |
| CAPÍTULO 4 | 63 |
| INTRODUÇÃO | 65 |
| MATERIAIS E MÉTODOS | 67 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 70 |
| CONCLUSÕES | 81 |
| REFERÊNCIAS | 84 |

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Número de trabalhos publicados (n=812), no período de 2001 a 2011, com os termos "water quality", "sediment", "pollution". | 10 |
| Figura 2 - Idiomas adotados nas publicações, no período de 2001 a 2011, com os termos "water quality", "sediment", "pollution". | 11 |
| Figura 3 - Países que mais publicaram, no período de 2001 a 2011, com os termos "water quality", "sediment", "pollution". | 12 |
| Figura 4 - Relação entre a quantidade de publicações entre os anos de 2001 a 2011 e respectivas áreas do conhecimento | 14 |
| Figura 5 - Relação entre a quantidade e locais de publicações entre os anos de 2001 a 2011. | 15 |

CAPÍTULO 2

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Localização dos municípios e dos pontos de coleta nos quatro mananciais de abastecimento estudados na região metropolitana de Goiânia – Goiás. | 22 |
| Figura 2 - Vista da margem do Manancial A localizado no município de Goianápolis/GO. | 23 |
| Figura 3 - Erosão aparente na margem do Manancial A localizado no município de Goianápolis/GO. | 24 |
| Figura 4 - Manancial B localizado no município de Nerópolis/GO em área brejosa. | 24 |
| Figura 5 - O Manancial B (localizado no município de Nerópolis/GO) é margeado por pastagem, uma estrada e ainda serve para saciar a sede de animais. | 25 |
| Figura 6 - Curso estreito do Manancial B (localizado no município de Nerópolis/GO) e assoreamento acentuado. | 25 |
| Figura 7 - Represamento no Manancial C, localizado no município de Terezópolis de Goiás/GO. | 26 |
| Figura 8 - Margem do Manancial C (localizado no município de Terezópolis de Goiás/GO) com pastagem e mata ciliar escassa. | 26 |
| Figura 9 - Margem assoreada do Manancial C (localizado no município de Terezópolis de Goiás/GO). | 26 |
| Figura 10 - Margem do Manancial D (localizado no município de Trindade/ GO) rodeada por pastagens e escassa mata ciliar original. | 27 |
| Figura 11 - Margem assoreada e resquícios de fogueira indicando uso recreativo do Manancial D, localizado no município de Trindade/ GO. | 27 |

CAPÍTULO 3

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Localização dos municípios e dos pontos de coleta nos quatro mananciais de abastecimento estudados na região metropolitana de Goiânia – Goiás. | 35 |
| Figura 2 - Valores de precipitação total em milímetros durante o período de um ano na cidade de Goiânia/GO. | 37 |
| Figura 3 - Representação do percentual granulométrico dos pontos amostrais dos quatro rios estudados no período de seca. | 55 |
| Figura 4 - Representação do percentual granulométrico dos pontos amostrais dos quatro rios estudados no período chuvoso. | 56 |

CAPÍTULO 4

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Localização dos municípios e dos pontos de coleta nos quatro mananciais de abastecimento estudados na região metropolitana de Goiânia – Goiás. | 68 |
|---|----|

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1 - Resultado da aplicação do protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats nos quatro mananciais de abastecimento da região metropolitana de Goiânia, Goiás. 23

CAPÍTULO 3

Tabela 1 - Cidades e respectivos mananciais onde as coletas foram realizadas. Os valores das coordenadas e a área das bacias dos mesmos também são apresentados. 34

Tabela 2 - Coordenadas geográficas dos pontos amostrais. 36

Tabela 3 - Resultados de algumas análises físico-químicas realizadas nas amostras de água coletadas em quatro rios localizados na região metropolitana de Goiânia, Goiás. 40

(Continuação) Tabela 3 - Resultados de algumas análises físico-químicas realizadas nas amostras de água coletadas em quatro rios localizados na região metropolitana de Goiânia, Goiás. 41

Tabela 4 - Resultados de análises físico-químicas realizadas nas amostras de água coletadas em quadro rios localizados na região metropolitana de Goiânia, Goiás. 45

(Continuação) Tabela 4 - Resultados de análises físico-químicas realizadas nas amostras de água coletadas em quadro rios localizados na região metropolitana de Goiânia, Goiás. 46

Tabela 5 - Valores dos resultados das análises microbiológicas realizadas nas amostras de água coletadas em quadro rios localizados na região metropolitana de Goiânia, Goiás. 50

Tabela 6 - Valores dos resultados das análises realizadas nas amostras de sedimento coletadas em quadro rios localizados na região metropolitana de Goiânia, Goiás. 53

CAPÍTULO 4

Tabela 1 - Coordenadas geográficas dos pontos amostrais. 67

Tabela 2 - Concentração dos metais encontrados na água dos quatro rios amostrados. 72

Tabela 3 - Concentração dos metais biodisponíveis encontrados nos sedimentos dos quatro rios amostrados. 78

Tabela 4 - Concentração dos metais totais encontrados nos sedimentos dos quatro rios amostrados. 80

RESUMO

Os mananciais de abastecimento devem ter a sua água resguardada quanto à contaminação em obediência à Resolução CONAMA nº 357/2005, que regulamenta o padrão de qualidade que a água destinada ao abastecimento público deve possuir para que então seja utilizada, após algum tipo de tratamento, pela população. Entretanto, o fato dos mananciais atuarem como o destino final de contaminantes faz necessária a realização de análises nos sedimentos para a complementação da atribuição de qualidade à água que será destinada ao consumo pelo fato dele abrigar contaminantes oriundos da atmosfera, solo e até mesmo da própria água. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar a qualidade ambiental de quatro mananciais de abastecimento – Ribeirão Sozinha, Córrego Água Branca, Córrego dos Macacos e Ribeirão Arrozal - situados na região metropolitana de Goiânia/GO. O estudo foi dividido em quatro capítulos. O primeiro capítulo abordou a importância da análise de sedimentos na discussão da qualidade da água e revelou que em um período de dez anos, a quantidade de trabalhos publicados que analisaram o sedimento é pequena, mas os números de publicações relacionadas têm aumentado a cada ano. O segundo capítulo avaliou a qualidade dos mananciais de uma forma holística classificando-os de acordo com resultados da aplicação de um Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats e de algumas análises físico-químicas, com isso percebeu-se que esses mananciais estão sofrendo com a ação antrópica e que isso pode vir a comprometer a qualidade da água dos mesmos. O terceiro capítulo avaliou a qualidade dos mananciais a partir dos resultados obtidos da realização das análises de temperatura, pH, Eh, condutividade elétrica, turbidez, OD, DBO, DQO, matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo total, sólidos suspensos totais, sólidos totais, sólidos dissolvidos totais, coliformes totais e *Escherichia coli* na água e nos sedimentos foram realizadas análises de pH, Eh, umidade, matéria orgânica e granulometria no sedimento. Assim, foi possível avaliar os quatro mananciais na categoria de água doce classe II de acordo com a legislação pertinente e, considerando esses parâmetros, eles apresentam boa qualidade e podem continuar sendo usados para essa finalidade. O quarto capítulo avaliou a qualidade dos mananciais em relação à concentração de seis metais na água e sedimento. Foram encontradas concentrações de Cd, Cr e Cu, na água; e concentrações de Cd, Cr e Ni no sedimento em discordância os valores limites estabelecidos pela legislação vigente. Dessa forma, concluiu-se que esses mananciais, mesmo apresentando sinais de degradação física de origem antropogênica, ainda oferecem água de qualidade. Entretanto, faz-se necessário o monitoramento contínuo dessa qualidade a fim de se evitar problemas futuros às populações que dependem desse recurso hídrico.

PALAVRAS-CHAVE: qualidade ambiental, mananciais de abastecimento, sedimento, análises físico-químicas e microbiológicas.

ABSTRACT

The sources of supply must have its sheltered water for contamination in obedience to CONAMA Resolution 357/2005, which regulates the standard of quality that water for public supply should have to be used by the population, after some treatment. However, the fact that the rivers act as the last destination of contaminants it is necessary analyzes the sediment to the complete assignment quality water for consumption because the contaminants coming from air, land and even their own water. Thus, the aim of this study was to evaluate the environmental quality of four sources of supply - Ribeirão Sozinha, Córrego Água Branca, Córrego dos Macacos e Ribeirão Arrozal, - located in the metropolitan area of Goiânia / GO. The study was divided into four sections. The first chapter discussed the importance of sediment analysis in the discussion of water quality and found that over a period of ten years, the number of published studies that analyzed the sediment is small, but the numbers of related publications have increased each year. The second chapter evaluated the quality of water sources in a holistic manner classifying them according to the results of applying a Rapid Assessment Protocol Diversity of Habitats and some physico-chemical analysis. It was noted that these rivers are suffering from anthropic action and it can compromise the water quality of them. The third chapter measured the quality of the rivers from the results obtained from analyzes of temperature, pH, Eh, conductivity, turbidity, DO, BOD, COD, organic matter, total nitrogen, total phosphorus, total suspended solids, total solids, total dissolved solids, total coliform and *Escherichia coli* in water and sediment test results of pH, Eh, moisture, organic matter and sediment grain size. Thus, it was possible to evaluate the four rivers in the category of class II freshwater according to relevant legislation and, considering these parameters, they have good quality and can continue to be used for this purpose. The fourth chapter evaluated the quality of water sources in relation to the concentration of six metals in water and sediment. Concentrations of Cd, Cr and Cu were found in the water; and concentrations of Cd, Cr and Ni in the sediment disagreement the limits established by law. Thus, it was concluded that these sources, even showing signs of anthropogenic physical deterioration, still offer quality water. However, it is necessary to the continuous monitoring of this quality in order to avoid future problems to the population who depend on this water resource.

KEYWORDS: environmental quality, sources of supply, sediment, physico-chemical and microbiological analysis.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural indispensável para o desenvolvimento de diversas atividades econômicas e industriais e para a manutenção da vida como um todo. Embora ela seja a substância encontrada em maior abundância na superfície da Terra, apenas 2,5% dessa totalidade é doce, enquanto que o restante é água salgada. E dessa pequena percentagem de água doce, aproximadamente dois terços se encontram na forma de geleiras e cobertura de neve permanente (UNESCO, 2003; VON SPERLING, 2006; IFECT, 2012).

Dentre as várias funções desempenhadas pela água doce, tem-se a de abastecimento. A água de mananciais que é destinada ao consumo humano deve atender a um padrão de qualidade que é composto por parâmetros que são os responsáveis em conferir qualidade à água que será consumida pela população após tratamento adequado (BRASIL, 2006 apud MOURA et al., 2013). Esses parâmetros estão dispostos na Resolução CONAMA nº 357/2005, onde os valores máximos permitidos que podem ser atingidos pelos parâmetros são apresentados a fim de que não comprometam a qualidade exigida para a água que será tratada e posteriormente destinada ao abastecimento humano.

Embora a água destinada ao consumo humano deva ser resguardada em relação à contaminação, já que será ingerida, isso não é o suficiente para garantir o seu atendimento aos padrões exigidos pela legislação. Isso porque esse recurso acaba sendo o destino final de contaminantes presentes em várias fontes, como emissão de efluentes industriais e domésticos, pesticidas, água de irrigação contaminada, queima de biomassa, combustão de carvão e óleo, emissões veiculares e incineração de resíduos urbanos e industriais (MOURA et al., 2013).

Dessa forma, a maioria dos mananciais está sujeita à contaminação por várias fontes pontuais e difusas. Como exemplos de poluição pontual tem-se o despejo de efluentes industriais não tratados e resíduos de agroquímicos nos corpos hídricos. Já a proximidade a rodovias, com o meio urbano e o fato das águas das chuvas arrastarem materiais para os corpos d'água caracterizam a poluição difusa. Dessa forma, a poluição pode alterar as

características físicas, químicas e microbiológicas desse ambiente, ocasionando problemas que podem, às vezes, ser reconhecidos apenas em longo prazo (RIOS et al., 2013).

Os resíduos descartados e/ou que acabam tomando o rumo dos rios podem estar presentes na água e/ou nos sedimentos, que são as camadas de partículas minerais e orgânicas finamente granuladas que estão em contato com a parte inferior dos corpos d'água naturais (COSTA et al., 2008). O sedimento dos ecossistemas aquáticos é responsável pela disponibilidade de habitats e micro habitats, alimentos, proteção e exercem um papel importante na estruturação das comunidades de macroinvertebrados bentônicos (CALLISTO e ESTEVES, 1996).

Mesmo apresentando sendo importantes para a microbiota, o sedimento pode atuar como poluidor dos corpos hídricos por agir como catalisador, carreador e agente fixador de agentes poluidores. Quando isso acontece, ele pode degradar a qualidade da água para a vida aquática e, conseqüentemente, para o consumo humano, pois produtos químicos, como os metais, podem ser adsorvidos ou concentrados sobre e dentro de suas partículas mais finas (CARVALHO et al., 2000).

Os metais são exemplos de contaminantes. O seu acúmulo nos meios aquáticos, provenientes de atividades antropogênicas, em sua maior parte, pode promover efeitos destrutivos à biota aquática. Considerando as interdependências entre os organismos aquáticos, estas modificações podem proporcionar desequilíbrios ecológicos (HUDSON, 1998). A determinação da concentração de metais na água é comum, mas esse tipo de análise em sedimentos, nem tanto. Assim, a importância do estudo da concentração de metais nesse ambiente não pode ser descartada, já que concentrações específicas desses elementos são extremamente tóxicas e a sua acumulação pode provocar graves doenças, sobretudo nos mamíferos (FERREIRA, HORTA e CUNHA, 2010).

Além dos problemas que a população que consome a água proveniente desses mananciais está sujeita não se podem ignorar as conseqüências às quais o próprio ecossistema aquático está sujeito. Exemplos comuns de problemas advindos da baixa qualidade da água são a desestruturação do ambiente físico e químico, a alteração da dinâmica natural

das comunidades biológicas e consequente perda da biodiversidade aquática (GOULART e CALLISTO, 2003). Esses problemas, por sua vez, completam parte do ciclo onde o homem e os demais animais sofrem as consequências das atitudes devastadoras antrópicas.

Uma ferramenta auxiliar de fácil aplicação na avaliação das características da água e sedimento juntamente com o tipo de ocupação das margens, extensão da mata ciliar e outras características pertinentes a cada manancial é o Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats proposto por Callisto et al. (2002). Esse protocolo é utilizado na avaliação rápida de trechos de mananciais e é uma etapa em estudos de avaliação de impactos ambientais em áreas degradadas, ou seja, a resposta obtida com a sua aplicação complementa os resultados obtidos nas análises físico-químicas e microbiológicas comumente realizadas.

Considerando as implicações existentes na contaminação da água e sedimento de mananciais utilizados para o consumo humano, esse trabalho se propôs a avaliar a qualidade de quatro mananciais goianos cuja água é destinada ao abastecimento público, por meio da determinação de parâmetros físico-químicos e microbiológicos desses dois compartimentos.

Para que esse objetivo fosse alcançado, o trabalho foi dividido em quatro capítulos. O primeiro capítulo realizou uma análise quantitativa temporal da quantidade de publicações em um período de dez anos que consideraram a importância de se avaliar a qualidade dos sedimentos em parceria com as análises realizadas rotineiramente na água. A qualidade desse habitat não costuma ser considerada no estudo da qualidade das águas e dessa forma, mudar esse status é interessante no sentido de se conseguir estudar com mais abrangência os fatores que influenciam a qualidade dos recursos hídricos.

O segundo capítulo apresentou a qualidade da água desses mananciais de abastecimento de uma forma mais holística, aliando resultados de análises pontuais com uma análise visual e perceptiva desses habitats. Isso foi possível aliando o conhecimento advindo da interpretação de resultados de leituras físico-químicas com o conhecimento resultante da aplicação de um Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats.

O terceiro capítulo avaliou a qualidade das águas dos rios estudados de acordo com os resultados obtidos nas diversas análises físico-químicas e

microbiológicas realizadas na água e sedimento dos mesmos. Os dados foram comparados com os padrões estabelecidos pela legislação em vigor.

O quarto capítulo avaliou a qualidade da água e do sedimento em relação aos resultados obtidos na análise de determinação da concentração de seis espécies metálicas. Os resultados obtidos foram comparados com as legislações vigentes e pertinentes a cada compartimento.

REFERÊNCIAS

CALLISTO, M. ESTEVES, F.A. Composição granulométrica do sedimento de um lago Amazônico impactado por rejeito de bauxita e um lago natural (Pará, Brasil). **Acta Limnologica Brasiliensia**, 8: 115-126, 1996.

CALLISTO, M.; FERREIRA, W.; MORENO, P.; GOULART, M. D. C. E PETRUCIO, M. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). **Acta Limnologica Brasiliensia**, 14(1), p.91-98, 2002.

CARVALHO, N.O., FILIZOLA JUNIOR N.P., SANTOS P.M.C., LIMA J.E.F.W. 2000. **Guia de práticas sedimentométricas**. ANEEL, Brasília, 154 p.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. 2005. Resolução Conama nº 357. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em 15 jun. 2012.

COSTA, C. R., et al. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008.

FERREIRA, A. P.; HORTA, M. A. P.; CUNHA, C. L. N. Avaliação das concentrações de metais pesados no sedimento, na água e nos órgãos de *Nycticorax nycticorax* (Garça-da-noite) na Baía de Sepetiba, RJ, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, 10 (2), p.229-241, 2010.

GOULART, M. D. C.; CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. **Revista da FAPAM**, ano 2, n. 1, 9p.

HUDSON, R.J.M. Which aqueous species control the rates of trace metal uptake by aquatic biota? Observations and predictions of non-equilibrium effects. **The Science of the Total Environment**, v. 219, n. 95, 1998.

IFECT - INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA, CAMPUS CAMBORIÚ. Reúso de água com enfoque na produção da agricultura familiar. Coordenador: Rony da Silva. 38p. 2012.

MOURA, L. S.; BRAGA, R. J. O.; SIQUEIRA, E. R.; KOPP, K. O papel do sedimento na qualidade da água de abastecimento urbano: uma revisão dos trabalhos publicados entre 2001 e 2011. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 7, n. 1, 2013.

RIOS, K. C. R. C.; BARBOSA, D. I.; OLIVEIRA, W. N.; FERREIRA, N. C.; KOPP, K. Caracterização exploratória-espacial da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite/Goiás. **Holos Environment**, v.13, n.2, p. 175-187, 2013.

UNESCO. Water Development Report Water for People Water for Life, 2003. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556e.pdf>>. Acesso em: 1 jul. 2012.

VON SPERLING, E. Afinal, quanta água temos no planeta? **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.11, n.4, p.189-199, 2006.

CAPÍTULO 1

O PAPEL DO SEDIMENTO NA QUALIDADE DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO URBANO: UMA REVISÃO DOS TRABALHOS PUBLICADOS ENTRE 2001 E 2011

Laís S. de Moura; Rafaela J. de O. Braga; Elisa R. Siqueira e
Katia A. Kopp

Artigo publicado na Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v.7, n.1, 2013.

O PAPEL DO SEDIMENTO NA QUALIDADE DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO URBANO: UMA REVISÃO DOS TRABALHOS PUBLICADOS ENTRE 2001 E 2011

The role of sediment in urban water supply quality: a review of published papers since 2001 to 2011

Laís S. de Moura¹; Rafaela J. de O. Braga²; Elisa R. Siqueira³ e Katia A. Kopp⁴

* Contato com os autores:

¹ Universidade Federal de Goiás, Química Industrial, Praça Universitária s/n, Setor Universitário, CEP 74605-220, Goiânia-GO, (62) 85571428, laís.simo.es.moura@gmail.com

² Universidade Federal de Goiás, Bióloga, Praça Universitária s/n, Setor Universitário, CEP 74605-220, Goiânia-GO, (62) 85118959, rafaelajacob@gmail.com

³ Universidade Federal de Goiás, Engenharia Ambiental, Praça Universitária s/n, Setor Universitário, CEP 74605-220, Goiânia-GO, (62) 92982832, rodrigues.siqueira@gmail.com

⁴ Universidade Federal de Goiás, Bióloga, Praça Universitária s/n, Setor Universitário, CEP 74605-220, Goiânia-GO, (62) 81460864, kakopp@gmail.com

RESUMO:

Estudos considerando o papel do sedimento na determinação da qualidade da água estão se tornando cada vez mais frequentes. O crescimento do interesse em estudos dessa área pode ser justificado pelo aumento da preocupação mundial em garantir água de qualidade para o consumo humano, já que o sedimento é considerado como um carreador e fixador de agentes poluidores que podem ser liberados à água. Considerando o fato de que trabalhos de revisão são norteadores e até mesmo incentivadores de pesquisas, fez-se uma revisão dos artigos publicados que abordaram esse tema durante os dez últimos anos (2001 – 2011). Foram encontrados 812 trabalhos na base de dados “Web of Science” e eles foram analisados em cinco frentes diferentes: ano de publicação, linguagem em que foram publicados, países de origem dos autores, locais em que esses artigos foram publicados e áreas de pesquisa em que esse tema é abordado. Como conclusões, tem-se que a quantidade de publicações relacionando o sedimento à qualidade da água vem aumentando a cada ano; que os Estados Unidos foi o país que mais publicou artigos dessa temática e, conseqüentemente, a quase totalidade dos trabalhos foram publicados na língua inglesa e a ecologia e as ciências ambientais são as áreas de pesquisa que mais publicaram esses artigos. Descobriu-se também a contribuição do Brasil nas pesquisas dessa área e a carência que o país tem em relação a pesquisas no âmbito ambiental.

Palavras Chave: *qualidade da água, sedimento, poluição hídrica.*

ABSTRACT:

Studies considering the role of sediment in determining the quality of water are becoming increasingly common. The growing interest in studies of this area can be justified by increasing worldwide concern for ensuring quality water for human consumption, since the sediment is regarded as a carrier and fixative pollutants that can be released to the water. Considering the fact that revision work are guiding and even encouraging research, we did a review of published articles that addressed this issue during the last ten years (2001 - 2011). 812 papers were found in the database "Web of Science" and they were analyzed in five different fronts: year of publication, language in which they were published, the authors' countries of origin, places where these articles were published and research areas that this issue is addressed. In conclusion, we have that the amount of sediment publications relating to water quality is increasing every year, the United States was the country that most articles published in this issue, and therefore almost all the papers were published in the language English and ecology and environmental sciences are areas of research that most published these articles. It was also found Brazil's contribution in this research area and the shortage that the country has in relation to research within the environment.

Keywords: *water quality, sediment, water pollution.*

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural e de fundamental importância para o desenvolvimento e manutenção de qualquer forma de vida e, por isso, é necessário preservá-la para que seu uso e consumo aconteçam de forma eficiente e sustentável. Entretanto, a maioria das pessoas acredita que ela é repostada com a ocorrência do seu ciclo natural, mas considerando os fatores que interferem no ciclo hidrológico, logo se percebe que na prática essa total recuperação não é observada (Souza, 2007).

Dentre as várias funções desempenhadas pela água doce, tem-se a de abastecimento. A água de microbacias que é destinada ao consumo humano deve atender a um padrão de qualidade que é composto por parâmetros. Estes são essenciais em conferir qualidade à água que será consumida pela população (Brasil, 2006).

Nesse sentido é indispensável que se realize análises laboratoriais por amostragem como também o gerenciamento dos riscos e impactos apresentados por todas as etapas do seu fornecimento com o objetivo de verificar as interferências existentes em seu percurso que possam comprometer a qualidade da água garantindo, assim, os padrões de potabilidade exigidos pela Portaria nº 2914/2011 (Brasil, 2011).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2004), diagnosticar, avaliar e gerir os riscos apresentados desde a captação da água no manancial até o seu consumo, são mecanismos efetivos para a garantia da qualidade da água ao homem, prevenindo a disseminação de doenças de veiculação hídrica que comprometem a saúde humana. Porém, essas ações devem acontecer de forma rotineira e preventiva.

A mesma organização recomenda ainda que as entidades responsáveis por gerir os sistemas de abastecimento de água devem elaborar e executar metodologias voltadas para a prevenção de riscos e boas práticas de operação dos sistemas com o intuito de assegurá-la em padrões de potabilidade para o consumidor (WHO, 2004).

Entretanto, embora a água destinada ao consumo humano deva ser resguardada em relação à contaminação, já que será ingerida, isso não é o suficiente para garantir o seu atendimento aos padrões exigidos pela legislação. Isso porque esse recurso acaba sendo o destino final de contaminantes presentes em várias fontes, como pesticidas, água de irrigação contaminada, queima de biomassa, combustão de carvão e óleo, emissões veiculares (Tavares e Carvalho, 1992) e incineração de resíduos urbanos e industriais (Coelho et al., 2002).

A maioria dos corpos hídricos está sujeita à contaminação por várias fontes pontuais e difusas, como por exemplo, despejo de efluentes industriais não tratados e resíduos de agrotóxicos. A presença de matadouros, vários tipos de indústrias, rodovias, a proximidade com o meio urbano e até mesmo de terras destinadas à agricultura nas encostas dessas microbacias pode estar alterando as características físicas, químicas e microbiológicas desse ambiente, ocasionando problemas que podem, às vezes, ser reconhecidos apenas em longo prazo.

Os resíduos descartados que acabam tomando o rumo dos rios podem estar presentes na água e nos sedimentos, que são as camadas de partículas minerais e orgânicas finamente granuladas que estão em contato com a parte inferior dos corpos d'água naturais (Costa et al., 2008) e usualmente, são uma mistura complexa de minerais, matéria orgânica e componentes biológicos (Franzen, 2009). De uma forma mais literal, o sedimento também é conhecido como aquilo que está disponível para o transporte, algo que se deposita ou depositou e até mesmo o que é passível de se depositar (Trindade, 2010). Isso mostra a mobilidade a que os compostos presentes nesse meio estão sujeitos, além de chamar a atenção para a possibilidade da sua liberação por tempo indeterminado para a coluna d'água sem que se perceba (Jardim, 2004).

É no sedimento dos ambientes aquáticos onde ocorrem todos os processos (sendo eles físicos, químicos e microbiológicos) relacionados a esse meio. Esses processos estão ligados diretamente à produtividade do ecossistema aquático e também terrestre. Eles não são importantes apenas para a ocorrência dos processos, mas no estudo da evolução histórica e armazenamento de elementos conservativos. Sem esquecer que também são necessários nos estudos e avaliações da intensidade e forma de impactos a que os ecossistemas aquáticos estiveram ou estão submetidos (Sampaio, 2003).

Entretanto, quando contaminado com metais pesados ou agrotóxicos, por exemplo, o sedimento exerce efeitos drásticos aos ecossistemas no qual está inserido. A exposição direta dos seus contaminantes para os organismos é considerada uma importante rota de transferência para muitas espécies. Dessa forma, concentrações iguais de um determinado contaminante presente em sedimentos diferentes apresentam efeitos de toxicidade diferentes, onde determinando sedimento pode ser

altamente tóxico para um tipo de organismo enquanto o outro tipo de sedimento com a mesma concentração desse contaminante não apresente toxicidade ao mesmo (Jardim, 2004).

Os sedimentos já são reconhecidos como importantes repositórios de poluentes no ecossistema aquático. Esse acúmulo de contaminantes pode ocorrer por vários mecanismos, como por exemplo, floculação e precipitação direta, adsorção no material particulado e deposição no fundo. Dessa forma, a contaminação dos sedimentos também é vista como um importante indicador ambiental de poluição, sendo um auxiliar tanto no monitoramento de fontes antropogênicas de poluição como de anormalidades nos processos geoquímicos naturais (Hortelanni et al, 2005).

Ele não é o maior poluidor dos corpos hídricos, mas pode atuar como catalisador, carreador e agente fixador de agentes poluidores. Sozinho, ele pode degradar a qualidade da água para a vida aquática e, conseqüentemente, para o consumo humano, pois produtos químicos podem ser assimilados sobre e dentro de suas partículas mais finas (Carvalho et al., 2000). Assim, a importância do estudo da concentração de metais nesse ambiente, por exemplo, não pode ser descartada, já que concentrações específicas desses elementos são extremamente tóxicas e a sua acumulação pode provocar graves doenças, sobretudo nos mamíferos (Ferreira, Horta e Cunha, 2010). Considerando que os corpos hídricos funcionam como destino final de vários contaminantes e conhecendo a definição de sedimento, constata-se que nem sempre apenas as análises da água garantirão que ela atenda aos padrões exigidos para o seu uso como abastecimento, já que alguns contaminantes podem estar adsorvidos na superfície desses sedimentos. Por isso, o estudo e a determinação das características físicas e químicas dele estão conseguindo cada vez mais importância diante da determinação da qualidade da água que será consumida pela população (Cetesb, 2006).

Neste contexto, a necessidade de monitoramento dos sedimentos provenientes de microbacias hidrográficas cuja água é destinada ao abastecimento é tão importante quanto o monitoramento desse recurso hídrico, pois os sedimentos podem adsorver produtos químicos e, desta forma, peixes, aves, e até o homem podem se contaminar (Arine, 2000). Os sedimentos são importantes na avaliação do nível de contaminação dos ecossistemas aquáticos não apenas pela capacidade em acumular elementos-traço, mas também por transportar e ser prováveis fontes de contaminação, já que podem liberar tais espécies químicas para a água (Balls, 1989 *apud* Sousa, 2009).

OBJETIVO

Considerando a importância da determinação da qualidade do sedimento em relação à atribuição de qualidade da água que será utilizada para o abastecimento público, o objetivo desse trabalho foi realizar uma análise quantitativa temporal do número de trabalhos publicados, conforme a metodologia de “mapping study”, de forma a classificar, mapear e relacionar o papel do sedimento na contribuição da qualidade da água.

METODOLOGIA

A metodologia utilizada nesse trabalho é conhecida como Mapping Study e as buscas aconteceram de forma virtual.

Utilizando a rotina “General Search” da base de dados Web Of Science presente no portal de periódicos da Capes fez-se uma busca dos trabalhos que citavam os termos “quality water”, “sediment” e “pollution” no tópico e/ou tema.

A busca foi realizada da seguinte forma: nos três campos disponíveis para a escrita dos termos que serão buscados, escreveram-se os termos escolhidos (citados no parágrafo anterior) e selecionou-se a categoria TOPIC no campo de pesquisa (opção presente logo à frente de onde se escreve o termo que será buscado) para os três (Ex: “Water Quality” in Topic AND “Sediment” in Topic AND “Pollution” in Topic).

Há vários operadores de busca, como AND, OR, NOT e SAME e cada um deles direcionará a busca de uma maneira diferente. Nesse trabalho, o operador “AND” foi utilizado para que tanto o termo “quality water” quanto os termos “sediment” e “pollution” fossem encontrados nos registros da base de dados escolhida.

