



Bacia Hidrográfica dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim

Experiências para a gestão
dos recursos hídricos

Edição

Bacia Hidrográfica dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim

Experiências para a gestão
dos recursos hídricos

COMITÊ GUANDU

Diretor-Geral

Décio Tubbs Filho

Sociedade Civil – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Secretário-Executivo

Julio Cesar Oliveira Antunes

Usuário – Cedae

Diretores

Rosa Maria Formiga Johnsson

Governo Estadual – Instituto Estadual do Ambiente/ Diretora de Gestão das Águas e do Território

Adalésio Vieira Guimarães

Usuário - Lightger Ltda.

Maurício Ruiz

Sociedade Civil - Instituto Terra de Preservação Ambiental

Madalena Sofia Ávila Cardoso

Governo Municipal - Prefeitura de Barra do Pirai



Bacia Hidrográfica dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim

Experiências para a gestão
dos recursos hídricos

Organização:

Décio Tubbs Filho
Julio Cesar Oliveira Antunes
Janaina Silva Vettorazzi

Rio de Janeiro | 2012

Edição

Direitos desta edição do Comitê Guandu
Rodovia BR-465, Km 7, Campus da UFRRJ, Prefeitura Universitária.
Seropédica/RJ – CEP: 23890-000 – Tel.: (21) 3787-3729
www.comiteguandu.org.br

Qualquer parte desta publicação pode ser reproduzida, desde que citada a fonte.
Disponível também em www.inea.rj.gov.br e www.comiteguandu.org.br.

Produção editorial: Instituto Estadual do Ambiente (Inea)

Coordenação editorial: Tânia Machado

Assistente editorial: Elisa Menezes

Copidesque e revisão: Elisa Menezes, Sandro Carneiro e Tânia Machado

Normalização bibliográfica: Josete Medeiros

Projeto gráfico, capa e diagramação: Conceito Comunicação Integrada

Impressão: Imprensa Oficial

R585 Comitê da Bacia Hidrográfica Guandu (RJ).
Bacia Hidrográfica dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim/Comitê da
Bacia Hidrográfica Guandu/ organizado por Décio Tubbs Filho, Julio Cesar
Oliveira Antunes, Janaina Silva Vettorazzi. --- Rio de Janeiro: INEA, 2012.

340 p. : il.

ISBN: 978-85-63884-10-7

1. Gestão de recursos hídricos. 2. Bacia hidrográfica. 3. Rio Guandu.
4. Rio da Guarda. 5. Rio Guandu-Mirim. 6. Rio de Janeiro (Estado).
I. Tubbs Filho, Décio. II. Antunes, Julio Cesar Oliveira. III. Silva Vettorazzi,
Janaina. IV. Título.

CDU 556.18 (815.3)

Sumário

Apresentação.....	11
Prefácio	17
Análise de prováveis fatores causadores do processo de assoreamento na Baía de Sepetiba-RJ	21
Patricia Ney de Montezuma	
Análise estrutural aplicada aos estudos geoambientais no Sub-Gráben Guandu-Sepetiba-RJ	43
Fernando Machado de Mello	
Análise multicritério de propostas para a melhoria da qualidade da água captada para abastecimento da Região Metropolitana oeste do Rio de Janeiro	61
Frederico Menezes Coelho José Paulo Soares de Azevedo Isaac Volschan Júnior	
Bacia hidrográfica do Rio Guandu – ação antrópica e potencial presença de protozoários de importância médica	79
Janaina Silva Vettorazzi Décio Tubbs Filho Sandra Maria Gomes Thomé	

Balanço hídrico da bacia hidrográfica do Rio Guandu
com as novas demandas por água e com a expansão prevista 101

Frederico Menezes Coelho
Julio Cesar Oliveira Antunes

Composição e riqueza da ictiofauna e relações
com variáveis ambientais em sete reservatórios da Light..... 117

Francisco Gerson Araújo
Rinaldo Rocha

Contratos de gestão entre entidades delegatárias
e Poder Público, com a interveniência de comitês de bacia 137

A Agevap como agência de bacia do Ceivap, Guandu e comitês afluentes fluminenses
Mariana da Costa Facioli

Estudos integrados da biota e qualidade de água na avaliação ambiental
do reservatório de Ribeirão das Lajes (bacia do Rio Guandu, RJ) 159

Christina W. Castelo Branco
Alcides W.S. Guarino

Influência de atividades industriais na poluição por metais
no Rio Guandu, Baía de Sepetiba-RJ 181

Friedrich Wilhelm Herms
Handerson Agnaldo de Almeida Lanzillotta

Impactos das cavas de extração de areia sobre a química das águas
subterrâneas na região da Piranema, bacia sedimentar de Sepetiba,
Rio de Janeiro.215

Eduardo Duarte Marques
Décio Tubbs Filho
Olga Venimar O. Gomes
Emmanoel Vieira Silva-Filho

Monitoramento da concentração de metais pesados solúveis e parâmetros físico-químicos na bacia do Guandu: avaliação comparativa com dados da década de 1980 e dados atuais239

Alexandro Pereira da Silva
Marcos Antônio Ferreira Consoli
Edes Fernandes de Oliveira

Presença do molusco bivalve *Corbicula fluminea* em afluentes da bacia hidrográfica do Rio Guandu.....257

Décio Tubbs Filho
Janaina Silva Vettorazzi

Produtores de Água e Floresta, Rio Claro, Rio de Janeiro.....273

Mariana Barbosa Vilar
Juliana Bustamante
Maurício Ruiz

Um sistema de geoinformação ambiental para a bacia do Guandu como apoio à gestão territorial.....293

Maria Hilde de Barros Goes
Jorge Xavier da Silva
Tiago Badre Marino

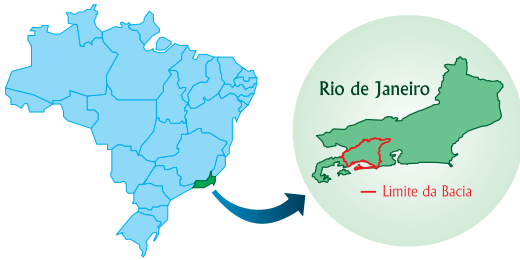
Variabilidade das concentrações de sedimentos em suspensão no Rio Guandu.....325

Marcos N. Gallo
Susana B. Vinzon
Marcelo Di Lello Jordão
Monique Kim
Adriana Dantas Medeiros

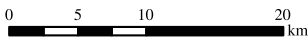
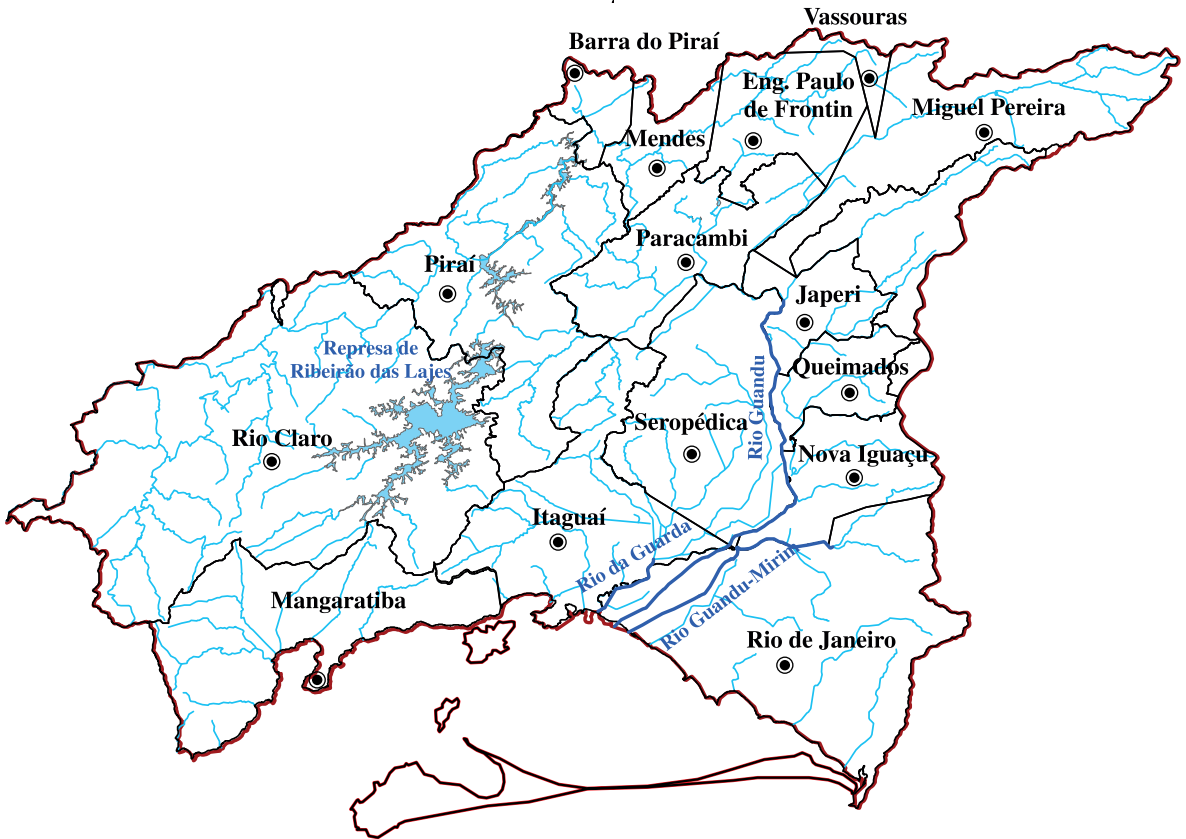
ATUAÇÃO DO COMITÊ GUANDU

O Comitê Guandu atua em 15 municípios, que juntos compreendem uma área total de 3.600 km², onde localizam-se as bacias hidrográficas que drenam para a Baía de Sepetiba. Os municípios de Engenheiro Paulo de Frontin, Itaguaí, Japeri, Mangaratiba, Paracambi, Queimados e Seropédica estão totalmente inseridos na bacia do Guandu, enquanto Barra do Pirai, Mendes, Miguel Pereira, Nova Iguaçu, Pirai, Rio Claro, Rio de Janeiro e Vassouras estão parcialmente.

O Comitê Guandu, com o patrocínio da Agência Nacional de Águas, elaborou em 2006 o Plano Estratégico de Recursos Hídricos (PERH-Guandu), priorizando 65 ações, como o aumento da disponibilidade hídrica, a identificação de medidas mitigadoras para redução da carga de poluentes nos corpos d'água e a implementação e consolidação da gestão de recursos hídricos na bacia. Uma das missões do Plano é orientar a aplicação dos recursos financeiros oriundos da cobrança pelo uso da água.



A bacia hidrográfica do Guandu abrange 15 municípios do Estado do Rio de Janeiro



	Limite Municipal		Hidrografia		Represa
	RH II - Guandu		Rios Principais		Sedes Municipais

Apresentação

Água, fonte de vida

*Bendito sejas, ó Deus Criador, pela água, criatura vossa,
Fonte de vida para a Terra e os seres que a povoam.
Bendito sejas, ó Pai Providente, pelos rios e mares imensos,
Pela bênção das chuvas, pelas fontes refrescantes
E pelas águas secretas do seio da terra.*

Dom Odilo Pedro Scherer
Secretário-geral da Conferência Nacional
dos Bispos do Brasil (CNBB – CF 2004),
Cardeal Arcebispo de São Paulo.

A bacia hidrográfica do Rio Guandu é formada pelos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim, está situada a oeste da bacia da Baía de Guanabara, contribuinte à Baía de Sepetiba, no Estado do Rio de Janeiro, e ocupa uma área de 3.600 km², abrangendo 15 municípios: Seropédica, Itaguaí, Paracambi, Japeri, Queimados, Miguel Pereira, Vassouras, Pirai, Rio Claro, Engenheiro Paulo de Frontin, Nova Iguaçu, Rio de Janeiro, Mendes, Mangaratiba e Barra do Pirai, onde vivem aproximadamente de 1 milhão de habitantes.

Esta bacia se reveste de uma característica peculiar, sem outro exemplo no país, pois grande parte do volume de água que a compõe tem origem na transposição de, em média, 120 m³/s do Rio Paraíba do Sul, no município de Barra do Pirai.

Respeitando a singularidade acima descrita, que exige uma elaborada, minuciosa e consensual engenharia de gestão, sob a égide das legislações federal, estadual e municipais, esta bacia hidrográfica caracteriza-se por ser a mais importante, estratégica e, não é falso afirmar, vital, pois é única para subsistência e desenvolvimento da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro (RMRJ), pois suas águas abastecem a segunda maior região metropolitana do país, viabilizando também o funcionamento de hidrelétricas e termelétricas, assim como o processo produtivo de centenas de significativas indústrias de destaque no cenário nacional e que geram emprego e renda para milhares de fluminenses.

Em detrimento da sua inquestionável importância estratégica, a bacia padece de problemas decorrentes (e recorrentes) de descuidos inconcebíveis, de complexa solução, tais como o lançamento *in natura* de esgotamento doméstico em seus corpos d'água, que, com excepcionais e não suficientes iniciativas corretivas, é prática comum dos municípios que compõem a bacia; a expansão abrupta e irregular das áreas urbanas; a poluição por resíduos industriais; a extração mineral (principalmente areia) em áreas que reconhecidamente deveriam estar protegidas; contaminação por defensivos agrícolas; desmatamento das matas ciliares e, com raras exceções, frágil ou inexistente gestão ambiental e medidas de racionalização do uso da água por parte dos poderes públicos municipais e da população de uma forma geral.

O Comitê de Gestão da Bacia Hidrográfica do Rio Guandu, ressaltando ser o primeiro Comitê de Bacia Estadual implantado no Estado do Rio de Janeiro, completou, neste ano de 2012, dez anos de existência, criado da forma mais dialógica e democrática que se poderia conceber, tem, com seus sucessivos, competentes e dedicados quadros administrativos, se empenhado fortemente na procura de solução ou minimização dos problemas acima listados.

Aliado a vários órgãos governamentais, como a Agência Nacional de Águas (ANA), o Instituto Estadual do Ambiente (Inea) e os órgãos que lhe deram origem (Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas – Serla, Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente – Feema e Instituto Estadual de Florestas – IEF), o Departamento de Recursos Minerais (DRM), o Comitê para Integração da Bacia do Rio Paraíba do Sul (Ceivap), contando

também com a assessoria da excelência acadêmica de instituições de ensino superior do Estado do Rio de Janeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Universidade Estadual do Rio de Janeiro (Uerj), Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (Unirio), Universidade Federal Fluminense (UFF), Fundação Getúlio Vargas (FGV) – e com imprescindíveis parcerias estabelecidas com a sociedade civil e usuários, o Comitê tem desenvolvido atividades, ações, projetos e programas que oferecem credibilidade quanto à possível recuperação e conservação da bacia hidrográfica, em atendimento à atual demanda e com perspectivas para demandas futuras.

A partir do ano de 2004, o Comitê conseguiu implantar e iniciou a cobrança pelo uso da água, fato que certamente está levando à racionalização, e, com os recursos arrecadados, tem apoiado, nesses oito anos subsequentes, projetos de recuperação da bacia, tais como:

- ≡ Produção e replantio de mudas de espécimes de Mata Atlântica às margens do Rio Guandu;
- ≡ Repasse de recursos financeiros aos municípios, isentando-os da contrapartida obrigatória aos recursos liberados pela Fundação Nacional de Saúde (Funasa) para empreendimentos em saneamento básico;
- ≡ Apoio financeiro a estudos para elaboração de trabalhos de graduação, mestrado e doutorado;
- ≡ Apoio a publicações de trabalhos científicos afetos à bacia;
- ≡ Apoio financeiro a iniciativas de caráter educacional e conservacionista propostas pelos municípios ou por organizações não governamentais;
- ≡ Pagamento por prestações de serviços ambientais, realizados por 43 pequenos produtores rurais, para recuperação de áreas degradadas;
- ≡ Contratação de empresa para execução do Projeto de Avaliação da Qualidade Ambiental do Reservatório de Tocos (município de Pirai) ;
- ≡ Contratação de empresa para execução do Projeto de Monitoramento e Controle de Queimadas;

- ≡ Monitoramento da qualidade da água do aquífero Piranema;
- ≡ Investimentos em projetos de proteção e melhoria das captações de fontes e minas d'água;
- ≡ Desenvolvimento do Projeto Observatório da Bacia, que tem como objetivo implementar um banco de dados georreferenciado;
- ≡ Execução do Projeto de Avaliação de Águas Subterrâneas; e,
- ≡ Execução do Projeto de Análise de Risco e Plano de Contingência.

Em 2006, o Comitê concluiu, sob o patrocínio da ANA, a elaboração de um ambicioso plano de bacia, denominado **Plano Estratégico de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim**, que, para um cenário de 20 anos, prevê investimentos da ordem de 1,5 bilhão de reais para a recuperação de qualidade ambiental, proteção e aproveitamento dos recursos hídricos e gerenciamento de recursos hídricos.

Muito já foi feito, mas muito ainda está por fazer, e iniciativas como esta, do Inea e do Comitê, de apoiar publicações e estimular o desenvolvimento de trabalhos científicos enriquecem o acervo de conhecimentos indispensáveis à recuperação e preservação da bacia, e aqui estão 15 artigos de autoria dos mais conceituados professores, pesquisadores de universidades públicas, biólogos, geólogos, engenheiros sanitaristas, engenheiros químicos, médicos veterinários, de empresas públicas e privadas, e de organizações não governamentais, todos mestres e doutores que, dissertando sobre diversificados temas (áreas de estudos), atualizam e contextualizam fatores de interferência, ações antrópicas, influência das atividades industriais, impactos causados pela exploração mineral, monitoramento da qualidade da água, identificação de áreas produtoras de água e florestas, disponibilidade hídrica e demanda, identificação de fauna e flora como possíveis elementos de monitoramento, geoinformação para apoio à gestão, propõem medidas de prevenção e subsidiam a elaboração de projetos de intervenção e correção para conservação da bacia hidrográfica.

Oportunamente, parabenizo por esta iniciativa a Dra. Marilene Ramos, presidente do Inea, a diretora de Gestão das Águas e do Território, Dra. Rosa Maria Formiga Johnsson, e o professor Dr. Décio Tubbs, atual diretor do Comitê Guandu, que, além do empenho na gestão, também foi pioneiro, incansável, combativo e competente colaborador na criação do Comitê.

Antônio Adolfo Garbocci Bruno
Primeiro diretor-geral do Comitê Guandu

Prefácio

Há dez anos, em 2002, começava a ser construída a gestão dos recursos hídricos de uma das mais importantes bacias hidrográficas brasileiras, pois dela dependem mais de oito milhões e meio de habitantes da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, além de materializar uma intensa atividade econômica e industrial. Contudo, nesses dez anos, os problemas relacionados à gestão hídrica da água se agravaram, principalmente devido à falta de políticas públicas, notadamente para solucionar o saneamento básico, pois menos de um por cento do esgoto é coletado e tratado na bacia.

É indiscutível a importância da água para a vida, mas reconhecidamente é crescente a geração de conflitos relacionados ao uso, à escassez e à qualidade, daí a importância de ações visando à proteção e à conservação de mananciais; a participação da sociedade na tomada das decisões e o investimento de recursos públicos e privados para a realização da gestão hídrica.

Ainda que nos últimos anos tenha se desenvolvido um amplo arcabouço legal para a gestão dos recursos hídricos, é anacrônica a construção de ações necessárias à gestão hídrica na área de abrangência do Comitê Guandu.

No entanto, nos últimos dois anos, a partir da criação de uma agência delegatária e da implementação do plano de bacia do Comitê das Bacias Hidrográficas dos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim – Comitê Guandu, está sendo possível desenvolver as ações necessárias à gestão da demanda, da qualidade da água e da manutenção e recuperação das florestas.

Mesmo considerando a importância e a complexidade da bacia, por conta das questões ambientais, econômicas, sociais e de gerenciamento, ainda é notória a carência de estudos atualizados para subsidiar a tomada de decisão na gestão hídrica e ambiental.

A partir dessa constatação, sentimos a necessidade de uma publicação na qual fosse possível reunir e integrar visões diversificadas sobre a bacia, suprindo assim a falta de uma literatura técnica e científica que pudesse auxiliar a gestão integrada dos recursos hídricos. Desta forma, apresentamos o livro **Bacia Hidrográfica dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim: Experiências para a gestão dos recursos hídricos**.

Os textos foram organizados considerando-se uma abordagem ecossistêmica e multidisciplinar a partir da seleção de dezessete artigos compreendendo áreas temáticas que tratam: da qualidade da água; biomonitoramento; saúde ambiental; limnologia; recuperação da cobertura vegetal; geoprocessamento; geoquímica ambiental e análise ambiental.

Os trabalhos apresentados consolidam a utilização da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e estudo. Infelizmente, devido a limitações editoriais, diversos artigos não puderam ser inseridos e, por conseguinte, um segundo volume se fará necessário.

Por fim, sinceros agradecimentos a todos que possibilitaram a realização deste livro, aos autores, que prontamente atenderam ao nosso chamado, à Dra. Rosa Maria Formiga Johnsson (diretora de Gestão das Águas e do Território – Inea), pela cooperação e disponibilidade da equipe do Inea, e especialmente à Dra. Janaína Vettorazi (coordenadora de Estudos e Projetos Ambientais – Comitê Guandu), a Tânia Machado e Elisa Menezes (do Inea), pela paciência, envolvimento e, acima de tudo, muita dedicação ao projeto.

Décio Tubbs

Diretor-geral do Comitê Guandu – Prefeitura Universitária da UFRRJ

RESUMO | Este trabalho estuda as prováveis causas do processo de assoreamento em praias do litoral nordeste da Baía de Sepetiba, no Rio de Janeiro. Foi elaborado a partir da dissertação de mestrado da mesma autora, publicada em 2007, e traz um resumo do problema abordado, da metodologia adotada e das conclusões obtidas.

A pesquisa original foi desenvolvida com auxílio de modelagem computacional do transporte de sedimentos na baía, e os cenários de modelagem consideraram duas prováveis origens dos sedimentos causadores do processo de assoreamento: 1) cargas de sedimentos trazidas pelos rios que deságuam na baía; 2) sedimentos provenientes de bota-fora, no interior da baía, de dragagens concernentes ao Porto de Sepetiba.

Os resultados possibilitaram a elaboração de mapas mostrando a mobilidade e deriva de sedimentos, e reproduziram a tendência observada de deposição de sedimentos finos ao longo da zona costeira nordeste da baía. As análises levaram à conclusão de que a contribuição maior para o problema teve origem nos sedimentos trazidos pelos rios, apontando, assim, um caminho para novos estudos que se proponham a buscar soluções que minimizem o lançamento de carga poluidora nos rios e, conseqüentemente, nas águas e praias da baía.

PALAVRAS-CHAVE | Baía de Sepetiba; Porto de Sepetiba; Assoreamento; Transporte de sedimentos.

ABSTRACT | This work studies the probable causes of the shoaling processes occurring along the Northeastern littoral of Sepetiba Bay, RJ. It was based on dissertation of the same author, published 2007, and summarizes the problem, the methodology and conclusions.

The original research was developed with the aid of computational modeling of sediment transport in the bay. The modeling scenarios considered the two probable origins of the sediments causing the shoaling process: 1) sediment load carried by the rivers that outflow into the bay; 2) sediments from the dumping site within the bay of dredging works concerning the Sepetiba Port.

The modeling results allowed the elaboration of maps showing the mobility and the drift of sediments, and reproduced the trend of fine sediments deposition along the northeastern coastal area of the bay. The analyses bring to the conclusion that the major contribution for the problem comes from the sediments carried by the rivers, indicating a direction for studies to minimize the pollutant load in the rivers and beaches of the bay.

KEYWORDS | Sepetiba Bay; Sepetiba Port; Shoaling Processes; Sediment Transport.

Análise de prováveis fatores causadores do processo de assoreamento na Baía de Sepetiba-RJ

Patrícia Ney de Montezuma

1. INTRODUÇÃO

Na região nordeste da Baía de Sepetiba, no Estado do Rio de Janeiro, especialmente ao longo do litoral do município de Sepetiba, verifica-se significativo processo de assoreamento por material predominantemente coesivo (lama).

Uma análise preliminar indica que a causa mais provável do assoreamento da praia de Sepetiba e cercanias são os sedimentos oriundos da bacia contribuinte à baía. Esta hipótese se baseia principalmente em observações que mostram que, nos últimos 30 anos, aumentou o volume de carga sólida despejado diariamente na bacia. [6]

Entretanto, existe outra hipótese, defendida pelos pescadores da região: a de que os sedimentos dos depósitos de assoreamento têm origem na região destinada ao bota-fora das obras de dragagem do Porto de Sepetiba, que estariam sendo constantemente mobilizados para coluna d'água e transportados pelas correntes para as praias.

Considerando as duas hipóteses, o estudo proposto consiste em estabelecer condições de mobilidade para os sedimentos da baía, bem como cenários de transporte destes, obtendo, através de modelagem computacional, uma tendência de deposição de sedimentos.

As simulações em modelagem computacional que serão apresentadas foram obtidas por meio do sistema de modelos SisBAHIA[®] – Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental – e, a partir da análise dos resultados obtidos, pretende-se chegar a um diagnóstico qualitativo da provável origem do problema, indicando a principal origem do atual processo de assoreamento na região. Pretende-se que este estudo sirva de contribuição no sentido de orientar e motivar estudos que envolvam decisões com relação ao futuro ambiental da bacia e da Baía de Sepetiba.

2. CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO

Localizada na região sudoeste do Estado do Rio de Janeiro, a Baía de Sepetiba apresenta zonas estuarinas e de mangue, que constituem criadouro natural para as diversas espécies de moluscos, crustáceos e peixes existentes nesse ambiente.

Rica em ecossistemas naturais, a baía tem recebido, durante anos, rejeitos domésticos na forma de esgotos e lixo, bem como rejeitos industriais constituídos de altas concentrações de metais pesados, principalmente zinco e cádmio. Somam-se os problemas de eutrofização, causada diretamente pela poluição orgânica, especialmente nas pequenas enseadas, nas áreas mais próximas à linha de costa e nas áreas de influência das desembocaduras dos rios.

No que se refere às praias mais prejudicadas pelo atual processo de assoreamento, observa-se que a praia de Sepetiba, por estar localizada no fundo da baía, apresenta características típicas de um assoreamento natural e permanente. Nota-se que, nos últimos 30 anos, houve a elevação do fundo em toda a sua extensão.

A bacia de Sepetiba, localizada no mais importante entorno geoeconômico do Brasil – abrange as cidades do Rio de Janeiro, São Paulo, Belo Horizonte e Vitória –, onde, num raio de 500 km, estão concentradas as maiores atividades socioeconômicas da região, vem sendo, por isso, considerada uma área potencialmente catalisadora de desenvolvimento do país. A região desponta, ainda, como um dos polos industriais do Estado do Rio de Janeiro.

Além das águas provenientes das sub-bacias hidrográficas, a bacia de Sepetiba recebe, por transposição de bacia, parte das águas do Rio Paraíba do Sul, aproximadamente 160 m³/s, que são desviadas na barragem de Santa Cecília, vindo depois atingir o Ribeirão das Lajes, um dos formadores do Rio Guandu e do canal de São Francisco.

Devido às inundações constantes a que a região estava sujeita por causa de sua topografia plana, os rios que deságuam na Baía de Sepetiba vêm sendo, desde o século XVII, retificados, dragados, canalizados, unidos por valões etc. Portanto, a maioria dos rios apresenta, atualmente, seus baixos cursos bastante modificados em relação ao que eram originalmente [3].

Na costa norte da baía, ao sul e a leste da Ilha da Madeira, está localizado o Porto de Sepetiba. Inaugurado em 1982 e administrado pela Companhia Docas do Rio de Janeiro, o porto possui terminais para cargas a granel (minério, carvão, enxofre, alumínio etc.) e contêineres.

Com o objetivo de transformá-lo no primeiro Hub Port (porto concentrador de carga) do Atlântico Sul, teve início, em 1997, a fase de ampliação. Foram realizadas obras de dragagens para ampliação de sua capacidade, e, hoje, o porto recebe grandes navios intercontinentais (*cape size*), apropriados para o transporte de minérios, grãos, e contêineres; futuramente, permitirão também o transporte de carga geral.

Isto só foi possível devido à realização de vultosas dragagens para o aprofundamento do canal, o que normalmente significa uma intervenção potencialmente poluidora devido ao revolvimento dos sedimentos e possível remobilização de metais, além de um aumento significativo de suas atividades, que também apresentam elevado potencial poluidor.

3. SOBRE A ORIGEM DOS SEDIMENTOS

Os processos de transporte e deposição de sedimentos em áreas costeiras apresentam um equilíbrio natural que pode ser afetado pela atividade humana. Para investigação da origem dos sedimentos que estão alterando o balanço sedimentológico da Baía de Sepetiba, foi feita uma análise dos fatores relacionados às intervenções antrópicas que podem ter contribuições significativas para o problema.

3.1 Primeira hipótese: sedimentos oriundos da bacia contribuinte

Considera-se, nesta hipótese, que a principal causa do assoreamento da Baía de Sepetiba esteja relacionada ao aumento da produção de carga sólida na bacia que é lançada no corpo hídrico. A hipótese é sustentada pelas alterações verificadas na forma de ocupação do solo na região da bacia contribuinte à Baía de Sepetiba, pelo aumento da descarga sólida lançada – principalmente através de seus rios – e pela erosão na calha dos mesmos.

Para análise da ocupação urbana da bacia contribuinte à Baía de Sepetiba, foram utilizados mapas que o Instituto Pereira Passos (IPP) elaborou para a região do município do Rio de Janeiro a partir de dados dos censos demográficos de 1991 e 2000, realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Tais dados indicam que a comparação do número de domicílios particulares permanentes nas regiões administrativas de Guaratiba, Campo Grande e Santa Cruz aumentou 46% entre os anos de 1991 e 2000.

O aumento da carga sólida que chega à Baía de Sepetiba, observado nos últimos anos, pode ser relacionado à expansão industrial na direção oeste da Região Metropolitana. A política de polarizar o crescimento industrial para áreas menos congestionadas levou o Governo do Estado a criar na região os distritos industriais de Santa Cruz, Campo Grande, Nova Iguaçu e Itaguaí.

O crescimento populacional, aliado ao desenvolvimento industrial, além da poluição inerente a este tipo de atividade, trouxe também questões como a destruição dos ecossistemas periféricos à baía, os aterros, o uso desordenado do solo e seus efeitos impactantes, como assoreamento, sedimentação e inundação.

Nas áreas desprovidas de esgotamento sanitário, os efluentes eram conduzidos a fossas sépticas individuais, geralmente sem sumidouro, ou, na maioria dos casos, para as galerias de águas pluviais, acarretando o lançamento direto para valas ou para fundos de vale e cursos de água locais.

Parte dos municípios compreendidos na bacia da Baía de Sepetiba não conta com serviços de coleta de resíduos sólidos, sendo comum o lançamento em lixões, que em grande parte estão localizados às margens dos rios, em encostas e próximos a aglomerações urbanas, resultando em grave degradação ambiental.

A invasão de áreas marginais dos rios fez com que os processos de erosão e desbarrancamento promovessem o aumento da vazão sólida nos cursos d'água, causando o assoreamento em trechos dos rios com menor velocidade de escoamento e também nos seus deltas.

Além disso, todo o Rio Guandu e o canal de São Francisco sofrem os efeitos da exploração de areia, que, em alguns pontos, promove a desfiguração da calha, desmontando a barranca e abrindo buracos e enseadas laterais. Durante o processo de extração, há a liberação de grande quantidade de particulado fino em suspensão, que fica por muito tempo disponível na coluna d'água, sendo facilmente transportado.

Outras fontes de agressão, como o desmatamento e suas consequências, nas quais se incluem a erosão, o empobrecimento do solo, o assoreamento, as enchentes e as secas, vêm contribuindo ainda mais para a degradação do ecossistema.

3.2 Segunda hipótese: sedimentos oriundos do botafora do Porto

Aqui são considerados os fatores relacionados às obras de dragagem do Porto de Sepetiba. Em virtude do volume de material dragado, a obra de dragagem do canal de acesso pode ter influenciado o processo de assoreamento da Baía de Sepetiba, considerando-se a possibilidade de os sedimentos terem sido mobilizados para a coluna d'água. Esta hipótese é sustentada pela maioria dos pescadores que trabalham nas praias de Sepetiba e cercanias, que fazem uma associação direta entre tais obras e o atual processo de assoreamento das praias.

Deve-se considerar que as obras de dragagens, em especial aquelas mais próximas da costa, onde o sedimento é muito fino e com uma parte significativa de matéria orgânica adsorvida, disponibilizam e mobilizam para a coluna d'água parte dessa contaminação.

Após as obras de dragagem, verificou-se que os percentuais de argila e silte aumentaram na parte noroeste da baía, em estações onde predominantemente encontrava-se um percentual muito maior de areia, aumentando assim a quantidade de metais adsorvidos. Na área de acesso ao Porto de Sepetiba, foi verificada contaminação por metais nos locais onde foram efetuadas as dragagens. Cádmio e zinco apresentaram um aumento de concentração na parte nordeste, próximo a Pedra de Guaratiba. Como avaliação preliminar, pode-se dizer que houve um espalhamento geral de contaminantes dos sedimentos.

A questão da disposição de sedimentos dragados na Baía de Sepetiba vem sendo estudada há longo tempo. Em 1977, o Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH), juntamente com o Instituto de Pesquisas Radioativas da Nuclebrás (IPR), vinculado à Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), estudou as características de deposição de sedimentos lançados às águas da baía, com o emprego de sedimentos marcados com traçadores radioativos na área designada para bota-fora de materiais dragados.

Em 1992, foram elaborados, pela Multiservice, Estudo e Relatório de Impacto Ambiental para a segunda fase de implantação do porto, a ampliação do terminal de minérios. Tais documentos, aprovados pela extinta Feema, concluíram que, por ocasião da disposição de sedimentos dragados, não foi observada significativa porção destes sedimentos em suspensão nas águas marinhas receptoras.

Esses trabalhos serviram de base para a elaboração, em 1997, do Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Rima para dragagem do canal de acesso ao porto. Tentou-se estabelecer em que condições os materiais dragados no canal de acesso sedimentariam na área selecionada para bota-fora e se, dali, poderia ser transportado para outras áreas da Baía de Sepetiba.

Na modelagem da dispersão de sedimentos, verificou-se que os sedimentos dragados se depositariam no solo marinho até a zona externa formada por uma faixa de 400 x 700 m ao longo da área selecionada para bota-fora (Figura 1) [2].

3.3 Processo de deposição de sedimentos na Baía de Sepetiba

As características de deposição dependem de processos iniciados no passado e que se estenderam aos dias atuais. Associados a esses processos, o transporte de sedimento e posterior deposição dependem diretamente da quantidade de sedimento disponível, das correntes marinhas, da densidade das águas e das características intrínsecas dos sedimentos.