Seguindo as opções presentes na página, a busca foi refinada apenas para artigos publicados entre os anos de 2001 e 2011 (fazendo com que a pesquisa compreendesse um período de publicação de dez anos) no campo chamado “Current Limits”.

Foram obtidas as informações a seguir descritas: I - ano de publicação, II - linguagem dos trabalhos publicados, III - país de origem dos trabalhos publicados, IV - locais de publicação e V - áreas de pesquisa em que esse tema abrange. Após a obtenção desses dados, gráficos foram montados e os resultados foram discutidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o levantamento dos dados de interesse para o estudo, foram encontrados 812 artigos utilizando os termos “water quality”, “sediment” e “pollution”.

O gráfico mostrado na Figura 1 contabiliza o número de publicações referentes a esse tema, no período de 2001 a 2011. Analisando-o, pode-se observar que o interesse de pesquisa nesta área vem crescendo a cada ano. Em 2001 foram 39 artigos publicados enquanto que no ano de 2011 esse número foi de 116, o que representa um aumento de 66% neste intervalo de tempo. Este incremento pode ser associado ao aumento da preocupação com a qualidade da água em todo o mundo, sendo que o sedimento representa um papel importante como indicador de poluição e para o monitoramento dos corpos hídricos (Mortatti, Hissler e Probst, 2010).

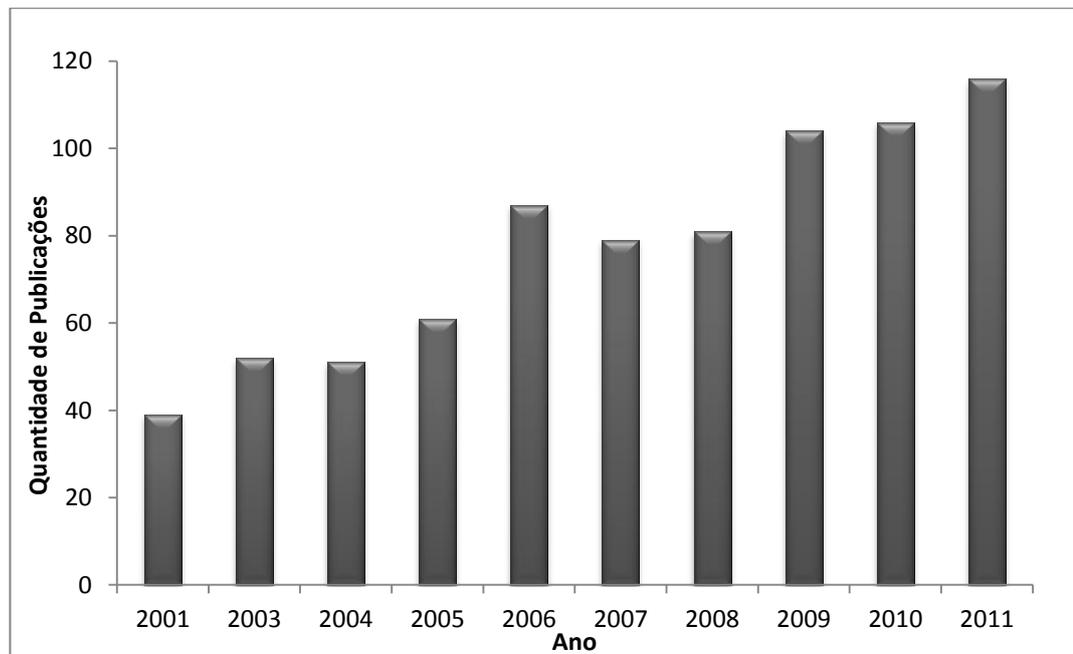


Figura 1 - Número de trabalhos publicados (n=812), no período de 2001 a 2011, com os termos "water quality", "sediment", "pollution".

Das 812 publicações encontradas, 98% estão escritas no idioma inglês (n= 802). O francês e o espanhol tiveram três publicações cada, enquanto que na língua portuguesa, foram encontradas duas publicações (Figura 2).

A língua inglesa é um instrumento de comunicação mundial e muitos países já a adotam como primeira língua estrangeira ao mesmo tempo em que é utilizada como língua franca na produção de trabalhos científicos e na comercialização internacional (Silva, 2009).

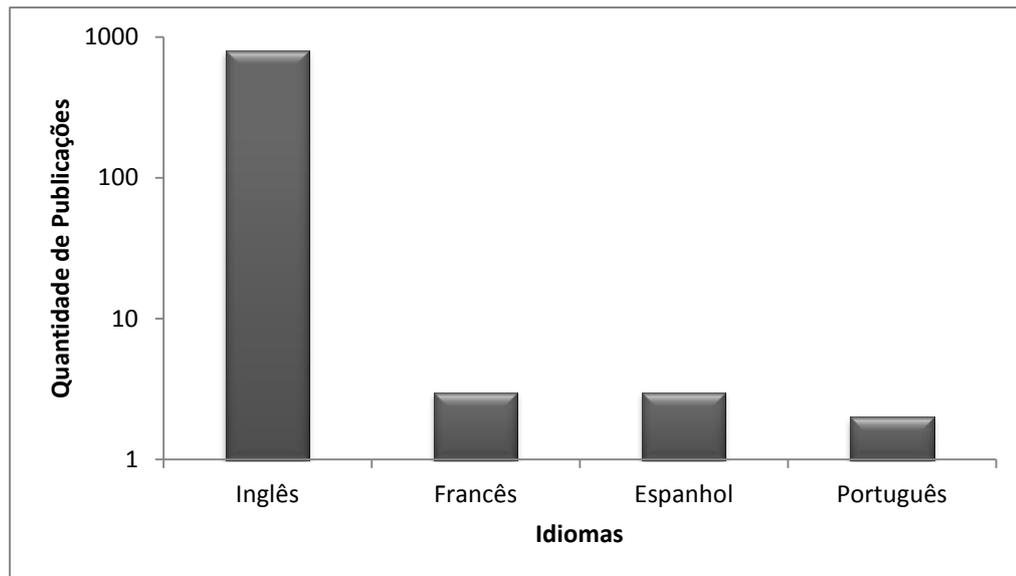


Figura 2 - Idiomas adotados nas publicações, no período de 2001 a 2011, com os termos "water quality", "sediment", "pollution".

Os Estados Unidos foram responsáveis pela maioria dos artigos publicados, representando 42% (n=343), seguido da China com 8,8% (n=72). O Brasil foi responsável por 2,7% (n=22) das publicações (Figura 3).

Segundo o Relatório *Knowledge, Networks and Nations: Global scientific collaboration in the 21st century*, publicado em 2011 e produzido pela Royal Society, a academia de ciências do Reino Unido, embora os Estados Unidos ainda continuem na liderança em termos de investimentos e pesquisas realizadas, o mundo científico está mudando e novos atores estão surgindo. Na China, o investimento em pesquisa e desenvolvimento tem crescido a uma média de 20% ao ano desde 1999, chegando aos US\$ 100 bilhões (ou 1,44% do PIB) em 2007, e o país pretende investir ainda mais, alcançando um investimento no setor de 2,5% do PIB até 2020. O Brasil, na linha de sua aspiração de se tornar uma 'economia do conhecimento natural', com base em seus recursos naturais e ambientais, está trabalhando para aumentar o investimento em pesquisa de 1,4% do PIB, em 2007, para 2,5%, em 2022 (The Royal Society, 2011).

A comunidade científica mundial está sendo cada vez mais impulsionada pela necessidade de encontrar soluções para uma série de questões que ameaçam a sustentabilidade. Estes desafios globais tem recebido muita atenção nos últimos anos e agora são componentes essenciais nas estratégias nacionais e multinacionais da ciência e de mecanismos de financiamento (The Royal Society, 2011).

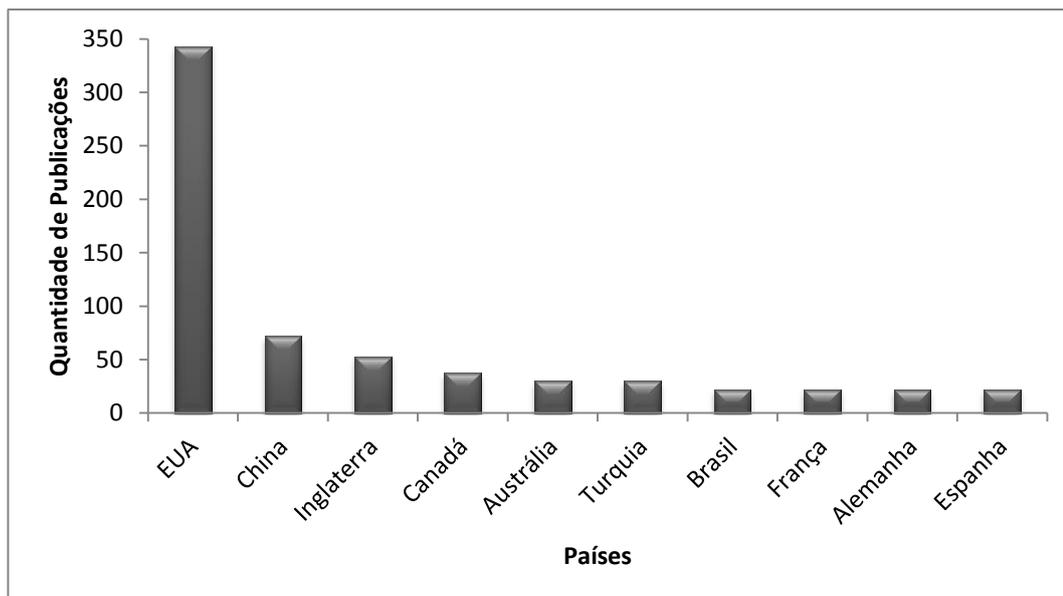


Figura 3 - Países que mais publicaram, no período de 2001 a 2011, com os termos "water quality", "sediment", "pollution".

No período compreendido entre os anos de 2001 e 2011, o Brasil mostra-se incipiente em publicações que associam esses termos quando comparados a países como o EUA, China, Inglaterra, Canadá, Austrália e Turquia. Todavia, um dos artigos escritos por autores brasileiros é intitulado como “*Blue rayon* e teste *Salmonella*/microsoma na avaliação da qualidade de águas costeiras” e foi publicado no ano de 2006. Nele, os autores escolheram dois pontos de amostragem no estuário de Santos, em São Paulo, para coletar o sedimento que desconfiavam estar contaminado com hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e também por compostos genotóxicos. Concluíram que o sedimento dos dois pontos amostrados estava contaminado e que a técnica de *blue rayon* combinada com o ensaio usando a *Salmonella* conseguiu recuperar os contaminantes que estavam presentes no sedimento (Kummrow et al, 2006).

Outro artigo também escrito por brasileiros foi “Variabilidade espacial e sazonal da concentração de elementos-traço em sedimentos do sistema estuarino de Santos-Cubatão (SP)”, publicado também em 2006. Nesse trabalho, os autores avaliaram a variação espacial e temporal das concentrações de elementos-traços, como chumbo, níquel, cobre e alumínio (até mesmo os mais tóxicos, por exemplo, mercúrio e cádmio) no sedimento do sistema estuarino de Santos-Cubatão. Eles concluíram que o sedimento dos pontos coletados alcançou níveis de concentração dos elementos avaliados que podem afetar o equilíbrio do ecossistema local e que a sazonalidade fornece resultados que não podem ser desconsiderados. Estudos como esses devem ser fomentados e incentivados para que discussões e legislações sobre o tema sejam mais eficazes (Silva et al, 2006).

O gráfico representado na Figura 4 aborda a relação entre as principais áreas do conhecimento e a quantidade de publicações referentes ao assunto. O destaque maior é dado às áreas da Ecologia e Ciências Ambientais (n = 492), Recursos Hídricos (n=288) e Engenharia (n=190) que, juntas, correspondem com um total de 970 publicações entre os anos analisados.

A crescente preocupação com as questões ambientais entre o período de 2001 e 2011 é constatada pela quantidade significativa de publicações nessa área do conhecimento. Todavia, o histórico de atenção em relação ao meio ambiente surgiu bem antes dessas datas.

Esse fato se confirma através da publicação do livro *Primavera Silenciosa* em 1962 em que a autora, Rachel Carson, discutiu sobre a transferência do DDT (Dicloro-Difenil-Tricloroetano) através dos níveis tróficos das cadeias alimentares e como esse composto pode comprometer a saúde dos seres vivos devido a sua capacidade de acumulação.

Dez anos após a publicação do livro, houve o reconhecimento pela Organização das Nações Unidas (ONU) sobre a intensa exploração dos recursos naturais e as possíveis consequências ao meio e a saúde humana através das discussões apresentadas na Conferência de Estocolmo em 1972. Após 20 anos da respectiva conferência em que houve um aprofundamento no assunto sobre os impactos

ambientais gerados pela ação antrópica e quais as ações que deveriam ser adotadas para conter o comprometimento do meio ambiente, surgiu a Eco Rio 92 discutindo ainda mais o conceito de sustentabilidade e a proposição da Agenda 21 (Barbosa, 2008).

Em 2012, reforçando ainda mais a importância de se estudar e conhecer o meio ambiente ocorreu no Brasil a Conferência Rio + 20. Ela objetivou destacar a importância e a necessidade de adoção de práticas sustentáveis em todos os países para que a sadia qualidade de vida seja alcançada, que os níveis de degradação ambiental diminuam e que as ações de preservação e recuperação de áreas degradadas sejam mantidas e aumentadas.

Já o destaque dado aos recursos hídricos assim como a engenharia é verificado quando se observa a preocupação em garantir à população água com qualidade e em quantidade satisfatória para a manutenção da vida. Entretanto, para que essa situação aconteça com eficiência é necessário usufruir sustentavelmente dos ecossistemas terrestres e aquáticos. Esse usufruto consciente acontece através das intervenções antrópicas que valorizam os recursos atuais e os tornam disponíveis com a mesma, ou em melhor propriedade, para as próximas populações.

A preocupação com a qualidade da água passou a ser discutida a partir do momento em que foi possível constatar que muitas doenças predominantes no século XIX, a exemplo a cólera e febre tifoide, eram causadas por microorganismos patogênicos presente na água. Essas situações promoveram mudanças na forma como ela era gerenciada, já que até então era restrita as suas propriedades organolépticas (Viera et al., 2005 *apud* Ceballos, Daniel e Bastos, 2009; Pato, 2011; Hilaco, 2012).

Outro quesito que se destaca nesse mesmo período é a notoriedade do crescimento dos centros urbanos o que expõem a população a riscos, pois o desenvolvimento do saneamento básico e a disponibilidade hídrica não acompanha o crescimento das cidades comprometendo a água utilizada como fonte de abastecimento (Viera et al., 2005 *apud* Ceballos, Daniel e Bastos, 2009; Pato, 2011; Hilaco, 2012).

Todavia, sabendo do comprometimento dos aquíferos em relação a sua qualidade e o esgotamento dos mesmos, são necessárias intervenções de preservação nesse ambiente como também investimentos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico para que a utilização da água seja viável, racional e sustentável (Paz, Teodoro e Mendonça, 2000).

Quando se trata de água para abastecimento público a preocupação é ainda maior, pois o nível de exigência em relação a sua qualidade é ainda maior. Água com qualidade é aquela livre de agentes patogênicos, substâncias químicas e radioativas que possam de forma direta ou bioacumulativa, causarem transtornos à saúde pública, devido a sua toxicidade. Essa situação mostra que é necessário incentivar pesquisas e ao mesmo tempo torná-las públicas no que tange a área de conhecimento interligada às Ciências Ambientais e Ecologia como a Saúde Pública Ambiental Ocupacional.

Outra situação também inferida pelo gráfico é a que a área de conhecimento Toxicologia apresenta uma pequena quantidade de publicação entre os anos estudados. Ela apresenta destaque apenas quando comparada com a área Oceanografia e Saúde Pública Ambiental Ocupacional. É necessário incluir e discutir com afinco as questões toxicológicas para todos os seres pertencentes a um ecossistema de comunidades aquáticas e comunidades terrestres e também abordá-la em quanto à saúde humana, já que todos estão sujeitos em maior ou em menor concentração a agentes toxicológicos.

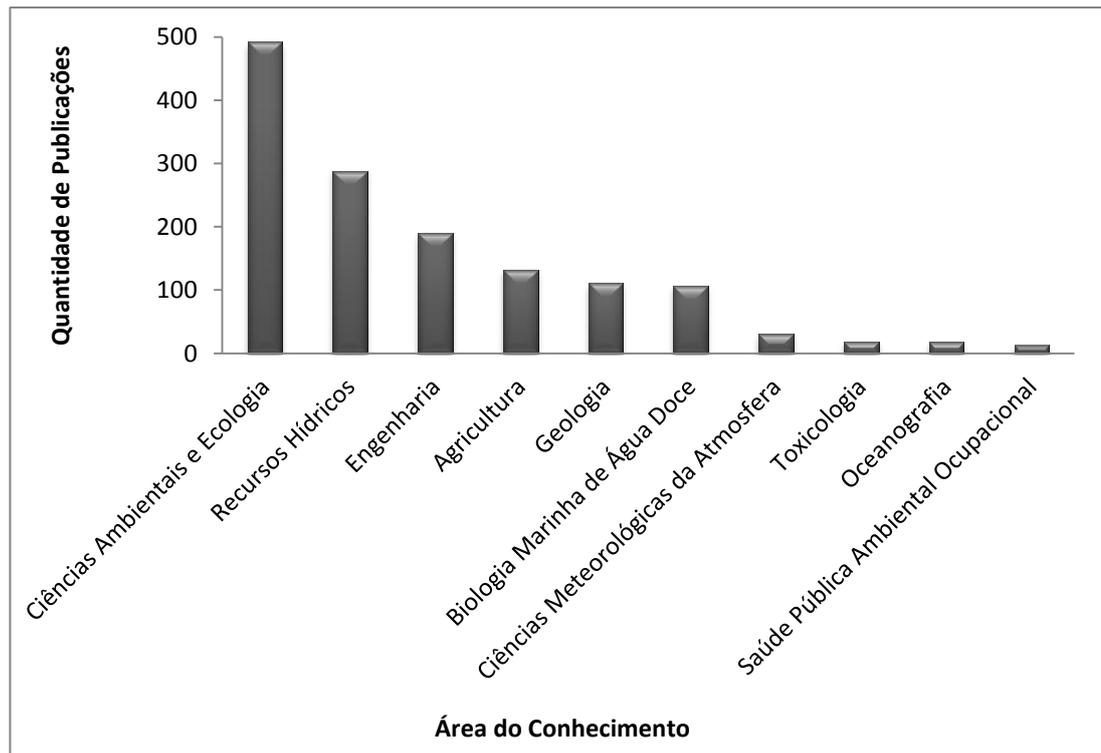
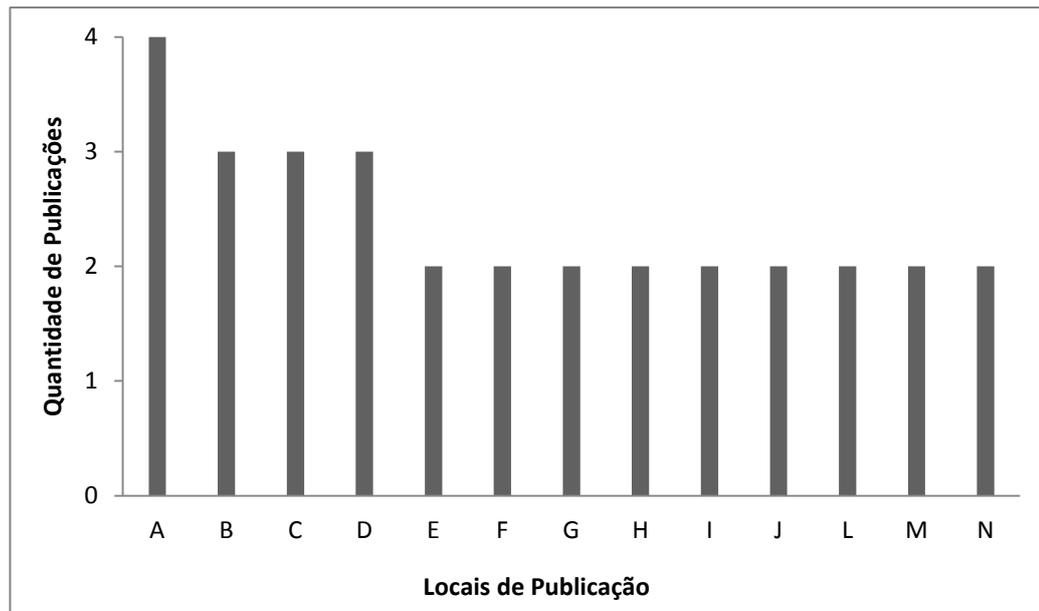


Figura 4 - Relação entre a quantidade de publicações entre os anos de 2001 a 2011 e respectivas áreas do conhecimento

O predomínio da língua inglesa é refletido também nos locais de publicação independente da tipologia (revista, simpósio, conferência, congresso, entre outros). Essa relevância só ressalta ainda mais a hegemonia Norte Americana (EUA) em relação à quantidade de publicações entre os anos de 2001 e 2011 (Figura 5).

A predominância do inglês também é destacada pelo imperialismo linguístico promovido pelos movimentos de globalização. É ainda língua franca para as ciências da natureza (Ortiz, 2004).



A - Annual Meeting of the American Society of Agricultural Engineers.

B - 10 th IWA Specialist Conference on Watershed and River Basin Management.

C - 1 st International Conference on Diffuse Pollution.

D - Conference for Reef Research.

E - 13 th IWA International Specialist Conference on Diffuse Pollution and Integrated Watershed Management.

F - 1 st World Water Congress on the International Water Association.

G - 25 th International Symposium of the North American Lake Management Society.

H - 5 th International Conference on Marine Pollution and Ecotoxicology.

I - 6 th Waternet Warfsa GWA SA Symposium.

J - 9 th IWA International Conference on Diffuse Pollution.

L - ASAE International Meeting.

M - International Symposium on the Eutrophication Process and Control in Large Shallow Lakes.

N - Workshop on Efficiency of Purification Processes in Riparian Buffer Zones.

Figura 5 - Relação entre a quantidade e locais de publicações entre os anos de 2001 a 2011.

Vale ressaltar que entre os locais de publicação, a Reunião Anual da Sociedade Americana de Engenheiros Agrícolas apresenta o maior número entre o período de 2001 a 2011, registrando quatro publicações.

CONCLUSÕES

A pesquisa realizada encontrou 812 artigos que citavam os termos “water quality”, “sediment” e “pollution” na base de dados Web of Science. Como o estudo foi delimitado para resultados de artigos e usou-se apenas uma base de dados, os resultados encontrados se diferenciam dos que poderiam ser

obtidos caso tivessem sido consideradas também outras bases de dados e determinado outra faixa de anos de publicação.

A análise cienciométrica de dados é importante no que tange a necessidade de descobrir e documentar informações referentes à quantidade e origem, por exemplo, das publicações referentes ao assunto avaliado. Assim, isso permite discutir e conhecer com mais precisão a repercussão dos estudos e, conseqüentemente, das publicações dos pesquisadores da área de estudo analisada: contribuição do sedimento na qualidade da água.

Como já era esperado, os Estados Unidos tem liderado o ranking de publicações e, obviamente, a maior parte dos artigos publicados entre os anos de 2001 e 2011 estão escritos na língua inglesa. A área de estudo em que o tema sedimento está relacionado à qualidade da água que mais se sobressaiu foi a de ciências ambientais e ecologia, seguida pelos estudos em recursos hídricos.

Nesse estudo, o Brasil foi responsável por vinte e duas publicações e duas aconteceram em língua portuguesa. Considerando o potencial do nosso país em relação à quantidade de estudos que ainda podem ser realizados, percebe-se que essa área de estudo necessita de mais profissionais e incentivos por parte das agências financiadoras de pesquisa.

REFERÊNCIAS

ARINE, D. R. **Análise de águas de superfície e sedimentos de rios da região de Iperó, SP, por espectrometria de absorção atômica e por ativação neutrônica**. 2000. 127p. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear – Aplicações) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN, São Paulo.

BARBOSA, G.S. O desafio do desenvolvimento sustentável. **Revista Visões**. Rio de Janeiro, 4ª edição, nº4, v. 1, jan/jun. 2008. Disponível em: <http://www.fsma.edu.br/visoes/ed04/4ed_O_Desafio_Do_Deenvolvimento_Sustentavel_Gisele.pdf>. Acesso: em 11 dez. 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Inspeção sanitária em abastecimento de água / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília : **Ministério da Saúde**, 2006. 84p. – (Série A. Normas e Manuais Técnicos).

BRASIL. Portaria Ministério da Saúde nº 2914 de 12 de dezembro de 2011.

Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Ministério da Saúde**. Brasília, dezembro, 2011.

CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JUNIOR N.P.; SANTOS P.M.C.; LIMA J.E.F.W. 2000. **Guia de práticas sedimentométricas**. ANEEL, Brasília, 154 p.

CEBALLOS, B. S., DANIEL, L. A., BASTOS, R. K. **Tratamento de Água para Consumo Humano: Panorama Mundial e Ações do Prosab**. 2009. In: Pádua. Desenvolvimento e otimização de tecnologias de tratamento de águas para abastecimento público, que estejam poluídas com microrganismos, toxinas e microcontaminantes. Rio de Janeiro: ABES, 2009. Cap.1. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/prosab/livros/prosab5_tema%201.pdf> Acesso em: 03 mar. 2013.

COELHO, M. G.; LIMA, S. C.; MARAGNO, A. L. F.; ALBUQUERQUE, Y. T.; LEMOS, J. C.; SANTOS, C. L.; BRANDÃO, S. L. Contaminação das águas do lençol freático por disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos em Uberlândia-MG/Brasil. In: XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancún. **Resumos...**Cancún: AIDIS, 2002. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/v-007.pdf>. Acesso em 14 dez. 2012.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. Água. Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo. 2006. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/relatorios/rios/rel_aguas_int_2005/rel_aguas_int_2005.zip>. Acesso em: 23 fev. 2013.

COSTA, C. R.; OLIVI, P.; BOTTA, C. M. R.; ESPINDOLA, E. L.G. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008.

FERREIRA, A. P.; HORTA, M. A. P.; CUNHA, C. L. N. Avaliação das concentrações de metais pesados no sedimento, na água e nos órgãos de *Nycticorax nycticorax* (Garça-da-noite) na Baía de Sepetiba, RJ, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, 10 (2):229-241, 2010.

FRANZEN, M. **Dinâmica do fósforo na interface água-sedimento em reservatórios**. 2009. 176p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre.

HILACO, S.I. da. Implementação do Plano de Segurança da Água para consumo humano em Portugal. **Dissertação de Mestrado**. 2012. Disponível em <<http://hdl.handle.net/10362/7393>>. Acesso em: 03 mar. 2013.

- HORTELLANI M. A.; SARKIS J. E.S.; BONETTI, J.; BONETTI, C. **Evaluation of mercury contamination in sediments from Santos – São Vicente estuarine System, São Paulo State, Brazil.** J Braz Chemistry Society. 2005; 16(6A):1140-9. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/jbchs/v16n6a/27058.pdf>>. Acesso em: 23 fev. 2013.
- JARDIM, G. M. **Estudos ecotoxicológicos da água e do sedimento do Rio Corumbataí, SP.** 2004. 126p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Universidade de São Paulo – USP, Piracicaba.
- KUMMROW, F; MAGALHÃES, D; FRANCO, A; UMBUZEIRO, G. A. *Blue rayon* e teste *Salmonella/microsoma* na avaliação da qualidade de águas costeiras. **Revista Saúde Pública.** 40(5), p. 890-897, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rsp/v40n5/20.pdf>>. Acesso em: 14 dez.2012.
- MORTATTI, J; HISSLER, C; PROBST, J. L. Distribuição de metais pesados nos sedimentos de fundo ao longo da bacia do Rio Tietê. **Revista do Instituto de Geociências – USP.** Sér. Cient., São Paulo, v.10, n.2, p.3-11, 2010.
- ORTIZ, R. As ciências sociais e o inglês. **Revista Brasileira de Ciências Sociais – RBCS.** v.19, n. 54, p.1-22, 2004.
- PATO, J. H., 2011. História das políticas públicas de abastecimento e saneamento de águas em Portugal. Lisboa: **ERSAR.** Disponível em:<<http://www.ersar.pt/website/ViewContent.aspx?GenericContentId=0&SubFolderPath=%5cRoot%5cContents%5cSiteo%5cMenuPrincipal%5cDocumentacao%5cPublicacoesIRAR&Section=MenuPrincipal&FolderPath=%5cRoot%5cContents%5cSiteo%5cMenuPrincipal%5cDocumentação>> Acesso em: 03 mar. 2013.
- PAZ, V. P.S; TEODORO, R. E. F; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Rev. bras. eng. agric. ambient.,** Campina Grande, v. 4, n. 3, dez. 2000 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662000000300025&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 11 dez. 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662000000300025>.
- SAMPAIO, A. C. S. **Metais pesados na água e sedimentos dos rios da bacia do Alto Paraguai.** 2003. 76p. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, Campo Grande.
- SILVA, W. L; MATOS, R. H. R; KRISTOSCH, G. C; MACHADO, W. Variabilidade espacial e sazonal da concentração de elementos-traço em sedimentos do sistema estuarino de Santos-Cubatão (SP). **Revista Química Nova.** V.29, n.2, p.256-263. 2006. Disponível em: < <http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2006/vol29n2/15-AR05120.pdf>>. Acesso em: 14 dez.2012.
- SILVA, H.M. **Língua franca no brasil: inglês, globês ou inglês brasileiro?** 2009. Disponível em: <<http://veredas.favip.edu.br/index.php/veredas1/article/viewFile/76/87>> Acesso em: 09 dez.2012.
- SOUSA, J. K. C. **Avaliação de impactos ambientais causados por metais-traço em água, sedimento e material biológico na Baía de São Marcos, São Luis – Maranhão.** 2009. 87p. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Paraíba.
- SOUZA, R. A. **Avaliação de metais em águas na sub-bacia hidrográfica do rio Ivinhema, Mato Grosso do Sul.** 2007. 84p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS, Campo Grande.
- TAVARES, T. M; CARVALHO, F. M. Avaliação de exposição de populações humanas a metais pesados no ambiente: exemplos do recôncavo baiano. **Química Nova,** 15(2), 1992.
- THE ROYAL SOCIETY. **Knowledge, Networks and Nations: Global scientific collaboration in the 21st century.** 2011. Disponível em: <http://royalsociety.org/uploadedFiles/Royal_Society_Content/policy/publications/2011/4294976134.pdf>Acesso em: 09 dez.2012.
- TRINDADE, W. M. **Concentração e distribuição de metais pesados em sedimentos do rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora/MG: fatores naturais e antrópicos.** 2010. 111p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte.
- WHO – WORD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking – water quality.** 3rd ed. Geneva: WHO, 2004.