Existe uma correlação entre o tamanho do sedimento, tipo de coesão do fundo e as velocidades das correntes atuantes, ou seja, é um somatório de variáveis que atuam de forma interativa na dinâmica sedimentar, influenciando na relação e na taxa de deposição dos sedimentos.

Na entrada principal de águas na Baía de Sepetiba, onde a intensidade das correntes não permite que o material fino permaneça no fundo por muito tempo, verifica-se um percentual maior de sedimentos de granulometria mais grossa; já a região compreendida entre a Ilha de Jaguanum e o interior da baía apresenta um quadro diverso, onde predominam sedimentos mais finos, devido principalmente às correntes mais fracas atuantes nessa região.

4. METODOLOGIA ADOTADA

O objetivo é mostrar a influência da hidrodinâmica local, bem como de todos os fatores geradores associados, na definição do local onde os sedimentos em suspensão na Baía de Sepetiba, independente de sua origem, tendem a se depositar. Para fazer essa avaliação, recorreu-se à modelagem computacional do transporte de sedimentos, tendo sido realizadas diferentes simulações com base nas hipóteses consideradas.

Com vistas à análise de aspectos da dinâmica sedimentológica na Baía de Sepetiba, deve-se considerar que as tensões no fundo e mobilizações dos sedimentos são provocadas pelos seguintes agentes hidráulicos: ação das correntes causadas por marés e ventos e ação das ondas geradas por ventos no interior da baía.

A sinergia das ondas com as correntes pode resultar em uma elevada capacidade de transporte de sedimentos. Nessa ação conjunta, as ondas exercem tensões de atrito que podem mobilizar e ressuspender os sedimentos, que então são facilmente transportados pelas correntes.

O critério fundamental para determinação da mobilidade de sedimentos de fundo consiste na comparação entre a tensão de arrasto no fundo causada pela ação conjunta de correntes e ondas em um dado local (t) e a tensão crítica para mobilização dos sedimentos em questão (t_0). Se $t > t_0$, admite-se que os sedimentos no local são mobilizados, podendo haver erosão e transporte pelas correntes, caso contrário os sedimentos permanecem em repouso ou tendem a se depositar.

Os modelos adotados na execução deste trabalho fazem parte do Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental, SisBAHIA®, desenvolvido na Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica do Programa de Engenharia Oceânica e na Área de Banco de Dados do Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, ambos do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Engenharia (Coppe) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Mais detalhes técnicos sobre a formulação dos modelos do SisBAHIA, pertinentes aos esquemas numéricos adotados e a sua formulação matemática, podem ser encontrados nas referências [4] e [5].

Para a metodologia do trabalho aqui proposto, serão usados os seguintes modelos do SisBAHIA:

- ≡ Modelo Hidrodinâmico
- ≡ Modelo de Transporte Lagrangeano e Lagrangeano-Probabilístico
- ≡ Modelo de Geração de Ondas

Através do modelo hidrodinâmico, obtêm-se as correntes instantâneas geradas na baía por marés, ventos e vazões fluviais, as tensões geradas no fundo e as correntes residuais eulerianas. Já no modelo de transporte lagrangeano, obtêm-se as simulações de tendência de transporte de sedimentos mais graúdos junto ao fundo e de sedimentos mais finos em suspensão na coluna d'água. Através do modelo de geração de ondas, obtêm-se a distribuição espacial das alturas e períodos de ondas e das respectivas tensões oscilatórias no fundo.

5. MODELAGEM DA BAÍA DE SEPETIBA

Para o domínio de modelagem foi discretizada uma malha em toda a baía (como será visto adiante, nas figuras dos resultados), incluindo os principais rios afluentes, chegando a até 9 km a montante da região de deságue no caso do canal de São Francisco, totalizando 1052 elementos e 4890 nós.

Os dados de entrada requeridos para uso dos modelos são: maré, ventos, vazão afluente de rios (condição de contorno), distribuição da granulometria média dos sedimentos na baía e definição de tensão crítica para mobilidade.

Apesar de possuir profundidades em torno de 20 metros, a baía possui cerca de 40% de sua área com profundidades menores do que cinco metros. Pelo fato de a topografia de fundo possuir um canal natural de maior profundidade em sua parte central, o escoamento é todo induzido para esta área, gerando correntes mais intensas. Na parte mais interna da baía, onde as profundidades são menores, há uma perda progressiva de carga na circulação, acarretando uma mistura das águas oceânicas e internas.

Os dados referentes à batimetria utilizada na elaboração da malha foram obtidos a partir das seguintes cartas náuticas, editadas e publicadas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), da Marinha do Brasil:

≡ 1622 Baía de Sepetiba 1:40 122 – edição: 1999

≡ 1622 Baía de Sepetiba 1:40 122 – última edição: 2003

Além dessas fontes, foram utilizadas também imagens de satélite de 2003 obtidas junto ao laboratório de Geografia da UFRJ, com escala de 1:5000, e também imagens aéreas obtidas na internet, através do programa Google Earth. A interpolação dos valores pontuais (x , y e z) foi realizada pelo programa Surfer.

As principais forças que governam os escoamentos de interesse que ocorrem na Baía de Sepetiba são oriundas dos gradientes de pressão, da ação do vento e do atrito no fundo. As tensões geradas por este último são conhecidas a partir da determinação do coeficiente de Chèzy, que por sua vez depende do valor da rugosidade equivalente ϵ do fundo. Foi utilizada a distribuição de sedimentos de amostras coletadas pela Feema em 41 pontos do corpo hídrico, adotando-se

os seguintes valores de rugosidade equivalente para os sedimentos descritos: argila = 0,008; silte = 0,015; e areia = 0,040.

A maré astronômica foi inserida no modelo com base nos registros da DHN das principais constantes harmônicas das estações maregráficas de Ilha Guaíba (Terminal MBR), Castelhanos e Recreio dos Bandeirantes, disponíveis no Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras da Fundação de Estudos do Mar (Femar). A série temporal de nível d'água para um período de 30 dias devido a esta maré astronômica pode ser consultada na referência [6].

Para representar a maré meteorológica, foi inserida no modelo a diferença de fase calculada entre as fronteiras abertas definidas, obtendo-se uma defasagem total de aproximadamente 12 minutos, estando a maré adiantada na fronteira aberta a leste em relação à fronteira oeste.

Em virtude do relevo e da proximidade com o oceano, o vento apresenta, como primeira predominância, os quadrantes sul e oeste-sudoeste, e, como segunda predominância, os quadrantes norte-nordeste e leste-nordeste. Quanto à velocidade do vento, segundo dados da estação meteorológica de superfície da Base Aérea de Santa Cruz, no período de 1981/89, o percentual de calmas (19,4%) é consideravelmente inferior ao de ventos com velocidade na faixa de 1,5 a 5 m/s (67,7%) [1].

Os dados utilizados neste projeto foram obtidos através de medições de velocidade e direção de vento realizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) entre os dias 01/03/2007 e 29/05/2007, na estação automática da Marambaia [6]. Tais medições são realizadas a aproximadamente 10 metros de altura em relação ao nível do mar. Representam ventos usuais e foram inseridas no modelo para simular o efeito do vento na circulação hidrodinâmica da baía, e consideradas variáveis no tempo e uniformes no espaço.

Para modelagem da circulação hidrodinâmica, prescreveu-se como condição inicial as componentes horizontais de velocidade u e v nulas e o valor 0,92 m para elevação da superfície livre, condições para todos os nós. Esta elevação correspondente à primeira preamar de sizígia é uma condição bastante adequada para condições de maré com características estacionárias predominantes.

As condições de contorno transmitem ao modelo informações do que ocorre fora do domínio modelado, já que o modelo calcula apenas o que ocorre no seu interior. Foram consideradas como condições de contorno terrestres as margens impermeáveis e os afluxos dos principais rios, isto é, que contribuem com vazões significativas para o modelo. Para o canal de São Francisco, a vazão foi inserida no modelo através de uma sequência de dados horários que representam a variação da vazão no tempo.

Foram adotados, ainda, os seguintes parâmetros, necessários à caracterização física da região de estudo:

- ≡ 1025 kg/m³ para a massa específica da água (correspondente aos valores de salinidade atualmente observados);
- ≡ 1,2 kg/m³ para a massa específica do ar;
- ≡ 9,81 m/s² para a aceleração da gravidade;
- ≡ viscosidade cinemática da água = $1,9 \cdot 10^{-6}$ m²/s.

A modelagem de transporte considerou regiões preestabelecidas para lançar descargas no modelo. Cada fonte possui um valor de vazão efluente e uma concentração efluente de algum material que se deseje simular o transporte no corpo hídrico em que está sendo lançado (Tabela 1). Possuem informação de tensão mínima no fundo, que serve como parâmetro de tensão crítica para mobilidade das partículas, velocidade de sedimentação e curva de decaimento. Também foi definido um coeficiente de absorção de 20%, valor em porcentagem de massa de partículas que, ao tocar o litoral, ficará retida no mesmo, deixando de ser transportada pelo modelo.

5.1 Cenários de simulação

Durante o estudo foram simulados cinco cenários. Os dois primeiros consideram apenas o canal de São Francisco como fonte de sedimentos, já que é o corpo fluvial que despeja maior carga sólida na baía, com valor total estimado em 862.000 t/ano, aproximadamente seis vezes superior à soma das descargas dos seis principais rios da bacia. A diferença é que em um dos cenários não

foi imposta velocidade de sedimentação com o objetivo de mostrar a tendência de movimento dos sedimentos oriundos do canal de São Francisco caso as mesmas, hipoteticamente, nunca sedimentassem (Cenário CSF). No outro cenário (Cenário CSF vs), foram considerados também valores distintos de velocidade de sedimentação para cada tipo de grão, sendo 10^{-3} m/s para areia, 10^{-4} m/s para silte e 10^{-5} m/s para argila.

A concentração efluente da fonte foi calculada pela relação C_e (concentração efluente) = Q_s (vazão sólida) / Q_f (vazão fluvial), considerando que a descarga sólida total diária é de 2361t.

TABELA 1 - CONCENTRAÇÃO EFLUENTE DE CADA FONTE NO CENÁRIO 7R [1]

Fontes	Corpos fluviais	Q_f (m ³ /s)	Q_s (kg/seg)	C_e (qq/m ³)
1	Rio Mazomba	0,5	0.12684	0.25368
2	Rio Cação	0,5	0.12684	0.25368
3	Rio da Guarda	19,1	2.31481	0.12119
4	Canal de São Francisco Francisco	187	27.33384	0.14617
5	Canal do Guandu	8,8	0.98300	0.11170
6	Canal do Itá	3,2	0.25368	0.07927
7	Rio Piraquê	4,9	0.38052	0.07766

Para simular uma descarga contínua de sedimentos, foram criadas fontes localizadas na foz do canal com valores de descarga variando de acordo com o horário do lançamento. Essa divisão foi baseada na curva do hidrograma do rio. Além disso, cada um desses valores encontrados para cada período do dia foi dividido ainda em outras três fontes, de modo a diferenciar o sedimento em argila, silte e areia. Assim, para cada dia, há nove fontes ativas, sendo a descarga total das nove igual à descarga sólida diária do canal de São Francisco.

Para diferenciar cada sedimento, foram adotados valores distintos de tensão crítica para mobilidade do grão: para areia (fonte 1), foi adotado $t = 0,22$; para silte (fonte 2), $t = 0,16$; e para argila (fonte 3), $t = 0,12$. Tais valores foram escolhidos de acordo com o diagrama de Shields, citado anteriormente. Adotou-se ainda o

artifício de considerar um valor de $t_{90} = 15$ dias funcionando apenas como um fator redutor de massa, diminuindo assim o número de partículas no modelo.

Para o caso da areia, a faixa de valores obtida abrange sedimentos que, de acordo com a distribuição de Shields, variam de uma areia fina a uma areia média. Para sedimentos finos, o diagrama de Shields não é válido, porém existem formulações que permitem uma aproximação para esses valores, como a recomendada pelo Coastal Engineering Manual.

O modelo onde foram inseridos tais dados rodou acoplado ao modelo hidrodinâmico, também rodado para 90 dias, e acoplado também aos resultados do modelo de geração de ondas, onde foram utilizados 90 dias de dados de vento. Este último permite ao modelo de transporte simular o efeito de tensão no fundo, sendo então transporte gerado por onda e corrente.

O dois cenários seguintes simulam a tendência de deriva de sedimentos depositados na região do bota-fora das recentes obras de dragagem do canal de acesso do Porto de Sepetiba. Neles, não houve inserção de fontes de sedimentos, como nos cenários mencionados anteriormente. Em vez disso, a região do bota-fora foi marcada para que se pudesse avaliar o destino dos sedimentos, por tipo, que possivelmente fossem transportados pelas águas da baía. A diferença entre esses dois cenários, chamados BF e BF vs, é também a imposição ou não de velocidades de sedimentação, com os mesmos valores do canal de São Francisco, sendo adotados também os mesmo valores de tensão crítica para mobilidade do grão.

A hipótese de que estes sedimentos não se depositam retrata o pior caso que pode ocorrer, ou seja, todas as partículas do bota-fora mobilizadas para a coluna d'água poderiam atingir as regiões para onde a hidrodinâmica local tende a transportá-las.

O último cenário, denominado 7R, considerou conjuntamente as descargas sólidas dos sete principais rios contribuintes à baía, inseridos como fontes no modelo. À título de comparação, foram, então, uniformizados os valores de tensão e velocidade de sedimentação adotados para os sete rios.

Assim, utilizou-se tensão de atrito crítica para mobilidade $t = 0,15\text{N/m}^2$ e velocidade de sedimentação $v = 10^{-5}\text{m/s}$, sendo a concentração efluente de cada um dos sete rios (inclusive o canal de São Francisco) constante e calculada para valores constantes de vazão sólida e vazão fluvial (Tabela 1).

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Para análise dos resultados gerados, foram extraídos mapas do modelo com o objetivo de observar a deriva de sedimentos devido ao efeito de ondas e correntes, bem como a tendência de deposição dos mesmos na Baía de Sepetiba. Tais mapas foram obtidos em diferentes condições: maré enchente e vazante, de sizígia e quadratura.

Primeiramente, nos resultados de circulação residual, observou-se que as regiões com maior chance de ter seus sedimentos ressuspensos são diferentes: na maré de sizígia, as correntes são mais fortes nas entradas da baía, enquanto na maré de quadratura verificam-se velocidades mais expressivas na região próxima à costa.

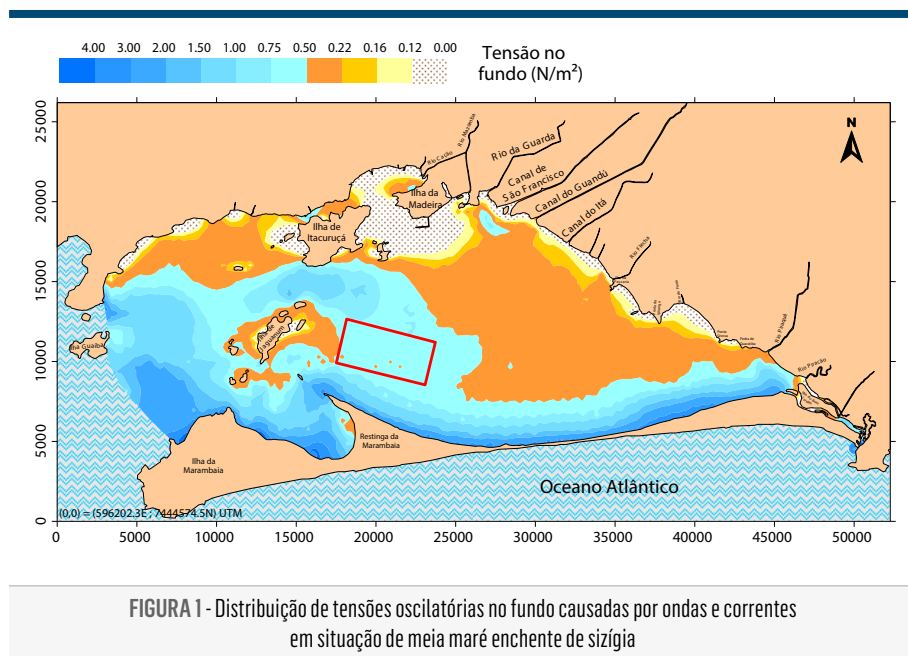
Para os resultados de tensão gerada apenas por correntes de maré, verificou-se uma maior mobilidade de sedimentos quando da ocorrência de marés de sizígia, tanto na enchente quanto na vazante, do que de quadratura, que apresenta correntes mais fracas. E a região com maior mobilidade é aquela onde há maiores profundidades.

Nota-se que somente as correntes, sem o efeito das ondas geradas por ventos, não são capazes de mobilizar os sedimentos depositados na área assoreada para a coluna d'água.

Já o resultado obtido para tensão gerada por ondas de ventos mostra que as maiores tensões são observadas junto à costa e à restinga, sendo essas áreas, a região de maior mobilidade. A maré de sizígia continuou sendo a situação de maior mobilidade se comparada com os resultados para situação de maré de quadratura. Na região do bota-fora do porto, as tensões observadas em todos os mapas não seriam capazes de mobilizar os sedimentos considerados nos cenários simulados.

Embora os efeitos isolados de onda e corrente sobre os sedimentos do fundo não sejam significativos nas mesmas regiões, a ação conjunta de ambos mostra resultados diferentes: na maré de sizígia, grande parte da baía tem seus sedimentos mobilizados para coluna d'água, principalmente na meia maré enchente, onde apenas parte do litoral não contribui para o volume de sedimentos em suspensão. Já na maré de quadratura, verifica-se a quase ausência de mobilidade de sedimentos do fundo, em virtude das tensões bastante baixas observadas.