CAPÍTULO 2

DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DA QUALIDADE AMBIENTAL DE QUATRO MANANCIAS DE ABASTECIMENTO DA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA/GO

Laís S. de Moura; Karina P. dos Santos e Katia Kopp

Artigo formatado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Recursos Hídricos.

DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DA QUALIDADE AMBIENTAL DE QUATRO MANANCIASIS DE ABASTECIMENTO DA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA/GO

RESUMO

Os ecossistemas aquáticos inseridos em regiões metropolitanas tem sofrido um intenso processo de degradação e por isso, a necessidade de metodologias que englobem uma avaliação completa da qualidade da água se torna evidente quando estes cursos d'água são utilizados para abastecimento público de uma região. Assim, o objetivo desse trabalho consistiu em avaliar a qualidade ambiental de quatro mananciais usados para o abastecimento público da região metropolitana de Goiânia/GO, mediante o uso de um Protocolo de Avaliação Rápida, relacionando os dados obtidos por meio da sua aplicação, que poderia classificar o manancial como alterado, impactado ou natural, com parâmetros físico-químicos da água. Observou-se com a aplicação do protocolo que três dos quatro mananciais estudados estão passando por uma desestruturação dos seus ambientes e que somente um dos mananciais foi considerado "natural". Entretanto, a perda de qualidade da água não foi detectada pela medição dos parâmetros físico-químicos, pois os valores estão em concordância com os valores exigidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Dessa forma, ao relacionar todos os resultados obtidos, percebeu-se que esses mananciais estão sofrendo com a ação antrópica e que isso pode vir a comprometer a qualidade da água dos mesmos.

PALAVRAS-CHAVE: Mananciais de abastecimento, protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats, parâmetros físico-químicos, qualidade ambiental, região metropolitana de Goiânia.

1 INTRODUÇÃO

A ocupação desordenada (por isso mesmo, nem sempre planejada) das áreas próximas aos mananciais de abastecimento e o modo com que temos usado os nossos recursos hídricos (uso desordenado, despejo de resíduos sólidos e a retirada da mata ciliar) tem ocasionado alterações nas características físico-químicas e microbiológicas da água (ALLAN, 1995 citado por MINATTI-FERREIRA e BEAUMORD, 2006; ARAÚJO E BARBOSA, 2010).

A realização de análises físico-químicas e microbiológicas é comum quando se trata do monitoramento de águas destinadas ao consumo humano, já que estas devem atender os padrões de qualidade exigidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Dessa forma, a medição desses parâmetros é a ferramenta mais utilizada no monitoramento da qualidade da água de rios, sendo importantes por conseguirem mensurar graus de alterações químicas e físicas dos cursos d'água (SAMPAIO, 2012). Entretanto, apenas a análise isolada desses parâmetros pode subestimar a real magnitude dos danos que estão sendo causados aos ambientes aquáticos (KARR e CHU, 1999 citado por RODRIGUES e CASTRO, 2008).

Diante dessa premissa, é válido colocar em prática o uso de ferramentas que auxiliem no processo de avaliação dos corpos hídricos e que também sejam auxiliares na tomada de decisões nos processos de gestão ambiental em parceria às rotineiras análises físico-químicas e bacteriológicas (VARGAS e FERREIRA

JÚNIOR, 2012). Nesse caso, o desenvolvimento de metodologias usadas como instrumentos que medem a "saúde" de um ecossistema aquático fornece subsídios para uma análise integrada da qualidade dos mesmos (FIRMINO, MALAFAIA E RODRIGUES, 2011). E foi por meio dessa preocupação em realizar o monitoramento dos corpos hídricos com um caráter mais holístico que caracterizar os atributos físicos dos rios tornou-se algo a se considerar a partir da década de 1980 (RODRIGUES, 2009).

Uma dessas ferramentas consiste na avaliação da diversidade dos habitats, que é feita por meio da aplicação de um protocolo de avaliação rápida, um método de avaliação rápido, pontual, de baixo custo e que pode ser utilizado em qualquer programa de monitoramento ambiental onde existe a necessidade de resultados rápidos (RODRIGUES e CASTRO, 2008; KRUIPEK, 2010) além de mostrar-se viável e de larga aceitação no meio científico (CALLISTO et al., 2002).

Essa ferramenta auxiliar na avaliação da qualidade hídrica foi proposta primeiramente pela Environmental Monitoring and Assessment Program (EMAP) da Agência Ambiental dos Estados Unidos (Environmental Protection Agency – EPA) e o National Water-Quality Assessment Program (NAWQA) do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). Esses programas foram os responsáveis pela elaboração de protocolos que incorporam a avaliação de parâmetros geomórficos, sedimentológicos, ecológicos, físico-químicos e biológicos dos cursos d'água (RODRIGUES, 2009).

1 Um protocolo consiste em um
2 questionário que avalia os ecossistemas estimando
3 a diversidade e as condições de habitats e
4 caracteriza os trechos dos rios em estudo
5 verificando o nível dos impactos e o nível de
6 conservação. A sua utilização permite atribuir
7 valores para as diferentes situações verificadas no
8 local da aplicação, gerando caracterização
9 qualitativa do trecho do rio. Assim, parte-se do
10 pressuposto de que os cursos d'água pouco
11 afetados pela ação humana exibem condições
12 biológicas mais favoráveis à conservação da
13 biodiversidade e da qualidade da água
14 (RODRIGUES, CASTRO E MALAFAIA; 2010).

15 Assim, a aplicação de um protocolo em
16 parceria à realização de análises físico-químicas
17 permite uma avaliação com visão integral e um
18 entendimento geral da realidade do ecossistema
19 aquático estudado. Além do mais, as informações
20 obtidas por meio da aplicação deles são úteis para
21 a sensibilização de questões referentes aos
22 recursos hídricos, oferecem um alerta imediato
23 sobre acidentes ambientais e ainda desenvolvem
24 métodos e técnicas de fácil aplicação, o que auxilia
25 nos programas de biomonitoramento (KRUIPEK,
26 2010).

27 O fato de alguns trabalhos brasileiros
28 também já terem utilizado essa ferramenta de
29 forma individual ou de forma complementar em
30 estudos de monitoramento de recursos hídricos
31 reforça a sua importante contribuição nas
32 pesquisas dessa área. Exemplos de trabalhos são
33 os desenvolvidos por Callisto et al. (2002);
34 Minatti-Ferreira e Beaumord (2006); Fernandez e
35 Sander (2006); Dillenburg (2007); Xavier e
36 Teixeira (2007); Rodrigues (2008); Rodrigues,
37 Malafaia e Castro (2008); Rodrigues, Malafaia e
38 Castro (2010); Rodrigues, Castro e Malafaia
39 (2010); Araújo e Barbosa (2010); Krupek (2010);
40 Firmino, Malafaia e Rodrigues (2011); Guimarães,
41 Rodrigues e Malafaia (2012) e Vargas e Ferreira
42 Junior (2012).

43 Um dos primeiros protocolos adaptados
44 no Brasil é o Protocolo de Avaliação Rápida da
45 Diversidade de Habitats proposto por Callisto et
46 al. (2002) (alguns dos autores citados no parágrafo
47 anterior desenvolveram as suas pesquisas
48 utilizando-o), adaptado dos protocolos propostos
49 pela Agência de Proteção Ambiental de Ohio,
50 EUA (EPA, 1987) e Hannaford et al., (1997). Ele
51 se baseia na caracterização das condições
52 ecológicas em trechos de bacias hidrográficas e
53 pode ser utilizado com sucesso em atividades de
54 pesquisa e ensino.

55 Esse protocolo foi então aplicado em
56 quatro mananciais de abastecimento de quatro
57 cidades da região metropolitana da cidade de
58 Goiânia/GO com o propósito de avaliar a
59 qualidade ambiental dos mesmos. Os mananciais
60 escolhidos foram: Ribeirão da Sozinha, localizado
61 em Goianópolis; Córrego Água Branca ou
62 Córrego do Café, situado em Nerópolis; Córrego

63 dos Macacos, situado em Terezópolis de Goiás e
64 Ribeirão Arrozal, situado em Trindade.

65 Como esses mananciais são os
66 responsáveis por fornecer a água que abastece a
67 população de quatro cidades, faz-se necessário
68 avaliar e monitorar constantemente os indicadores
69 da qualidade ambiental pertinente a eles com a
70 finalidade de conservar o meio ambiente e
71 proporcionar água de qualidade à população que
72 venha a fazer o uso desse recurso como fonte de
73 abastecimento.

74 Adaptações ao protocolo de avaliação
75 utilizado não foram efetuadas porque, a título da
76 obtenção de uma visão mais holística desses
77 mananciais, o seu emprego conseguiu cobrir uma
78 gama diversificada da tipologia desses habitats,
79 possibilitando assim uma boa avaliação
80 ecomorfológica desses ambientes fluviais.

81 Dessa forma, o objetivo desse trabalho
82 foi: i) avaliar os indicadores de qualidade
83 ambiental para os ecossistemas aquáticos de
84 quatro mananciais de abastecimento da região
85 metropolitana de Goiânia-Goiás mediante o uso
86 de um Protocolo de Avaliação Rápida da
87 Diversidade de Habitats (PARDH) e ii) efetuar a
88 medição de alguns parâmetros físico-químicos
89 (pH, temperatura, oxigênio dissolvido,
90 condutividade elétrica e turbidez) da água desses
91 mananciais por um período que abrangeu a seca e
92 a chuva.

94 MATERIAL E MÉTODOS

95 A seleção dos pontos amostrais ocorreu
96 de acordo com a facilidade de acesso e permissão
97 dos donos das fazendas onde eles estão situados.
98 Os trechos avaliados estão situados antes da
99 captação de água para tratamento e abastecimento
100 público realizado pela empresa estadual de
101 saneamento de Goiás, a SANEAGO.

102 A aplicação do protocolo de avaliação
103 rápida da diversidade de habitats aconteceu no
104 mês de junho de 2013. Já as medições dos
105 parâmetros físico-químicos (pH, temperatura,
106 oxigênio dissolvido e condutividade elétrica)
107 foram feitas em campo pela sonda
108 multiparâmetros HI 9828 da marca Hanna
109 Instruments e o parâmetro turbidez foi medido
110 no Laboratório de Água da Escola de Engenharia
111 Civil da Universidade Federal de Goiás pelo
112 turbidímetro portátil 2100Q da marca Hach. Elas
113 ocorreram em quatro campanhas, sendo duas no
114 período seco (07/2013 e 09/2013) e duas no
115 período chuvoso (11/2013 e 01/2014).

116 Todos os quatro mananciais tiveram um
117 trecho de 100 m (sugestão do protocolo utilizado)
118 observado e classificado de acordo com os
119 resultados obtidos a partir da aplicação do
120 Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de
121 Habitats proposto por Callisto et al, (2002).

1 Dessa forma, conseguiu-se avaliar o grau
2 de degradação dos trechos amostrados por meio
3 de um diagnóstico visual que complementou a
4 metodologia aplicada por meio do uso de
5 documentos fotográficos dos locais de estudo.

6 O trecho avaliado no Ribeirão da
7 Sozinha em Goianópolis/GO (Manancial A) está
8 compreendido entre as coordenadas geográficas
9 $16^{\circ} 30' 4.88''\text{S}/ 49^{\circ} 0' 11.08''\text{O}$ e $16^{\circ} 29'$
10 $58.63''\text{S}/49^{\circ} 00' 7.42''\text{O}$. No Córrego Água
11 Branca ou Córrego do Café (Manancial B) na
12 cidade de Nerópolis/GO, o trecho caracterizado
13 está situado entre as coordenadas $16^{\circ} 22' 46.1''\text{S}/$
14 $49^{\circ} 11' 10.0''\text{O}$ e $16^{\circ} 22' 43.10''\text{S}/49^{\circ} 11' 11.94$
15 $''\text{O}$. Entre as coordenadas $16^{\circ} 29' 20.70''\text{S}/49^{\circ} 4'$
16 $50.28''\text{O}$ e $16^{\circ} 29' 21.0''\text{S}/49^{\circ} 04' 50.3''\text{O}$ situa-se
17 o trecho caracterizado no Córrego dos Macacos
18 (Manancial C) em Terezópolis de Goiás/GO e
19 entre as coordenadas $16^{\circ} 29' 18.9''\text{S}/49^{\circ} 04'$
20 $51.6''\text{O}$ e $16^{\circ} 35' 45.67''\text{S}/49^{\circ} 26' 29.02''\text{O}$ encontra-
21 se o trecho caracterizado pelo protocolo no
22 Ribeirão Arrozal (Manancial D) em
23 Trindade/GO.

24 Esse protocolo de avaliação rápida da
25 diversidade de habitats avaliou um conjunto de
26 parâmetros, 22 no total. Os 10 primeiros
27 parâmetros avaliaram as características dos
28 trechos e os impactos ambientais decorrentes de
29 atividade antrópicas com os parâmetros: tipo de
30 ocupação das margens do corpo d'água (principal
31 atividade), erosão próxima e/ou nas margens do
32 rio e assoreamento em seu leito, alterações
33 antrópicas, cobertura vegetal no leito, odor da
34 água, oleosidade da água, transparência da água,
35 odor do sedimento (fundo), oleosidade do fundo
36 e tipo de fundo. Os 12 parâmetros restantes

37 avaliaram as condições de habitat e os níveis de
38 conservação das condições naturais de acordo
39 com os parâmetros tipos de fundo, extensão de
40 rápidos, frequência de rápidos, tipos de substrato,
41 deposição de lama, depósitos sedimentares,
42 alterações no canal do rio, características do fluxo
43 das águas, presença de mata ciliar, estabilidade das
44 margens, extensão de mata ciliar e presença de
45 plantas aquáticas.

46 Esses parâmetros foram avaliados em
47 categorias descritas e pontuadas de 0 a 4 ou de 0 a
48 5, sendo que a pontuação foi estabelecida de
49 acordo com o que foi observado no habitat
50 avaliado (esses valores estão pré-estabelecidos no
51 protocolo). O valor final do protocolo de
52 avaliação foi então obtido a partir do somatório
53 dos valores atribuídos a cada parâmetro
54 independentemente. As pontuações finais
55 refletiram o nível de preservação das condições
56 ecológicas dos trechos das bacias estudadas, onde:
57 de 0 a 40 pontos representaram trechos
58 “impactados”; 41 a 60 pontos representaram
59 trechos “alterados”; e acima de 61 pontos, trechos
60 “naturais”.

62 RESULTADOS E DISCUSSÃO

63 Os trechos de 100 m onde o PARDH
64 foi aplicado e os pontos onde ocorreram as
65 campanhas de coletas nos quatro mananciais são
66 apresentados na Figura 1 e os resultados obtidos a
67 partir da aplicação do protocolo de avaliação
68 rápida nos quatro mananciais de abastecimento
69 avaliados são apresentados na Tabela 1.

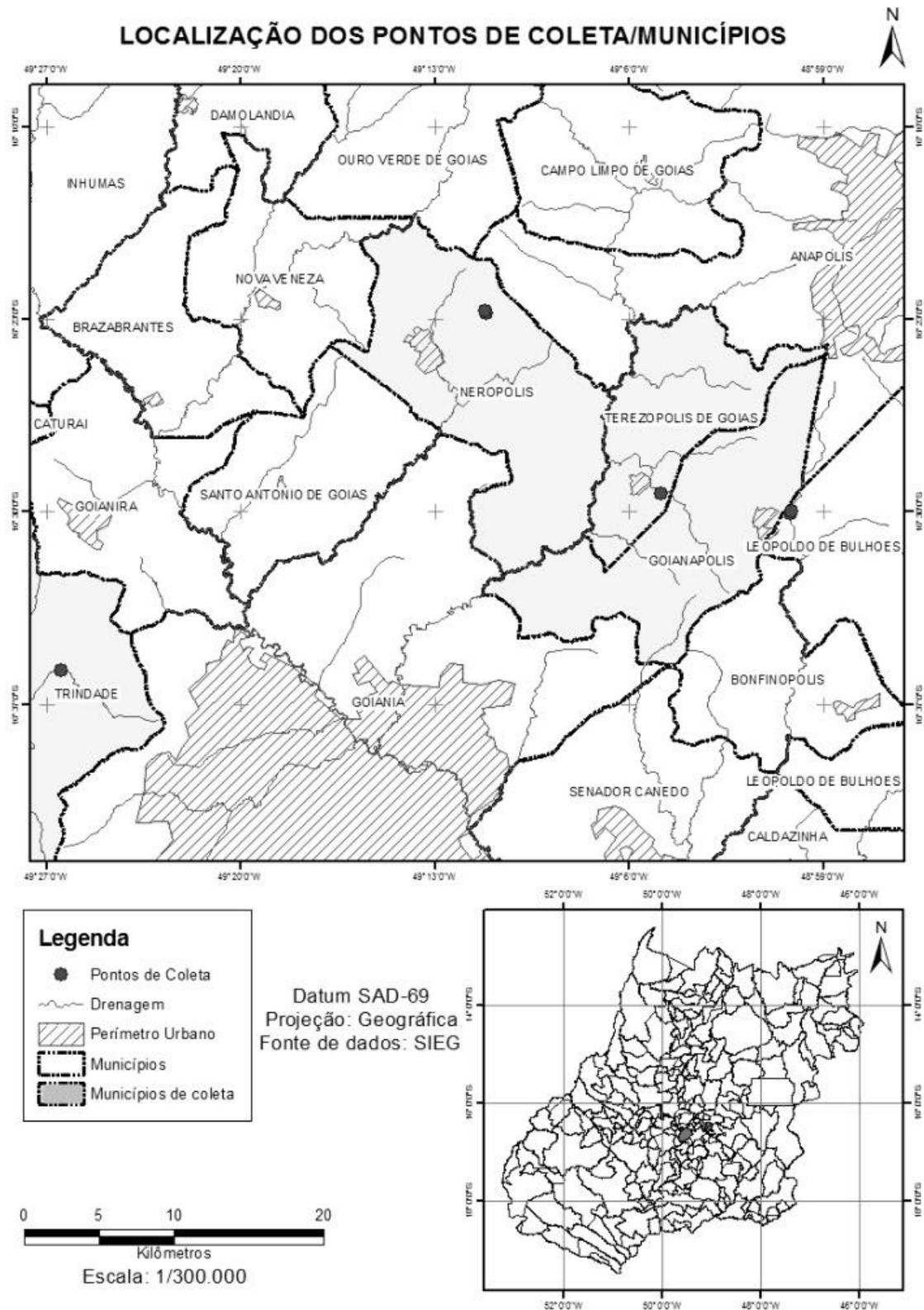


Figura 1 - Localização dos municípios e dos pontos de coleta nos quatro mananciais de abastecimento estudados na região metropolitana de Goiânia – Goiás.

1 **Tabela 1 - Resultado da**
 2 **aplicação do protocolo de avaliação**
 3 **rápida da diversidade de habitats nos**
 4 **quatro mananciais de abastecimento da**
 5 **região metropolitana de Goiânia, Goiás.**

| Parâmetros | Manancial | | | |
|------------------|-----------------|------------------|-----------------|----------------|
| | A | B | C | D |
| 1 | 2 | 2 | 2 | 4 |
| 2 | 2 | 0 | 2 | 2 |
| 3 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 4 | 2 | 0 | 2 | 2 |
| 5 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 6 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 7 | 2 | 4 | 2 | 2 |
| 8 | 4 | 2 | 2 | 4 |
| 9 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 10 | 2 | 2 | 4 | 4 |
| 11 | 3 | 2 | 3 | 5 |
| 12 | 3 | 3 | 2 | 5 |
| 13 | 2 | 5 | 3 | 5 |
| 14 | 2 | 0 | 2 | 2 |
| 15 | 3 | 2 | 5 | 5 |
| 16 | 3 | 2 | 3 | 5 |
| 17 | 3 | 0 | 2 | 3 |
| 18 | 5 | 3 | 2 | 3 |
| 19 | 2 | 0 | 0 | 3 |
| 20 | 2 | 0 | 2 | 3 |
| 21 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 22 | 0 | 0 | 3 | 5 |
| Pontuação | 56 | 39 | 53 | 79 |
| Avaliação | Alterado | Impactado | Alterado | Natural |

6
 7 Pelas pontuações obtidas, percebeu-se
 8 que as três classificações de habitat propostas pelo
 9 protocolo de avaliação rápida da diversidade de
 10 habitats proposto por Callisto et al., (2002)
 11 puderam ser encontradas entre os mananciais
 12 estudados. Como proposto pelo protocolo,
 13 maiores pontuações implicam em piores
 14 condições de habitat e vice-versa.

15 O manancial A recebeu uma pontuação
 16 de 56 pontos e isso o classifica como um
 17 manancial alterado. Nesse trecho avaliado,
 18 observou-se a presença de uma escassa mata ciliar
 19 em uma das margens e uma vasta pastagem na
 20 outra margem (Figura 2). De uma forma geral,
 21 suas margens ainda aparentam manter a sua
 22 vegetação original mesmo apresentando sinais de
 23 degradação tais como erosões (Figura 3).

24 Nas leituras físico-químicas, esse
 25 manancial obteve os seguintes valores de
 26 medianas (considerando as duas coletas do
 27 período de seca e as duas do período chuvoso):
 28 pH de 7,27; temperatura de 20,90°C; 9,43 mg/L
 29 de oxigênio de dissolvido; uma condutividade
 30 elétrica de 26,27 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e uma turbidez de 7,49
 31 UNT. Todas as coletas foram realizadas por volta
 32 das 10 horas da manhã.

33 Esse manancial apresentou a menor
 34 mediana de condutividade elétrica e temperatura
 35 quando comparado aos valores apresentados
 36 pelos demais. Isso indica que a água desse
 37 manancial, em relação aos outros, possui uma
 38 menor capacidade de condução de corrente
 39 elétrica. Baixos valores de condutividade elétrica,
 40 como os em torno de 1 a 10 mS/cm podem
 41 influenciar na morte de determinados orgânicos
 42 em função do excesso de concentração de sais e
 43 do aumento da troca iônica dos compostos.

44 Os resultados dos parâmetros físico-
 45 químicos por período de amostragem para esse
 46 manancial, comparando as medições realizadas no
 47 período chuvoso com as realizadas no período de
 48 seca, não apresentam diferença estatisticamente
 49 significativa com 95 % de confiança ($\alpha = 0,05$) no
 50 teste *t-Student*.

51 À luz da Resolução CONAMA n°
 52 357/2005, o manancial A preenche os requisitos
 53 para ser classificado como um manancial de água
 54 doce classe II, já que nenhuma das suas
 55 propriedades físico-químicas medidas estão fora
 56 dos padrões estabelecidos pela legislação.

57
 58



59 **Figura 2 - Vista da margem do Manancial**
 60 **A, localizado no município de**
 61 **Goianópolis/GO.**
 62



1
2 **Figura 3 - Erosão aparente na margem**
3 **do Manancial A, localizado no município**
4 **de Goianópolis/GO.**

5 O Manancial B recebeu a pontuação
6 mais baixa dentre os mananciais visitados e
7 avaliados. O valor obtido foi de 39 pontos e isso
8 o classifica como um manancial impactado.

9 Esse impacto é mostrado, em partes,
10 pela Figura 4, onde se pode ver que o manancial
11 passa, ao longo do seu curso, por uma pequena
12 área brejosa que pode ser considerada a única
13 vegetação nativa existente ao seu redor. Essa
14 ausência de mata ciliar pode resultar na perda
15 quali-quantitativa da água e da biodiversidade,
16 além de intensificar os processos erosivos pela
17 maior probabilidade de carreamento do solo das
18 margens para o leito do rio (RODRIGUES,
19 CASTRO E MALAFAIA; 2010).

20 O restante do seu curso é margeado nos
21 dois lados por pastagens, é cortado por uma
22 estrada e serve para a dessedentação animal
23 (Figura 5). Além disso, ele possui casas e um
24 curral nas suas proximidades e a largura do seu
25 curso é estreita (aproximadamente 1,5 metro no
26 trecho mais largo), tendo áreas com assoreamento
27 intenso (Figura 6).

28 Sampaio (2012) afirma que a remoção da
29 vegetação ao entorno de rios pode implicar no
30 aumento do escoamento superficial de matéria
31 orgânica em locais próximos a áreas de pastagem.
32 Além do mais, a ausência de mata ciliar modifica a
33 disponibilidade de alimento e abrigo à biota
34 aquática.

35 Há também uma deposição de
36 sedimento no trecho visitado. Essa formação
37 pode resultar no assoreamento desse trecho e
38 pode dificultar o deslocamento de espécies
39 animais. Isso, futuramente, pode alterar a
40 estrutura e a distribuição das comunidades
41 biológicas nesse ecossistema aquático
42 (SAMPAIO, 2012).

43 Em relação à medição dos parâmetros
44 físico-químicos, o manancial B obteve como
45 mediana os seguintes valores (considerando as
46 duas coletas do período de seca e as duas do

47 período chuvoso): um pH igual a 7,29; uma
48 temperatura de 24,35 °C; 9,27 mg/L de oxigênio
49 dissolvido; 74,08 µS/cm de condutividade elétrica
50 e uma turbidez de 9,05 UNT. Todas as coletas
51 foram realizadas por volta das 10 horas da manhã.

52 Os resultados dos parâmetros físico-
53 químicos pH, oxigênio dissolvido, condutividade
54 elétrica e turbidez, por período de amostragem
55 para esse manancial, comparando as medições
56 realizadas no período chuvoso com as realizadas
57 no período de seca, não apresentam diferença
58 estatisticamente significativa com 95 % de
59 confiança ($\alpha = 0,05$) no teste *t-Student*.

60 Já o parâmetro temperatura, sob as
61 mesmas condições de teste, apresentou diferença
62 estatisticamente significativa, sendo a temperatura
63 maior durante a estação chuvosa. Dessa forma,
64 essa diferença estatística existente entre os valores
65 medidos de temperatura pode ser justificada pela
66 ausência de mata ciliar no trecho visitado, pois de
67 acordo com Sampaio (2012), a ausência da mata
68 ciliar pode alterar a manutenção das condições de
69 temperatura e umidade dos cursos d'água.

70 Novamente, quando se interpreta os
71 resultados obtidos pelas medições das amostras
72 do manancial B de acordo com as condições e
73 padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA
74 nº 357/2005, ele também pode ser classificado
75 como um manancial de água doce classe II por
76 não ter apresentado resultados fora dos padrões
77 estabelecidos.



80
81 **Figura 4 - Manancial B localizado no**
82 **município de Nerópolis/GO em área**
83 **brejosa.**



1
2 **Figura 5 - O Manancial B (localizado no**
3 **município de Nerópolis/GO) é margeado**
4 **por pastagem, uma estrada e ainda**
5 **serve para saciar a sede de animais.**



6
7
8 **Figura 6 - Curso estreito do Manancial B**
9 **(localizado no município de**
10 **Nerópolis/GO) e assoreamento**
11 **acentuado.**

12
13 O trecho do Manancial C, assim como o
14 do Manancial A, também foi classificado como
15 um ambiente impactado. Na somatória dos
16 pontos obtidos na aplicação do protocolo de
17 avaliação rápida, ele obteve um total de 53
18 pontos.

19 Esse manancial passa ao lado de uma
20 mata e é represado (a represa é apresentada pelas
21 setas) em uma das fazendas nas quais está situado
22 (Figura 7). Ele é margeado por pastagens onde há
23 criação de gado e uma pequena plantação de cana-
24 de açúcar. As suas margens não são muito
25 preservadas, sendo notada pela escassez da sua
26 mata ciliar original (Figura 8). Há áreas cujos
27 processos erosivos estão bem acentuados (Figura
28 9).

29 O represamento de mananciais é uma
30 alteração que muitas vezes tem como
31 consequência a redução da área de drenagem da

32 bacia hidrográfica, resultando na redução da
33 densidade e diversidade das espécies aquáticas
34 (RODRIGUES, CASTRO E MALAFAIA; 2010).

35 Em relação aos parâmetros físico-
36 químicos, as medianas apresentadas por esse
37 manancial foram (considerando as duas coletas do
38 período de seca e as duas do período chuvoso):
39 um valor de pH igual a 7,30; uma temperatura de
40 23,60°C; 9,37 mg/L de oxigênio dissolvido;
41 174,30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de condutividade e uma turbidez
42 igual a 5,67 UNT. Todas as coletas foram
43 realizadas em torno das 8 horas da manhã.

44 Dentre os quatro mananciais estudados,
45 esse foi o que apresentou o maior valor mediano
46 de condutividade elétrica. Altos valores de
47 condutividade elétrica contribuem para o
48 reconhecimento de impactos ambientais na bacia
49 de drenagem, ocasionados por diferentes fontes
50 poluidoras.

51 Uma possível causa dessa alta
52 condutividade elétrica seria a grande
53 disponibilidade de nutrientes minerais e orgânicos
54 provenientes da criação de gado acima do ponto
55 onde as amostras foram coletadas. De acordo
56 com Cetesb (2010), valores de condutividade
57 elétrica superiores a 100,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam
58 ambientes impactados, afirmação em
59 concordância com o resultado da aplicação do
60 PARDH.

61 Os resultados dos parâmetros físico-
62 químicos por período de amostragem para esse
63 manancial, comparando as medições realizadas no
64 período chuvoso com as realizadas no período de
65 seca, não apresentam diferença estatisticamente
66 significativa com 95 % de confiança ($\alpha = 0,05$) no
67 teste *t-Student*.

68 Quando esses resultados são avaliados
69 frente aos padrões estabelecidos pela Resolução
70 CONAMA n° 357/2005, o manancial C se
71 classifica como um manancial de água doce classe
72 II e, até o momento, não apresenta valores em
73 discordância com a resolução.

74
75



1
2 **Figura 7 - Represamento no Manancial**
3 **C, localizado no município de**
4 **Terezópolis de Goiás/GO.**

5



6
7 **Figura 8 - Margem do Manancial C**
8 **(localizado no município de Terezópolis**
9 **de Goiás/GO) com pastagem e mata**
10 **ciliar escassa.**

11



12
13 **Figura 9 - Margem assoreada do**
14 **Manancial C (localizado no município de**
15 **Terezópolis de Goiás/GO).**

16

17 O Manancial D obteve a maior
18 pontuação dentre os corpos hídricos avaliados.
19 Ele teve uma pontuação igual a 79 e ficou
20 classificado como um ambiente natural.