Em função dos valores das tensões associados às tensões consideradas para mobilidade de cada tipo de grão, podem-se entender os resultados demonstrados nas Figura 1 e 2 da seguinte forma: a área pontilhada apresenta tensões nulas; a área amarelo-claro representa locais onde raramente há transporte; a área que aparece em amarelo mais forte já tem um significado mais importante: marca as regiões onde há transporte apenas de argila, podendo haver também uma pequena parcela de silte mobilizado; e na parte laranja das figuras há mobilização de argila, silte e uma pequena parcela de areia. Toda a região em azul apresenta mobilidade para todo tipo de sedimento considerado nas simulações deste estudo.



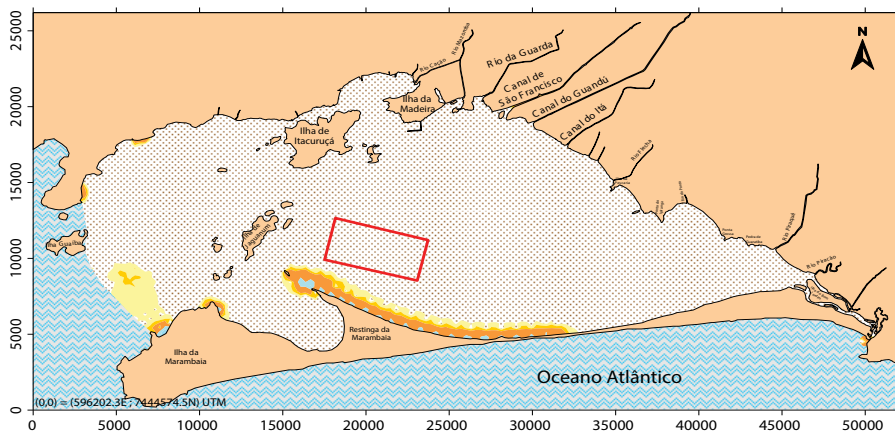


FIGURA 2 - Distribuição de tensões oscilatórias no fundo causadas por ondas e correntes em situação de meia maré vazante de quadratura

Até aí, o que se pode dizer é que não apenas os sedimentos do bota-fora do porto, mas todos os sedimentos que já estão na baía podem ser transportados pelas correntes na ocorrência de maré de sizígia.

A análise dos resultados de transporte, em conjunto com os demais resultados mencionados, permite inferir outras conclusões bem mais interessantes. Observam-se tendências de transporte, condicionado pelos principais fatores que regem o movimento no interior de corpos hídricos, de sedimentos que chegam à baía pelos rios contribuintes e daqueles lançados na mesma como depósito final de rejeito de dragagem. Tudo isso para as condições adotadas, que foram escolhidas de modo a fornecer um resultado amplo e geral.

Ao contrário do que se observa nos cenários CSF, há uma tendência nítida de os sedimentos serem transportados em direção à restinga, parte sul da baía, e não em direção às praias. Não se observa deposição na região mais próxima do continente, mesmo nos resultados de 90 dias de simulação, e verifica-se também que em momento algum da simulação há partículas passando nesta área da baía.

Assim, obteve-se, mapas de distribuição de sedimentos após longo período de simulação. Quando se analisam os resultados das simulações de transporte, considerando a contribuição dos rios da bacia, com carga maior no canal de São Francisco, verifica-se que estes sedimentos têm maior probabilidade de atingir e se depositar na região assoreada do que aquele que tem origem no boca-fora, que tende a sair da baía para o oceano. A deposição é favorecida pela mobilidade nula da região, observada especialmente na maré de quadratura, que se torna, então, condição ideal para o assoreamento.

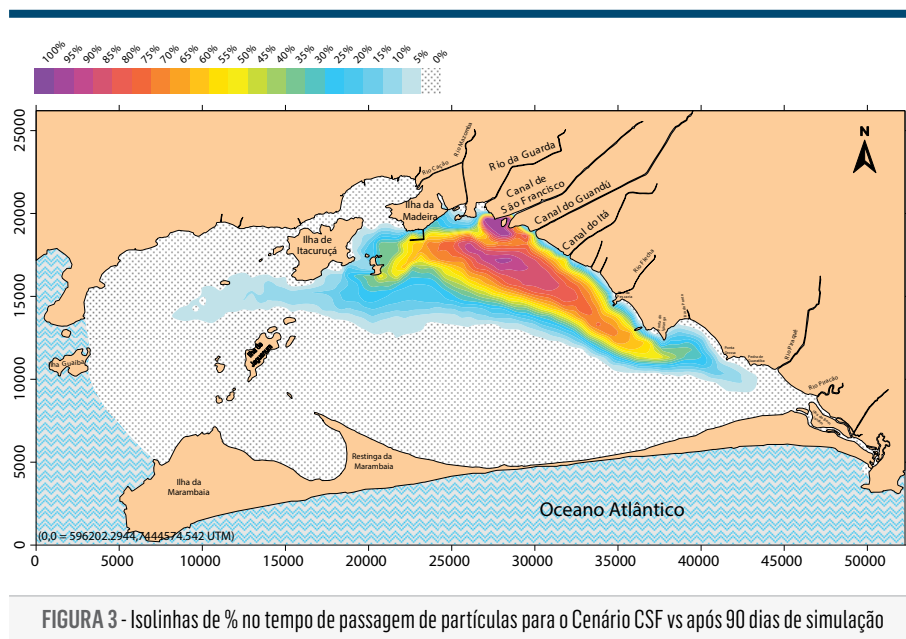


FIGURA 3 - Isolinhas de % no tempo de passagem de partículas para o Cenário CSF vs após 90 dias de simulação

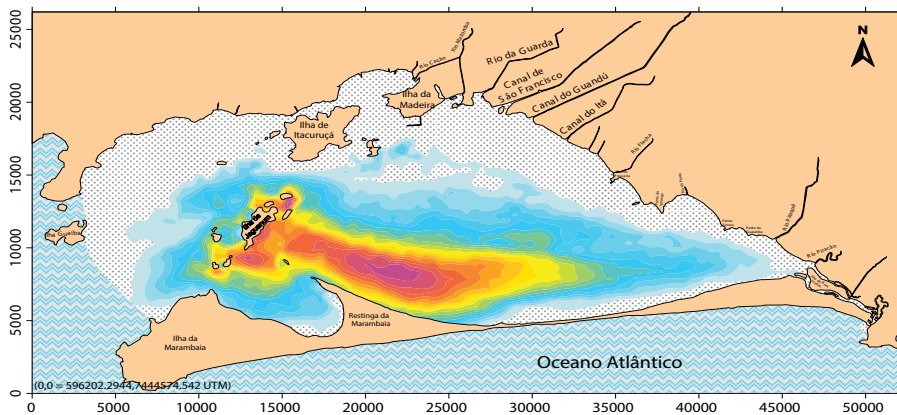


FIGURA 4 - Isolinhas de % no tempo de passagem de partículas para o cenário BF vs após 90 dias de simulação

7. CONCLUSÕES

Em linhas gerais, os resultados indicam uma tendência de acúmulo dos sedimentos provenientes da bacia nas regiões que atualmente se encontram assoreadas, enquanto o mesmo não ocorre com os sedimentos mobilizados no depósito de dragagem, que têm um destino diferente. Os mapas de probabilidade de passagem da mancha de sedimentos sobre as regiões durante os 90 dias simulados confirmam a hipótese e ainda demonstram que, durante a maior parte do tempo, os sedimentos do bota-fora sequer atingem as praias.

Com base em todo o histórico elaborado a respeito da bacia e seu processo evolutivo, sob os diversos aspectos, principalmente das formas de ocupação ao longo dos anos, esse era o resultado esperado. Até porque, antes mesmo de as obras de dragagem do canal de acesso do porto se iniciarem, já se notava um lento processo de assoreamento na praia de Sepetiba e seu entorno, fato que hoje pode ser entendido como um reflexo das alterações sofridas e como uma tentativa da natureza de recuperar seu equilíbrio.

Embora houvesse indicativos de que esse resultado seria o mais provável, não havia uma comprovação prática, e é esta a contribuição deste trabalho, que pode servir de base para novos estudos a serem desenvolvidos na busca por soluções para o problema, já que a causa agora é conhecida.

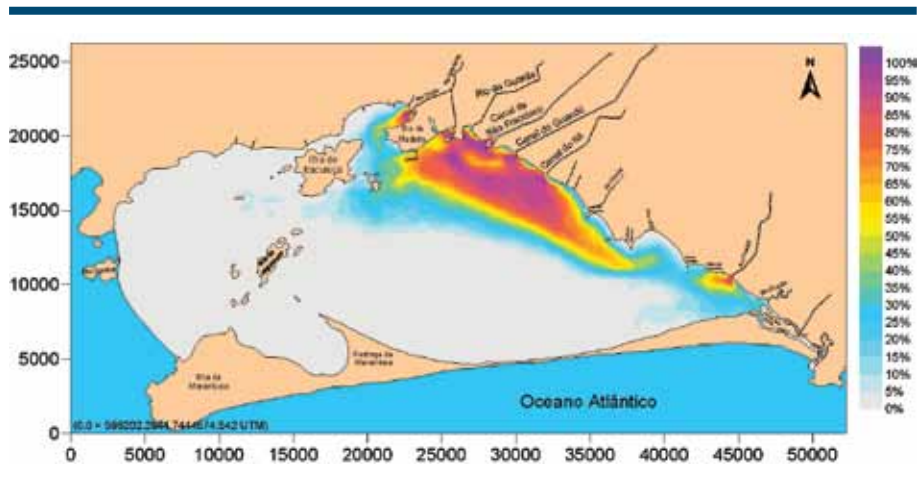


FIGURA 5 - Isolinhas de % no tempo de passagem de partículas para o cenário 7R após 90 dias de simulação

É importante observar que, após a realização da pesquisa na qual se baseou este trabalho, ocorreram mudanças na baía, principalmente na bacia contribuinte, que podem ter influência sobre alguns parâmetros considerados e, consequentemente, nos resultados e até mesmo nas conclusões. Além de novas dragagens realizadas na baía e da instalação de novas indústrias em alguns bairros da bacia, cabe citar aqui as ações de saneamento que a Fundação Rio Águas está realizando na bacia, que resultam em significativa melhoria na qualidade água de alguns rios da bacia de Sepetiba: implantação do Programa Saneando Sepetiba, instalação de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), como as de Sepetiba, Pedra de Guaratiba, Vila Kenedy e Santa Cruz, e recuperação dos sistemas do Favela-Bairro e Morar Legal, como os de Nova Cidade, Vilar Carioca, Catiri, Vila do Céu e Areal, entre outros. Além disso, vale lembrar que não só ações de

saneamento podem ter impacto sobre os resultados obtidos. Por exemplo, um sistema melhorado de coleta e disposição final do lixo pode, em maior escala, reduzir a carga sólida que chega aos corpos hídricos.

O impacto de todos esses novos fatores pode ser avaliado adotando-se a mesma metodologia e critérios descritos neste trabalho, sendo esta outra importante contribuição para estudos futuros.

Espera-se que, num futuro não muito distante, as fontes causadoras do assoreamento que altera drasticamente a orla de Sepetiba, como a poluição dos rios e canais que deságuam na baía, possam ser minimizadas, de modo que o processo seja interrompido e o corpo hídrico consiga se recuperar, a longo prazo, dos danos causados. Os investimentos feitos no sentido de se atingir esse objetivo terão retorno imediato, não só com a recuperação ambiental do local, que voltará a ser atraente ponto turístico, como também pela melhoria da qualidade de vida da população.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. *Bacias hidrográficas e recursos hídricos da macroregião 2 – bacia da Baía de Sepetiba*. Rio de Janeiro, 2001. 79p. (Projeto PLANÁGUA SEMADS/GTZ).
- [2] MULTISERVICE ENGENHARIA LTDA. *Projeto de dragagem do canal de acesso ao Porto de Sepetiba – RJ: estudo de impacto ambiental*. Realizado por contratação da Companhia Docas do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1997. 2v.
- [3] GOES, H. A. *Baixada de Sepetiba*. Rio de Janeiro, Imprensa Nacional, 1942. 383p.

[4] ROSMAN, P. C. C. *Referência técnica do SisBAHIA-Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental*. Rio de Janeiro, Fundação Coppetec, 2000. (Relatório PENO, 565).

[5] _____. Um sistema computacional de hidrodinâmica ambiental. In: ROSMAN, P. C. C. *et al. Métodos numéricos em recursos hídricos*. Rio de Janeiro, ABRH, 2001. v. 5, cap. 1.

[6] MONTEZUMA, P. N. *Impactos nos processos de assoreamento na Baía de Sepetiba-RJ, de sedimentos oriundos da bacia contribuinte e de dragagens portuárias*. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica)-COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

AUTORA

Patrícia Ney de Montezuma | Mestre em Engenharia Oceânica pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe/UFRJ). Engenheira Civil da Diretoria de Estudos e Projetos da Fundação Rio Águas/Secretaria Municipal de Obras /Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. | pmontezumarj@gmail.com

RESUMO | A caracterização geológica-estrutural para análise ambiental foi conduzida com o auxílio de imagens de fusão de diferentes mapas temáticos, produtos de sensoriamento remoto, derivados de imageamento feito por *Land Remote Sensing Satellite* (Landsat) e *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), utilizado na confecção do modelo digital de terreno. A área estudada abrange o Sub-Gráben Guandu-Sepetiba, região bastante diversificada, com mangues, baías, praias e mata nativa. A escolha dessa área foi motivada pela intensa pressão ambiental na região. Imagens tridimensionais foram geradas e analisadas, auxiliando a compreensão de padrões de drenagem, feições estruturais-geológicas e topografia. Esses estudos apresentam as potencialidades de fusão de produtos derivados do geoprocessamento (mapas, imagens tridimensionais, perfis topográficos) e estudos de natureza geológico-estrutural, como contribuição aos diferentes estudos de natureza geoambiental. A demanda por locais de descarte de lixo, bem como de fontes de matérias-primas como areia, tem encontrado em Seropédica, Rio de Janeiro, um local ideal. Riscos inerentes ao processo, associados à questão geoambiental, tais como vazamentos em aterros sanitários, gasodutos, movimentos de massa gravitacionais, contaminação do Aquífero Piranema e inundações, tornam necessário intensificar o monitoramento ambiental nessa região vital para o abastecimento de água do Rio de Janeiro, pertencente à bacia hidrográfica do Rio Guandu (BHRG).

PALAVRAS-CHAVE | Geologia Ambiental; Geologia Estrutural; Sensoriamento Remoto; Sub-Gráben Guandu-Sepetiba.

ABSTRACT | Characterization of geologic structures for environmental analyses were performed, with an aid of a fusion of thematic maps, Landsat images and a Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) data, for Digital Elevation Model (DEM) construction. The area defined for this research is to embrace the Sub-Graben Guandu-Sepetiba, diversified region, with mangroves, bays, beaches and forests in the southwest portion of the state of Rio de Janeiro (RJ), Brazil. The choice of this area was motivated by the increasing environmental pressure in this region. A three-dimensional image of the area was generated and analyzed for the better comprehension of topography, stream drainage patterns and structural-geological features. This research presents the potentialities of derived products of geoprocessing (maps, tridimensional images, topographic profiles) in contribution for the geo-environmental studies. The demand for new places for garbage disposal, besides raw materials sources like sand, find in Seropédica, at the Rio de Janeiro State, an ideal place. Inherent risks of the process associated with leaks in garbage dumps, gas pipelines, landslides, aquifer contamination and floods, make necessary an increasing environment monitoring of this important water supply region of RJ, that belongs to the Hydrographic Basin of the Guandu River (BHRG).

KEYWORDS | Environmental Geology; Structural Geology; Remote Sensing; Sub-Graben Guandu-Sepetiba.

Análise estrutural aplicada aos estudos geoambientais no Sub-Gráben Guandu-Sepetiba-RJ

Fernando Machado de Mello

1. INTRODUÇÃO

Na área do Sub-Gráben Guandu-Sepetiba (SGGS) [1], objeto do presente estudo, encontram-se a Baía de Sepetiba e a bacia hidrográfica do Rio Guandu (BHRG), com os rios Santana e Mazomba drenando as serras do Mazomba e das Araras e o Rio São Pedro (Maciço do Tinguá) (Figura 1). Caracteriza-se por ser uma área intensamente urbanizada da Baixada Fluminense, onde se sobressaem os municípios de Queimados, Japeri, Paracambi, Seropédica, Nova Iguaçu, Itaguaí, e a zona oeste do município do Rio de Janeiro. Essa populosa região é conhecida por ser a área mais degradada do Estado do Rio de Janeiro [2], como provam o desmatamento das encostas, o assoreamento dos rios, a disposição inapropriada de resíduos, a falta de saneamento básico e a exploração de areais sem controle, entre outros.