21 Embora tenha obtido a maior nota na
22 aplicação do protocolo de avaliação rápida, esse
23 manancial não está imune às ações antrópicas,
24 pois está quase que em sua totalidade, margeado
25 por pastagens (Figura 10). Mas ele possui uma
26 mata ciliar mais preservada quando comparado
27 aos demais mananciais também avaliados.

28 Há também uma estrada que corta o seu
29 curso e em algumas áreas, além de apresentar
30 margens assoreadas, é usado por pessoas da
31 região para recreação (Figura 11). Infelizmente,
32 todas essas características visualizadas nesse curso
33 hídrico podem resultar ainda mais na
34 fragmentação desse ambiente, tornando- mais
35 vulnerável às intempéries e às consequências
36 advindas delas.

37 As medianas encontradas para os
38 parâmetros físico-químicos desse manancial
39 foram as seguintes (considerando as duas coletas
40 do período de seca e as duas do período
41 chuvoso): 7,47 para o pH; 21,75°C para a
42 temperatura; 9,03 mg/L de oxigênio consumido;
43 uma condutividade elétrica de 93,64 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e
44 12,15 UNT para a turbidez. Todas as coletas
45 foram realizadas em torno das 8 horas da manhã.

46 Esse manancial, quando comparado aos
47 demais, apresentou o maior valor de turbidez.
48 Isso significa que ele possui uma maior
49 quantidade de partículas suspensas que alteram o
50 trajeto feito pela luz, promovendo a sua difusão e
51 absorção no meio aquoso. Esse maior valor de
52 turbidez pode ser decorrente do frequente
53 pisoteio do gado, que bebe a água do
54 represamento existente acima dos pontos de
55 coleta e da constituição do solo também.

56 Os resultados dos parâmetros físico-
57 químicos oxigênio dissolvido, condutividade
58 elétrica e turbidez por período de amostragem
59 para esse manancial, comparando as medições
60 realizadas no período chuvoso com as realizadas
61 no período de seca, não apresentam diferença
62 estatisticamente significativa com 95 % de
63 confiança ($\alpha = 0,05$) no teste *t-Student*. Já os
64 parâmetros pH e temperatura, sob as mesmas
65 condições de teste, apresentaram diferenças
66 estatisticamente significantes.

67

68



1
2 **Figura 10 - Margem do Manancial D**
3 **(localizado no município de Trindade/**
4 **GO) rodeada por pastagens e escassa**
5 **mata ciliar original.**



7
8 **Figura 11 - Margem assoreada e**
9 **resquícios de fogueira indicando uso**
10 **recreativo do Manancial D, localizado no**
11 **município de Trindade/ GO.**

12
13 Valores de pH ligeiramente menores no
14 período de seca podem estar relacionados à maior
15 presença de galhos e folhas no rio, ocasionando
16 numa consequente presença de matéria orgânica
17 vegetal nessa água. Dessa forma, ao se decompor
18 biologicamente, ela produz substâncias húmicas,
19 como as huminas, ácidos húmicos (AH) e ácidos
20 fúlvicos (AF) que contribuem com a acidez da
21 mesma (SAMPAIO, 2012). Essa diferença
22 estatisticamente detectada entre as medições de
23 pH nesse curso d'água pode ser justificada pelo
24 desvio do curso desse manancial após as coletas
25 realizadas na estação seca e antes das coletas
26 efetuadas na estação chuvosa. Dessa forma, pouca
27 matéria vegetal restou em seu leito, o que pode ter
28 levado a essa diferença sazonal verificada.

29 Em relação à variação média da
30 temperatura, tal situação pode ser explicada pelas
31 variações da temperatura ambiental onde, nos

32 períodos chuvosos as temperaturas são mais
33 elevadas e nos períodos de seca elas são mais
34 amenas, podendo resultar na variação desse
35 parâmetro na água.

36 Considerando os padrões estabelecidos
37 pela legislação vigente, esse manancial não possui
38 valores de parâmetros físico-químicos, dentre os
39 avaliados, em desacordo com a mesma. Dessa
40 forma, ele preenche os requisitos exigidos pela
41 legislação para ser classificado como um
42 manancial de água doce classe II.

43 Um estudo similar foi realizado no rio
44 Pardo, em São Paulo por Sampaio (2012) e
45 resultados semelhantes foram encontrados por
46 ela, demonstrando que a aplicação de PARDH
47 atua como uma importante ferramenta de
48 avaliação ambiental na medida em que ela auxilia e
49 complementa o monitoramento da qualidade
50 ambiental de rios por meio da realização de
51 análises físico-químicas rotineiras.

52 53 54 **CONCLUSÕES**

55
56 Dos quatro mananciais de abastecimento
57 visitados e classificados de acordo com a
58 aplicação do protocolo de avaliação rápida, apenas
59 um deles (Manancial D) pode ser considerado
60 "natural", embora esse termo possua as suas
61 restrições, já que a velocidade com que as
62 atividades antrópicas agem sobre esse ambiente
63 ameaça essa sua atual situação.

64 No caso dos mananciais B e C (na altura
65 onde este último é represado), o contato direto
66 desses ambientes com a criação de animais coloca
67 em risco a integridade desses corpos d'água,
68 fazendo-se necessário a conscientização do
69 pessoal do campo em relação à necessidade de
70 uma produção aliada à manutenção da qualidade
71 dos recursos hídricos.

72 Dessa forma, afirma-se que, a princípio,
73 os mananciais A, B e C estão passando por uma
74 desestruturação dos seus ambientes físicos e
75 podem estar sofrendo alterações na dinâmica
76 natural das comunidades biológicas que podem
77 levar a uma consequente perda da sua diversidade
78 aquática. Esses impactos, resultantes das
79 atividades antrópicas como a substituição das
80 matas ciliares por áreas de agricultura e pastagem,
81 podem implicar na perda da qualidade da água
82 que é utilizada para o abastecimento público.

83 Entretanto, até o momento, essa perda
84 de qualidade não foi detectada pela medição dos
85 parâmetros físico-químicos de pH, temperatura,
86 oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e
87 turbidez, já que esses valores medidos não estão
88 em discordância com os valores de referência
89 propostos pela Resolução CONAMA nº
90 357/2005. De acordo com essa resolução, os
91 quatro mananciais de abastecimento estudados

1 preenchem os requisitos para ser classificados
2 como mananciais de água doce classe II e,
3 conseqüentemente, para fornecer a água que
4 abastecerá quatro cidades da região metropolitana
5 de Goiânia/GO.

6 Considerando apenas o resultado das
7 medições dos parâmetros físico-químicos como
8 forma de avaliação da saúde desses cursos d'água,
9 conclui-se que eles estão aparentemente bem por
10 atenderem ao padrão de qualidade exigido pela
11 legislação. Mas quando esses resultados são
12 colocados em análise conjunta com os resultados
13 obtidos pela aplicação do PARDH, percebe-se
14 que esses mananciais, sob a abordagem ecológica
15 do protocolo, estão impactados e apresentam
16 determinados problemas que, no futuro, podem
17 comprometer a qualidade da água desses quatro
18 mananciais.

19 O uso do protocolo de avaliação rápida
20 da diversidade de habitats como ferramenta
21 avaliativa da qualidade ambiental, por sua vez, se
22 mostrou ser um aliado à manutenção e
23 conservação dos recursos hídricos por ser de fácil
24 aplicação e por permitir a detecção de prejuízos
25 na integridade ambiental dos trechos de rios
26 avaliados quando as análises físico-químicas ainda
27 não são capazes de conseguir tal feito por serem
28 pontuais.

29 Portanto, a utilização de um protocolo
30 de avaliação, por fornecer informações sobre a
31 integridade dos cursos d'água de maneira rápida,
32 conseguiu traçar um panorama preliminar do
33 nível de alteração do curso dos mananciais
34 visitados, tornando-se uma ferramenta
35 complementar na avaliação ambiental desses
36 mananciais, proporcionando uma avaliação
37 integrada do ecossistema.

38 Assim, o uso conjunto dessas duas
39 formas de avaliação tão diferentes, mas que
40 funcionam muito bem juntas, torna possível
41 avaliar a qualidade ambiental de mananciais de
42 abastecimento de uma forma mais holística,
43 resultando em um conhecimento aprofundado
44 desses habitats por permitir conhecer e relacionar
45 as variáveis complementares existentes que traçam
46 os perfis desses ambientes. Além do mais,
47 futuramente pode-se usar os resultados obtidos
48 como direcionamento para a atuação dos órgãos
49 competentes para evitar danos à saúde da
50 população abastecida por essa água.

51 AGRACIMENTOS

52 Os autores agradecem à CAPES pela
53 bolsa de mestrado, ao CNPQ (Processo nº
54 477857/2012-4) e à FAPEG (Processo nº
55 201210267001192) pelo financiamento do projeto
56 e à SANEAGO pela disponibilização de dados.

57
58
59
60
61

62 REFERÊNCIAS

- 63
64 ARAUJO, E. S.; BARBOSA, M. P. Diagnóstico
65 preliminar de impactos ambientais no trecho
66 urbano do córrego São João em Porto Nacional,
67 Estado do Tocantins. **Geo Ambiente On-line -**
68 **Revista Eletrônica do Curso de Geografia,**
69 n.14, p. 158-167, jan-jun 2010.
70
71 CALLISTO, M.; FERREIRA, W.; MORENO, P.;
72 GOULART, M. D. C. E PETRUCIO, M.
73 Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da
74 diversidade de habitats em atividades de ensino e
75 pesquisa (MG-RJ). **Acta Limnologica**
76 **Brasiliensia**, 14(1), p.91-98, 2002.
77
78 CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA
79 DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório**
80 **de qualidade das águas superficiais no estado**
81 **de São Paulo:** relatório técnico. São Paulo:
82 CETESB, 2010. 310 p.
83
84 CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO
85 MEIO AMBIENTE. 2005. Resolução Conama nº
86 357. Disponível em:
87 <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em 15 jun. 2012.
88
89
90 DILLENBURG, A. K. A importância do
91 monitoramento ambiental na avaliação da
92 qualidade de um rio – estudo de caso – Mercedes,
93 PR. **Revista Urutágua**, n. 12, p. 1- 10,
94 abr/mai/jun/jul 2007.
95
96 EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION
97 AGENCY. 1987. Biological criteria for the
98 protection of aquatic life. Division of Water
99 Quality Monitoring and Assessment, Columbus v.
100 I-III, 120 p. (Surface Water Section).
101
102 FERNANDEZ, O. V. Q.; SANDER, C.
103 Aplicação de um protocolo simplificado de
104 avaliação de habitats aquáticos no Igarapé
105 Caxangá, Boa Vista, RR. In: SIMPÓSIO
106 NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA/
107 REGIONAL CONFERENCE ON
108 GEOMORPHOLOGY, 6, 2006, Goiânia.
109 **Anais...**Goiânia, 2006. 7p.
110
111 FIRMINO, P. F.; MALAFAIA, G.;
112 RODRIGUES, A. S. L. Diagnóstico da
113 integridade ambiental de trechos de rios
114 localizados no município de Ipameri, Sudeste do
115 Estado de Goiás, através de um protocolo de
116 avaliação rápida. **Brazilian Journal of Aquatic**
117 **Science and Technology**, v. 15, n. 2, p. 1-12,
118 2011.
119
120 GUIMARAES, A.; RODRIGUES, A. S. L.;
121 MALAFAIA, G. Adequação de um protocolo de
122 avaliação rápida de rios para ser usado por

- 1 estudantes do ensino fundamental. **Revista**
2 **Ambiente e Água**, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 241 –
3 260, 2012.
4
5 HANNAFORD, M. J.; BARBOUR, M. T.;
6 RESH, V. H. 1997. Training reduces observer
7 variability in visual-based assessments of stream
8 habitat. **J. North. Am. Benthol. Soc.**, 16:853-
9 860.
10
11 KRUPEK, R. A. Análise comparativa entre duas
12 bacias hidrográficas utilizando um protocolo de
13 avaliação rápida da diversidade de habitats.
14 **Ambiência – Revista do Setor de Ciências**
15 **Agrárias e Ambientais**, v. 6, n.1, 2010.
16
17 MINATTI-FERREIRA, D.D.; BEAUMORD,
18 A.C. Adequação de um protocolo de avaliação
19 rápida de integridade ambiental para ecossistemas
20 de rios e riachos: aspectos físicos. **Revista Saúde**
21 **e Ambiente/ Health and Environment**
22 **Journal**, v.7, n.1, jun 2006.
23
24 RODRIGUES, A. S. L. **Adequação de um**
25 **protocolo de avaliação rápida para o**
26 **monitoramento e avaliação ambiental de**
27 **cursos d'água inseridos em campos rupestres.**
28 2008. 118p. Dissertação de Mestrado (Mestrado
29 em Ciências Naturais) – Departamento de
30 Geologia, UFOP, Ouro Preto.
31
32 RODRIGUES, A. S. L. Uma visão holística sobre
33 os ecossistemas fluviais. **Revista da Biologia**, v.
34 2, p. 8-11, jun 2009.
35
36 RODRIGUES, A. S. L.; CASTRO, P. T. A.
37 Protocolos de avaliação rápida: instrumentos
38 complementares no monitoramento dos recursos
39 hídricos. **Revista Brasileira de Recursos**
40 **Hídricos**, v.13, n.1, p. 161-170, jan/mar 2008.
41
42 RODRIGUES, A. S. L.; MALAFAIA, G.;
43 CASTRO, P. T. A. Protocolos de avaliação rápida
44 de rios e a inserção da sociedade no
45 monitoramento dos recursos hídricos. **Ambi-**
46 **Água**, Taubaté, v. 3, n. 3, p. 143-155, 2008.
47
48 RODRIGUES, A. S. L.; CASTRO, P. T. A.;
49 MALAFAIA, G. Utilização dos protocolos de
50 avaliação rápida de rios como instrumentos
51 complementares na gestão de bacias hidrográficas
52 envolvendo aspectos da geomorfologia fluvial:
53 uma breve discussão. **Enciclopédia Biosfera**, v.
54 6, n. 11, 9p., 2010.
55
56 RODRIGUES, A. S. L.; MALAFAIA, G.;
57 CASTRO, P. T. A. A importância da avaliação do
58 habitat no monitoramento da qualidade dos
59 recursos hídricos: uma revisão. **SaBios: Rev.**
60 **Saúde e Biol.**, v. 5, n.1, p. 26-42, jan/jul 2010.
61
62 SAMPAIO, C. F. **Avaliação ambiental do rio**
63 **Pardo, Brasil: ênfase para Áreas de**
64 **Preservação Permanente, ecossistemas**
65 **aquáticos superficiais e condições físico-**
66 **químicas da água.** 2012. 101p. Dissertação de
67 Mestrado (Mestrado em Ciências) –
68 Departamento de Enfermagem Saúde Pública,
69 USP, Ribeirão Preto.
70
71 VARGAS, J. R.A.; FERREIRA JÚNIOR, P. D.
72 Aplicação de um protocolo de avaliação rápida na
73 caracterização da qualidade ambiental de duas
74 microbacias do Rio Guandu, Afonso Cláudio, ES.
75 **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17,
76 n. 1, p. 161-168, jan./mar., 2012.
77
78 XAVIER, A. L.; TEIXEIRA, D. A. Diagnóstico
79 das nascentes da sub-bacia hidrográfica do
80 rio São João em Itaúna, MG. In: CONGRESSO
81 DE ECOLOGIA DO BRASIL, 7., 2007,
82 Caxambu. **Anais...** Caxambu: SEB, 2007. p. 1-2.
83
84 **PRELIMINARY ENVIRONMENTAL**
85 **QUALITY DIAGNOSTIC OF FOUR**
86 **WATER SUPPLY SOURCES AT**
87 **GOIÂNIA/GO METROPOLITAN**
88 **AREA**
89
90 **ABSTRACT**
91 Aquatic ecosystems inserted into metropolitan
92 areas suffer an intense process of degradation,
93 thus the necessity of methodologies that cover a
94 full assessment of water quality becomes evident
95 when these water streams are used for public
96 supply in a region. Thus the objective of this
97 study consisted in evaluating the environmental
98 quality of four water sources used for public
99 supply in the metropolitan region of
100 Goiânia/GO, through the use of a Rapid
101 Assessment Protocol in connection data obtained
102 from physico-chemical parameters of water. It
103 was observed with the application of the protocol,
104 the water sources A, B and C are undergoing a
105 deconstruction of their environments and that
106 only the water source A was considered "natural".
107 However, the loss of water quality was not
108 detected by the measurement of physico-chemical
109 parameters because they are in agreement with the
110 values of CONAMA Resolution n°. 357/2005.
111 Relating all the results obtained, we noticed that
112 this water sources are suffering from the human
113 action and this fact can compromise the water
114 quality of them.
115 **KEYWORDS:** Water sources of supply,
116 protocol rapid assessment of diversity of
117 habitats, physico-chemical parameters,
118 environmental quality, Goiânia metropolitan
119 region.

CAPÍTULO 3

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE QUATRO MANANCIAS DE ABASTECIMENTO SITUADOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA/GOIÁS POR MEIO DA ANÁLISE DE ÁGUA E SEDIMENTO

Laís S. de Moura e Katia Kopp

RESUMO

As águas provenientes de mananciais de abastecimento devem seguir aos parâmetros de qualidade apresentados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para que sejam utilizadas para tal finalidade. Nos últimos anos, trabalhos começaram a considerar a qualidade do sedimento nos estudos referentes à discussão de qualidade da água pelo fato deste compartimento ter atingido o status de acumulador, transportador e fonte em potencial de contaminantes. Dessa forma, a água e o sedimento de quatro mananciais da região metropolitana de Goiânia/GO foram analisados com a finalidade de avaliar a qualidade desses recursos hídricos. Os parâmetros medidos na água foram: temperatura, pH, potencial redox, condutividade elétrica, turbidez, OD, matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo total, sólidos suspensos totais, sólidos totais, sólidos dissolvidos totais, coliformes totais e *Escherichia coli*. No sedimento foram medidos os parâmetros pH, potencial redox, umidade, matéria orgânica e granulometria. Os sedimentos apresentaram características parecidas com os sedimentos de outras partes do Brasil e constatou-se que eles podem contribuir para o acúmulo de contaminantes, como metais, devido a sua granulometria fina, composta em sua maior parte por silte e argila.

PALAVRAS – CHAVE: qualidade, água, sedimento, recursos hídricos.

ABSTRACT

The water from sources of supply should follow the quality standards established by the Resolution CONAMA 357/2005 to be used for this purpose. In recent years, studies have begun to consider the sediment quality studies related to the discussion of water quality because this compartment have reached the status of accumulator, carrier and potential source of contaminants. Thus, the water and the sediment from four sources of metropolitan area of Goiânia/GO were analyzed in order to evaluate the quality of water resources. The parameters were measured in water were temperature, pH, redox potential, conductivity, turbidity, DO, organic matter, total nitrogen, total phosphorus, total suspended solids, total solids, total dissolved solids, total coliform and *Escherichia coli*. The parameters measured in sediments pH, redox potential, moisture, organic matter and particle size. The sediments showed similar characteristics with sediments from other parts of Brazil and found that they can contribute for the accumulation of contaminants, such as metals, due to their fine grain, composed mostly of silt and clay.

KEYWORDS: water quality, sediment, water resources.

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE QUATRO MANANCIAIS DE ABASTECIMENTO SITUADOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA/GOIÁS POR MEIO DA ANÁLISE DE ÁGUA E SEDIMENTO

1. INTRODUÇÃO

A água doce é um recurso natural finito, daí a importância da preservação dos rios e de suas nascentes assim como a criação de políticas públicas que visem o resguardo desse bem essencial à vida como um todo.

O conceito de qualidade da água relaciona-se a seu uso e as características por ela apresentadas determinadas pelas substâncias presentes (BRASIL, 2006), sem esquecer que o padrão de qualidade de vida de uma população está diretamente relacionado à disponibilidade e qualidade de sua água (FARIAS, 2006).

Conhecida como o solvente universal, ela comporta uma grande diversidade de elementos e substâncias químicas dissolvidas provenientes do intemperismo natural das rochas. Mas as atividades industriais, de mineração, o despejo de efluentes, a precipitação de partículas atmosféricas e a carga difusa urbana e agrícola também contribuem para a incorporação de outras classes de íons nos corpos hídricos (CETESB, 2005).

As águas destinadas ao consumo humano devem apresentar um padrão de qualidade antes de passarem por algum tipo de tratamento para então ser posteriormente consumida pela população. Esse padrão é composto por um conjunto de parâmetros que lhe confere qualidade própria para esse fim e eles estão expressos na Resolução CONAMA nº 357/2005.

Portanto, a determinação de parâmetros de avaliação e o acompanhamento da qualidade dessas águas servem para fornecer elementos de comparação e monitoramento das melhorias que devem ser implantadas para a recuperação do manancial que está sendo avaliado, caso seja necessário. Dessa forma, a realização periódica de análises físico-químicas e microbiológicas torna-se essencial no propósito de se atingir essa finalidade.

Por outro lado, determinados contaminantes, além de estarem presentes nas águas superficiais, podem também se depositar no sedimento. O

sedimento é, de forma simplificada, a camada de partículas minerais e orgânicas finamente granuladas que estão em contato com a parte inferior dos corpos d'água naturais (COSTA et al., 2008).

Eles passaram a ser vistos como acumuladores, transportadores e fontes em potencial de contaminantes, o que os levou a um patamar de auxiliares na avaliação do nível de contaminação dos ecossistemas aquáticos (BALLS, 1989 apud SOUSA, 2009; COTTA, REZENDE e PIOVANI, 2006) pelo fato da sua composição química refletir a composição da coluna d'água (ALVES, 2002). Além do mais, uma vez adsorvidos na superfície dos sedimentos, os contaminantes podem ser liberados silenciosamente à coluna d'água como consequência da variação de pH, potencial redox, temperatura, incidência de luz (ALVES, 2002), trocas ambientais, ação bacteriana e até mesmo por meio da oscilação na quantidade de oxigênio dissolvido (LIMA et al., 2001) e desta forma, peixes, aves, e até o homem podem se contaminar (ARINE, 2000).

Nesse contexto, o estudo da qualidade das águas em parceria com o estudo do sedimento torna-se importante por auxiliar no monitoramento dos processos biológicos, físicos e químicos dos sistemas naturais (MERTEN e MINELLA, 2002). Estudos do sedimento não são muito comuns no Brasil, menos ainda na região Centro-Oeste. Um levantamento realizado por Moura et al. (2013) mostrou que no decênio 2001-2011, apenas dois trabalhos com essa temática foram publicados em língua portuguesa na base de dados online Thomson ISI (www.isiknowledge.com).

Assim, esse trabalho teve como objetivo principal realizar uma caracterização físico-química e microbiológica da água e do sedimento de quatro mananciais de abastecimento situados na região metropolitana de Goiânia/Goiás.

Como esses mananciais são os responsáveis em fornecer a água que abastece a população de quatro cidades, faz-se necessário avaliar e monitorar constantemente os indicadores da qualidade ambiental pertinente a eles com a finalidade de conservar o meio ambiente e proporcionar água de qualidade à população que venha a fazer o uso desse recurso como fonte de abastecimento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em mananciais das cidades de Goianópolis, Nerópolis, Terezópolis de Goiás e Trindade (Tabela 1, Figura 1). Essas cidades foram escolhidas para compor o trabalho porque fazem parte da região metropolitana de Goiânia/Goiás e pela facilidade de acesso ao curso dos mananciais que seriam estudados. Previamente, a região dos mananciais de abastecimento foi vistoriada por imagens de satélite e posteriormente visitas ao curso dos rios foram feitas com o propósito de se conhecer as facilidades de acesso para então escolher os pontos de coleta em cada um deles. Para facilitar a compreensão, ao longo do texto os rios e córregos amostrados serão chamados apenas de Rio A, B, C e D.

Tabela 1 - Cidades e respectivos mananciais onde as coletas foram realizadas. Os valores das coordenadas e a área das bacias dos mesmos também são apresentados.

| Cidade | Manancial | Nomenclatura | Longitude | Latitude | Área (km ²) |
|----------------------|---------------------------------|--------------|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Goianópolis | Ribeirão Sozinha | Rio A | 49° 00' 10,88" O | 16° 30' 04,73" S | 50,42 |
| Nerópolis | Córrego Água Branca (Cap. 1) | Rio B | 49° 11' 10,93" O | 16° 22' 46,42" S | 10,32 |
| | Córrego Água Branca (Cap. 2) | Rio B | 49° 12' 19,25" O | 16° 23' 23,38" S | 17,33 |
| Terezópolis de Goiás | Córrego dos Macacos | Rio C | 49° 05' 00,56" O | 16° 29' 08,34" S | 33,73 |
| Trindade | Ribeirão Arrozal | Rio D | 49° 27' 39,83" O | 16° 36' 54,37" S | 64,81 |

Fonte: SANEAGO, 2007. Legenda: Cap = captação.

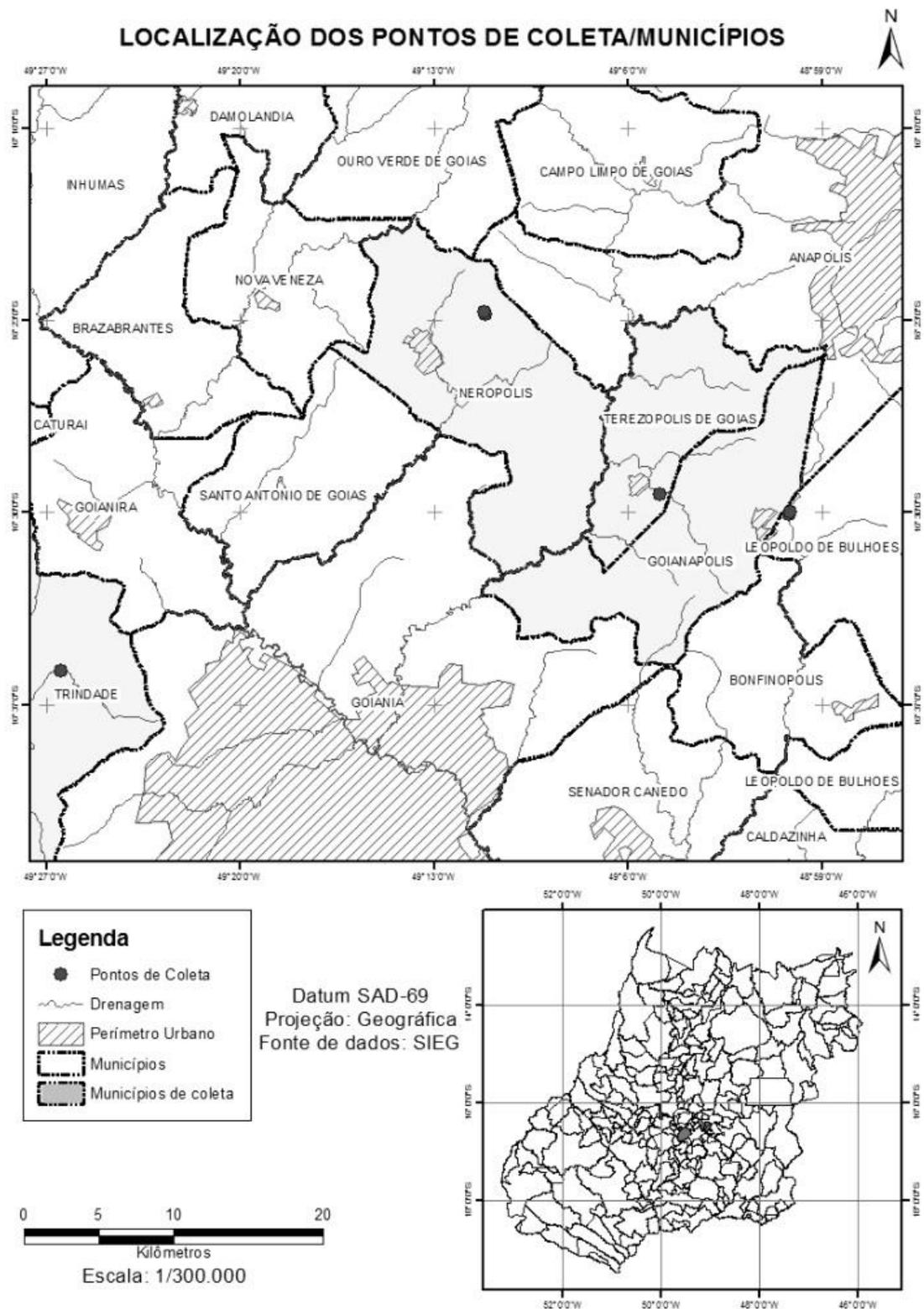


Figura 1 - Localização dos municípios e dos pontos de coleta nos quatro mananciais de abastecimento estudados na região metropolitana de Goiânia – Goiás.

Em cada um dos quatro mananciais escolhidos para o estudo, selecionaram-se dois pontos de coleta (Tabela 2), todos eles antes da captação de água para tratamento e abastecimento público realizado pela Empresa Saneamento de Goiás S/A, a SANEAGO.

Tabela 2 - Coordenadas geográficas dos pontos amostrais.

| | | Coordenadas Geográficas | | | |
|----------------------|---------------|-------------------------|---------------|----------------|---------------|
| | | Ponto 1 | | Ponto 2 | |
| Cidade | Rios/Córregos | Longitude | Latitude | Longitude | Latitude |
| Goianápolis | Rio A | 49°0'11.08"O | 16°30'4.88"S | 49°0'7.42"O | 16°29'58.63"S |
| Nerópolis | Rio B | 49°11'10.0"O | 16°22'46.1"S | 49°11'11.94"O | 16°22'43.10"S |
| Terezópolis de Goiás | Rio C | 49°4'50.28"O | 16°29'20.70"S | 49°04'50.3"O | 16°29'21.0"S |
| Trindade | Rio D | 49°4'51.6"O | 16°29'18.9"S | 49°26'29.02" O | 16°35'45.67"S |

Legenda: Rio A = Ribeirão Sozinha, Rio B = Córrego Água Branca ou Córrego do Café, Rio C = Córrego dos Macacos, Rio D = Ribeirão Arrozal.

2.2 COLETAS DAS AMOSTRAS

As coletas foram realizadas em um total de quatro vezes e programadas para ser realizadas em épocas de seca e chuvas no estado, onde a cidade de Goiânia foi usada como referência (Figura 2). A primeira coleta foi realizada no mês de julho de 2013, a segunda coleta aconteceu no mês de setembro de 2013 (compreendendo meses de seca) e as outras duas coletas, que compreenderam meses chuvosos, foram realizadas nos meses de novembro de 2013 e janeiro de 2014.

As amostras simples de água foram coletadas e armazenadas em frascos de polietileno e mantidas refrigeradas até a realização das análises (CETESB, 2011). Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos medidos na água foram os de temperatura, potencial hidrogeniônico (pH), potencial redox (Eh), condutividade elétrica, turbidez, oxigênio dissolvido, matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo total, sólidos suspensos totais, sólidos totais, sólidos dissolvidos totais, coliformes totais e *Escherichia coli*.

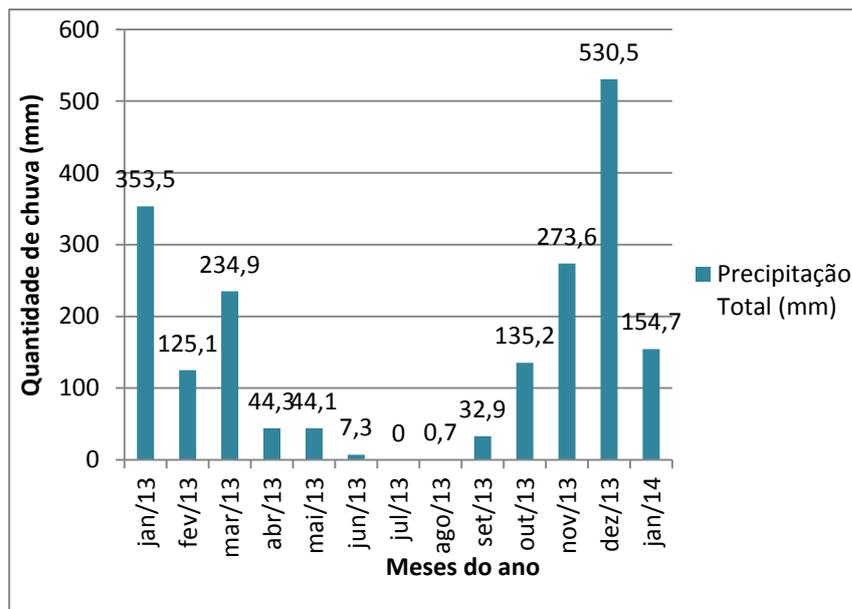


Figura 2 - Valores de precipitação total em milímetros durante o período de um ano na cidade de Goiânia/GO.

Fonte: Inmet, 2014.

Alguns parâmetros foram mensurados diretamente em campo tais como pH, temperatura, oxigênio dissolvido e Eh usando-se uma sonda multiparâmetros HI 9828 da marca Hanna Instruments. Já os demais parâmetros foram mensurados nos Laboratório de Água e Laboratório de Saneamento da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás (UFG).

O sedimento foi coletado nas duas margens deposicionais do ponto de coleta escolhido com o auxílio de uma draga de Petersen de acordo com o proposto por Cetesb (2011). Posteriormente, as réplicas foram misturadas em um balde de polietileno com o auxílio de uma colher de aço inoxidável e então guardadas em recipientes inertes. As amostras compostas foram armazenadas sob refrigeração até o momento da realização das análises.

Os parâmetros analisados no sedimento foram pH, potencial redox, umidade, matéria orgânica e granulometria. Os valores do potencial redox foram mensurados em campo pela mesma sonda multiparâmetros utilizada na leitura dos parâmetros da água. As demais análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, exceto pela análise de granulometria, que foi realizada no Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física – Labogef do Instituto de Estudos Socioambientais (IESA) da UFG.

Todas as análises da água foram realizadas de acordo com as metodologias propostas pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005) e em relação ao sedimento, as análises foram realizadas de acordo com as metodologias propostas pelo Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 1997).

Os resultados obtidos para a água dos rios foram analisados à luz da Resolução CONAMA nº 357/2004 com os seus valores máximos permitidos (VMP) para diversos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA

Considerando os valores obtidos nas duas épocas de coletas (período de seca e período chuvoso), os valores de temperatura para o Rio A variaram de 20°C a 23°C. Em relação ao Rio B, a variação desse parâmetro foi entre 20,1°C e 26,4°C; de 20,9°C a 24,1°C no Rio C e para o Rio D, a variação foi entre 20,1°C e 24,3°C (Tabela 3).

De uma forma geral, valores ligeiramente mais elevados de temperatura foram medidos na estação chuvosa, para todos os quatro rios. Maiores valores desse parâmetro na estação chuvosa também foram encontrados nos rios Catolé, Duas Barras e Catolézinho, no sudoeste da Bahia (BARRETO, ROCHA e OLIVEIRA, 2009). A Resolução CONAMA nº 357/2005 não estabelece um VMP para esse parâmetro para nenhuma das classes de água doce, mas temperaturas inferiores a 40°C são desejáveis em ambientes aquáticos (ARAÚJO e OLIVEIRA, 2013).

A temperatura é um fator limitante numa grande variedade de processos biológicos, como a velocidade de simples reações químicas e distribuição ecológica de espécies animais. Dessa forma, existem temperaturas adequadas para as inúmeras atividades que ocorrem nos corpos hídricos e assim, um desarranjo nesse parâmetro pode interferir, por exemplo, no crescimento, migração, desova e incubação do ovo de certas espécies aquáticas (BORGES, 2009).

Em relação aos valores medidos de pH, o Rio A apresentou valores entre 6,10 e 7,71. Essa variação no Rio B ocorreu entre os valores de 6,80 e 7,80. No Rio C, a variação de pH ficou entre os valores de 6,93 e 7,64 e as medições no Rio D apontaram valores de pH entre 7,30 e 7,96 (Tabela 3).

Esses valores indicam que as águas desses rios tendem a ser de levemente ácida a levemente básica, apresentando, de forma geral, valores próximos à neutralidade. Para Who (1997) apud Poletto (2007), um pH na faixa entre 6,5 – 8,5 é considerado aceitável quando se pensa em água potável e de acordo com Esteves (1998) apud Pinho (2001), a grande maioria dos corpos d'água continentais tem pH variando entre 6 e 8.

Valores semelhantes de pH foram encontrados por Barreto, Rocha e Oliveira (2009) no estudo de monitoramento da água da microbacia hidrográfica do Rio Catolé na Bahia e também por Alves et al. (2010) no Córrego Monte Alegre e afluentes em Ribeirão Preto/SP. O VMP para águas doces classe II estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para esse parâmetro está entre 6 e 9. Dessa forma, todos os valores medidos nos quatro rios ficaram nessa faixa de valores permitidos.

Essa faixa de pH apresentada pela resolução como a ideal para valores desse parâmetro nos corpos d'água se baseia no fato de que valores de pH fora dessa faixa podem resultar na inibição parcial ou completa dos processos metabólicos (naturais) dos microrganismos envolvidos na estabilização da matéria orgânica, especialmente pelo processo anaeróbio (INFOAMBIENTAL, 2010).

Assim, o pH atua diretamente na fisiologia dos seres vivos e de acordo com as condições, ele pode contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos e exercer efeitos sobre a solubilidade de nutrientes. Um exemplo é que, em condições de pH elevado, o ferro tende a tornar-se menos disponível para algumas plantas, e desta maneira, a produção de toda comunidade aquática pode ser afetada (BORGES, 2009). Além disso, o valor de pH está relacionado à atividade metabólica das bactérias, podendo favorecer a um determinado grupo em detrimento de outro e assim, alterações em seu valor altera esse equilíbrio.

Tabela 3 - Resultados de algumas análises físico-químicas realizadas nas amostras de água coletadas em quatro rios localizados na região metropolitana de Goiânia, Goiás.

| Rio | pH | Temperatura (°C) | Oxigênio Dissolvido (mg/L) | Condutividade Elétrica (µS/cm) | Turbidez (NTU) | Eh (mV) |
|----------------|-------|------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------|---------|
| SECA | | | | | | |
| A | 6,10 | 20,24 | 8,20 | 21,84 | 11,40 | -8,70 |
| | 7,71 | 20,00 | 8,40 | 22,79 | 11,70 | -9,80 |
| | 7,24 | 21,50 | 9,36 | 27,30 | 4,53 | -12,90 |
| | 7,34 | 20,80 | 9,07 | 27,47 | 5,55 | -9,40 |
| CHUVA | | | | | | |
| | 6,90 | 22,20 | 9,44 | 32,37 | 8,07 | 10,80 |
| | 7,29 | 23,00 | 9,77 | 31,06 | 5,94 | -10,90 |
| | 7,23 | 21,00 | 9,42 | 24,76 | 7,34 | -9,50 |
| | 7,33 | 20,60 | 8,96 | 25,24 | 7,63 | -9,20 |
| MEDIANA | 7,265 | 20,90 | 9,21 | 26,27 | 7,485 | -9,45 |
| MÍNIMO | 6,10 | 20,00 | 8,20 | 21,84 | 4,53 | -12,90 |
| MÁXIMO | 7,71 | 23,00 | 9,22 | 32,37 | 11,70 | 10,80 |
| SECA | | | | | | |
| B | 6,80 | 20,17 | 5,90 | 45,89 | 5,34 | -15,20 |
| | 7,12 | 21,27 | 6,60 | 77,98 | 8,65 | -25,20 |
| | 6,94 | 21,90 | 6,46 | 56,13 | 3,36 | -6,70 |
| | 7,61 | 24,20 | 9,22 | 90,59 | 22,3 | -37,0 |
| CHUVA | | | | | | |
| | 6,88 | 26,40 | 7,9 | 70,18 | 7,96 | -8,70 |
| | 7,53 | 25,30 | 8,66 | 115,9 | 35,20 | -25,50 |
| | 7,80 | 24,50 | 9,61 | 52,02 | 9,45 | -41,30 |
| | 7,45 | 26,00 | 9,32 | 84,00 | 14,30 | -25,20 |
| MEDIANA | 7,285 | 24,35 | 8,28 | 74,08 | 9,05 | -25,20 |
| MÍNIMO | 6,80 | 20,17 | 5,90 | 45,89 | 3,36 | -41,30 |
| MÁXIMO | 7,80 | 26,40 | 9,61 | 115,90 | 35,20 | -6,70 |

(Continuação) Tabela 3 - Resultados de algumas análises físico-químicas realizadas nas amostras de água coletadas em quatro rios localizados na região metropolitana de Goiânia, Goiás.

| Rio | pH | Temperatura (°C) | Oxigênio Dissolvido (mg/L) | Condutividade Elétrica (µS/cm) | Turbidez (NTU) | Eh (mV) |
|----------------|------|------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------|---------|
| SECA | | | | | | |
| C | 7,40 | 21,56 | 7,30 | 165,00 | 5,78 | -19,60 |
| | 6,93 | 20,90 | 9,10 | 161,70 | 6,26 | -21,50 |
| | 7,64 | 23,70 | 9,47 | 189,60 | 6,67 | -36,70 |
| | 7,46 | 23,30 | 9,27 | 191,60 | 4,03 | -28,10 |
| CHUVA | | | | | | |
| | 7,18 | 24,10 | 9,47 | 183,60 | 3,26 | -7,70 |
| | 6,98 | 23,90 | 8,82 | 187,50 | 13,10 | -8,90 |
| | 7,41 | 23,50 | 9,09 | 158,80 | 2,60 | -23,60 |
| | 7,20 | 24,00 | 8,84 | 162,30 | 5,55 | -16,40 |
| MEDIANA | 7,30 | 23,60 | 9,09 | 174,30 | 5,665 | -20,55 |
| MÍNIMO | 6,93 | 20,90 | 7,30 | 158,80 | 2,60 | -36,70 |
| MÁXIMO | 7,64 | 24,10 | 9,47 | 191,60 | 13,10 | -7,70 |
| SECA | | | | | | |
| D | 7,30 | 20,50 | 8,00 | 87,32 | 12,80 | -13,90 |
| | 7,45 | 20,00 | 7,50 | 87,61 | 11,20 | -16,30 |
| | 7,35 | 20,10 | 9,04 | 99,71 | 11,50 | -18,40 |
| | 7,36 | 19,80 | 8,76 | 99,66 | 11,00 | -17,70 |
| CHUVA | | | | | | |
| | 7,52 | 24,30 | 9,19 | 111,60 | 13,50 | -25,80 |
| | 7,49 | 24,30 | 8,72 | 111,10 | 11,40 | -23,00 |
| | 7,65 | 23,20 | 9,79 | 77,93 | 874,00 | -41,90 |
| | 7,96 | 23,00 | 9,78 | 74,79 | 1.070,00 | -56,00 |
| MEDIANA | 7,47 | 21,75 | 8,90 | 93,64 | 12,15 | -20,70 |
| MÍNIMO | 7,30 | 19,80 | 7,50 | 74,79 | 11,00 | -56,00 |
| MÁXIMO | 7,96 | 24,30 | 9,79 | 111,60 | 1.070,00 | -13,90 |

O parâmetro potencial redox (Eh) variou entre -12,90 mV e 10,80 mV no Rio A; no Rio B essa variação ficou entre -41,30 mV e -6,7 mV. Para o Rio C, essa variação foi entre -36,70 mV e -7,7 mV e esses valores para o Rio D ficaram entre -56,0 mV e -13,90 mV (Tabela 1).

Em relação ao potencial redox, o Rio A foi o único que apresentou um valor positivo nas medições, indicando que esse rio é um ambiente com substâncias redutoras na maior parte do tempo. Por outro lado, os demais rios são assim em todo o tempo devido ao fato de terem apresentado somente valores negativos para esse parâmetro.

Esse único valor positivo medido pode ter sido obtido por meio de uma leitura incorreta do equipamento, já que nas demais medições para esse rio, todos os valores encontrados foram negativos. Por outro lado, caso essa única medição positiva esteja correta, isso implicaria numa maior quantidade de oxigênio dissolvido nesse ponto do Rio A no momento da medição, podendo indicar um alto índice de reações de oxidação de matéria orgânica.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 não apresenta um VMP para esse parâmetro, mas a sua medição é importante no sentido de se acompanhar as reações de óxido-redução que ocorrem no meio aquático. Essas reações regulam o comportamento de muitos compostos químicos presentes nos corpos de água naturais e também afetam a distribuição e a atividade metabólica dos microrganismos. Além disso, a reatividade, a solubilidade e a mobilidade cíclica de elementos essenciais para os sistemas biológicos são afetados por trocas no potencial redox (PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, 2010 apud MONTTOYA e RAMIREZ, 2010).

Os valores de condutividade elétrica medidos para o Rio A ficaram entre 21,8 $\mu\text{S/cm}$ a 25 °C e 32,3 $\mu\text{S/cm}$ a 25 °C. Essa variação para o Rio B foi de 45,8 $\mu\text{S/cm}$ a 25 °C a 115,9 $\mu\text{S/cm}$ a 25 °C e no Rio C, essa variação ocorreu entre os valores de 158,8 $\mu\text{S/cm}$ a 25 °C e 191,6 $\mu\text{S/cm}$ a 25 °C (Tabela 3). Já para o Rio D, a variação foi de 74,7 $\mu\text{S/cm}$ a 25 °C a 111,6 $\mu\text{S/cm}$ a 25 °C. De uma forma geral, maiores valores desse parâmetro foram encontrados no período chuvoso. Essa tendência também foi observada por Barreto, Rocha e Oliveira (2009) em três rios que compõem uma microbacia em Itapetinga-BA.

Dentre os quatro rios estudados, o rio C foi o que apresentou o maior valor mediano de condutividade elétrica. Uma possível causa dessa alta condutividade elétrica seria a grande disponibilidade de nutrientes minerais e orgânicos provenientes da criação de gado. De fato, foi verificada a presença de criação de bovinos às margens desse rio durante as amostragens, o que pode ter contribuído para a maior condutividade elétrica devido a disponibilidade de nutrientes das fezes desses animais.

De acordo com Cetesb (2010), valores de condutividade elétrica superiores a 100,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados. Essa afirmação advém do fato dela poder contribuir para possíveis reconhecimentos de impactos ambientais que ocorram na bacia de drenagem ocasionada pelo lançamento de resíduos de diversas origens (FARIAS, 2006). A condutividade elétrica não possui um VMP na Resolução CONAMA nº 357/2005 em nenhuma das classificações de água doce.

Para o parâmetro turbidez (Tabela 3), no rio A os valores variaram de 4,5 NTU a 11,7 NTU; no rio B variaram de 3,3 NTU e 35,2 NTU. Nas medições feitas no Manancial C, a variação ficou entre os valores 2,6 NTU e 13,1 NTU e no Manancial D, os valores medidos ficaram entre 11 NTU e 1070 NTU. Ela pode limitar a penetração de raios solares restringindo a realização da fotossíntese que por sua vez, reduz a reposição de oxigênio no meio aquático e, conseqüentemente, o crescimento das plantas aquáticas e plâncton, especialmente em águas paradas ou com baixa velocidade de escoamento (INFOAMBIENTAL, 2010).

Além disso, os sólidos em suspensão que originam a turbidez podem servir como 'reservatório' de microrganismos patogênicos. Dessa forma, esse parâmetro pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas. Por outro lado, caso a turbidez seja de origem natural, não causa danos, mas pode concorrer para o agravamento da poluição (FARIAS, 2006) e ela ainda pode afetar adversamente os usos doméstico, industrial e recreativo de uma água (CAMACHO, 2012).

A turbidez da água bruta é um dos principais parâmetros de seleção de tecnologia de tratamento e controle operacional dos processos de tratamento (BRASIL, 2006). Isso se deve ao fato de que a turbidez elevada na água bruta dos mananciais de abastecimento resulta em um consumo elevado de

reagentes na etapa de floculação/sedimentação durante o tratamento nas estações de tratamento de água, encarecendo o processo e o custo da água para o consumidor final (INFOAMBIENTAL, 2010).

A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece 100 UNT como VMP para turbidez para água doce classe II. Entre os valores medidos nas coletas, apenas dois excederam esse limite (quarta coleta no Rio D).

O parâmetro oxigênio dissolvido variou de 8,20 mg/L a 9,22 mg/L no Rio A; de 5,90 mg/L a 9,61 mg/L no Rio B; de 7,30 mg/L a 9,47 mg/L no Rio C e de 7,50 mg/L a 9,79 mg/L no Rio D (Tabela 3). Considerando as medições realizadas para esse parâmetro nos quatro rios estudados, percebe-se que nenhuma fugiu ao valor mínimo exigido pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que é um valor não inferior a 5,0 mg/L. Isso indica que, baseando-se nesse parâmetro de uma forma geral, esses rios apresentam águas com capacidade de manutenção da sua vida aquática (CETESB, 2008).

O oxigênio dissolvido é fundamental para a sobrevivência das comunidades aquáticas aeróbicas e é o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por dejetos orgânicos. Valores inferiores a 2 mg/L implicam na morte de todos os peixes e com oxigênio dissolvido igual a 0 mg/L tem-se condições de anaerobiose (BORGES, 2009).

A matéria orgânica foi avaliada também por meio da quantidade de oxigênio consumido. Os resultados obtidos para o Rio A ficaram entre 1,1 ppm O_2 e 2,7 ppm O_2 . Para o Rio B, os valores ficaram entre 1,2 ppm O_2 e 6,8 ppm O_2 ; de 1,1 ppm O_2 a 4 ppm O_2 no Rio C e entre 1,3 ppm O_2 e 7,5 ppm O_2 no Rio D (Tabela 4).

O Rio C apresentou o maior valor de mediana para a matéria orgânica e caso a maior parte dela seja biodegradável, tais valores medidos podem justificar os baixos valores encontrados de Eh. Isso por que a matéria orgânica fornece a energia necessária para os processos vitais dos microrganismos e é uma fonte de elétrons para as reações de redução (Poletto, 2007).

Tabela 4 - Resultados de análises físico-químicas realizadas nas amostras de água coletadas em quadro rios localizados na região metropolitana de Goiânia, Goiás.

| Rio | Nitrogênio Total (mg/L N) | Fósforo Total (mg/L P) | Matéria Orgânica (ppm O ₂) | Sólidos Suspensos Totais (mg/L) | Sólidos Totais (mg/L) | Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L) |
|----------------|------------------------------|---------------------------|---|------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| SECA | | | | | | |
| A | 1,80 | 0,03 | 1,10 | 6,00 | 202,00 | 196,00 |
| | 0,30 | 0,01 | 1,11 | 8,00 | 109,00 | 101,00 |
| | 1,1 | <0,01 | 1,81 | 2,00 | 98,00 | 96,00 |
| | 1,20 | <0,01 | 1,30 | 4,00 | 84,00 | 80,00 |
| CHUVA | | | | | | |
| | <0,10 | <0,01 | 2,43 | 8,00 | 123,00 | 115,00 |
| | <0,10 | <0,01 | 2,69 | 3,00 | 118,00 | 115,00 |
| | <0,10 | <0,01 | 2,77 | 4,00 | 10,00 | 6,00 |
| | <0,10 | <0,01 | 2,74 | 2,00 | 8,00 | 6,00 |
| MEDIANA | - | - | 2,12 | 4,00 | 103,50 | 98,50 |
| MÍNIMO | - | - | 1,10 | 2,00 | 8,00 | 6,00 |
| MÁXIMO | - | - | 2,77 | 8,00 | 202,00 | 196,00 |
| SECA | | | | | | |
| B | 1,90 | 0,03 | 1,38 | 2,00 | 85,00 | 83,00 |
| | 1,20 | 0,02 | 1,26 | 6,00 | 131,50 | 125,00 |
| | <0,10 | <0,01 | 1,45 | 1,50 | 63,50 | 62,00 |
| | <0,10 | 0,04 | 1,93 | 3,50 | 95,00 | 91,50 |
| CHUVA | | | | | | |
| | <0,10 | <0,01 | 3,19 | 144,00 | 207,50 | 63,50 |
| | 2,70 | 2,10 | 6,85 | 25,50 | 396,00 | 370,50 |
| | <0,10 | <0,01 | 4,49 | 12,00 | 90,00 | 78,00 |
| | <0,10 | <0,01 | 3,88 | 4,50 | 53,50 | 49,00 |
| MEDIANA | - | - | 2,56 | 5,25 | 92,50 | 80,50 |
| MÍNIMO | - | - | 1,26 | 1,50 | 53,50 | 49,00 |
| MÁXIMO | - | - | 6,85 | 144,00 | 396,00 | 370,50 |

(Continuação) Tabela 4 - Resultados de análises físico-químicas realizadas nas amostras de água coletadas em quadro rios localizados na região metropolitana de Goiânia, Goiás.

| Rio | Nitrogênio Total (mg/L N) | Fósforo Total (mg/L P) | Matéria Orgânica (ppm O ₂) | Sólidos Suspensos Totais (mg/L) | Sólidos Totais (mg/L) | Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L) |
|----------------|------------------------------|---------------------------|---|------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| SECA | | | | | | |
| C | 1,70 | 0,01 | 1,15 | 2,00 | 181,00 | 179,00 |
| | 1,90 | 0,02 | 1,27 | 3,00 | 148,00 | 145,00 |
| | 1,90 | <0,01 | 2,47 | 2,50 | 145,50 | 143,00 |
| | 1,20 | <0,01 | 2,02 | 2,50 | 135,50 | 133,00 |
| CHUVA | | | | | | |
| | <0,10 | <0,01 | 3,52 | 8,50 | 633,00 | 624,50 |
| | <0,10 | <0,01 | 3,58 | 5,00 | 534,50 | 529,50 |
| | <0,10 | <0,01 | 4,02 | 4,50 | 251,50 | 247,00 |
| | <0,10 | <0,01 | 3,94 | 6,50 | 188,00 | 181,50 |
| MEDIANA | - | - | 2,99 | 3,75 | 184,50 | 180,25 |
| MÍNIMO | - | - | 1,15 | 2,00 | 135,50 | 133,00 |
| MÁXIMO | - | - | 4,02 | 8,50 | 633,00 | 624,50 |
| SECA | | | | | | |
| D | 2,10 | 0,03 | 1,34 | 5,00 | 108,00 | 103,00 |
| | 2,10 | 0,03 | 1,35 | 2,00 | 99,00 | 97,00 |
| | 0,40 | <0,01 | 1,32 | 5,50 | 113,50 | 108,00 |
| | 0,90 | <0,01 | 1,46 | 4,50 | 95,50 | 91,00 |
| CHUVA | | | | | | |
| | 0,20 | <0,01 | 3,27 | 2,50 | 410,50 | 408,00 |
| | 0,10 | <0,01 | 3,17 | 5,00 | 417,50 | 412,50 |
| | <0,10 | <0,01 | 6,74 | 21,50 | 66,00 | 44,50 |
| | <0,10 | <0,01 | 7,51 | 7,50 | 103,50 | 96,00 |
| MEDIANA | - | - | 2,32 | 5,00 | 105,75 | 100,00 |
| MÍNIMO | - | - | 1,32 | 2,00 | 66,00 | 44,50 |
| MÁXIMO | - | - | 7,51 | 21,50 | 417,50 | 412,50 |

Na Resolução CONAMA nº 357/2005, a quantificação da matéria orgânica é realizada por meio das análises de DBO, por isso, não existe um VMP para a matéria orgânica da maneira em que ela foi determinada nessa análise. Dessa forma, a sua quantificação por meio da reação de permanganato de potássio em meio ácido serve de direcionamento na interpretação das análises de OD, DBO e DQO.

As determinações de nitrogênio total e fósforo total também não puderam ser quantificadas em sua totalidade devido à baixa concentração desses compostos nos mananciais. Mesmo assim, valores mínimos e máximos foram determinados, sendo, para o nitrogênio total: de 0,3 mg/L N e 1,8 mg/L N no Rio A; 1,2 mg/L N e 2,7 mg/L N para o Rio B; 1,2 mg/L N e 1,9 mg/L N no Rio C e 0,1 mg/L N e 2,1 mg/L N para o Rio D (Tabela 4).

Para o parâmetro fósforo total esses valores foram iguais a 0,01 mg/L P e 0,03 mg/L P no Rio A; 0,02 mg/L P e 2,1 mg/L P para o Rio B; 0,01 mg/L P e 0,02 mg/L P no Rio C e 0,03 foi o único valor quantificado no Rio D (Tabela 4).

Devido à falta de valores específicos desses parâmetros, não se pode determinar a existência de diferença estatisticamente significativa entre os mesmos entre os períodos estudados.

Esses dois parâmetros são analisados pelo fato dos elementos nitrogênio e fósforo serem importantes no desenvolvimento do fito e do zooplâncton e por influenciarem o processo de eutrofização. Assim, a sua quantificação é usada para determinar o índice de estado trófico dos ambientes aquáticos.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece 0,050 mg/L como VMP para fósforo total em ambientes intermediários e tributários em águas doces classe II. Para esse parâmetro, apenas uma medição extrapolou esse valor (primeira coleta no período chuvoso no Rio B). Para o parâmetro nitrogênio total não existe um VMP estabelecido na legislação. Ela estabelece concentrações limite apenas para o nitrogênio nas formas de nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal total.

Em relação aos sólidos totais, os valores mínimo e máximo foram de 8 mg/L e 202 mg/L para o Rio A; 53,5 mg/L e 396 mg/L para o Rio B; 135,5 mg/L e 633 mg/L para o Rio C e 66 mg/L e 417,5 mg/L para o Rio D. Apenas as medições feitas para os rios A ($t = -2,583$; $p = 0,040$) e C ($t = 2,501$; $p = 0,043$)

apresentaram diferenças significativas entre as estações (Tabela 4). O maior valor de mediana foi medido no Rio C. Na Resolução CONAMA nº 357/2005 não há um VMP para esse parâmetro.

Os sólidos suspensos, para o Rio A, alcançaram valores entre 2 mg/L e 8 mg/L; 1,5 mg/L e 144 mg/L no Rio B; 2 mg/L e 8,5 mg/L no Rio C e 2 mg/L e 21,5 mg/L nas medições para o Rio D (Tabela 4). O Rio B apresentou o maior valor de mediana para esse parâmetro. Dentre os rios, apenas o C ($t= 3,394$; $p= 0,021$) apresentou valores significantes diferentes estatisticamente entre os dois períodos estudados. Esse parâmetro não possui um VMP expresso na Resolução CONAMA nº 357/2005.

E finalmente, em relação aos sólidos dissolvidos totais, os valores obtidos para o Rio A ficaram entre 6 mg/L e 196 mg/L; 49 mg/L e 370,5 mg/L para o Rio B; entre 133 mg/L e 624,5 mg/L no Rio C e entre 44,5 mg/L e 412,5 mg/L no Rio D (Tabela 4). Na análise estatística dos dados, apenas as medições feitas para os rios A ($t= -2,392$; $p= 0,048$) e C ($t= 2,475$; $p= 0,044$) apresentaram diferenças significativas entre os períodos estudados. O Rio C apresentou o maior valor de mediana. Isso se deve ao fato desse rio ter apresentado dois dos maiores valores medidos de sólidos totais dissolvidos dentre os quatro rios estudados. Esse valor foi obtido na terceira coleta (primeira coleta do período chuvoso).

O VMP estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para sólidos dissolvidos totais é igual a 500 mg/L para água doce classe 2. Dentre as análises realizadas, dois resultados extrapolaram esse valor estabelecido (resultados da primeira medição do período chuvoso no Rio C).

3.2 PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS DA ÁGUA

O parâmetro coliformes totais apresentou valores mínimo e máximo iguais a 4.140 NMP/100 mL e 36.540 NMP/100 mL no Rio A; 6.130 NMP/100mL e 81.640 NMP/100 mL no Rio B; 3.270 NMP/100 mL e 19.853 NMP/100 mL no Rio C e 9.804 NMP/100 mL e 41.060 NMP/100 mL no Rio D (Tabela 5).

O Rio D apresentou o maior valor de mediana para esse parâmetro e esses valores apontam que, ainda bruta, a água desses mananciais pode atuar como um potencial veículo de enfermidades diarreicas de natureza infecciosa.

Dentre os rios estudados, apenas o Rio D ($t= 3,304$; $p= 0,022$) apresentou valores significativos diferentes estatisticamente para os dois períodos estudados.

Os resultados para o parâmetro *Escherichia coli* variaram entre 374 NMP/100 mL e 1.203,3 NMP/100 mL no Rio A; 310 NMP/100 mL a 9.870 NMP/100 mL no Rio B; entre 27,1 NMP/100 mL e 816,4 NMP/100 mL para o Rio C e entre 435,2 NMP/100 mL e 5.300 NMP/100 mL no Rio D (Tabela 5). O maior valor de mediana foi encontrado no Rio B.

Esses valores medidos indicam uma poluição de origem fecal nesses corpos hídricos, pois a bactéria *E. coli* comprova esse critério por estar em grande quantidade nas fezes humanas e de animais de sangue quente. A sua presença em amostras de água usualmente indica a contaminação por outros patógenos intestinais (DISNER et al., 2011), mas por outro lado, a sua ausência nem sempre significa a não existência desses microrganismos (VASCONCELLOS, IGANCI e RIBEIRO, 2006).