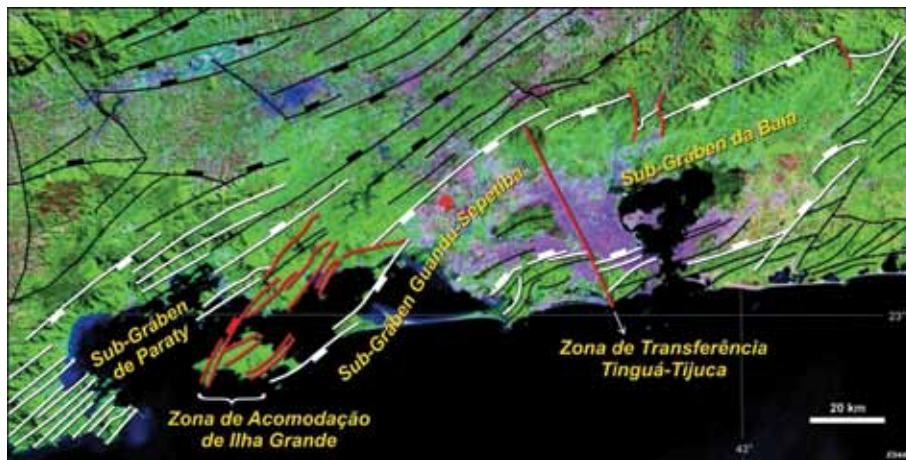


FIGURA 1 - Imagem de satélite (Landsat7) do Sub-Graben Guandu-Sepetiba – (SGGS) com a interpretação estrutural do Graben da Guanabara, subdividido em Sub-Grabens (Baía, Guandu-Sepetiba e Paraty), pela Zona de Transferência Tinguá-Tijuca e Zona de Acomodação de Ilha Grande-Sepetiba. Principais falhas normais em branco e a estrela, área do aterro sanitário de Seropédica-RJ. Modificado [1]

2. PROCEDIMENTOS

Iniciou-se o trabalho com o levantamento de mapas geológicos, estruturais, geoambientais e bibliografia existentes. As imagens georeferenciadas de diferentes períodos utilizadas no presente trabalho são dos satélites Landsat 5 e 7, através dos sensores TM (Thematic Mapper) e ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), respectivamente. A cena utilizada foi a 217/076, ortoretificada e georeferenciada pelo United States Geological Service (USGS), disponível gratuitamente na página do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). Os tratamentos e processos relativos ao imageamento foram realizados nos aplicativos ENVI® e Corel®. As imagens foram submetidas a técnicas de combinação entre bandas espectrais e realce de contraste por equalização do histograma, além de razão de bandas e de transformações por principais componentes. A imagem SRTM (resolução de 90 m) foi processada para gerar o modelo digital

de elevação (MDE), posteriormente sombreado, variando-se a direção e ângulo de incidência da fonte de iluminação. A cartografia de estruturas geológicas foi feita com base na interpretação integrada de dados de campo, mapeamentos pré-existentes e de modelos de filtragem e de sombreado. Observa-se uma forte relação entre a rede de drenagem e as variações morfológicas expressas pelos lineamentos. Analisou-se a relação entre os fatores morfotectônicos e a paisagem dos ecossistemas utilizando-se produtos de fusão, híbridos bidimensionais e tridimensionais, que permitem uma melhor análise morfológica da área. Foi possível constatar que a localização das novas instalações do aterro sanitário do Centro de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTR) Santa Rosa, em Seropédica-RJ, que servirá ao município do Rio de Janeiro em substituição ao aterro de Gramacho, é muito próxima a zonas de falhas conhecidas, como as duas grandes estruturas geológicas regionais, o Sistema de Falhas Principais de Borda do SGGs e a zona de cavalgamentos da estrutura transpressiva associada ao megacisalhamento de Além-Paraíba do Cinturão Paraíba do Sul [3; 4]. Os dados de interferometria de radar do SRTM revelam novas feições que contribuem com o mapeamento da vulnerabilidade ambiental dos ecossistemas costeiros e também com a determinação de índices de sensibilidade ambiental ao impacto da contaminação de área de recarga do aquífero Piranema [5]. Trata-se, portanto, de informação relevante na elaboração de uma base cartográfica eficaz a ser consultada no plano de contingência em casos acidentais de vazamento de chorume, facilitando a proteção dos ambientes mais sensíveis e vulneráveis. Além disso, se presta ao planejamento da localização de novas áreas de exploração. É importante entender a evolução morfodinâmica da zona costeira em escala temporal, para que áreas industriais não sejam instaladas em locais inadequados e para prever o comportamento futuro de determinadas feições do terreno. Diante do exposto, esta pesquisa objetiva apresentar as potencialidades de produtos oriundos do geoprocessamento e análise estrutural, como recursos ao planejamento ambiental.

As composições coloridas de imagens dos principais componentes utilizadas aqui tendem a apresentar apenas cores espectrais puras e intensamente saturadas, excluindo tons de cinza (o que indicaria correlação). Devido a esse fato, os alvos espectrais se distinguem muito um dos outros, e por isso optou-se por

utilizar nas imagens de fusão de mapas temáticos e MDE a transformada de Brovey [6] com as bandas 7, 4 e 1 em RGB, o que enfatizou aspectos litológicos e seus contatos. Esse método é considerado o mais fotointerpretativo em relação aos outros métodos, como filtro passa alta, APC e transformação IHS. O algoritmo utilizado aqui é o descrito a seguir:

R= banda 7/ (banda 1+ banda 4+ banda 7) + Landsat ETM+ banda pancromática

G= banda 4/ (banda 1+ banda 4+ banda 7) + Landsat ETM+ banda pancromática

B= banda 1/ (banda 1+ banda 4+ banda 7) + Landsat ETM+ banda pancromática

A Figura 2 apresenta as Principais Componentes PC1-PC2-PC3 (RGB) extraídas das bandas 3-4-7 e mostra ótima resposta para praticamente todos os alvos em destaque na região, evidenciando-os com certa clareza. Os sedimentos em suspensão são bem visíveis, de cor verde intensa. Na Baía de Sepetiba é possível a delimitação da influência desses sedimentos e utilizar essa demarcação como dado para o monitoramento ambiental da própria baía. Em branco, os aglomerados urbanos apresentaram grande destaque, sendo possível identificar os municípios de Seropédica e Itaguaí. Os cordões arenosos ao redor da Baía de Sepetiba também assumiram essa coloração. Em amarelo, destaca-se um dos principais problemas ambientais, ligados à extração de areia, na Reta de Piranema (RJ-059). Na coloração em tons de azul, indicando áreas plantadas ou com vegetação preservada, ressalta-se bem a topografia da região. Já os tons de vermelho e rosa estão provavelmente ligados a regiões topograficamente mais rebaixadas e de pastagens. A variação no próprio tom indica solos mais úmidos para solos mais secos.

A partir das imagens orbitais de sensoriamento remoto elaborou-se uma série de representações, utilizando-se o MDE e, com ferramentas do aplicativo ENVI®, foram elaboradas figuras tridimensionais. Essas representações apresentam informações pertinentes ao relevo da área (declividade, rugosidade e direção das vertentes), além de dados sobre a geologia local. Por último, elaboraram-se imagens tridimensionais a partir da sobreposição de imagens Landsat sobre o MDE. A imagem tridimensional permite ao usuário visualizar os elementos espaciais e, principalmente, o relevo.

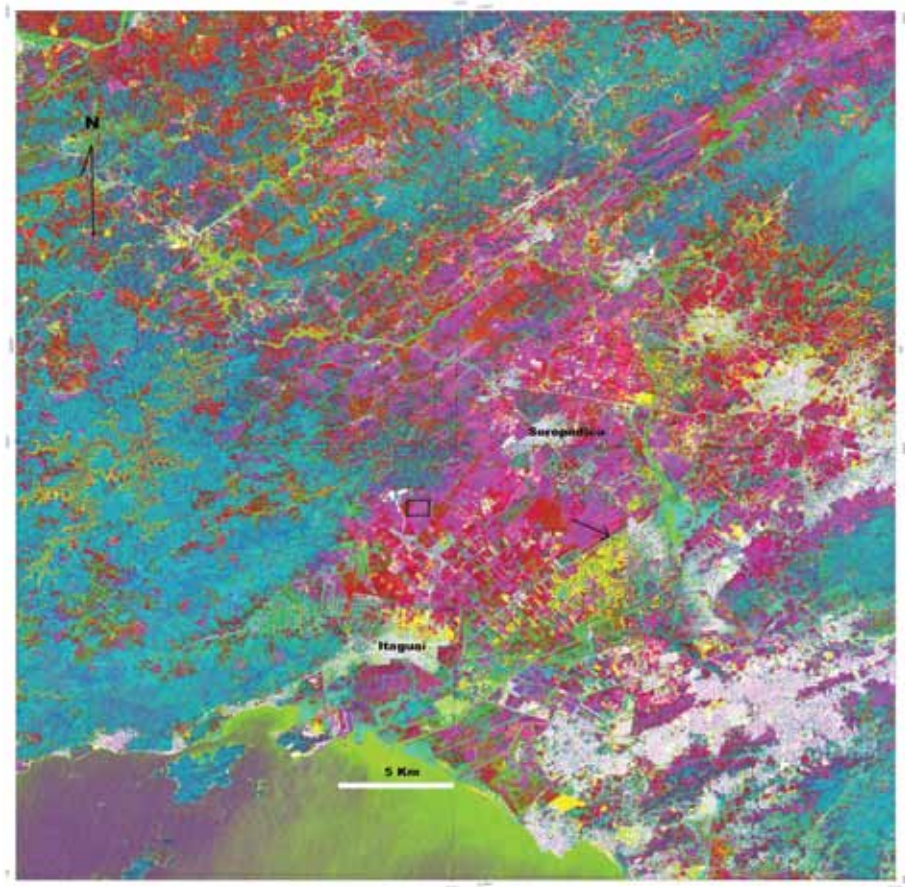


FIGURA 2 - Composição colorida RGB com as principais componente PC1, PC2 e PC3, das bandas 3, 4 e 7 (Landsat 7) com a localização do novo Aterro Sanitário CTR- Sta. Rosa (retângulo) e os principais areais (seta) de Seropédica-RJ e Itaguai-RJ

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOMORFOLÓGICOS DA REGIÃO

Na área de estudo foram identificadas principalmente granitoides brasileiros pré a sin-colisionais do complexo Rio Negro [7] e granitoides tardi-colisionais da suíte Serra das Araras [8], rochas vulcânicas do Cretáceo, além de sedimentos colúvio-aluvionares, depósitos fluviais e flúvio-marinhos, areno-siltico-argilosos (Figura 3).

Esses sedimentos quaternários de origem aluvionar, depósitos de sistemas fluviais, como barras de pontal, meandros abandonados, sedimentos de preenchimento de canal, são a principal fonte de areia para construção civil no Estado do Rio de Janeiro. A configuração atual da paisagem do Gráben da Guanabara e seu subdomínio, no Sub-Gráben Guandu-Sepetiba-SGGS [1], resulta em grande parte de uma evolução onde o soerguimento regional, no Mesozóico-Paleógeno, seguido de grandes desnivelamentos de blocos através de falhas predominantemente NE, seriam responsáveis pela geração dos Grábens terciários. No Neógeno-Quaternário houve a compartimentação da região em grandes domínios morfológicos com características transpressivas, transtensivas ou extensionais.

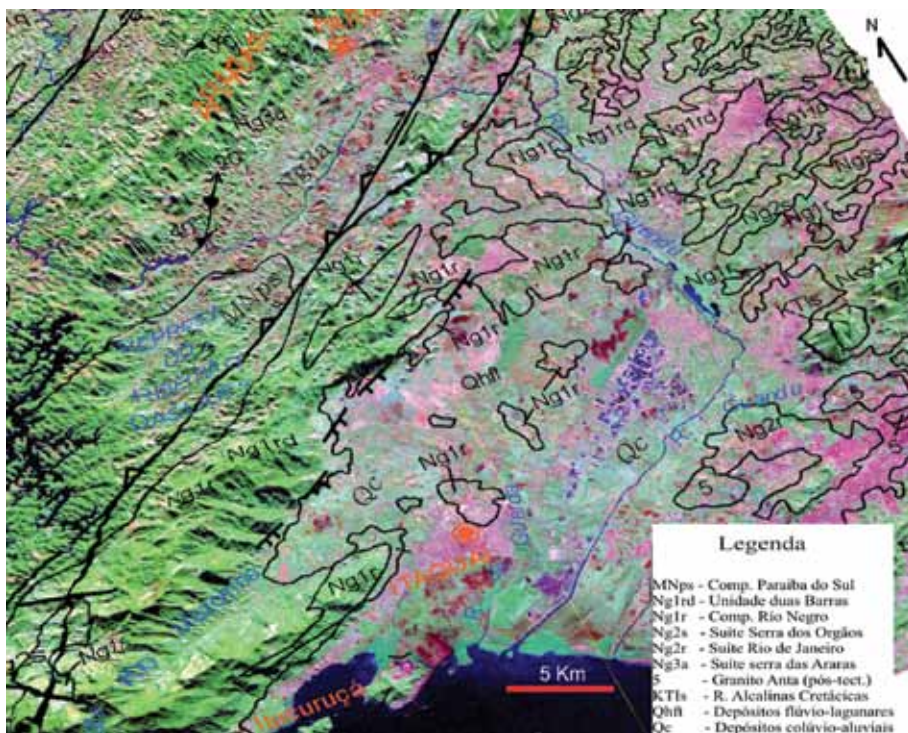
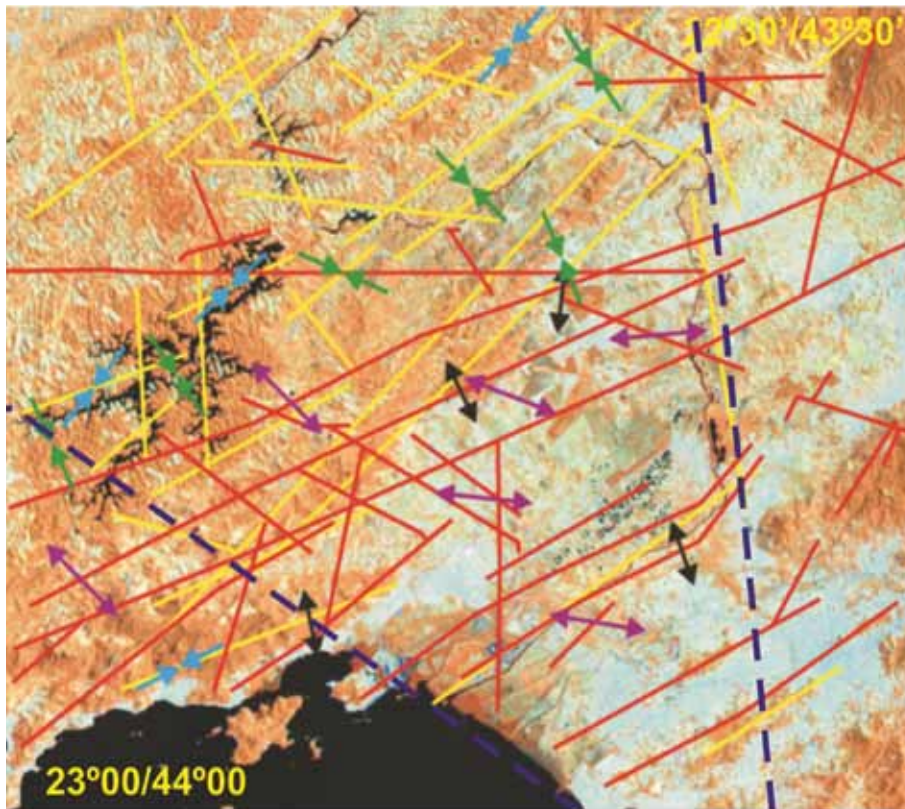


FIGURA 3 - Diagrama com mapa geológico 1:400.000 da área [2] sobre triplete RGB 741 e MDE derivado de dados SRTM-90m. Elevação da topografia com exagero de 7X

Na área de estudo destacam-se duas grandes estruturas rúpteis que delimitam o SGGs, o Sistema de Falhas de Transferência e o de Borda (Figura 1), que sofreram reativação, configurando o principal evento tectônico no Cenozóico. Estudos focados em neotectônica na região [9] atestam que os eventos tectônicos são atuantes até hoje. Levantamento estrutural [10], utilizando-se técnicas de sensoriamento remoto e modelagem digital de terreno, visando reconhecer a densidade de lineamentos na área de estudo, postula que regiões de altos topográficos são alinhadas paralelamente a vales de drenagens e à linha de costa da Baía de Sepetiba, que é controlada tectonicamente por falhamento transferente (Figura 4).



LEGENDA









-  Direção dos esforços, relacionados a extensão inicial NNW-SSE
-  Direção dos esforços, relacionados a transcorrência sinistral, com compressão NE-SW
-  Direção dos esforços, relacionados a transcorrência dextral, com compressão NW-SE
-  Direção dos esforços, relacionados a extensão de direção WNW-ESE
-  Direção dos esforços, relacionados a compressão final de direção E-W (WNW-ESE)
-  Lineamentos fotointerpretados por SALVADOR (1994)
-  Lineamentos fotointerpretados neste projeto
-  Zonas de Transferências Prováveis

FIGURA 4 - Principais elementos estruturais interpretados na área de estudo

Geomorfologicamente [2], na área em pauta encontra-se a unidade dos Maciços Costeiros e Interiores, alinhados WSW-ENE. Apresentam densidades de drenagem altas a muito altas. O padrão de drenagem é, geralmente, dendrítico e centrífugo ou em treliça. Destaca-se o Maciço do Mendanha, um maciço intrusivo isolado, que, juntamente com o Maciço de Tinguá (241), de forma dômica, apresenta cristas paralelas e padrão de drenagem dendrítico a retangular, condicionado pela rede de fraturamento (Figura 5). O primeiro maciço atua como zona dispersora de águas entre a zona oeste do município do Rio de Janeiro e a Baixada Fluminense, sediando nascentes de tributários das bacias dos rios Guandu e Cabuçu. As encostas desses maciços apresentam um alto potencial de vulnerabilidade a eventos de erosão e movimentos de massa, muitas vezes desencadeados pela degradação da cobertura vegetal decorrente da expansão urbana. Escarpas Serranas ocorrem como um conjunto alinhado WSW-ENE, representado na região pelas serras de Mangaratiba e Mazomba, das Araras e Paracambi, entre os terrenos planos e colinas isoladas da Baixada de Sepetiba (111, 122, 221 e 222) e o relevo colinoso da depressão interplanáltica do trecho Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (232). Esse escarpamento estende-se da Serra da Calçada até o local do conduto da represa de Ribeirão das Lajes, numa direção SSW-NNE. A unidade é definida pelos sistemas de relevo Escarpas Serranas Degradadas e Degraus em Borda de Planaltos (253), sendo drenada pelos principais formadores da bacia do Rio Guandu: Ribeirão das Lajes e Rio Santana, alojado no Gráben homônimo. Esse trecho da Serra do Mar reflete o controle estrutural mostrado na disposição do Rio Santana e Ribeirão das Lajes, ligado ao Lineamento Jacuecanga-Conrado. O lineamento de direção SW-NE é paralelo ao escarpamento, em contraposição aos vales estruturais de direção SE-NW, ortogonais a esse lineamento.