Para esses parâmetros não há uma legislação nacional que regule os seus VMP, pois a Resolução CONAMA nº 357/2005 considera apenas o parâmetro coliformes termotolerantes na análise microbiológica da água. Por outro lado, ela permite que o parâmetro *Escherichia coli* seja determinado em substituição ao de coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente, que no caso de Goiás é a Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH).

No estado de Goiás existe um decreto em vigência que dispõe sobre a prevenção e controle da poluição do meio ambiente, Decreto Nº 1745 (GOIÁS, 1979). Em seu Capítulo II, Art. 11 está escrito que para análises microbiológicas, o NMP de coliformes é de até 5.000 (cinco mil), sendo 1.000 (um mil) o limite para os de origem fecal, em 100 mL (cem mililitros), para 80% (oitenta por cento), de pelo menos 5 (cinco) amostras colhidas num período de até 5 (cinco) semanas consecutivas.

Tabela 5 - Valores dos resultados das análises microbiológicas realizadas nas amostras de água coletadas em quadro rios localizados na região metropolitana de Goiânia, Goiás.

| Rio | Coliformes Totais (NMP/100 ml) | <i>E. coli</i> (NMP/100 ml) | Rio | Coliformes Totais (NMP/100 ml) | <i>E. coli</i> (NMP/100 ml) |
|----------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------|--------------------------------|-----------------------------|
| SECA | | | SECA | | |
| A | 4.140 | 374 | C | 3.654 | 41 |
| | 6.630 | 648,8 | | 3.270 | 28,2 |
| | 10.710 | 686,7 | | 11.199 | 816,4 |
| | 19.863 | 579,4 | | 17.329 | 200 |
| CHUVA | | | CHUVA | | |
| | 18.600 | 740 | | 8.164 | 27,2 |
| | 36.540 | 1.203,30 | | 19.853 | 100 |
| | 7.701 | 630 | | 9.208 | 100 |
| | 8.164 | 730 | | 8.800 | 85 |
| MEDIANA | 9.437 | 667,75 | MEDIANA | 9.004 | 92,5 |
| MÍNIMO | 4.140 | 374 | MÍNIMO | 3.270 | 27,2 |
| MÁXIMO | 36.540 | 1.203,30 | MÁXIMO | 19.853 | 816,4 |
| SECA | | | SECA | | |
| B | 7.710 | 344,8 | D | 15.970 | 850 |
| | 7.701 | 3.250 | | 18.420 | 750 |
| | 6.130 | 325,5 | | 9.804 | 727 |
| | 15.760 | 5.360 | | 11.370 | 435,2 |
| CHUVA | | | CHUVA | | |
| | 16.640 | 310 | | 22.820 | 648,8 |
| | 81.640 | 3.654 | | 29.090 | 780 |
| | 9.040 | 960 | | 32.550 | 4.790 |
| | 57.940 | 9.870 | | 41.060 | 5.300 |
| MEDIANA | 12.400 | 2.105 | MEDIANA | 20.620 | 765 |
| MÍNIMO | 6.130 | 310 | MÍNIMO | 9.804 | 435,2 |
| MÁXIMO | 81.640 | 9.870 | MÁXIMO | 41.060 | 5.300 |

Se considerarmos esses coliformes do decreto como os coliformes totais que foram determinados nesse trabalho, tem-se que apenas um dos resultados da primeira medição do período de seca do Rio A estará dentro do limite estabelecido, enquanto as demais extrapolaram esse valor. Para os rios B e D, não há nenhum resultado de análise dentro do valor máximo estabelecido e em relação às medições do Rio C, apenas as duas análises realizadas na primeira coleta do período seco forneceram resultados dentro do limite.

Isso indica que mais análises deveriam ser efetuadas a fim de se acompanhar com mais frequência a qualidade microbiológica desses quatro mananciais de abastecimento para detectar com mais precisão se,

microbiologicamente, eles seriam classificados em uma categoria de qualidade inferior à de água doce classe II.

Já em relação às análises de *E. coli*, o decreto estadual estabelece o valor igual a 1.000 para o VMP de coliformes de origem fecal em análises de amostras colhidas num período de cinco semanas consecutivas, mas essas coletas consecutivas não foram seguidas. De qualquer forma, avaliando os valores obtidos em relação a esse VMP pelo decreto estadual, um valor obtido no Rio A, três valores obtidos no Rio B e dois valores obtidos no Rio D estão fora desse limite estabelecido.

3.3 PARÂMETROS DO SEDIMENTO

Em relação aos parâmetros analisados no sedimento, o Rio A apresentou valores de pH que variaram de 5,18 a 6,49. O Rio B apresentou valores que variaram entre 6,07 e 6,84 e o Rio C, valores que variaram de 6,02 a 6,61. Já o Rio D, valores entre 5,4 e 6,75 (Tabela 6).

De acordo com Cotta (2003), podem ser encontrados nos solos brasileiros uma variação de pH que fica entre 4 e 7,5, dessa forma, os valores medidos nos mananciais estudados coincidem com os de pH normalmente medidos no Brasil. Valores desse parâmetro inferiores a 7 caracterizam o solo como ácido, portanto, o sedimento dos quatro rios estudados é ácido. Valores de pH ácido também foram encontrados em outro manancial de abastecimento do Estado de Goiás, o Ribeirão João Leite, por Rios (2013).

O parâmetro potencial redox variou entre -27,1 mV e 35,2 mV no Rio A; entre -100 mV e 7,46 mV no Rio B; -0,9 mV e 20,73 mV no Rio C e entre -48,1 mV e 23,7 mV no Rio D (Tabela 6).

Devido à presença de valores negativos e positivos nas medições desse parâmetro, pode-se considerar esses sedimentos como ambientes ora oxidantes e ora redutores, sendo ambientes redutores na maior parte das medições efetuadas. O conhecimento do perfil do Eh no sedimento pode auxiliar na elucidação de perguntas a respeito de bem-estar e na alteração da imunidade de animais de hábito bentônico, se tornando um novo parâmetro de bem estar animal (LEHMANN e VINATEA, 2008).

No Rio A, os valores medidos para a percentagem de matéria orgânica ficaram entre os valores de 1,81% a 8,6%; de 1,32% a 10,46% foi a variação observada para o Rio B; entre 1,26% e 4,52% ficou a variação determinada para o Rio C e entre 6,19% e 13,31% foi a variação no Rio D (Tabela 6). De acordo com Cotta (2003), quando os sedimentos apresentam valores de matéria orgânica acima de 10% são considerados orgânicos, e abaixo de 10% são considerados sedimentos inorgânicos ou minerais.

A determinação da matéria orgânica no sedimento auxilia na avaliação do nível de contaminação dos ecossistemas aquáticos, pois sedimentos com caráter orgânico possuem uma maior capacidade em acumular contaminantes, como metais. Esse parâmetro está inteiramente ligado à possível complexação e/ou dispersão de materiais contaminantes (CRUZ et al., 2013).

Dessa forma, como apenas a mediana obtida para o Rio D apresentou um valor acima de 10%, o sedimento desse rio pode ser classificado como orgânico e, de acordo com o exposto no parágrafo anterior, ele pode ser um ambiente mais propício ao acúmulo de contaminantes quando comparado aos sedimentos dos demais rios estudados, que se classificam como inorgânicos. De uma forma geral, esse rio apresenta uma maior vulnerabilidade à contaminação por metais pesados do que a que os outros três rios também estudados pelo fato de apresentar sedimentos com uma maior concentração de matéria orgânica aliada à uma granulometria fina (CRUZ, 2013).

A afinidade por metais resultará na contaminação do sedimento e conseqüentemente, da água. No homem, os metais, de uma forma geral, podem causar danos ao sistema nervoso, disfunções renais, reações alérgicas e câncer. Na biota, interferem no crescimento, reprodução e metabolismo de plantas e animais (COTTA, 2003; FONSECA, 2004; SOLOMON, 2008).

Sedimentos inorgânicos também foram encontrados por Saraiva et al. (2009) em um afluente do Rio São Francisco na região de Três Marias/MG; por Cotta (2003) no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR) que compreende cerca de sete rios no estado de São Paulo e por Rios (2013) no Ribeirão João Leite na região metropolitana de Goiânia/GO.

Tabela 6 - Valores dos resultados das análises realizadas nas amostras de sedimento coletadas em quadro rios localizados na região metropolitana de Goiânia, Goiás.

| Rio | pH | Eh (mV) | Umidade (%) | Matéria Orgânica (%) | Rio | pH | Eh (mV) | Umidade (%) | Matéria Orgânica (%) |
|----------------|-------|---------|-------------|----------------------|----------------|-------|---------|-------------|----------------------|
| SECA | | | | | SECA | | | | |
| A | 6,11 | -10,87 | 1 | 4,62 | C | 6,32 | 10,84 | 1,2 | 2,86 |
| | 5,99 | 5,96 | 0,4 | 3,62 | | 6,09 | 16,58 | 1,95 | 2,62 |
| | 6,07 | -27,1 | 14,91 | 8,41 | | 6,02 | -0,9 | 3,26 | 4,52 |
| | 6,46 | 7,2 | 5,75 | 3,62 | | 6,38 | 14,3 | 1,76 | 2,97 |
| CHUVA | | | | | CHUVA | | | | |
| | 5,18 | -2,9 | 10,88 | 8,6 | | 6,17 | 17 | 3,76 | 2,92 |
| | 6,49 | 35,2 | 0,36 | 1,81 | | 6,56 | 9,2 | 0,63 | 1,81 |
| | 5,73 | 3,59 | 1,89 | 7,16 | | 6,61 | 20,73 | 0,6 | 1,26 |
| | 6,36 | 25,9 | 0,7 | 2,69 | | 6,27 | 6,62 | 0,46 | 1,58 |
| MEDIANA | 6,09 | 4,775 | 1,445 | 4,12 | MEDIANA | 6,295 | 12,57 | 1,48 | 2,74 |
| MÍNIMO | 5,18 | -27,1 | 0,36 | 1,81 | MÍNIMO | 6,02 | -0,9 | 0,46 | 1,26 |
| MÁXIMO | 6,49 | 35,2 | 14,91 | 8,6 | MÁXIMO | 6,61 | 20,73 | 3,76 | 4,52 |
| SECA | | | | | SECA | | | | |
| B | 6,25 | 7,46 | 1,38 | 9,12 | D | 6,18 | -0,7 | 8,4 | 12,45 |
| | 6,37 | -10,68 | 0,93 | 2,67 | | 6,16 | -19,6 | 11,96 | 11,03 |
| | 6,07 | 4,4 | 2,4 | 2,58 | | 6,24 | 7,6 | 2,69 | 6,19 |
| | 6,46 | -1,4 | 11,36 | 10,36 | | 6,26 | 2,7 | 11,59 | 13,04 |
| CHUVA | | | | | CHUVA | | | | |
| | 6,2 | -13,1 | 0,58 | 2,92 | | 6,75 | 9,5 | 3,41 | 9,79 |
| | 6,14 | 1,7 | 5,69 | 8,92 | | 6,19 | 23,7 | 4,14 | 13,31 |
| | 6,84 | -23,4 | 1,22 | 1,32 | | 5,4 | -48,1 | 2,42 | 6,9 |
| | 6,13 | -100 | 2,16 | 10,46 | | 5,97 | -28,3 | 1,91 | 12 |
| MEDIANA | 6,225 | -6,04 | 1,77 | 5,92 | MEDIANA | 6,185 | 1 | 3,775 | 11,515 |
| MÍNIMO | 6,07 | -100 | 0,58 | 1,32 | MÍNIMO | 5,4 | -48,1 | 1,91 | 6,19 |
| MÁXIMO | 6,84 | 7,46 | 11,36 | 10,46 | MÁXIMO | 6,75 | 23,7 | 11,96 | 13,31 |

Para o parâmetro umidade, os valores obtidos foram: de 0,36% a 14,91% no Rio A; de 0,58% a 11,36% no Rio B; de 0,46% a 3,76% no Rio C e de 1,91% a 11,96% no Rio D (Tabela 6). No Rio C foi onde ocorreu a menor variação desse parâmetro. Cotta (2003) encontrou valores que variavam de 14,27% a 38,81% de umidade nas suas amostras de solo e sedimento estudadas e Camacho (2012), valores que variaram de 15,6% e 36,07%. Nesses dois trabalhos, o teor de umidade das amostras analisadas foi maior do que nos mananciais de abastecimento da região metropolitana de Goiânia/GO avaliados nesse artigo.

O fator umidade implica na presença de substâncias higroscópicas no sedimento, onde a retenção de água no solo ocorre devido a ação de forças de adesão das moléculas de água pelas partículas sólidas e coesão entre as próprias moléculas de água. Valores mais elevados desse parâmetro estão geralmente associados a sedimentos finos (silte e argila), resultando em uma maior possibilidade de retenção de contaminantes presentes na bacia de drenagem (CALDAS e SANCHES FILHO, 2013).

Em relação à granulometria, fez-se apenas uma coleta de sedimento no período de seca e uma coleta no período chuvoso. Essa análise se faz necessária no sentido de que estudos recentes passaram a considerar a determinação granulométrica fundamental no auxílio da interpretação da concentração de contaminantes disponíveis ou não (RIOS, 2013).

Como pode ser observado nas figuras 2 e 3, no ponto 1 do Rio A há a predominância de silte (35,82%) na medição realizada no período de seca enquanto no período chuvoso, a predominância passou a ser de areia fina (41,37%) nesse mesmo ponto. No ponto 2 desse mesmo rio, a predominância na época de seca foi de areia fina (30,61%) e no período chuvoso foi de areia média (39,63%).

No ponto 1 do Rio B verificou-se que a composição desse sedimento foi, em sua maioria, composta por silte (25,36%) na coleta realizada no período de seca. Já na coleta realizada no período chuvoso, verificou-se que o sedimento passou a ser composto em maior parte por areia fina (35,74%). No ponto 2 desse rio, o silte foi encontrado em maior parte nos dois períodos coletados, na quantidade de 36,93% na seca e 42,79% no chuvoso.

As coletas realizadas no ponto 1 do Rio C também apontaram que o silte compõe a maior parte do sedimento nos dois períodos. No período de seca a sua participação ficou com 29,12% e no chuvoso, com 33,88%. Já em relação ao ponto 2 desse rio, a areia fina foi encontrada em maior quantidade na coleta da seca (35,66%) e a areia média foi encontrada em maior quantidade na coleta realizada no período chuvoso (35,44%).

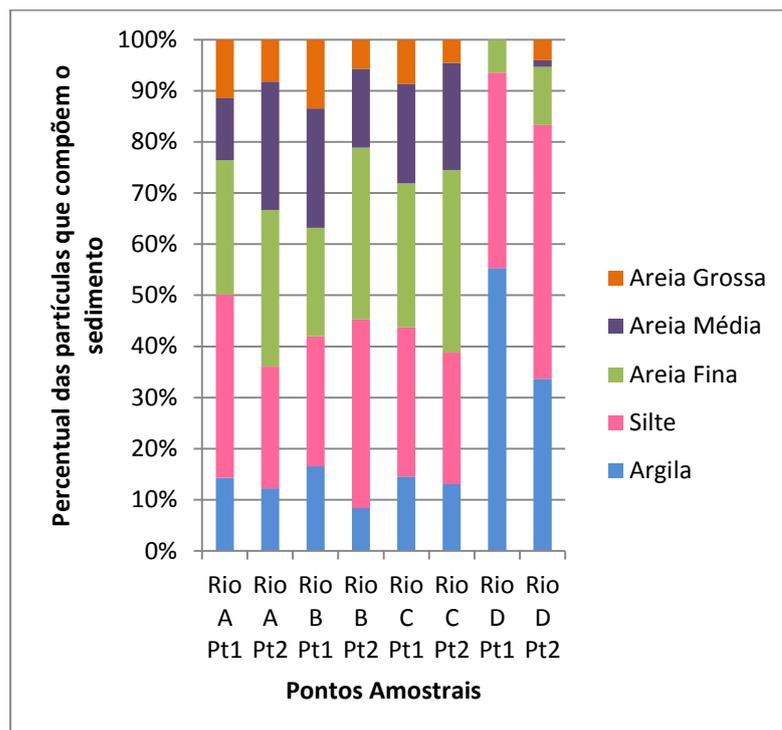


Figura 3 - Representação do percentual granulométrico dos pontos amostrais dos quatro rios estudados no período de seca.

E em relação ao Rio D, houve a predominância de argila (55,32%) na época de seca e de silte (50,57%) no período chuvoso para o ponto 1 e para o ponto 2, predominância de silte nos dois períodos estudados, 49,60% na seca e 48,56% na época chuvosa.

Esses resultados apontam que, de uma maneira geral, o sedimento dos rios estudados apresenta uma granulometria fina, composta principalmente por silte e argila. Trabalhos como os de Mariani (2006), Mozeto e Zagatto (2008) e Cruz et al. (2013) concluíram que os sedimentos finos (silte e argila) constituem o principal sumidouro de espécies contaminantes em ambientes aquáticos. Assim, quando se correlaciona a concentração de metais, por exemplo, com o

tamanho das partículas do sedimento, constata-se que as partículas mais finas contêm maiores concentrações dos mesmos.

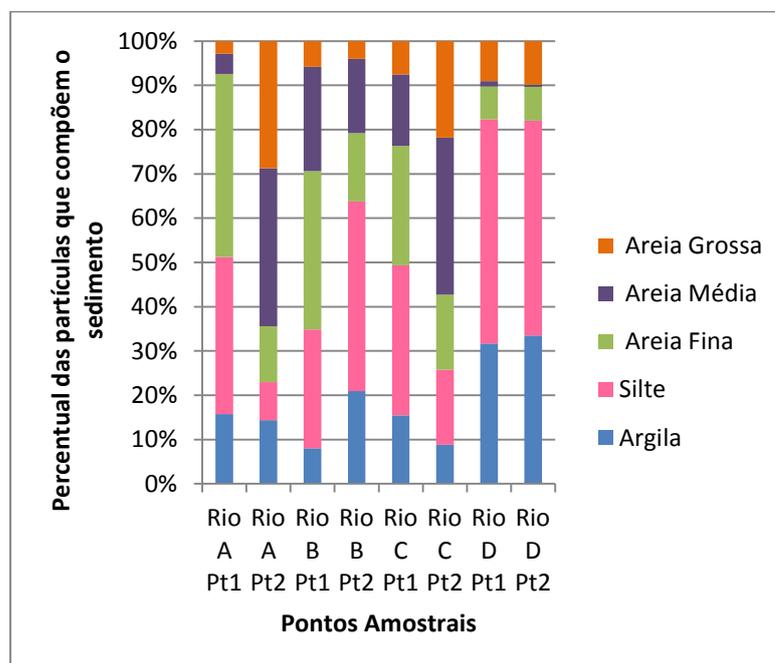


Figura 4 - Representação do percentual granulométrico dos pontos amostrais dos quatro rios estudados no período chuvoso.

Dessa forma, *a priori*, pode-se afirmar que os sedimentos estudados nesse trabalho, por apresentarem granulometria fina (caracterizada pela composição numa maior parte por silte e argila), podem servir como reservatórios para espécies metálicas.

4. CONCLUSÕES

Em relação ao compartimento água, a dos quatro rios estudados (Rio A, Rio B, Rio C e Rio D) pode ser classificada, de acordo com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, como água doce classe II.

Nessa classificação, as águas doces podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação esqui aquático e mergulho; à irrigação de hortaliças, plantas

frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato; à aquicultura e à atividade de pesca.

Os parâmetros temperatura, Eh, condutividade elétrica, matéria orgânica por permanganato de potássio em meio ácido, nitrogênio total, sólidos totais e sólidos suspensos não possuem um VMP estabelecido por essa legislação, mas a sua medição é importante no quesito de auxiliar na interpretação dos resultados de outros parâmetros que possuem um VMP determinado.

Em relação ao sedimento, não há uma legislação que determine VMP para os parâmetros que foram medidos. Dessa forma, as análises do mesmo foram realizadas no sentido de complementar o conhecimento a respeito da qualidade da água que será tratada pela empresa de saneamento e posteriormente consumida pela população, já que esse compartimento está em contato direto com esse ambiente.

Dessa forma, a realização dessas análises permitiu conhecer as características dessas águas que são destinadas ao abastecimento público. De uma forma geral, as temperaturas encontradas nas amostras coletadas em todos os rios estão apropriadas à manutenção da vida aquática. As águas tendem à neutralidade (pH próximo a 7), são ambientes reduzidos (por terem apresentado, em sua maioria, valores de Eh menores que zero). Apresentaram maiores valores de condutividade elétrica no período chuvoso e medidas de OD, fósforo total e nitrogênio total dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces classe II.

Em relação à análise microbiológica, a água dos quatro rios se apresentou com altos NMP na maior parte das análises realizadas para coliformes totais e *E. coli*. Esses altos valores se devem ao fato desses rios estarem situados em áreas rurais, onde há a predominância de criação de gado e o despejo dos resíduos gerados nas casas situadas próximas às margens dos mesmos. Isso acaba resultando em águas que, durante o processo de desinfecção nas estações de tratamento, requeiram o uso de uma maior quantidade de produto desinfetante, ocasionando maiores custos no tratamento.

Os parâmetros microbiológicos avaliados e frequência com que as suas análises foram realizadas não são úteis para classificar a água desses rios de acordo com a legislação nacional e estadual, mas podem ser usados como um

indicador de qualidade, direcionando no melhor planejamento de coleta das amostras.

Em relação aos resultados das análises do sedimento, percebeu-se que os valores de pH obtidos estão dentro da faixa dos valores normalmente encontrados nos sedimentos do Brasil. Nos quatro rios, eles são ambientes redutores na maior parte das medições efetuadas e, com exceção do sedimento do Rio D (sedimento orgânico), os demais puderam ser classificados como sedimentos inorgânicos.

Comparando os valores de umidade, esses sedimentos apresentam valores menores aos registrados em outras partes do Brasil e a análise granulométrica mostrou que os sedimentos dos quatro rios são compostos, em sua maior parte, por partículas de pequeno tamanho, como silte e argila.

Dessa forma, as águas estudadas desses quatro mananciais de abastecimento apresentam uma boa qualidade quando considerados os parâmetros analisados e discutidos nesse trabalho. Portanto, podem continuar sendo usadas para essa finalidade após receber um tratamento apropriado.

REFERÊNCIAS

ALVES, C. M. R. F. **Especiação de metais pesados em sedimentos: Aplicação à Bacia Hidrográfica do Rio Ave.** 2002. 92p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Química, FEUP, Porto.

ALVES, I. R. S.; TONANI, K. A. A.; NIKAIDO, M.; CARDOSO, O. O.; TREVILATO, T. M. B.; SEGURA-MUÑOZ, S. I. Avaliação das concentrações de metais pesados em águas superficiais e sedimentos do Córrego Monte Alegre e afluentes, Ribeirão Preto, SP, Brasil. **Ambi-Água**, Taubaté, v.5, n.3, p. 122-132, 2010.

APHA – American Public Health Association; AWWA – American Water Works Association & WEF - Water Environment Federation. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** Eaton, A. D.; L. S. Clesceri; A. E. Greenberg (Ed.), 20th ed. Washington, D.C.: [s.n.], 2005.

ARAÚJO, M. C.; OLIVEIRA, M. B. M. Monitoramento da qualidade das águas de um riacho da Universidade Federal de Pernambuco, Brasil. **Ambi-Água**, v.8, n.3, Taubaté, set./dez., 2013.

ARINE, D. R. **Análise de águas de superfície e sedimentos de rios da região de Iperó, SP, por espectrometria de absorção atômica e por**

ativação neutrônica. 2000. 127p. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear – Aplicações) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN, São Paulo.

BARRETO, L. V.; ROCHA, F. A.; OLIVEIRA, M. S. C. Monitoramento da qualidade da água na microbacia hidrográfica do Rio Catolé, em Itapetinga-BA. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.5, n.8, 2009.

BORGES, L. B. **Avaliação da qualidade da água do córrego Samambaia, Goiânia/GO.** 2009. 75p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – UEG, Anápolis.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Inspeção sanitária em abastecimento de água / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 84p. – (Série A. Normas e Manuais Técnicos).

CALDAS, J. S.; SANCHES FILHO, P. J. Determinação de Cu, Pb e Zn no sedimento da região do Pontal da Barra, Laranjal (Laguna dos Patos, Pelotas – RS, Brasil). **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, 17(1), p.13-18, 2013.

CAMACHO, L. R. N. **Avaliação da qualidade de um córrego urbano com relação às espécies metálicas e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA).** 2012. 78p. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, USP, São Carlos.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2011. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Organizadores: Carlos Jesus Brandão et al. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA. 326p.

_____. **Relatório de qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo:** relatório técnico. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. São Paulo: CETESB, 2008. 41p.

_____. **Relatório de qualidade de águas interiores no estado de São Paulo.** São Paulo: CETESB, 2005. 488p.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. 2005. Resolução Conama nº 357. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em 15 jun. 2012.

COSTA, C. R.; OLIVI, P.; BOTTA, C. M. R.; ESPINDOLA, E. L. G. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008.

COTTA, J. A. O. **Diagnóstico ambiental do solo e sedimento do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR)**. 2003. 116p. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, USP, São Carlos.

COTTA, J. A. O.; REZENDE, M. O. O.; PIOVANI, M. R. Avaliação do teor de metais em sedimento do rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira – Petar, São Paulo, Brasil. **Química Nova**, v. 29, n. 1, p. 40-45, 2006.

CRUZ, M. A. S.; SANTOS, L. T. S. O.; LIMA, L. G. L. M.; JESUS, T. B. Caracterização granulométrica e mineralógica dos sedimentos como suporte para análise de contaminação ambiental em nascentes do rio Subaé, Feira de Santana (BA). **Geochimica Brasiliensis**, 27(1), p. 49-62, 2013.

DISNER, G. R.; ROSANELLI, M. L.; SCHÄFER, A. M.; ZANELLA, M. S.; ROSSI, E. M.; ROZA-GOMES, M. F. Avaliação Microbiológica da água e de macroinvertebrados bentônicos do rio Guamerim, município de São Miguel do Oeste, SC. **Unoesc & Ciência – ACBS**, v. 3, n.1, p. 27-36, 2011.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 1997. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2 ed. rev. Atual. 212p.

FARIAS; M. S. S. **Monitoramento da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Cabelo**. 2006. 136p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, UFCG, Campina Grande.

FONSECA, E. M. **Estudo da interação entre atividade bacteriana, metais pesados e matéria orgânica nos sedimentos da Baía de Guanabara-RJ**. 2004. 115p. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha) – Instituto de Geociências, UFF, Niterói.

GOIÁS. Decreto nº 1.745, de 06 de dezembro de 1979. Aprova o regulamento da Lei nº 8544, de 17 de outubro de 1978, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Disponível em: <http://www.mp.go.gov.br/nat_sucroalcooleiro/Documentos/legislacao/especifica/03.pdf>. Acesso em: 07 jul 2014.

INFOAMBIENTAL – INFORMATIVO DA AG SOLVE SOBRE INSTRUMENTAÇÃO E MEIO AMBIENTE. A importância do uso de sondas multiparamétricas. Ano III, nº 25, fev./mar., 2010. Disponível em: <<http://www.agsolve.com.br/infoambiental/201002.html>>.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. BDMEP – Série Histórica – Dados Mensais – Precipitação total na estação de Goiânia/GO (2013-2014). Brasília, INMET – Instituto Nacional de Meteorologia/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2014. www.inmet.gov.br

- LEHMANN, M.; VINATEA, L. Metodologia de amostragem de solo para a determinação do potencial redox em viveiros de cultivo de água doce e salgada. **B. Inst. Pesca**, 34(1), p. 131-140, 2008.
- LIMA, M. C.; GIACOMELLI, B. O.; STÜPP, V.; ROBERGE, F. D.; BARRERA, P. B. Especificação de cobre e chumbo em sedimento do rio Tubarão (SC) pelo método Tessier. **Química Nova**, v. 24, n. 6, p. 734-742, 2001.
- MARIANI, C. F. **Reservatório Rio Grande: caracterização limnológica da água e biodisponibilidade de metais-traço no sedimento**. 2006. 124p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Biociências, USP, São Paulo.
- MERTEN, G.H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecol. e Desenvol. Rur. Sustent**, v. 3, n. 4, out/dez 2002.
- MONTOYA, J. P. M.; RAMÍREZ, J. C. C. **Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la *Guadua angustifolia* Kunth**. 2010. 100p. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnología - Escuela de Tecnología Química, Pereira.
- MOURA, L. S.; BRAGA, R. J. O.; SIQUEIRA, E. R.; KOPP, K. O papel do sedimento na qualidade da água de abastecimento urbano: uma revisão dos trabalhos publicados entre 2001 e 2011. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 7, n. 1, 2013.
- MOZETO, AA., ZAGATTO, PA. 2008. Introdução de Agentes Químicos no Ambiente. In: ZAGATTO, PA. AND BERTOLETTI, E. (Orgs.). **Ecotoxicologia Aquática: Princípios e Aplicações**. São Carlos: RiMa, 472 p.
- PINHO, A. G. **Estudo da qualidade das águas do Rio Cachoeira – Região Sul da Bahia**. 2001. 101p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) – UESC, Ilhéus.
- POLETO, C. **Fontes potenciais e qualidade dos sedimentos fluviais em suspensão em ambiente urbano**. 2007. 159p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, Porto Alegre.
- RIOS, K. C. R. C. **Avaliação ecotoxicológica do sedimento a montante e a jusante da barragem do Ribeirão João Leite – Goiânia/Go**. 2013. 150p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – UFG, Goiânia.
- SANEAGO – SANEAMENTO DE GOIÁS S/A**. 2007. Lista de coordenadas das captações dos mananciais de superfície - geográficas e UTM – e áreas aproximadas das bacias de captação no estado de Goiás. Goiânia: Diretoria de Produção – Superint. Manut. Desenvolvimento Operacional e Controle Ambiental – Gerência de Proteção de Mananciais. 5p.

SARAIVA, V. K.; NASCIMENTO, M. R. L.; PALMIERI, H. E. L.; JACOMINO, V. M. F. Avaliação da qualidade de sedimentos – estudo de caso: Sub-Bacia do Ribeirão Espírito Santo, afluente do Rio São Francisco. **Quim. Nova**, v.32, n.8, p. 1995-2002, 2009.