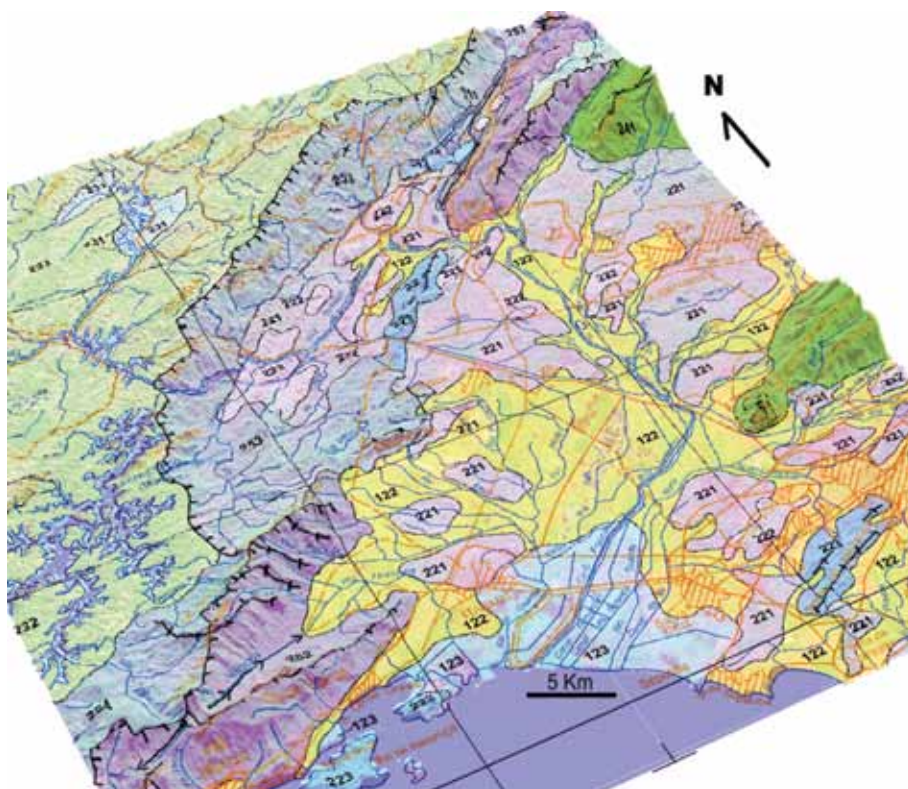


FIGURA 5 - Unidades geomorfológicas da área do Sub-Gráben Guandu-Setetiba sobre triplete RGB – 741, com transformada de Brovey

A região da depressão interplanáltica do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul é caracterizada por zona de colinas desenvolvida sob controle tectônico. Essa superfície caracteriza-se, na porção oeste, por uma depressão entre alinhamentos de serras (233 e 235), que se conformam com a Serra das Araras (253). O relevo colinoso (232) torna-se, em direção ao alto curso do Rio Pirai e dos formadores do reservatório de Ribeirão das Lajes, morrotes e morros baixos (233). Segue-se um domínio montanhoso (254) próximo à escarpa das serras Mangaratiba e do Mazomba (252), com elevações de até 1.300 m de altitude. Essa zona coincide, em grande parte, com a faixa de ocorrência da zona de cisalhamento transcorrente dextral de Além Paraíba. Machado e Endo (1993) também analisaram o conjunto

dessa feição geotectônica transpressional, denominando-a “Flor Paraíba do Sul”. A porção leste da depressão interplanáltica do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul consiste também numa depressão embutida entre alinhamentos serranos escalonados desse vale (233 e 235) e o reverso montanhoso (254) do planalto da Região Serrana, serras de Paracambi e Miguel Pereira (252 e 253). Esse trecho da depressão é menos extenso que o anterior, alinhado na direção estrutural WSW-ENE. Caracteriza-se também por um domínio de colinas (231) no eixo da depressão, por onde corre o Rio Paraíba do Sul, e por um relevo de morrotes (233), em direção aos terrenos elevados circundantes. A unidade geomorfológica baixada das baías de Guanabara e Sepetiba consiste em áreas resultantes de eventos de regressão e transgressão marinhas. Ainda ocorrem zonas de mangues (123). A morfologia mais extensa do SGGs é composta por planícies colúvio-aluviais (122). Áreas planas de baixadas são também constituídas de colinas e morros isolados e por sedimentos fluviais e de colúvio (221 e 222) ou cortadas pelas planícies fluviais (111).

As principais unidades geoambientais delimitadas da área [2] estão representadas na Figura 6:

3.1 Domínio geoambiental I – Faixa Litorânea

Este domínio abrange as seguintes unidades geoambientais: planícies fluvio-marinhas ou mangues (1); planícies fluviolagunares ou brejos (2a;2b1/2b2); baixadas (3a; 3b1/3b2; 3c); planícies fluviais ou várzeas (4a; 4b1/4b2); planícies costeiras (5a); salinas (5b); dunas (5c); tabuleiros (6); colinas isoladas (7a1/7a2; 7b;7c); colinas baixas (8a1/8a2; 8c; 8d); Mar-de-Morros (9a1); morrotes e morros baixos (10a2/10a3; 10b; 10c); serras alinhadas (13b1/13b2); maciços alcalinos(14a2/14a3); maciços costeiros (15a2; 15b).

3.2 Domínio geoambiental II – Região Serrana

O subdomínio Litoral Sul Fluminense abrange as seguintes unidades geoambientais: planícies fluvio-marinhas ou mangues (1); baixadas (3b1); planícies costeiras (5a); morrotes e morros baixos (10a1); serras alinhadas (13b1); maciços costeiros (15a1).

3.3 Domínio Geoambiental IV – Depressão do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul

Este domínio abrange as seguintes unidades geoambientais: planícies fluviais ou várzeas (4a); tabuleiros (6); colinas baixas (8b); mar-de-morros (9a1/9a2; 9b1); morrotes e morros baixos (10a2/10a3; 10b); serras alinhadas (13a1/13a2; 13b1/13b2); maciços alcalinos (14a2).

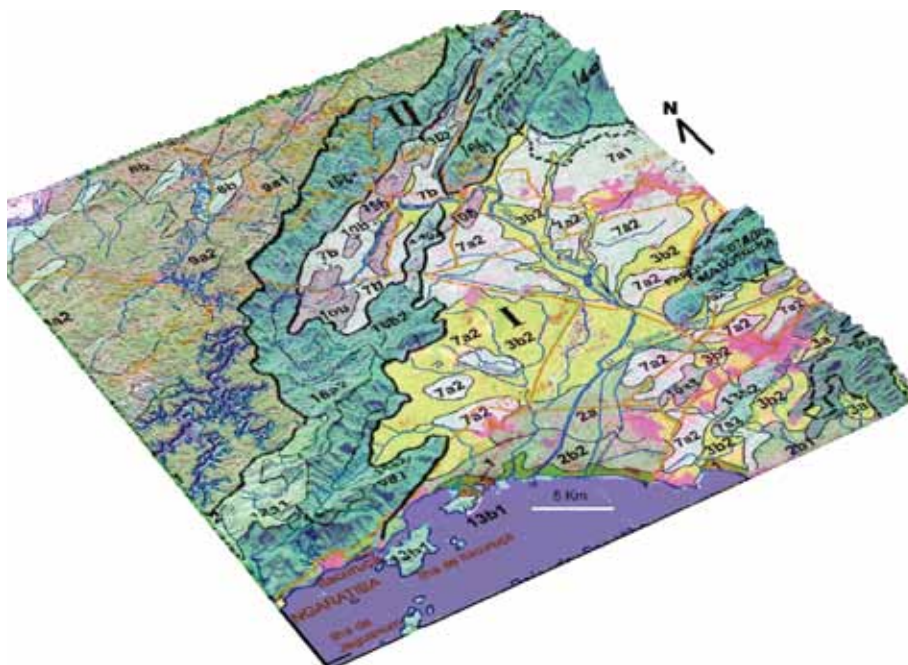


FIGURA 6 - Imagem de fusão da área de estudo, mostrando as unidades geoambientais, sobre composição colorida do triplete RGB 741 e MDE

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo de sombreamento direcional executado permitiu a simulação da direção e ângulo de incidência da iluminação, selecionadas de acordo com as orientações preferenciais dos elementos estruturais do terreno. O uso de aspectos de sombreamento na análise da superfície foi possível graças à interferometria de radar utilizada pelo SRTM, que permite gerar o modelo digital de elevação (MDE). Neste trabalho foram gerados modelos de sombreamento que ressaltaram lineamentos topográficos com direção preferencial NE, subparalelos ao sistema de falhas brasileiras e à foliação principal. Esses lineamentos são os mais proeminentes, sendo seguidos por aqueles com direção NW, subparalelos a sistemas de falhas de transferência. Lineamentos NS e EW foram também identificados, em menor proporção. A partir da interpretação das imagens acima foram extraídas feições lineares, tendo sido também elaborado um mapa de lineamentos tectônicos. A análise revelou, em ordem decrescente de importância, as seguintes direções:

- ≡ NE-SW - Os lineamentos são anastomosados, curvilíneos e extensos, às vezes curtos e retilíneos. Coincidem com as principais estruturas tais como as zonas de cisalhamento dúctil, contatos e foliação metamórfica principal do embasamento e parecem se interceptar com o sistema NNE. A esse sistema se acham encaixadas as bacias cenozoicas, o Rio Paraíba do Sul e seus principais afluentes. Essas estruturas foram reativadas em falhas, que efetivamente exercem o controle das orientações dessas feições;
- ≡ NNE-SSW - Os lineamentos são de curto comprimento e retilíneos, com alguns quilômetros de extensão. Em algumas áreas essa direção intercepta as estruturas do sistema anterior;
- ≡ NW-SE - Os lineamentos são de curto comprimento e retilíneos. As falhas (normais no Eocretáceo) deslocam (transcorrência sinistral predominante) lineamentos NE-SW, bem como feições geológicas, estruturais de fraturas mais antigas do pré-Cambriano, deslocadas pelas NE, com drenagens ao longo do Rio Paraíba do Sul e seus afluentes;
- ≡ ENE-WSW - São lineamentos curtos e retilíneos. Expressados por vales estruturais que alojam rios encaixados em linhas de fraturas e falhas. Nessa

direção também ocorrem lineamentos de menor comprimento e retilíneos, interceptando algumas estruturas NW-SE;

- ≡ NNW-SSE - São lineamentos extensos e retilíneos. Expressados por vales estruturais que alojam rios rejuvenescidos encaixados em linhas de fraturas e falhas. Nesta direção também ocorrem lineamentos de menor comprimento e retilíneos, interceptando estruturas NE;
- ≡ N-S - de direção entre N0-5E e N0-5W - Os lineamentos são os menos expressivos na região e aparecem como traços curtos e retilíneos;
- ≡ E-W - Os lineamentos são curtos e retilíneos. Algumas direções acompanham as curvaturas das zonas de cisalhamento anastomosadas e, na evolução geomorfológica, condicionam certas escarpas de falhas menores na Serra do Mar.

Foram correlacionadas idades de eventos que influenciaram a estruturação, a geomorfologia e a evolução da área de estudo:

- ≡ Cretáceo Inferior – ligado a um primeiro campo distensivo que levou à ruptura do Gondwana Ocidental, foi controlada pelas descontinuidades pré-cambrianas (NE-SW), afetando mais a região da Serra da Mantiqueira;
- ≡ Cretáceo Superior – relaciona-se com um segundo pulso da tectônica distensiva, que se desenvolveu mais na Serra do Mar, envolvendo deslocamentos de blocos por falhas normais ao longo das estruturas do embasamento pré-Cambriano (NE-SW);
- ≡ Paleógeno – associado a um segundo soerguimento da ombreira do rifte mais para o interior. A ele relacionam-se os últimos registros do magmatismo alcalino e o soerguimento final das serras do Mar e da Mantiqueira. Ocorrem intrusões alcalinas (Tinguá e Mendanha p.e) e início da estruturação das bacias do sistema do Rift Continental do Sudeste [9], que se encontram alinhadas e encaixadas ao longo das zonas de cisalhamento dúctil reativadas. Observa-se, através dos lineamentos NE a ENE da fase rift da bacia, falhas de borda em meio-grábens assimétricos, a borda flexural caindo para NW, falhas WNW e transferentes NW a NNW. No Eoceno ocorrem falhas transcorrentes NE sinistrais;
- ≡ Mioceno-Quaternário – três eventos, ligando lineamentos que seccionam as bacias terciárias e quaternárias. As feições lineares no interior do SGGs apresentam direções NW, movimentação dextral, depois extensão EW com falhas

ENE sinistrais e vales NS. Isto sugere atividade tectônica mais jovem que os respectivos sedimentos (neotectônica). Nesta última são descritas falhas do par NE-SW e NW-SE, e do par ENE-SSW e WNW-ESE [9].

Alternativamente ao modelo de fases alternadas [9], pesquisadores [1] postulam que o regime tectônico atuante durante o Cenozóico foi distensional, perpendicular (mecanismo de deformação por cisalhamento puro) a ligeiramente oblíquo (mecanismo de deformação por cisalhamento simples de 15°), que resultou na implantação de uma suave transtensão sinistral, moldando rombo-grábens, escalonando-os sutilmente à direita dos grábens mais orientais e mais offshore.

Os dados obtidos por SRTM foram utilizados na análise morfotectônica da região, gerando imagens tridimensionais do terreno e modelos de sombreamento que ajudaram a constatar que os lineamentos e os alinhamentos de drenagem seguem os mesmos padrões verificados para as juntas distensionais de maior representatividade na área, apresentando orientações NE e NW predominantes, além de orientações EW e NS subordinadas. A observação de MDE permitiu a visualização do controle estrutural sobre as feições de relevo e de drenagens presentes na área: alinhamentos e junções bruscas de drenagens e alinhamentos de corpos rochosos.

5. CONCLUSÕES

O comportamento de um sistema de drenagem está intimamente relacionado com aspectos topográficos, geomorfológicos e elementos morfotectônicos. O conhecimento destes aspectos, e do sistema de drenagens em si, é importante no planejamento de possíveis medidas mitigadoras de problemas ambientais, visto que a declividade e demais aspectos de relevo influenciam no escoamento dos fluidos e são controlados pelo tectonismo atuante na área.

A direção da estrutura principal (NE-SW) é fruto do padrão estrutural do embasamento (foliação principal, falhas e zonas de cisalhamento anastomosadas) e condiciona as principais zonas de fraqueza da região, que se associam ao curso das principais drenagens e são potencialmente as áreas susceptíveis à infiltração e sujeitas à contaminação de aquíferos.

As representações mostradas anteriormente apresentam apenas informações e/ou subsídios para o estudo e o entendimento dos diferentes tipos de ambientes

da área de estudo. Para que essas informações se revertam em conhecimento significativo para os gestores, é necessário que estes utilizem instrumentos capazes de agregar conhecimentos legais, e como objetivo o direcionamento da ação pela sociedade local.

Os resultados aqui obtidos evidenciaram as vantagens do uso de mapas de relevo sombreado e imagens Landsat no estudo estrutural de regiões de relevo aplainado e de pouca ou nenhuma exposição de rochas, em particular na investigação de estruturas regionais e sua expressão local. No controle da contaminação desta área, a componente geológico-estrutural necessita de estudos mais aprofundados, sugerindo-se uma investigação geofísica (sísmica). No entanto, os primeiros resultados aqui apresentados mostram que possíveis falhas ou fraturas podem ser responsáveis pelo agravamento e intensificação dessa dispersão de contaminantes na BHRG. A ferramenta de análise aqui apresentada pode ser utilizada para sugerir locais adequados em futuras áreas de disposição de resíduos, distantes de áreas de deformações (principalmente do domínio rúptil) muito intensas.

O produto final obtido a partir do processamento digital das imagens Landsat mostra a importância do sensoriamento remoto como ferramenta no mapeamento geológico por diferentes razões: a relativa facilidade de sua aplicação e o destaque de lineamentos subsidiários como bons condutos de fluidos. A constatação dos controles de drenagem por cisalhamentos NE e NW consiste em um passo importante no estudo das relações entre o arcabouço tectônico do SGGS e os possíveis problemas ambientais associados à BHRG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ZALÁN, P. V.; OLIVEIRA, J. A. B. Origem e evolução estrutural do sistema de Riftes Cenozóicos do sudeste do Brasil. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 269- 300, 2005.
- [2] SILVA, L. C. *Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro*. 2. ed. Brasília: CPRM, 2001.
- [3] ALMEIDA, F. F. M.; HASUÍ, Y.; CARNEIRO, C. D. R. O lineamento de Além Paraíba. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 43, n. 3/4, p. 575, 1976.

- [4] MACHADO, R.; ENDO, I. Megaestrutura em flor positiva do vale do Rio Paraíba do Sul no Rio de Janeiro e suas implicações tectônicas regionais. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 3.,1993, Rio de Janeiro. *Atas...* Rio de Janeiro: SBG, 1993. p. 208-213.
- [5] TUBBS, D. *Ocorrência das águas subterrâneas – “Aquífero Piranema” – Seropédica, área da UFRRJ e Arredores, Estado do RJ*: relatório final de pesquisa. Rio de Janeiro: FAPERJ, 1999. 123 p.
- [6] DRURY, S. *Image interpretation in geology*. Cheltenham, UK: Nelson Thornes, 2001. 290p.
- [7] TUPINAMBÁ, M.; TEIXEIRA, W.; HEILBRON, M.; BASEI, M. U/Pb zircon age and litogeochemistry of the Rio Negro complex tonalitic gneiss: evidence of a 630Ma magmatic arc at the Costeiro Domain of the Ribeira Belt. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1998, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: SBG, 1998, p. 51.
- [8] MACHADO, R. *et al.* Rochas graníticas e charnockíticas do Estado do Rio de Janeiro: associações petrográficas e suas relações com os domínios estruturais. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 1., 1989, Rio de Janeiro. *Boletim de Resumos...* Rio de Janeiro, p. 151-152, 1989.
- [9] RICCOMINI, C. *et al.* Neotectonic activity in the Serra do Mar rift system (Southeastern Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, Oxford, v. 2, n. 2, p.191-197, 1989.
- [10] ROBERTO, G. G.; MELLO, F. M.; BRUST, L. F. Levantamento de lineamentos estruturais auxiliado por sensoriamento remoto, aplicados à análise geoambiental na região de Itaguaí-Seropédica, RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 45., 2010, Belém. *Anais...* Belém: SBG, 2010.

AUTOR

Fernando Machado de Mello | Mestre (Universidade de São Paulo - USP) e doutor em Geociências (USP e École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne - EMSE - França). Professor adjunto do Departamento de Geociências da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). | fermamll@ufrj.br

RESUMO | Muitos estudos, planos e relatórios técnicos sobre o abastecimento de água da porção oeste da Região Metropolitana do Rio de Janeiro foram realizados ou estão em fase de elaboração. Como os problemas são bastante conhecidos, há diversas propostas de soluções, apresentadas tanto pela comunidade científica quanto por órgãos públicos responsáveis, que concentram-se na principal fonte de água para a região – a bacia hidrográfica do Rio Guandu. Este trabalho analisou duas das principais alternativas concorrentes e propôs algumas soluções para a garantia da qualidade das águas na bacia hidrográfica do Rio Guandu, objetivando prioritariamente o abastecimento de água potável para o consumo humano. Nesse sentido, comparou-se a implantação de um sistema completo de esgotamento sanitário tipo separador absoluto na bacia afluente da captação da Estação de Tratamento de Água (ETA) Guandu com a instalação de unidades de tratamento de águas fluviais diretamente nas calhas dos rios afluentes dessa mesma bacia. Um diagnóstico geral da atual situação apontou os seguintes problemas de qualidade da água: a forte presença dos indicadores de poluição doméstica; o aumento da turbidez causada pelos areais; e os riscos inerentes de um possível acidente industrial. Os cenários existentes e futuros foram previamente descritos para, então, realizar uma análise multicritério por um método consagrado – o Electre III. Finalmente, espera-se que os resultados auxiliem nas questões do gerenciamento da bacia e do abastecimento de água para nove milhões de pessoas no Estado do Rio de Janeiro.

PALAVRAS-CHAVE | Abastecimento de Água; Rio Guandu; Modelo Multicritério; Estações de Tratamento; Qualidade da Água.

ABSTRACT | Many studies, plans and technical reports on water supply in the western portion of the metropolitan region of Rio de Janeiro have been or are in preparation. As the problems are well known, there are several proposed solutions, both by the scientific community as a responsible public agencies, which focus on the main water source for the region – the Guandu River basin. This study examined two major competing alternatives and proposed some solutions for ensuring the quality of water in the river basin Guandu, aiming primarily the drinking water supply for human consumption. Accordingly, we compared the implementation of a complete system of sewage separator type absolute basin tributary capturing the water treatment plant of Guandu (ETA Guandu) with the installation of water treatment units directly in the gutters of river tributaries this same basin. A general diagnosis of the current situation showed the following problems of water quality: the strong presence of indicators of domestic pollution, increased turbidity caused by sand, and the risks of a possible industrial accident. The existing and future scenarios were previously described to then perform a multicriteria analysis by an established method - the Electre III. Finally, it is expected that the results assist in issues of management of the basin and the water supply for nine million people in the state of Rio de Janeiro.

KEYWORDS | Water Supply; Rio Guandu; Multicriteria Model; Wastewater Treatment; Water Quality.

Análise multicritério de propostas para a melhoria da qualidade da água captada para abastecimento da Região Metropolitana oeste do Rio de Janeiro

Frederico Menezes Coelho

José Paulo Soares de Azevedo

Isaac Volschan Júnior

1. INTRODUÇÃO

O problema do abastecimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) é histórico, estendendo-se desde os primórdios do Brasil Colônia até os dias atuais. As soluções grandiosas adotadas para combater a falta de água utilizavam tanto os mananciais de serra quanto os grandes rios que cruzam o estado, em conformidade com o aumento populacional da região do lado oeste da Baía de Guanabara, sendo o município do Rio de Janeiro o principal beneficiado. Entretanto, atualmente, o Rio Guandu tem sido a única solução viável para o abastecimento ora em questão, pois a revisão do plano diretor de abastecimento de água da Região Metropolitana oeste (CNEC, 2004) revelou a inexistência de outras fontes além daquelas já amplamente estudadas, e que abastecem a

região, tais como: o próprio Rio Guandu, o reservatório de Ribeirão das Lajes, o sistema Acari e os mananciais locais de pequeno porte. Dessas fontes, a grande maioria pertence à bacia hidrográfica do Rio Guandu, que teve sua vazão natural mínima extremamente ampliada com a transposição dos rios Pirai e Paraíba do Sul, no início do século XX, passando de 25 m³/s para 120 m³/s (Sondotécnica, 2007). Logo, os afluentes destes mananciais também influenciam o abastecimento de água da RMRJ oeste, de maneira direta e indireta.

A ETA Guandu utiliza as vazões transpostas dos rios Pirai e Paraíba do Sul, oriundas da geração de energia hidrelétrica no Rio de Janeiro, para abastecer cerca de nove milhões de pessoas no Estado do Rio de Janeiro (Cedae, 2008). Após 50 anos, a evolução da capacidade da estação foi extremamente significativa, pois foi projetada inicialmente para produzir 13,8 m³/s, quando teve sua construção iniciada na década de 1950 e terminada em 1955, com a inauguração da velha estação de tratamento de água (Veta), que posteriormente foi ampliada para 24 m³/s, entre os anos de 1961 e 1964. No período entre 1978 e 1982, a ETA Guandu foi novamente ampliada, dessa vez para 40 m³/s, em consequência do aumento da área de atendimento após a fusão dos antigos estados da Guanabara e do Rio de Janeiro, em 15 de março de 1975. Surge, então, a nova estação de tratamento de água (Neta), ao lado da Veta. Já entre os anos de 1993 e 1994, a capacidade era de 47 m³/s (STE, 1994). Atualmente, a vazão média é de 43 m³/s e a vazão outorgada, de 45 m³/s, sendo, portanto, a maior estação de tratamento de água em operação no mundo, certificada pelo *Guinness World Records* em 2008 (Cedae, 2008).

Na década de 1950, a barragem do Rio Guandu construída para a tomada d'água da ETA Guandu formou um reservatório de regularização – a chamada Lagoa Guandu, localizada imediatamente na foz dos rios Queimados e Ipiranga, afluentes do Rio Guandu, que, conseqüentemente, recuaram suas calhas para dar lugar ao lago do reservatório, gerando remansos. Assim sendo, o espelho de água da Lagoa Guandu vem aumentando ao longo dos anos, devido às operações da barragem principal da ETA Guandu e ao assoreamento causado pela poluição doméstica e industrial oriunda desses rios afluentes. Esses fatores são uma preocupação antiga no que tange o abastecimento de água da RMRJ, conforme citado no diagnóstico do plano diretor de abastecimento de água em 1985 (Engevix, 1985) e atestado pelos dados mais atuais de qualidade das águas nas estações

de amostragem dessa parte da bacia, apresentados pela Fundação Estadual de Engenharia de Meio Ambiente (Feema) (2008) e pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos (Cedae) (Da Costa *et al.*, 2007). Cabe destacar que os valores dos indicadores de poluição são bem maiores nos afluentes da Lagoa Guandu do que no próprio Rio Guandu a montante da barragem principal da ETA Guandu, de acordo com as citadas amostragens. Aliás, a origem do nome Lagoa Guandu é referente ao seu funcionamento como amortecedor da poluição, tal qual uma lagoa de estabilização. Nesse sentido, a Lagoa Guandu armazena os efluentes domésticos e industriais que recebe dos seus afluentes – os rios Queimados e Ipiranga. Porém, como não é oficialmente uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) do tipo lagoa de estabilização, o lodo depositado ao longo dos anos não é removido. Sendo assim, a altura do seu espelho de água vem diminuindo à medida que o lodo é acumulado no fundo. Em consequência disso, a área da lagoa também aumenta em trechos onde não há diques de contenção, tal qual o dique (trecho retilíneo) da margem direita da lagoa ao longo da margem esquerda do Rio Guandu, próximo à barragem auxiliar da ETA Guandu.

Com as premissas acima, foram avaliadas duas opções conflitantes para mitigar a poluição doméstica oriunda da Lagoa Guandu antes que ela alcance a captação da ETA Guandu. Para tanto, o modelo multicritério foi utilizado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente foi realizada ampla pesquisa bibliográfica sobre o assunto, com as seguintes atividades principais: coleta de dados e de informações nos diversos órgãos municipais, estaduais, federais e privados envolvidos; estudo de planos diretores de abastecimento de água potável (PDA) e de esgotamento sanitário (PDES) (STE, 1994); análise dos planos estratégicos de recursos hídricos das bacias hidrográficas contribuintes; identificação dos projetos desenvolvidos ou em fase de desenvolvimento para a questão; consultas diversas (artigos, mídia etc.). Na sequência, com as informações reunidas, procedeu-se aos diagnósticos de qualidade das águas, de demandas, de outorgas e de disponibilidade hídrica da bacia do Rio Guandu. Em relação ao abastecimento de água potável e às propostas de solução, tabelas de eficiência e curvas de consumo versus custos foram elaboradas para auxiliar a análise técnica e econômica, tanto da situação

existente quanto das opções aventadas. Finalmente, as alternativas propostas foram analisadas sob a ótica do modelo multicritério.

O fluxograma de todo o processo de decisões para resolver um problema é visualizado na Figura 1. Nesse caso, o problema é a qualidade da água captada pela ETA Guandu, sendo o objetivo a melhoria dessa qualidade. Já as alternativas concorrentes são: a implantação de um sistema completo de esgotamento sanitário tipo separador absoluto na bacia afluenta (rios Queimados e Ipiranga) da captação da ETA Guandu versus a instalação de unidades de tratamento de águas fluviais diretamente nas calhas dos rios afluentes (Queimados e Ipiranga) dessa mesma bacia. A primeira alternativa forma um cenário definitivo, isto é, uma solução definitiva para o problema. Por outro lado, a segunda alternativa representa um cenário paliativo ou uma solução provisória, pois não resolve o problema da poluição na bacia, apesar de melhorar a qualidade da água captada.

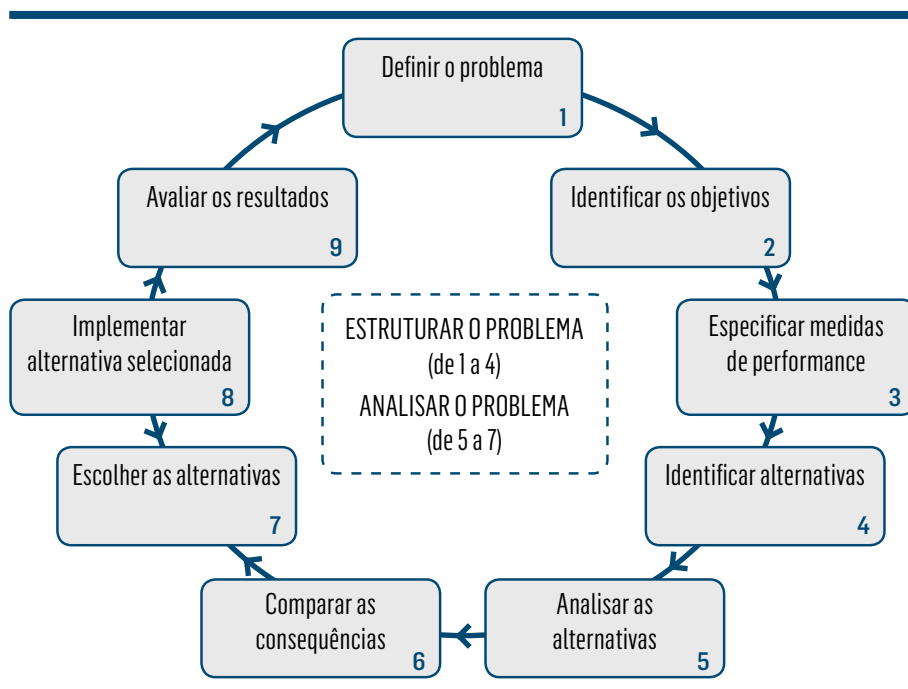
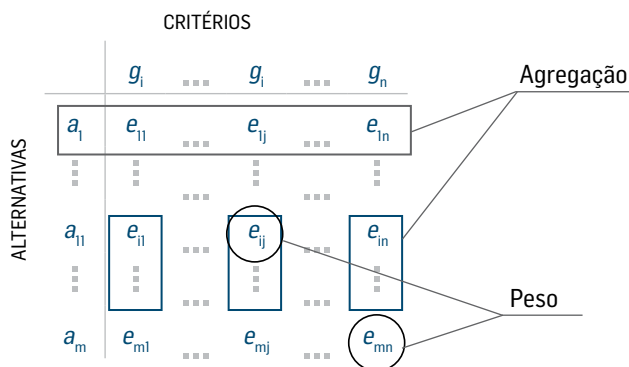


FIGURA 1 - Ciclo para tomada de decisões
Fonte: Petrie *et al.*, 2006

A metodologia multicritério (Figura 2) auxiliou a análise dos cenários propostos. O modelo adotado foi o Electre III (*ELimination Et Choix Traduisant la REalité*), criado por Bernad Roy em 1978 (Zuffo, 1998). A matriz multicritério do modelo englobou os cenários (alternativas), os critérios de avaliação, a pontuação de cada cenário (Tabela 1) e os pesos médios de cada critério (Tabela 2). Esses pesos foram adaptados de informações presentes em trabalhos similares na área de planejamento ambiental de recursos hídricos, tal qual o elaborado por Zuffo (1998) sobre a bacia do Rio Cotia (SP). Os dados da matriz foram então inseridos e rodados no programa computacional Electre III, versão demo 3.1, da MCDA Softwares, da Universidade de Paris, na França, que apresentou os resultados do modelo.

Matriz multicritério



Relações de preferências binárias

$a P b$	a tem preferência estrita a b	Situação de preferência estrita
$a I b$	a tem preferência estrita a b	Situação de indiferença
$a Q b$	não tem certeza que $a P b$	Situação de preferência fraca
$a R b$	a e b são incomparáveis	Situação de incomparabilidade

FIGURA 2 - Matriz do modelo multicritério Electre III

Fonte: Petrie *et al.*, 2006

Os critérios utilizados no modelo foram baseados em aspectos econômicos e ambientais, sendo: O1 = melhoria na qualidade da água em manancial da bacia; O2 = melhoria na qualidade da água captada para abastecimento público; O3 =

aumento da oferta hídrica em manancial da bacia; 04 = aumento da oferta de água potável para abastecimento público; 05 = custo de implantação; 06 = custo de operação e manutenção; 07 = risco de interrupção do sistema de produção de água potável devido à floração de cianobactérias.

TABELA 1 - FAIXA ADOTADA PARA OS VALORES DOS CENÁRIOS NO MODELO MULTICRITÉRIO

Critério		Faixa de valores para a pontuação das alternativas				
N°	unidade	01 ponto	02 pontos	03 pontos	04 pontos	05 pontos
01	mgDBO/l	> 20	11 a 20	6 a 10	4 a 5	0 a 3
02	mgDBO/l	> 20	11 a 20	6 a 10	4 a 5	0 a 3
03	m³/s	0 a 5	6 a 10	11 a 20	21 a 30	> 30
04	m³/s	0 a 5	6 a 10	11 a 20	21 a 30	> 30
05	10 ⁶ R\$	> 100	51 a 100	11 a 50	6 a 10	0 a 5
06	10 ⁶ R\$/ano	> 15	11 a 15	6 a 10	2 a 5	0 a 1
07	10 ³ cel/ml	> 100	51 a 100	21 a 50	11 a 20	0 a 10

TABELA 2 - VALORES UTILIZADOS PARA OS PESOS DOS CRITÉRIOS NO MODELO MULTICRITÉRIO

N°	Critérios		Pesos adotados			
	Zuffo (1998)		Média	Moda	Iguais	Mínimo
01	19	Qualidade da água	9,67	10	10	8
02	19	Qualidade da água	9,67	10	10	8
03	9	Vazão acrescida	7,04	8	10	2
04	9	Vazão acrescida	7,04	8	10	2
05	1	Econômico	8,63	10	10	10
06	1	Econômico	8,63	10	10	10
07	6	Perigo de acidentes	7,71	8	10	5

Fonte: Zuffo, 1998

Ressalta-se que o objetivo deste trabalho é analisar duas alternativas para solucionar alguns dos principais problemas de abastecimento de água potável da Região Metropolitana oeste do Rio de Janeiro, concentrando-se em ações emergenciais, estruturais e gerenciais, após um diagnóstico qualitativo e quantitativo da bacia do Rio Guandu, em termos de água disponível para abastecimento público. Nesse sentido, as alternativas devem ser concorrentes para validar os resultados do modelo de análise.