SOLOMON, F. Impacts of metals on aquatic ecosystems and human health. **Mining.com**, apr., 2008. Disponível em:<
<http://www.infomine.com/library/publications/docs/Mining.com/Apr2008c.pdf>>. Acesso em agosto/2014.

SOUSA, J. K. C. **Avaliação de impactos ambientais causados por metais-traço em água, sedimento e material biológico na Baía de São Marcos, São Luis – Maranhão**. 2009. 87p. Tese (Doutorado em Química), UFPB, Paraíba.

VASCONCELLOS, F. C. S.; IGANCI, J. R. V.; RIBEIRO, G. A. Qualidade microbiológica da água do Rio São Lourenço, São Lourenço do Sul, Rio Grande do Sul. **Arq. Inst. Biol.**, v.73, n.2, p.177-181, abr./jun., 2006.

CAPÍTULO 4

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE
QUATRO MANANCIAS DE
ABASTECIMENTO COM RELAÇÃO A SEIS
ESPÉCIES METÁLICAS PRESENTES NA
ÁGUA E NO SEDIMENTO DE FUNDO**

Laís S. de Moura e Katia Kopp

RESUMO

As análises responsáveis pela determinação da concentração de metais são fundamentais em águas cuja finalidade é o abastecimento público, já que esses contaminantes causam inúmeros problemas aos humanos e à biota de uma forma geral. Entretanto, de forma isolada, a realização de análises apenas nesse compartimento não atua como um bom indicador de contaminação. Dessa maneira, a determinação das concentrações desses mesmos elementos no sedimento contribui para uma melhor interpretação da qualidade dos recursos hídricos. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a qualidade da água de quatro mananciais de abastecimento situados na região metropolitana de Goiânia/GO de acordo com as concentrações de seis espécies metálicas Cd, Cr, Ni, Pb, Zn e Cu na água e sedimento. Nas amostras de água, as concentrações dos metais Ni e Pb não puderam ser quantificados. As concentrações de Cd foram detectadas em concentrações acima do VMP em todas as leituras, as de Cr também estavam acima do VMP na segunda e quarta coleta para todos os rios e o Cu apresentou um valor em discordância com a legislação. Para o sedimento foram determinadas as concentrações biodisponíveis e totais desses metais. Algumas concentrações totais de Cr e todas as concentrações totais de Ni excederam aos limites estabelecidos pela legislação pertinente. Os resultados obtidos sugerem que um acompanhamento mais rigoroso da qualidade da água desses mananciais deve ser realizado em função dos riscos aos quais a população que consome essas águas e a biota dessa região estão sujeitas.

PALAVRAS-CHAVE: qualidade, metais, água, sedimento.

ABSTRACT

Analyses responsible for the determination of the concentration of metals in waters are fundamental in public water supply, because these contaminants cause numerous problems to humans and biota. However, in isolation, the analysis in the water not only acts as a good indicator of contamination. Thus, the determination of the concentrations of these elements in the sediment contributes to a better interpretation of the quality of water resources. Thus, the aim of this study was to evaluate the quality of the four springs of water supply located in the metropolitan area of Goiânia/GO according to the concentrations of six metal species Cd, Cr, Ni, Pb, Zn and Cu in water and sediment. In the water samples, the concentrations of metals Ni and Pb could not be quantified. Cd concentrations were detected at concentrations above the VMP in all readings, those of Cr were also above the VMP in the second and fourth levy for all rivers and Cu showed a value at odds with the law. For the sediment were determined bioavailable and total concentrations of these metals. Some total concentrations of Cr and all total Ni concentrations exceeded the limits established by applicable law. The results suggest that a more rigorous water quality monitoring of these sources should be made on the basis of risks to which the population that consumes these waters and biota of this region are subject.

KEYWORDS: quality, metals, water, sediment.

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE QUATRO MANANCIAIS DE ABASTECIMENTO COM RELAÇÃO A SEIS ESPÉCIES METÁLICAS PRESENTES NA ÁGUA E NO SEDIMENTO DE FUNDO

1. INTRODUÇÃO

Os mananciais de abastecimento devem ter a sua água resguardada quanto à contaminação, que pode ocorrer, por exemplo, por meio do despejo de efluentes industriais e do uso indiscriminado de agroquímicos nas plantações. Esse resguardo acontece, ou pelo menos em tese deveria acontecer em obediência à Resolução CONAMA nº 357/2005, que regulamenta o padrão de qualidade que a água destinada ao abastecimento público deve possuir para que então seja utilizada pela população, após algum tipo de tratamento.

Os valores apresentados pelo padrão de qualidade são determinados com a realização periódica de análises físico-químicas e microbiológicas apenas da água bruta, mas com o crescimento industrial desordenado e o conseqüente uso dos mananciais como destino final de contaminantes (PRIMO, 2006; BARRETO e BITAR, 2011), a análise dos sedimentos faz-se necessária à complementação da atribuição de qualidade à água que será destinada ao consumo.

A importância da avaliação da qualidade do sedimento deve-se também ao fato de que a água, isoladamente, não consegue ser um bom indicador da concentração de contaminantes, como por exemplo, os metais, pois basta que ocorra uma descarga aleatória de efluente contaminado nesse ambiente para que se colem amostras que produzirão resultados alterados que conduzirão a conclusões errôneas (ALVES, 2002).

Outro motivo é que os sedimentos passaram a ser vistos como acumuladores, transportadores e fontes em potencial de contaminantes, o que os levou a um patamar de auxiliares na avaliação do nível de contaminação dos ecossistemas aquáticos (BALLS, 1989 apud SOUSA, 2009; COTTA, REZENDE e PIOVANI, 2006) pelo fato da sua composição química refletir a composição da coluna d'água (ALVES, 2002).

Os metais pesados (também conhecidos apenas como metais, metais-traço, elementos-traço, micronutrientes ou até mesmo microelementos) são elementos químicos, incluindo metais e alguns semimetais, que possuem uma densidade superior a $5,0 \text{ g/cm}^3$. De uma forma geral, eles são tóxicos aos organismos vivos e por isso, são considerados poluentes (COTTA, REZENDE e PIOVANI, 2006).

Esses elementos, assim como toda substância, são tóxicos de acordo com a quantidade e concentração que estiverem disponíveis no meio. Mas eles, em especial, são motivo de preocupação ambiental por não serem degradáveis, já que são, em sua maioria, insolúveis em águas que possuem um pH neutro ou básico (FONSECA, 2004), ficando disponíveis por um tempo indeterminado no meio ambiente (COTTA, REZENDE e PIOVANI, 2006). Devido ao déficit de cargas em moléculas presentes de forma natural na coluna d'água, eles reagem potencialmente com as superfícies do sedimento que, em sua maior parte, estarão carregadas (WARREN e HAACK, 2001).

Os metais têm sido vistos como elementos potencialmente causadores de efeitos letais ou subletais em alguns componentes da biota, como o fitoplâncton, zooplâncton, alguns mariscos, peixes, aves e até mesmo ao ser humano. Essa visão se embasa nas propriedades reativas, tóxicas e carcinogênicas, em alguns casos, que esses elementos apresentam (CARMO, ABESSA e MACHADO NETO, 2011; VRIES et al., 2007). Como exemplos de efeitos maléficos para a biota têm-se alterações na sobrevivência, crescimento, metabolismo e reprodução (VRIES et al., 2007; SOLOMON, 2008).

Por isso, a detecção e determinação de metais na água e no sedimento são de considerável importância não só como uma forma de estabelecer sua influência nos vários ecossistemas, mas também para monitorar e controlar as vias críticas pelas quais eles atingem a hidrosfera (ARINE, 2000).

Dessa forma, esse trabalho teve como objetivo determinar a concentração de seis espécies metálicas nos compartimentos água e sedimento de fundo de quatro mananciais de abastecimento situados na região metropolitana de Goiânia/Goiás.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREAS DE ESTUDO

O estudo foi realizado em mananciais das cidades de Goianópolis, Nerópolis, Terezópolis de Goiás e Trindade (Figura 1). Os metais analisados foram o cádmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn) e cobre (Cu) e as suas concentrações foram determinadas nas amostras de água e nas amostras de sedimento.

Mananciais de abastecimento foram escolhidos nesse trabalho pela necessidade destes apresentarem uma qualidade prévia para serem utilizados nessa função. O agravante existe no fato da água desses mananciais ser tratada com métodos convencionais, fazendo com que a população residente nas cidades abastecidas por eles esteja sujeita a riscos devido à presença de contaminantes (como é o caso dos metais pesados) que podem não ser totalmente removidos pelo tratamento ao qual a água é submetida (FERNANDES NETO e SARCINELLI, 2009). A remoção segura desses contaminantes acontece de forma mais efetiva quando tecnologias de tratamento mais complexas, como filtração por membranas (osmose reversa e nanofiltração), oxidação e remoção do precipitado formado são aplicadas conjuntamente ao tratamento normalmente realizado (MORUZZI e REALI, 2012).

Tabela 1 - Coordenadas geográficas dos pontos amostrais.

| | | Coordenadas Geográficas | | | |
|----------------------|---------------|-------------------------|---------------|----------------|---------------|
| | | Ponto 1 | | Ponto 2 | |
| Cidade | Rios/Córregos | Longitude | Latitude | Longitude | Latitude |
| Goianópolis | Rio A | 49°0'11.08"O | 16°30'4.88"S | 49°0'7.42"O | 16°29'58.63"S |
| Nerópolis | Rio B | 49°11'10.0"O | 16°22'46.1"S | 49°11'11.94"O | 16°22'43.10"S |
| Terezópolis de Goiás | Rio C | 49°4'50.28"O | 16°29'20.70"S | 49°04'50.3"O | 16°29'21.0"S |
| Trindade | Rio D | 49°4'51.6"O | 16°29'18.9"S | 49°26'29.02" O | 16°35'45.67"S |

Legenda: Rio A = Ribeirão Sozinha, Rio B = Córrego Água Branca ou Córrego do Café, Rio C = Córrego dos Macacos, Rio D = Ribeirão Arrozal.

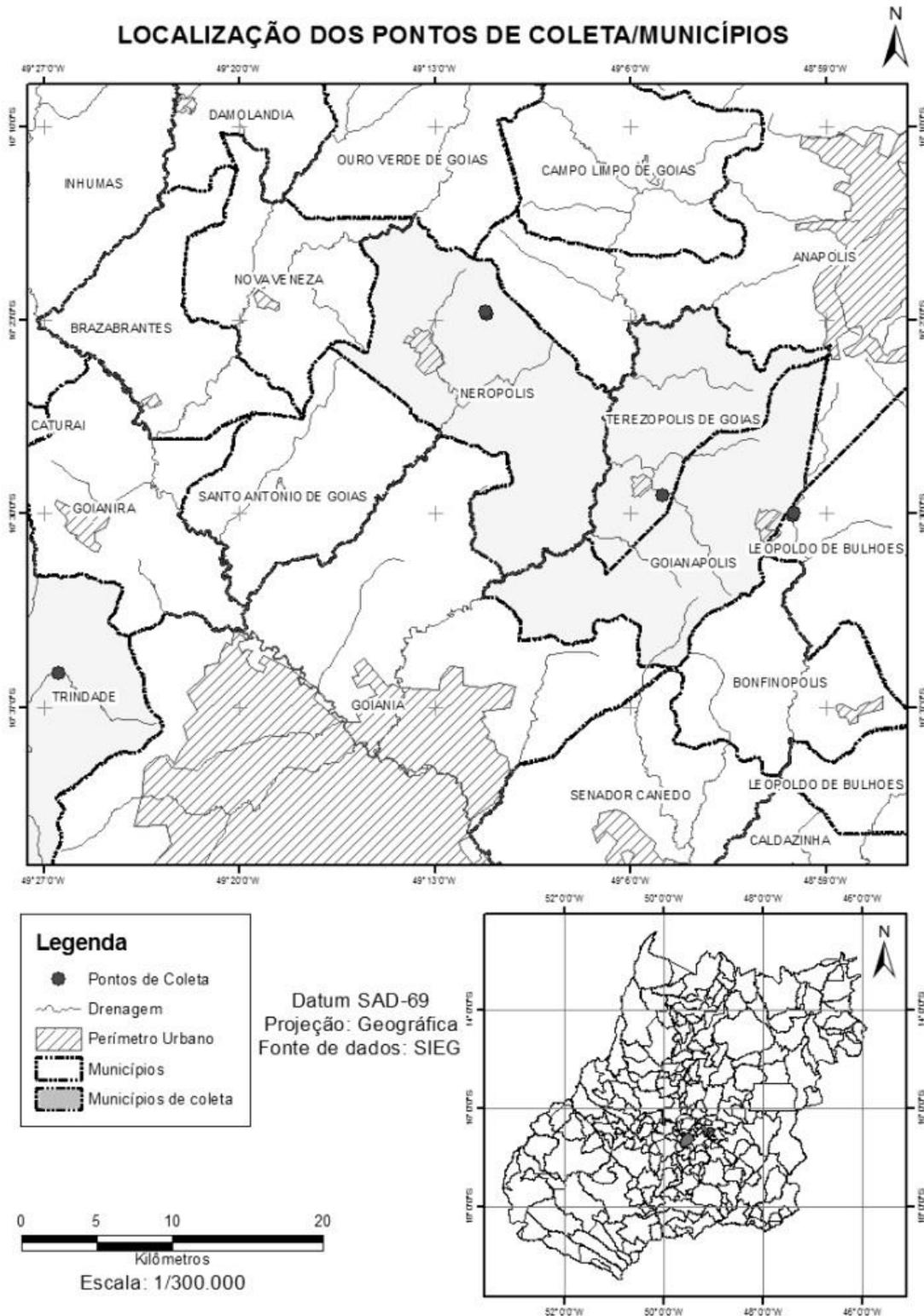


Figura 1 - Localização dos municípios e dos pontos de coleta nos quatro mananciais de abastecimento estudados na região metropolitana de Goiânia – Goiás.

A título de simplificação, os mananciais serão chamados, ao longo do texto, como Rio A, B, C e D (Tabela 1). Em cada um dos quatro mananciais escolhidos para o estudo, selecionaram-se dois pontos de coleta (Tabela 1), todos eles antes da captação de água para tratamento e abastecimento público realizado pela Empresa Saneamento de Goiás, a SANEAGO.

2.2 COLETAS DAS AMOSTRAS

As coletas foram realizadas em um total de quatro vezes. As duas primeiras ocorreram nos meses de julho e setembro de 2013, compreendendo meses de seca e as outras duas coletas, que compreenderam meses chuvosos, foram realizadas nos meses de novembro de 2013 e janeiro de 2014.

As amostras simples de água foram coletadas e armazenadas em frascos de polietileno e mantidas refrigeradas até a realização das análises. Logo após a coleta, elas foram preservadas com a adição de uma solução de ácido nítrico até $\text{pH} \leq 2$ (CETESB, 2011).

A pré-concentração e digestão das amostras de água aconteceram no Laboratório de Água da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás (UFG). A digestão ácida seguiu a metodologia apresentada por Apha (2005). As leituras em duplicata das amostras digeridas aconteceram no Espectrofotômetro de Absorção Atômica do Laboratório de Análise Instrumental no Instituto de Química (IQ) da UFG.

O sedimento foi coletado nas duas margens deposicionais do ponto de coleta escolhido com o auxílio de uma draga de Petersen a uma profundidade aproximada de 20 cm de acordo com o proposto por Cetesb (2011). Posteriormente, as réplicas foram misturadas em um balde de polietileno com o auxílio de uma colher de aço inoxidável e então guardadas em recipientes inertes. As amostras compostas foram armazenadas congeladas até o momento da realização das análises.

O sedimento foi descongelado e seco em temperatura ambiente ao abrigo do sol e então encaminhado ao Laboratório de Análise de Solos e Foliar da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da UFG para a determinação das espécies metálicas biodisponíveis e totais.

2.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Os dados obtidos foram submetidos ao tratamento estatístico do teste *t-Student* ($\alpha=0,05$) para comparar se havia diferença estatisticamente significativa entre as medições realizadas no período de seca e as realizadas no período chuvoso. Hortellani et al (2008) e Baggio e Horn (2008) também avaliaram a influência da sazonalidade em seus resultados obtidos.

Os valores encontrados nas amostras de águas foram interpretados de acordo com os valores máximos permitidos (VMP) apresentados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e os valores encontrados nas amostras de sedimento foram interpretados de acordo com os limites 1 e 2 apresentados na Resolução CONAMA nº 344/2004.

A Resolução CONAMA nº 344/2004 é baseada nos padrões do Canadá e dos Estados Unidos e, para efeito de classificação, os critérios de qualidade são definidos a partir de dois níveis, sendo nível 1 e nível 2. O nível 1 se refere ao limiar abaixo do qual se prevê baixa probabilidade de efeitos adversos à biota e o nível 2 é o limiar acima do qual se prevê um provável efeito adverso à biota.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 VALORES DAS DETERMINAÇÕES PARA A ÁGUA

Dentre os seis metais que foram estudados, apenas as concentrações do Ni e Pb não puderam ser detectadas pelo equipamento nas amostras analisadas de água (Tabela 2). Já o VMP para a concentração de Cd (0,001 mg/L) estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 foi extrapolado em todas as leituras realizadas.

No Rio A, os valores para esse metal excederam em 140% na primeira coleta, 220% na segunda e terceira coleta e 390% na quarta coleta. No Rio B, os excedentes ficaram em 220% na primeira e segunda coleta, 200% na terceira coleta e 490% na quarta coleta. No Rio C em 210% na primeira coleta, 300% na segunda coleta, 280% na terceira coleta e 570% na quarta coleta. E no Rio D, os valores excederam em 190% na

primeira coleta, 220% na segunda coleta, 340% na terceira coleta e 610% na quarta coleta.

Dessa forma, percebe-se que, de uma forma geral, os valores das concentrações para o Cd nas amostras dos quatro rios aumentaram ao longo do desenvolvimento do trabalho, isto é, maiores valores foram obtidos na estação chuvosa.

O Cd apresenta uma toxicidade de média a alta (POLETO, 2007). Para a biota, concentrações desse metal em discordância com o proposto alteram a qualidade da água, implicando em deformidades esqueléticas e deficiência no funcionamento dos rins em peixes. Essas deformidades acabam resultando em animais com a capacidade reduzida para encontrar comida e evitar predadores. Já as plantas passam a ter o seu crescimento prejudicado quando ficam em contato com esse metal. Dessa forma, esses efeitos podem resultar em mudanças em longo prazo na estrutura populacional desses rios (SOLOMON, 2008).

Alterações no comportamento de espécies expostas a esse metal foram observadas por Moraes et al. (1999) em um estudo que verificou alterações na excreção de nitrogênio por uma espécie de camarão em três baías do estado do Rio de Janeiro. Johnson et al. (2003), ao estudarem mamíferos, perceberam que o Cd possui uma atividade bem parecida ao hormônio estrogênio *in vivo*, e nos testes, ele provocou um crescimento e desenvolvimento de glândulas mamárias e alterou genes hormônio-reguladores.

Além do mais, o Cd pode afetar outras formas de vida que se alimentam de organismos contaminados (POLETO, 2007). De acordo com Vries, Römkens e Schütze (2007), a alimentação é a principal fonte de exposição ao Cd na população humana em geral (em cerca de 94% a 99% dos casos) e o consumo de água está incluso nessa porcentagem. A exposição humana a elevadas concentrações desse metal pode causar deformidades esqueléticas (assim como nos peixes), perda de massa óssea e dor generalizada (SOLOMON, 2008).

A exposição ao Cd também pode também afetar o funcionamento enzimático e provocar danos nos rins (MARIANE, 2006). Danos nos rins, inclusive, foram observados em parte da população geral da Bélgica. As justificativas para tal contaminação de parte

da população foram o consumo de água contaminada e de alimentos produzidos em solos poluídos por esse metal (GERHARDSSON, OSKARSSON e SKERFVINGA, 2012).

Tabela 2 - Concentração dos metais encontrados na água dos quatro rios amostrados.

| Concentrações de Metais na Água (mg/L) | | | | | | | |
|--|---------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
| | Rio | Cd (mg/L) | Cr (mg/L) | Ni (mg/L) | Pb (mg/L) | Zn (mg/L) | Cu (mg/L) |
| 1ª Coleta | A | 0,0024 | 0,0104 | - | - | 0,0489 | 0,0085 |
| | B | 0,0032 | 0,0206 | - | - | 0,0372 | 0,0109 |
| | C | 0,0031 | 0,0354 | - | - | 0,0363 | 0,0073 |
| | D | 0,0029 | 0,0494 | - | - | 0,0327 | 0,0076 |
| | Mediana | 0,0030 | 0,0280 | - | - | 0,0368 | 0,0081 |
| | Mínimo | 0,0024 | 0,0104 | - | - | 0,0327 | 0,0073 |
| | Máximo | 0,0032 | 0,0494 | - | - | 0,0489 | 0,0109 |
| 2ª Coleta | A | 0,0032 | 0,0603 | - | - | 0,0133 | 0,0045 |
| | B | 0,0032 | 0,0667 | - | - | 0,0240 | 0,0054 |
| | C | 0,0040 | 0,0728 | - | - | 0,0138 | 0,0047 |
| | D | 0,0032 | 0,0788 | - | - | 0,0167 | 0,0051 |
| | Mediana | 0,0032 | 0,0698 | - | - | 0,0153 | 0,0049 |
| | Mínimo | 0,0032 | 0,0603 | - | - | 0,0133 | 0,0045 |
| | Máximo | 0,0040 | 0,0788 | - | - | 0,0240 | 0,0054 |
| 3ª Coleta | A | 0,0032 | 0,0047 | - | - | 0,0242 | 0,0043 |
| | B | 0,0030 | 0,0171 | - | - | 0,0291 | 0,0057 |
| | C | 0,0038 | 0,0281 | - | - | 0,0210 | 0,0037 |
| | D | 0,0044 | 0,0495 | - | - | 0,0260 | 0,0046 |
| | Mediana | 0,0035 | 0,0226 | - | - | 0,0251 | 0,0045 |
| | Mínimo | 0,0030 | 0,0047 | - | - | 0,0210 | 0,0037 |
| | Máximo | 0,0044 | 0,0495 | - | - | 0,0291 | 0,0057 |
| 4ª Coleta | A | 0,0049 | 0,0654 | - | - | 0,0294 | 0,0026 |
| | B | 0,0059 | 0,0838 | - | - | 0,0122 | 0,0026 |
| | C | 0,0067 | 0,0932 | - | - | 0,0138 | 0,0023 |
| | D | 0,0071 | 0,1105 | - | - | 0,0119 | 0,0039 |
| | Mediana | 0,0063 | 0,0885 | - | - | 0,0130 | 0,0026 |
| | Mínimo | 0,0049 | 0,0654 | - | - | 0,0119 | 0,0023 |
| | Máximo | 0,0071 | 0,1105 | - | - | 0,0294 | 0,0039 |
| VMP | | 0,001 | 0,05 | 0,025 | 0,01 | 0,18 | 0,009 |

*Os valores assinalados na cor vermelha indicam que tais concentrações estão acima do VMP estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

**VMP = valor máximo permitido para tal parâmetro de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005.

Usualmente, as suas principais fontes estão entre baterias, pigmentos, galvanizações, plásticos e desgaste de pneus (POLETO, 2007), mas a extensão dos rios estudados passa em regiões rurais sem nenhuma proximidade com o meio urbano ou industrial, descartando essas possíveis fontes de contaminação desse metal.

Por outro lado, Tomazelli (2003) em um estudo comparativo da concentração de metais em seis bacias hidrográficas do Estado de São Paulo afirma que o Cd também pode atingir o ambiente por meio de outras fontes antrópicas, como pelo uso de fertilizantes e pesticidas.

Gerhardsson, Oskarsson e Skerfvinga (2012) também afirmam que fertilizantes à base de fosfato, como por exemplo, ácido fosfórico, são responsáveis por focos de contaminações de Cd na água e no solo. Essa informação pode justificar o encontro dessas concentrações de Cd acima do VMP da resolução CONAMA nº 357/2005, já que a região onde estes rios estão situados é composta por pastagens, criação de gado e plantações de hortaliças, como tomates.

Outros metais que também tiveram concentrações acima do VMP estabelecido pela resolução foram o Cr e o Cu. O Cr teve valores acima do VMP em todos os rios na segunda e quarta coletas realizadas. Suas concentrações excederam em 20% e 30% no Rio A, em 33% e 67% no Rio B, 45% e 86% no Rio C e 57% e 121% no Rio D. Para esse metal também se notou um aumento das concentrações na estação chuvosa em relação à estação de seca.

O Cr, em suas diversas formas iônicas, foi classificado como carcinogênico pela agência internacional da pesquisa sobre o câncer (FONSECA, 2004; FREITAS, 2006). Caso o contato seja por via oral, ele também pode causar inflamação do tubo digestivo, vômito, diarreia e até sangramento no trato gastrointestinal, mas em quantidades traço ele não traz prejuízo à saúde humana (FREITAS, 2006).

Para a biota aquática, os efeitos da sua contaminação variam de acordo com algumas características físico-químicas da água, como pH e OD. De uma forma geral, concentrações acima de 0,005 mg/L desse metal causaram imobilidade de *Daphnia magna* em cinco dias e a morte em seis dias (TRABALKA e GERHS, 2002 apud FREITAS, 2006). Já os peixes podem ficar mais suscetíveis a infecções em decorrência de alterações no sistema imunológico e as elevadas concentrações desse metal podem

danificar e ficar acumuladas nos tecidos desses animais (MUNIZ e OLIVEIRA-FILHO, 2006).

Esse metal é usado, principalmente, na produção de ligas metálicas e agentes colorantes (MARIANI, 2006), mas ele também é encontrado em regiões agricultáveis devido a sua presença em agroquímicos à base de anidrido crômico, ácido crômico e trióxido de cromo na agricultura comercial (BAGGIO e HORN, 2008).

As regiões dos rios estudados não abrigam indústrias que poderiam estar eliminando esse metal em seus resíduos e nem estão situadas em áreas urbanas que poderiam de alguma forma, resultar nessa poluição da água. Sendo assim, as margens desses rios são rurais e são utilizadas para pastagem, em sua maioria. Um tipo ou outro de cultivo pode ser encontrado, como canaviais e plantações de árvores frutíferas (Moura, obs. pess.). Os produtos químicos utilizados nessas pequenas plantações podem então conter esse elemento em sua composição, o que justificaria as concentrações excedentes encontradas na análise da água.

O Cu apresentou um valor acima do VMP (0,009 mg/L) em apenas uma medição. Esse valor excedeu em 21% e foi obtido na primeira coleta do Rio B. De acordo com Alves et al., (2010), a contaminação por cobre pode ter origem nos esgotos domésticos e industriais ou por lixiviação de produtos agrícolas das chuvas. Essa última origem pode justificar a única concentração encontrada fora do padrão para o Rio B, já que a região desse rio abrangida pelo presente estudo também está situada em uma área rural sem a presença de indústrias ou descarte de esgoto doméstico em larga escala no seu leito.

Seus principais usos são em equipamentos elétricos, como catalisadores químicos, mas também estão presentes em tintas anti-incrustantes, algicidas e produtos químicos utilizados na preservação de madeira. Ele é um metal altamente tóxico para a maioria das plantas aquáticas e também para a maioria dos invertebrados marinhos e de água doce (FONSECA, 2004).

Como algicida, os compostos de Cu são usados na redução da quantidade de fitoplâncton (VARO et al., 2007) e no controle da atividade biológica de algas filamentosas e verde-azuladas (WU et al., 2003). Com o propósito de eliminar algas, a adição de concentrações de até 1 mg/L de sulfato de cobre, dependendo das características físico-químicas da água e do tipo de utilização do sistema aquático, demonstraram não ser

tóxicas para os peixes, mas sim para um grande número de invertebrados. Por esta razão, a dose recomendada para o uso do sulfato de cobre para a eliminação de algas em tanques de cultivo de crustáceos é da ordem dos 0,1-0,5 mg/L (REDDY et al., 2005; HULLEBUSCH et al., 2002).

Ele não se acumula na cadeia alimentar e até certo ponto é essencial para os animais e requerido para o crescimento de organismos aquáticos (JESUS, 2011), tanto que a deficiência desse elemento afeta a proteína transportadora ceruloplasmina e o seu excesso provoca a Síndrome de Wilson (pseudoesclerose caracterizada por tremores e rigidez, onde o cobre passa a ser depositado em vários locais do organismo, como fígado, cérebro e córnea) e imunodeficiência (MARIANI, 2006).

Ao serem avaliadas estatisticamente, as concentrações obtidas de Cd apontaram que existem diferenças significativas entre as concentrações obtidas nas amostras coletadas no período de seca das que foram coletadas no período de chuva para o Rio A ($t= 5,780$; $p= 0,0003$), Rio B ($t= 2,101$; $p= 0,036$), Rio C ($t= 4,003$; $p= 0,002$) e Rio D ($t= 5,720$; $p= 0,0003$).

Em relação ao Cr, existe diferença significativa apenas entre as concentrações obtidas para o período de seca e período chuvoso das amostras do Rio D ($t= 2,551$; $p= 0,019$). Para o Zn, as diferenças significativas existem entre as concentrações obtidas das amostras coletadas no período de seca e período de chuva para os rios B ($t= -6,138$; $p= 0,0002$), C ($t= -2,175$; $p= 0,033$) e D ($t= -4,289$; $p= 0,001$).

Finalmente, considerando as concentrações obtidas para o Cu no período de seca e período de chuva, tem-se que elas são estatisticamente diferentes para as medições dos rios A ($t= -3,215$; $p= 0,007$), C ($t= -10,477$; $p= 7,859 \cdot 10^{-6}$) e D ($t= -4,225$; $p= 0,001$).

Essas diferenças significantes encontradas entre as concentrações medidas no período de seca e as medidas no período chuvoso apontam que a chuva exerceu um papel fundamental no carreamento desses contaminantes até os cursos d'água.

3.2 VALORES DAS DETERMINAÇÕES PARA O SEDIMENTO

Como se pode perceber, as concentrações de metais biodisponíveis (Tabela 3) encontradas nos sedimentos dos quatro rios são menores do que as concentrações totais de metais (Tabela 4).

Essa biodisponibilidade significa que, uma vez sedimentados, esses metais (cujas concentrações foram determinadas) podem ser novamente disponibilizados para a coluna d'água caso ocorram reações de oxi-redução, processos de re-suspensão de origem física, biológica ou humana (COTTA, REZENDE e PIOVANI, 2006).

As concentrações dos metais biodisponíveis são a parte das concentrações dos metais totais que podem ser mais facilmente removidas do sedimento, ficando disponibilizadas na coluna d'água, podendo contamina-la. O trabalho desenvolvido por Cotta, Rezende e Piovani (2006) também avaliou as concentrações biodisponíveis e totais de metais em amostras de sedimentos.

No trabalho desenvolvido por eles, de uma forma geral, as concentrações de metais biodisponíveis também foram inferiores às concentrações de metais totais encontradas. Outro fato observado foi que os valores das concentrações biodisponíveis que excederam os parâmetros usados como referências são provenientes das mesmas amostras que apresentaram valores de concentrações totais também em discrepância.

Percebe-se também que dentre os valores obtidos, apenas um excedeu o valor de limiar 1 (0,6 mg/kg) determinado pela legislação (apresentado na cor vermelha na Tabela 3), diferentemente das amostras de água, que apresentaram valores acima do VMP pela legislação pertinente em todas as medições realizadas.

Esse valor se refere à concentração de Cd (0,8 mg/kg – valor que excedeu em 33% o limite 1) no Rio B na terceira coleta. Isso indica que, nesse período, a concentração desse metal no sedimento desse rio atingiu um valor que apresenta uma possível ocorrência de efeito adverso à comunidade biológica desse meio. Esse valor pode ser resultado do uso de pesticidas e fungicidas à base de fosfato nas plantações e pastagens que margeiam esse rio que foram lixiviados para o sedimento na primeira coleta realizada no período chuvoso. Não houve valor excedente ao limiar 2 em nenhuma das concentrações determinadas.

Teores desse metal em discrepância com os limites estabelecidos pela legislação também foram encontrados por Baggio e Horn (2008) no sedimento do Rio Formoso em Buritizeiro/MG. A ocorrência de tais valores, nesse trabalho, estava diretamente associada ao incremento de agroquímicos utilizados no plantio de grãos na região estudada.

Os resultados da análise estatística apontaram que para determinadas concentrações de metais biodisponíveis existe uma diferença significativa entre as que foram obtidas de amostras coletadas no período de seca das que foram coletadas no período de chuva. Tais diferenças existem para as concentrações de Zn ($t= 1,900$; $p= 0,049$) no Rio A, Cd ($t= 2,645$; $p= 0,016$) e Cu ($t= -1,922$; $p= 0,047$) no Rio B, Cr ($t=2,645$; $p= 0,016$) e Cu ($t= -2,298$; $p= 0,027$) no Rio C e Ni ($t= 3,920$; $p= 0,002$) e Cu ($t= -3,400$; $p= 0,005$) no Rio D.

Em relação à determinação das concentrações totais de metais nos sedimentos dos quatro rios, encontraram-se apenas valores dos metais Cr e Ni em desacordo com a legislação vigente (Tabela 4).

Dois valores de concentrações de Cr ficaram em desacordo com a Resolução CONAMA nº 344/2004 no Rio A: 83,8 mg/kg na primeira coleta e 45 mg/kg na terceira coleta. Esses valores extrapolaram o valor proposto pelo nível 1 (37,3 mg/kg) em 124% e 20%, respectivamente. Esse rio também teve concentrações de Ni acima do valor de referência do nível 2 (35,9 mg/kg) em todas as coletas realizadas, excedendo em 136% na primeira coleta, 196% na segunda coleta, 199% na terceira coleta e 150% na quarta coleta.

O Rio B, em todas as determinações, apresentou valores de concentrações dos metais Cr e Ni acima dos limites apresentados pela legislação. O metal Cr apresentou valores acima do limite 1 (24% na primeira coleta, 10% na terceira coleta e 40% na quarta coleta) e o metal Ni apresentou concentrações acima do limite 2 em todas as medições realizadas (164% na primeira coleta, 122% na segunda coleta, 112% na terceira coleta e 164% na quarta coleta).

Tabela 3 - Concentração dos metais biodisponíveis encontrados nos sedimentos dos quatro rios amostrados.

| Concentrações dos Metais Biodisponíveis (mg/kg) | | | | | | | |
|---|----------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| | Rio | Cd (mg/kg) | Cr (mg/kg) | Ni (mg/kg) | Pb (mg/kg) | Zn (mg/kg) | Cu (mg/kg) |
| 1ª Coleta | A | 0,0 | 5,0 | 10,3 | 2,0 | 3,1 | 1,8 |
| | B | 0,0 | 2,3 | 9,3 | 2,5 | 1,3 | 2,6 |
| | C | 0,3 | 5,3 | 8,5 | 2,3 | 0,9 | 1,0 |
| | D | 0,3 | 4,3 | 7,5 | 2,3 | 1,9 | 3,0 |
| | Mediana | 0,2 | 4,7 | 8,9 | 2,3 | 1,6 | 2,2 |
| | Mínimo | 0,0 | 2,3 | 7,5 | 2,0 | 0,9 | 1,0 |
| | Máximo | 0,3 | 5,3 | 10,3 | 2,5 | 3,1 | 3,0 |
| 2ª Coleta | A | 0,0 | 5,0 | 12,0 | 2,3 | 3,8 | 2,3 |
| | B | 0,0 | 2,5 | 9,0 | 2,5 | 1,6 | 2,4 |
| | C | 0,0 | 5,3 | 8,8 | 2,5 | 0,8 | 1,5 |
| | D | 0,3 | 3,5 | 9,5 | 2,5 | 2,3 | 3,7 |
| | Mediana | 0,0 | 4,3 | 9,3 | 2,5 | 2,0 | 2,4 |
| | Mínimo | 0,0 | 2,5 | 8,8 | 2,3 | 0,8 | 1,5 |
| | Máximo | 0,3 | 5,3 | 12,0 | 2,5 | 3,8 | 3,7 |
| 3ª Coleta | A | 0,5 | 5,0 | 10,0 | 2,5 | 4,0 | 2,2 |
| | B | 0,8* | 2,0 | 9,3 | 2,5 | 1,7 | 1,9 |
| | C | 0,3 | 6,0 | 9,0 | 2,3 | 0,7 | 0,8 |
| | D | 0,3 | 4,5 | 12,3 | 2,8 | 1,7 | 2,2 |
| | Mediana | 0,4 | 4,8 | 9,7 | 2,5 | 1,7 | 2,1 |
| | Mínimo | 0,3 | 2,0 | 9,0 | 2,3 | 0,7 | 0,8 |
| | Máximo | 0,8 | 6,0 | 12,3 | 2,8 | 4,0 | 2,2 |
| 4ª Coleta | A | 0,0 | 5,0 | 12,3 | 2,8 | 4,6 | 2,8 |
| | B | 0,3 | 2,5 | 6,5 | 2,5 | 1,3 | 1,6 |
| | C | 0,0 | 5,5 | 9,3 | 2,5 | 2,5 | 0,8 |
| | D | 0,0 | 4,8 | 12,0 | 2,8 | 1,6 | 2,3 |
| | Mediana | 0,0 | 4,9 | 10,7 | 2,7 | 2,1 | 2,0 |
| | Mínimo | 0,0 | 2,5 | 6,5 | 2,5 | 1,3 | 0,8 |
| | Máximo | 0,3 | 5,5 | 12,3 | 2,8 | 4,6 | 2,8 |
| Nível 1** | | 0,6 | 37,3 | 18 | 35 | 123 | 35,7 |
| Nível 2*** | | 3,5 | 90 | 35,9 | 91,3 | 315 | 197 |

*O valor assinalado na cor vermelha indicada que tal concentração está acima do nível 1 estabelecido pela Resolução CONAMA nº 344/2004.

**Nível 1 = limiar abaixo do qual se prevê baixa probabilidade de efeitos adversos à biota, de acordo com a Resolução CONAMA nº 344/2004.

***Nível 2 = limiar acima do qual se prevê um provável efeito adverso à biota, de acordo com a Resolução CONAMA nº 344/2004.

O Rio C apresentou valores excedentes apenas para as determinações das concentrações de Ni, todas acima do limite 2. Esses excedentes ficaram em 101% na primeira coleta, 133% na segunda coleta, 105% na terceira coleta e 60% na quarta coleta). O Rio D, também apresentou valores acima dos limites estabelecidos.

As concentrações obtidas para o Cr na primeira, terceira e quarta coleta excederam o limite 1, respectivamente, em 60% e 104%. Já a concentração obtida para esse mesmo metal na segunda coleta excedeu o limite 2 em 13%. Em relação ao Ni, todas as medições realizadas para o sedimento desse rio obtiveram valores de concentrações maiores que o limite 2. Os excedentes ficaram em 317% na primeira coleta, 356% na segunda coleta, 558% na terceira coleta e 283% na quarta coleta.

Os valores de concentrações que excederam o valor limite 1 proposto pela Resolução CONAMA nº 344/2004 para o metal Cr (caso dos rios A, B e D) indicam que o sedimento dos mesmos apresentam uma probabilidade de causar efeitos adversos à biota em relação a esse metal (efeitos que foram discutidos no tópico 3.1). Da mesma forma, os valores de concentrações acima do nível 2 para esse mesmo metal na leitura para o Rio D na segunda coleta e todas as leituras para o metal Ni em todos os rios indicam que, para esses metais, esse sedimento provavelmente causará um efeito adverso à biota.

O Ni foi detectado em concentrações acima do limiar 2 proposto pela Resolução CONAMA nº 344/2004 em todas as análises realizadas. Para Berton et al. (2006), o Ni encontra-se entre os metais pesados mais comuns em solos. Eles também afirmaram que dois trabalhos que estudaram esse metal concluíram que teores encontrados entre 14,8 a 50,2 mg/Kg e entre 1,55 a 73,5 mg/Kg não caracterizaram os solos como contaminados, mesmo alguns valores estando acima do limiar 2 proposto pela legislação usada como referência nesse trabalho. Além do mais, os solos agrícolas podem conter entre 3 e 1000 mg/Kg desse metal (CETESB, 2012); informação que de certa forma corrobora com as concentrações encontradas desse metal em todas as leituras realizadas.

De acordo com Cetesb (2012), o Ni atinge a hidrosfera por remoção a partir da atmosfera (deposição seca e úmida), erosão de solos e rochas, lixo municipal e efluentes industriais. Esse metal possui uma toxicidade média-alta e, em excesso, pode provocar doenças respiratórias, alergias e até mesmo câncer (MARIANI, 2006; JESUS, 2011).

Tabela 4 - Concentração dos metais totais encontrados nos sedimentos dos quatro rios amostrados.

| Concentrações de Metais Totais (mg/kg) | | | | | | | |
|--|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Rio | Cd (mg/kg) | Cr (mg/kg) | Ni (mg/kg) | Pb (mg/kg) | Zn (mg/kg) | Cu (mg/kg) |
| 1ª Coleta | A | 0,0 | 83,8* | 85,0 | 10,0 | 8,9 | 22,0 |
| | B | 0,0 | 46,3 | 95,0 | 8,8 | 11,6 | 18,5 |
| | C | 0,0 | 20,0 | 72,5 | 7,5 | 7,2 | 10,1 |
| | D | 0,0 | 60,0 | 150,0 | 11,3 | 11,4 | 24,5 |
| | Mediana | 0,0 | 53,2 | 90,0 | 9,4 | 10,2 | 20,3 |
| | Mínimo | 0,0 | 20,0 | 72,5 | 7,5 | 7,2 | 10,1 |
| | Máximo | 0,0 | 83,8 | 150,0 | 11,3 | 11,6 | 24,5 |
| 2ª Coleta | A | 0,0 | 32,5 | 106,3 | 10,0 | 8,9 | 24,6 |
| | B | 0,0 | 37,5 | 80,0 | 10,0 | 10,2 | 15,0 |
| | C | 0,0 | 17,5 | 83,8 | 7,5 | 7,4 | 21,9 |
| | D | 0,0 | 102,5** | 163,8 | 8,8 | 10,4 | 19,3 |
| | Mediana | 0,0 | 35,0 | 95,1 | 9,4 | 9,6 | 20,6 |
| | Mínimo | 0,0 | 17,5 | 80,0 | 7,5 | 7,4 | 15,0 |
| | Máximo | 0,0 | 102,5 | 163,8 | 10,0 | 10,4 | 24,6 |
| 3ª Coleta | A | 0,0 | 45,0 | 107,5 | 11,3 | 9,7 | 18,0 |
| | B | 0,0 | 41,3 | 76,3 | 10,0 | 9,5 | 14,3 |
| | C | 0,0 | 15,0 | 73,8 | 5,0 | 7,1 | 7,8 |
| | D | 0,0 | 76,3 | 236,3 | 8,8 | 10,7 | 26,8 |
| | Mediana | 0,0 | 43,2 | 91,9 | 9,4 | 9,6 | 16,2 |
| | Mínimo | 0,0 | 15,0 | 73,8 | 5,0 | 7,1 | 7,8 |
| | Máximo | 0,0 | 76,3 | 236,3 | 11,3 | 10,7 | 26,8 |
| 4ª Coleta | A | 0,0 | 36,3 | 90,0 | 8,8 | 9,3 | 19,0 |
| | B | 0,0 | 52,5 | 95,0 | 10,0 | 9,9 | 31,0 |
| | C | 0,0 | 11,3 | 57,5 | 2,5 | 7,1 | 7,4 |
| | D | 0,0 | 37,5 | 137,5 | 11,3 | 9,3 | 33,0 |
| | Mediana | 0,0 | 36,9 | 92,5 | 9,4 | 9,3 | 25,0 |
| | Mínimo | 0,0 | 11,3 | 57,5 | 2,5 | 7,1 | 7,4 |
| | Máximo | 0,0 | 52,5 | 137,5 | 11,3 | 9,9 | 33,0 |
| Nível 1*** | | 0,6 | 37,3 | 18 | 35 | 123 | 35,7 |
| Nível 2**** | | 3,5 | 90 | 35,9 | 91,3 | 315 | 197 |

*O valor assinalado na cor vermelha indicada que tal concentração está acima do nível 1 estabelecido pela Resolução CONAMA nº 344/2004.

**O valor assinalado na cor verde indicada que tal concentração está acima do nível 2 estabelecido pela Resolução CONAMA nº 344/2004.

***Nível 1 = limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos à biota, de acordo com a Resolução CONAMA nº 344/2004.

****Nível 2 = limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso à biota, de acordo com a Resolução CONAMA nº 344/2004.

Na biota, o excesso desse metal pode causar distúrbios no fotossistema e, nas plantas, pode provocar clorose, condição em que as suas folhas não produzem clorofila de forma eficiente. Para os microrganismos, esse excesso pode causar uma redução na biomassa, que implicará na maior respiração do solo e menor eficiência na incorporação de substratos frescos além de interferir na diversidade e abundância das populações (BERTON et al, 2006).

Analisando os valores das concentrações totais para cada um dos metais, percebeu-se que para o Rio A, as concentrações de Cu obtidas no período de seca são significativamente diferentes das concentrações obtidas para esse mesmo metal nas amostras coletadas no período de chuva ($t = -2,985$; $p = 0,010$). O mesmo acontece para as concentrações de Cr ($t = -3,812$; $p = 0,003$) e Pb ($t = -4,582$; $p = 0,001$) no Rio C. Para as concentrações medidas no período de seca e período de chuva nos rios B e D não foram detectadas diferenças significativas entre os valores obtidos pelo teste utilizado.

4. CONCLUSÕES

Nas amostras de água analisadas não foi possível detectar as concentrações dos metais Ni e Pb. Por outro lado, as leituras para todos os rios em todas as coletas apontaram que o Cd excedeu a concentração de 0,001 mg/L estipulada pela Resolução CONAMA nº 357/2005 como VMP para a concentração desse metal em águas doce classe 1 e 2. Dessa forma, pode-se afirmar que a água desses mananciais de abastecimento pode estar contaminada por esse metal.

Entretanto, o Cd não foi detectado nas amostras de sedimento; nem nas determinações de metais biodisponíveis – exceto pelo valor igual a 0,8 mg/Kg encontrado na terceira coleta do Rio B; nem nas determinações das concentrações de metais totais. Isso implica que provavelmente esse metal possui mais afinidade com a água do que com a superfície dos sedimentos presentes nesses meios.

Dessa forma, a população que consome a água desse rio pode estar ingerindo concentrações acima do permitido desse metal, já que não se sabe se ele será removido adequadamente no tratamento convencional realizado pela empresa responsável pelo

tratamento e abastecimento de água e esse consumo pode ocasionar em danos irreversíveis nos rins. Como consequência, os peixes e o homem podem sofrer com deformidades ósseas e danos nos rins e as plantas podem ter o seu crescimento prejudicado.

O metal Cr foi detectado em todas as medições dos rios na segunda e quarta coletas nas amostras de água. Em relação ao sedimento, não foram detectadas concentrações biodisponíveis desse metal, mas em relação às concentrações totais, esse metal foi detectado no Rio A na primeira e terceira coletas e nos rios B e D em todas as amostras coletas e analisadas. O consumo de Cr em discordância com os valores apresentados pelas resoluções vigentes implica em humanos que podem apresentar quadros clínicos de vômito, diarreia e em casos mais graves, câncer. O seu efeito na biota resulta em animais doentes e plantas com o crescimento comprometido.

Ao contrário das amostras de água, concentrações de Ni puderam ser detectadas no sedimento. Concentrações desse metal na sua forma biodisponível não excederam nenhum dos níveis propostos pela Resolução CONAMA nº 344/2004. Já as concentrações de metais totais encontradas excederam o limite 2 (35,9 mg/Kg) em todos os rios em todas as coletas realizadas. O Ni em excesso poderá causar doenças respiratórias e alergias na população abastecida por essas águas e provocar um desequilíbrio na microbiota.

Provavelmente, esse metal possui muita afinidade com os sedimentos desses rios, pois a sua presença não foi detectada em nenhuma das amostras de água analisadas. Para saber se esse metal foi lixiviado ou se é um dos componentes das rochas que deram origem a esses sedimentos faz-se necessária a avaliação desses sedimentos por métodos que sejam capazes de avaliar a composição inorgânica dos mesmos, como, por exemplo, a espectrometria de fluorescência ou difração de raios-x.

O Pb, Zn e Cu apresentaram concentrações biodisponíveis e concentrações totais nos sedimentos dos quatro rios e nas quatro coletas, mas nenhum dos valores obtidos excedeu aos limites propostos pela resolução pertinente. Por outro lado, considerando as amostras de água, houve uma medição que excedeu o VMP estabelecido para o Cu (0,0009 mg/L) na primeira coleta para o Rio B.

De acordo com os resultados obtidos nas análises estatísticas, os metais Cd (todos os rios), Cr (Rio D), Zn (Rio B, C e D) e Cu (Rio A, C e D) apresentam diferenças significantes quando comparadas as medições e/ou determinações realizadas para a água nos diferentes períodos de coleta (seca e chuvoso).

Os metais Cd (Rio B), Cr (Rio C), Ni (Rio D), Zn (Rio A) e Cu (Rio B, C e D) apresentaram concentrações biodisponíveis com diferenças significativas quando medidos na estação seca e quando são medidos na estação chuvosa. Já em relação às concentrações totais, os metais Cr e Pb (Rio C) e Cu (Rio A) apresentaram diferenças significativas quando quantificados no período e seca e quantificados no período chuvoso.

Os rios que apresentaram concentrações de metais fora do permitido pelas legislações pertinentes sejam nas medições realizadas na água, sejam nas medições realizadas no sedimento necessitam de um acompanhamento do órgão responsável em captar e tratar a água bruta desses mananciais que após o tratamento será disponibilizada para o consumo. Isso se faz necessário em função de desconhecer se as técnicas convencionais de tratamento utilizadas nas estações de tratamento de água dos rios estudados são capazes de remover esses contaminantes com a eficiência necessária.

A realização de análises periódicas de metais por parte desse órgão aliada à conscientização no uso de defensivos agrícolas de maneira adequada por parte dos donos das terras que margeiam esses rios estudados será fundamental na recuperação da qualidade das águas e sedimentos desses mananciais utilizados para o abastecimento humano.

Dessa forma, esse monitoramento pode ser realizado, nas amostras de água, por meio da determinação da concentração desses seis metais antes do tratamento aplicado em cada uma das estações de tratamento de água e após a mesma ser tratada e estar pronta para o envio e consumo pela população. Dessa forma, será possível detectar quantitativamente a eficiência da remoção de metais nessas águas pelo tratamento convencional usualmente aplicado.

REFERÊNCIAS

- ALVES, C. M. R. F. **Especiação de metais pesados em sedimentos: Aplicação à Bacia Hidrográfica do Rio Ave.** 2002. 92p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Química, FEUP, Porto.
- ALVES, I. R. S.; TONANI, K. A. A.; NIKAIDO, M.; CARDOSO, O. O.; TREVILATO, T. M. B.; SEGURA-MUÑOZ, S. I. Avaliação das concentrações de metais pesados em águas superficiais e sedimentos do Córrego Monte Alegre e afluentes, Ribeirão Preto, SP, Brasil. **Ambi-Água**, Taubaté, v.5, n.3, p. 122-132, 2010.
- APHA – American Public Health Association; AWWA – American Water Works Association & WEF - Water Environment Federation. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** Eaton, A. D.; L. S. Clesceri; A. E. Greenberg (Ed.), 20th ed. Washington, D.C.: [s.n.], 2005.
- ARINE, D. R. **Análise de águas de superfície e sedimentos de rios da região de Iperó, SP, por espectrometria de absorção atômica e por ativação neutrônica.** 2000. 127p. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear – Aplicações) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN, São Paulo.
- BAGGIO, H.; HORN, H. A. Contribuições naturais e antropogênicas para a concentração e distribuição de metais pesados em sedimento de corrente do Rio do Formoso, município de Buritizeiro – MG. **Geonomos**. 16(2), p. 91-98, 2008.
- BARRETO, A. C. L.; BITAR, N. A. B. Análise de metais pesados na água e nos sedimentos de corrente do córrego Aragão situado no município de Patos de Minas/MG. **Perquirere**. Patos de Minas, UNIPAM, 8(2), p. 214-223, 2011.
- BERTON, R. S.; PIRES, A. M. M.; ANDRADE, S. A. L.; ABREU, C. A.; AMBROSANO, E. J.; SILVEIRA, A. P. D. Toxicidade do níquel em plantas de feijão e efeitos sobre a microbiota do solo. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.41, n.8, p.1305-1312, Brasília, ago., 2006.
- CARMO, C. A.; ABESSA, D. M. S.; MACHADO NETO, J. G. Metais em águas, sedimentos e peixes coletados no estuário de São Vicente-SP, Brasil. **O Mundo da Saúde**. São Paulo, 35(1), p. 64-70, 2011.
- CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2011. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Organizadores: Carlos Jesus Brandão et al. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA. 326p.
- _____. 2012. FIT – Ficha de Informação Toxicológica: Níquel e seus compostos. São Paulo: Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental. 3p.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. 2004. Resolução Conama nº 344. Disponível em: <<http://www.novaambi.com.br/pdfs/344.pdf>>. Acesso em 24 jun. 2012.

_____. 2005. Resolução Conama nº 357. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em 15 jun. 2012.

COTTA, J. A. O.; REZENDE, M. O. O.; PIOVANI, M. R. Avaliação do teor de metais em sedimento do rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira – Petar, São Paulo, Brasil. **Química Nova**, v. 29, n. 1, p. 40-45, 2006.

FERNANDES NETO, M. L.; SARCINELLI, P. N. Agrotóxicos em água para consumo humano: uma abordagem de avaliação de risco e contribuição ao processo de atualização da legislação brasileira. **Eng. Sanit. Ambient**, v. 14, n. 1, p. 69-78, 2009.

FONSECA, E. M. **Estudo da interação entre atividade bacteriana, metais pesados e matéria orgânica nos sedimentos da Baía de Guanabara-RJ**. 2004. 115p. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha) – Instituto de Geociências, UFF, Niterói.

FREITAS, T. C. M. **O cromo na indústria de curtumes de Mato Grosso do Sul, Brasil: Aspectos Ecológicos**. 2006. 118p. Tese (Doutorado em Ciências da Saúde), UnB/UFG/UFMS, Campo Grande.

GERHARDSSON, L.; OSKARSSON, A.; SKERFVINGA, S. Chuva ácida – efeitos sobre oligoelementos e a saúde humana. **Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v.7, n.1, p.64-74, 2012.

HORTELLANI, M. A.; SARKIS, J. E. S.; ABESSA, D. M. S.; SOUSA, E. C. P. M. Avaliação da contaminação por elementos metálicos dos sedimentos do Estuário Santos – São Vicente. **Quim. Nova**, v.31, n.1, p. 10-19, 2008.

HULLEBUSCH, E. V.; DELUCHAT, V.; CHAZAL, P. M.; BAUDU, M. Environmental impact of two successive chemical treatments in a small shallow eutrophied lake: Part II. Case of copper sulfate. **Environmental Pollution**, 120: 627-634, 2002.

JESUS, R. S. **Metais traço em sedimentos e no molusco bivalve *Anomalocardia brasiliensis* (GMELIN, 1791), municípios de Madre de Deus e de Saubara, Bahia**. 2011. 100p. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências, UFBA, Salvador.

JOHNSON, M. D.; KENNEY, N.; STOICA, A.; HILAKIVI-CLARKE, L.; SINGH, B.; CHEPKO, G.; CLARKE, R.; SHOLLER, P. F.; LIRIO, A. A.; FOSS, C.; REITER, R.; TROCK, B.; PAIK, S.; MARTIN, M. B. Cadmium mimics the *in vivo* effects of estrogen in the uterus and mammary gland. **Nature Medicine**, v.9, n.8, aug., 2003.

- MARIANI, C. F. **Reservatório Rio Grande: caracterização limnológica da água e biodisponibilidade de metais-traço no sedimento**. 2006. 124p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Biociências, USP, São Paulo.
- MORAES, R. B. C.; PFEIFFER, W. C.; GUIMARÃES, J. R.; BORGES, A. L. N.; CAMPOS, A. N. Efeito de sedimentos contaminados sobre a excreção de nitrogênio do camarão *Penaeus paulensis*. **Braz. Arch. Biol. Technol.**, v.42, n.4, Curitiba, 1999.
- MORUZZI, R. B.; REALI, M. A. P. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial – uma abordagem geral. **Revista de Engenharia de Tecnologia**, v. 4, n.1, p.29-43, 2012.
- MUNIZ, D. H. F.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. **Universitas: Ciências da Saúde**, v.4, n.1/2, p.83-100, 2006.
- POLETO, C. **Fontes potenciais e qualidade dos sedimentos fluviais em suspensão em ambiente urbano**. 2007. 159p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, Porto Alegre.
- PRIMO, A. R. R. **Avaliação da influência do reservatório do Funil na qualidade da água do Rio Paraíba do Sul**. 2006. 109p. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, USP, São Paulo.
- REDDY, R.; PILLAI, B. R.; ADHIKARI, S. Bioaccumulation of copper in post-larvae and juveniles of freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (de Man) exposed to sub-lethal levels of copper sulfate. **ScienceDirect**. Aquaculture 2005
- SOLOMON, F. Impacts of metals on aquatic ecosystems and human health. **Mining.com**, apr., 2008. Disponível em:<
<http://www.infomine.com/library/publications/docs/Mining.com/Apr2008c.pdf>>. Acesso em agosto/2014.
- SOUSA, J. K. C. **Avaliação de impactos ambientais causados por metais-traço em água, sedimento e material biológico na Baía de São Marcos, São Luis – Maranhão**. 2009. 87p. Tese (Doutorado em Química), UFPB, Paraíba.
- TOMAZELLI, A. C. **Estudo comparativo das concentrações de cádmio, chumbo e mercúrio em seis bacias hidrográficas do Estado de São Paulo**. 2003. 124p. Tese (Doutorado em Biologia Comparada), USP, Ribeirão Preto.
- VARO, I.; NUNES, B.; AMAT, F.; TORREBLANCA, A.; GUILHERMINO, L.; NAVARRO, J. C. Effect of sublethal concentrations of copper sulphate on seabream *Sparus aurata* fingerlings. **Aquatic Living Resources**, 20: 263-270, 2007.
- VRIES, W.; LOFTS, S.; TIPPING, E.; MEILI, M.; GROENENBERG, J. E.; SHÜTZE, G. Impact of soil properties on critical concentrations of cadmium, lead, copper, zinc, and

mercury in soil and soil solution in view of ecotoxicological effects. **Rev. Environ. Contam. Toxicol.**, v.191, p.47-89, 2007.

VRIES, W.; RÖMKENS, P. F.A. M.; SHÜTZE, G. Critical soil concentrations of cadmium, lead and mercury in view of health effects on humans and animals. **Rev. Environ. Contam. Toxicol.**, v.191, p.191-130, 2007.

WARREN, L. A.; HAACK, E. A. Biogeochemical controls on metal behavior in freshwater environments. **Earth-Science Reviews**, 54, p.261-320, 2001.

WU, S. M.; JONG, K.J.; KUO, S.Y. Effects of copper sulfate on ion balance and growth in Tilapia Larvae (*Oreochromis mossambicus*). **Archives of Environmental Contamination and Toxicology** 45: 357-363, 2003.



Termo de Ciência e de Autorização para Disponibilizar as Teses e Dissertações Eletrônicas (TEDE) na Biblioteca Digital da UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás–UFG a disponibilizar gratuitamente através da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações – BDTD/UFG, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: **Dissertação** **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

| | | | | | |
|---|--|---------|------------------------------|-------|------------------|
| Autor(a): | Laís Simões de Moura | | | | |
| CPF: | 024.814.631-96 | E-mail: | lais.simo.es.moura@gmail.com | | |
| Seu e-mail pode ser disponibilizado na página? <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não | | | | | |
| Vínculo Empregatício do autor | - | | | | |
| Agência de fomento: | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior | Sigla: | CAPES | | |
| País: | Brasil | UF: | GO | CNPJ: | 00889834/0001-08 |
| Título: | Avaliação da qualidade ambiental da água e sedimento de quatro mananciais de abastecimento público do Estado de Goiás | | | | |
| Palavras-chave: | Qualidade ambiental, mananciais de abastecimento, sedimento, análises físico-químicas e microbiológicas | | | | |
| Título em outra língua: | Evaluation of the environmental quality of water and sediment from four sources of public water supply in the State of Goiás | | | | |
| Palavras-chave em outra língua: | Environmental quality, sources of supply, sediment, physico-chemical and microbiological analysis | | | | |
| Área de concentração: | Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental | | | | |
| Data defesa: (dd/mm/aaaa) | 29/08/2014 | | | | |
| Programa de Pós-Graduação: | PPGEMA (Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente) | | | | |
| Orientador(a): | Dr ^a Katia Kopp | | | | |
| CPF: | 969.784.220-53 | E-mail: | kakopp@gmail.com | | |
| Co-orientador(a): | Dr ^o Guilherme Roberto de Oliveira | | | | |
| CPF: | 508.792.431-04 | E-mail: | groberto@ufg.br | | |