O método multicritério foi adotado por ser um modelo mais flexível e com maiores recursos para analisar as alternativas do que a relação custo-benefício aplicada em órgãos governamentais, que são os principais tomadores de decisão na gestão dos recursos hídricos da bacia do Rio Guandu e no gerenciamento do abastecimento de água potável para a população da RMRJ.

3. RESULTADOS OBTIDOS OU ESPERADOS

Os seguintes cenários foram estabelecidos e comparados no modelo multicritério Electre III:

- ≡ **Atual:** Sistema de esgotamento sanitário irregular em toda a bacia dos rios Queimados e Ipiranga, ou seja, apenas fossas sépticas individuais operando na faixa de 30% de eficiência de remoção de carga orgânica (DBO);
- ≡ **Definitivo:** Implantação do sistema de esgotamento sanitário com tratamento secundário na bacia dos afluentes da Lagoa Guandu (rios Queimados e Ipiranga), antes da captação da ETA Guandu, sendo capaz de remover 90% da carga orgânica (DBO), conforme a concepção do plano diretor de esgotamento sanitário elaborado por STE (1994);
- ≡ **Paliativo:** Instalação de Unidades de Tratamento de Rio (UTRs) tipo flotação diretamente nas calhas dos rios Queimados e Ipiranga, logo a montante da Lagoa Guandu, isto é, na foz de cada rio para tratá-lo em tempo seco ($2,5\text{m}^3/\text{s}$), sendo capaz de remover 70% da carga orgânica (DBO), conforme o sistema proposto pelo Projeto Proágua – Fase III (Coppe, 2000).

O cenário atual teve a função de calibrar o modelo. Portanto, os resultados aqui apresentados referir-se-ão aos novos cenários. Nesse sentido, o horizonte adotado para a implantação dos novos cenários (definitivo e paliativo) foi de três anos, apenas para efeito de conclusão total das obras, pois os custos de operação e manutenção foram comparados por ano, de acordo com o critério 06 da Tabela 1.

Para o cenário definitivo, foram adotados 30% dos custos de implantação do denominado sistema Guandu de esgotamento sanitário, presente no plano diretor de esgotamento sanitário da Cedae de 1994 (STE, 1994) e correspondente à Figura 3, pois a população na bacia dos rios Queimados e Ipiranga representa um terço da população total prevista para o sistema Guandu do plano, de acordo com os estudos populacionais do Projeto Proágua – Fase III (Coppe, 2000). Então, esse sistema Guandu engloba também as bacias dos rios Queimados e Ipiranga. Em tempo, o tratamento secundário seria por estações de tratamento de esgotos convencionais tipo lodos ativados, com os custos estimados em dólares americanos sendo convertidos para reais, conforme a cotação média do mês de outubro de 2008.

O custo adotado para a operação e manutenção de uma ETE convencional tipo lodos ativados foi o da ETE do Ribeirão Arrudas da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa MG), que girava em torno de R\$ 0,07/m³ de esgoto tratado (Coutinho, 2007). Somam-se também os R\$ 0,03/m³ de esgoto (adotado), relativos aos custos operacionais das elevatórias de rede e aos custos de manutenção dos coletores e das linhas de recalque. Portanto, o valor final utilizado na pontuação do cenário definitivo foi de R\$ 0,10/m³ de esgoto, referentes à operação e manutenção de sistemas completos tipo separador absoluto com tratamento secundário.

Sistemas de esgotamento sanitário completos Bacia do Rio Guandu (PDES 1994)

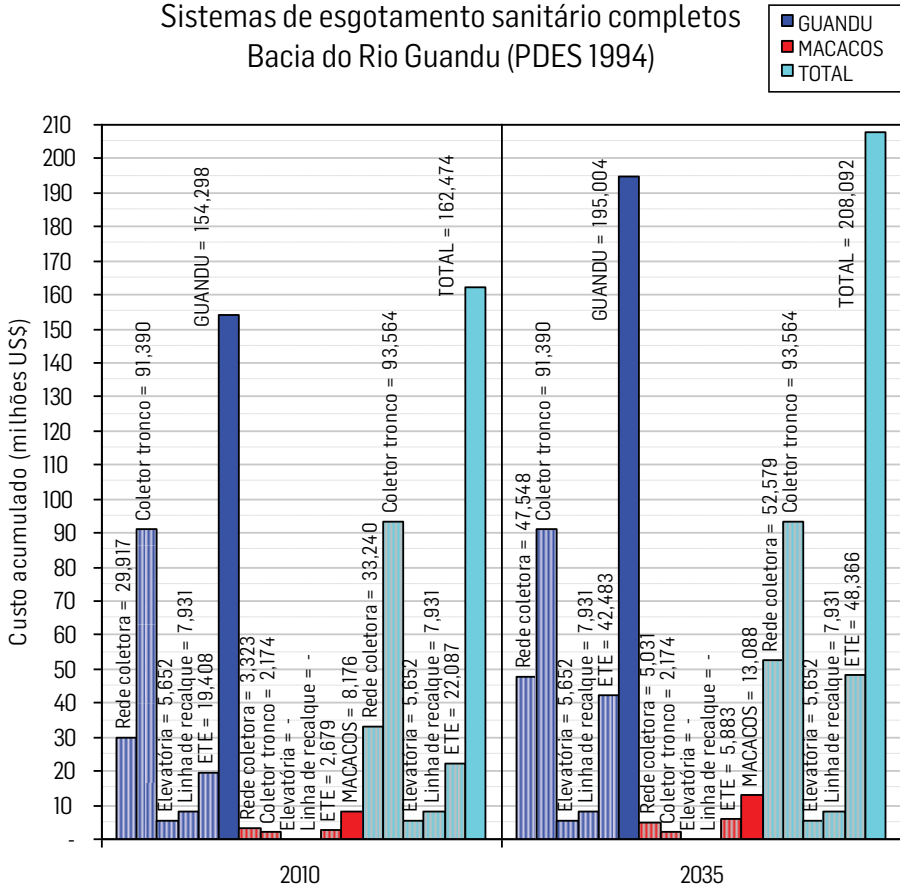


FIGURA 3 - Custos de implantação do esgotamento sanitário na bacia do Rio Guandu

Fonte: STE, 1994

Em relação ao cenário paliativo, diversas fontes de consulta embasaram a composição dos custos de implantação, operação e manutenção dos sistemas de UTR tipo flotação, conforme apresentado na Tabela 3. Os percentuais de custos de operação e manutenção (O&M) da Estação de Tratamento de Águas Fluviais (ETAF ou UTR) dos córregos Ressaca e Sarandi na Lagoa da Pampulha complementaram os valores faltantes das outras fontes. Esses percentuais de consumo de produtos químicos, energia elétrica e pessoal, em relação ao total gasto entre 2004 e 2006, giraram respectivamente entre: 66 e 73%; 12 e 19%; 15 e 16% (Coutinho, 2007). Portanto, as médias desse período foram utilizadas para estimar os custos de O&M das outras UTRs.

A Tabela 4 apresenta os custos das UTRs por vazão (Q_{máx}), após dividir os custos presentes na Tabela 3 pela capacidade máxima de cada estação (Q_{máx}). É importante ressaltar que os custos da Tabela 3 não foram atualizados para valores presentes (outubro de 2008), sendo desprezadas as possíveis variações da moeda nos períodos considerados.

**TABELA 3 - CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO (O&M)
DE UTRS TIPO FLOTAÇÃO EM CURSOS D'ÁGUA**

Q _{máx} (l/s)	Implantação (R\$) I	O&M (R\$/ano) ⁰	O&M (R\$/ano) ⁽¹⁾	UTR (=ETAF)	I	O
150	1.800.000,00	360.000,00	2.198.026,80	Parque Ibirapuera	(2)	(2)
200	5.000.000,00	342.000,00	2.088.125,46	Rio Alto Cachoeira	(6)	(5)
300	3.539.458,06	470.457,60	2.872.440,04	Rio Carioca	(2)	(2)
750	7.305.000,00	3.123.046,87	3.123.046,87	Lagoa da Pampulha	(3)	(3)
1.000	11.678.258,12	715.257,50	4.367.097,65	Arroio Pavuna	(2)	(2)
1.800	23.217.955,20	715.257,50	4.367.097,65	Arroio Fundo	(4)	(2)
10.000	54.000.000,00	12.000.000,00	73.267.560,01	Rio Pinheiros	(2)	(2)

Observações:

I = Exclusive centrifugação e inertização do lodo, exceto Arroio Pavuna;

O = Sem produtos químicos e sem energia elétrica, exceto Pampulha;

(1) Inclusive produtos químicos e energia elétrica, ao acrescentar 83,6%, (68,3% para produtos químicos e materiais de consumo e 15,3% de energia elétrica) no custo de pessoal, ou seja, ao dividir por 16,4%, exceto na Lagoa da Pampulha, que foi a referência (Coutinho, 2007);

(2) Fonte: Rio-Águas, 2004;

(3) Fonte: Coutinho, 2007;

(4) Fonte: CGU (2008), valor noticiado em dezembro de 2007;

(5) Fonte: Adaptado de Caron (2006), adotando o custo médio R\$28.500/mês;

(6) Fonte: Gazeta (2007), valor noticiado em julho de 2007.

TABELA 4 - ÍNDICES MÉDIOS DOS CUSTOS DE UTRS TIPO FLOTAÇÃO EM CURSOS D'ÁGUA

Qmáx	Implantação		Operação e Manutenção			
	(l/s)	R\$/l/s)	(R\$/ano) /l/s)	(R\$/ano) /m³	R\$/mês	(R\$/mês) /m³/s)
150	12.000,00		14.653,51	0,465	183.168,90	1.221.126,00
200	25.000,00		10.440,63	0,331	174.010,46	870.052,28
300	11.798,19		9.574,80	0,304	239.370,00	797.900,01
750	9.740,00		4.164,06	0,132	260.253,91	347.005,21
1.000	11.678,26		4.367,10	0,138	363.924,80	363.924,80
1.800	12.898,86		2.426,17	0,077	363.924,80	202.180,45
10.000	5.400,00		7.326,76	0,232	6.105.630,00	610.563,00
Média	11.126,49		6.680,85	0,212	-	556.737,87

As características principais dos sistemas de UTRs tipo flotação avaliados no modelo estão presentes na Tabela 5. Cabe destacar que o Rio dos Poços é um afluente importante do Rio Queimados, por isso foi incluso no nome do sistema UTR proposto pelo Projeto Proágua – Fase III (Coppe, 2000).

TABELA 5 - CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE UTR TIPO FLOTAÇÃO PROPOSTOS A MONTANTE DA LAGOA GUANDU

Características do sistema	Unid.	Sistema Poços e Queimados	Sistema Ipiranga
Vazão (permanência 50%)	l/s	2.000	500
Concentração de SST afluente	mg/l	75	75
Lodo bruto flotado (3,5% sólidos)	m³/dia	351,80	87,95
Lodo beneficiado (seco e inerte)	m³/dia	39,6	9,9
Custo unitário de implantação	R\$/l/s)	11.126,49	11.126,49
Custo de implantação	R\$	22.252.980,00	5.563.245,00
Custo unitário anual de O&M	R\$/ano/l/s)	6.680,85	6.680,85
Custo parcial anual de O&M	R\$/ano	13.361.700,00	3.340.425,00
Custo mensal de O&M	R\$/mês	1.113.475,00	278.368,75
Transporte do lodo beneficiado	km	50	50
Custo estimado de transporte	R\$/mês	150.000	50.000
Custo total mensal de O&M	R\$/mês	1.263.475,00	328.368,75

A Lagoa Guandu pode ser vista na foto da tomada de água da ETA Guandu a seguir (Figura 4), que também apresenta os tributários avaliados e a localização das UTRs tipo flotação em fluxo propostas.



FIGURA 4 - Foto da tomada d'água da ETA Guandu e do local de implantação das UTRs propostas

Pelo fato de as alternativas não envolverem aumento de vazão, os critérios 03 e 04 não foram inseridos no modelo. Já a *performance* ou pontuação (Tabela 1) para cada critério (Cr) foi baseada nas características individuais da alternativa, sendo os seguintes valores:

- ≡ Cenário definitivo: Cr01 = 5, Cr02 = 5, Cr05 = 2, Cr06 = 4 e Cr07 = 1;
- ≡ Cenário paliativo: Cr01 = 4, Cr02 = 4, Cr05 = 3, Cr06 = 1 e Cr07 = 1.

Após executar, o modelo Electre III apontou o **cenário definitivo** como a melhor opção na tabela de preferência e no fluxograma. O modelo gerou os seguintes coeficientes no modo de definição direta: $a = -0,15$; e $b = 0,3$. Enquanto que os coeficientes de indiferença e preferência tiveram valores adotados iguais 0,5 e o coeficiente de veto não foi utilizado.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As medidas paliativas geralmente são mais imediatas e econômicas do que as soluções definitivas. Entretanto, dependendo da situação, o efeito paliativo pode se tornar oneroso ao extremo e também não atender às expectativas técnicas criadas em torno da solução. Com isso, o custo que parecia ser menor no princípio atinge rapidamente valor comparável ao de uma solução definitiva, com a operação desse sistema provisório. É o que se verificou na Pampulha quanto ao desempenho das UTRs em fluxo, que apresentaram custos de implantação e operação muito mais elevados do que os esperados (Coutinho, 2007). Tal fato era de se esperar, pois o tratamento é muito semelhante ao de uma Estação de Tratamento de Água (ETA) convencional e não ao de uma estação de tratamento de esgotos convencional, pois uma quantidade de produtos químicos considerável é utilizada, chegando a custos semelhantes aos processos de ETAs do mesmo porte.

Se o modelo da gestão fosse implantar estações em linha nos cursos d'água, seria muito mais plausível um desvio de parte do curso para uma ETE convencional e tratá-lo em tempo seco. Um exemplo de solução seria implantar as ETEs previstas pelo PDES 1994 (STE, 1994) a montante da captação da ETA Guandu, ao invés de a jusante como foi previsto, a fim de tratar os rios Ipiranga e Queimados em sua foz.

Dessa forma, seriam atendidos os princípios do Plano Nacional de Recursos Hídricos, segundo os quais o usuário lançaria os seus efluentes a montante da sua captação de água bruta, a fim de tratá-los adequadamente, após receber os seus próprios elementos poluentes lançados no curso d'água. Além disso, a

estação já estaria apta a se tornar “definitiva”, depois das implantações dos sistemas de coleta e transporte dos esgotos das bacias dos rios dos Poços, Queimados e Ipiranga. Essa opção seria também mais econômica se fossem utilizados sistemas de tratamento por lagoas em série, instaladas primeiro em caráter provisório e, progressivamente, tornando-se definitivos. Ressalta-se que existe área disponível suficiente para a implantação de ETEs do tipo lagoas de estabilização logo a montante da captação da ETA Guandu, que poderiam vir agregadas com lagoas de maturação, para a remoção de coliformes termotolerantes de modo mais eficiente do que em uma UTR em fluxo, sendo que a última é considerada uma ETE com tratamento primário quimicamente assistido.

Quanto às recomendações, múltiplas combinações de cenários agregados com as diversas alternativas propostas para a melhoria da qualidade da água podem ser analisadas, possibilitando várias situações distintas, bastando alterar apenas a matriz multicritério. Além disso, é altamente recomendável ampliar o número de critérios de avaliação, incorporando critérios sociais, a exemplo do elaborado por Zuffo (1998). Cabe destacar que a principal providência para validar os resultados é a correta definição dos cenários.

Outra recomendação importante é a atualização do plano diretor de esgotamento sanitário de 1994, ainda vigente, face ao tempo decorrido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Controladoria Geral da União. Ações do poder executivo federal. In: _____. Prestação de contas do presidente da república, 2007. Brasília, DF, t. 1, cap. 6, 2008. Disponível em: www.cgu.gov.br/Publicacoes/PrestacaoContasPresidente/2007/Tomo_I/arquivos/parteVI/6.18.pdf. Acesso em: 24/08/2008.

CARON, C. F. *Proposta de um sistema para remoção de sólidos suspensos e redução de matéria orgânica e de nutrientes em corpos aquáticos de pequeno porte: estudo de caso no córrego Blanche*. 2006. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

CEDAE. Companhia Estadual de Águas e Esgotos. *Sítio*. Rio de Janeiro. Disponível em: www.cedae.rj.gov.br. Acesso em: 01/10/2008.

CNEC. *Serviços de revisão do plano diretor de abastecimento de água da região metropolitana do Rio de Janeiro, relativamente aos municípios atendidos pelos sistemas Guandu, Ribeirão das Lajes e Acari – RJ*. Rio de Janeiro: CEDAE, 2004. (revisão 0)

COUTINHO, W. Emprego da flotação a ar dissolvido no tratamento de cursos d'água: avaliação de desempenho da estação de tratamento dos córregos Ressaca e Sarandi afluentes à Represa da Pampulha. 2007. Dissertação (Mestrado)-Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

DA COSTA, L. S. et al. *Investigação sobre o grau de contribuição das águas afluentes nas variáveis físico-químicas e densidade das cianobactérias na água de captação do rio Guandu*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2-7 set. 2007, Belo Horizonte. *Anais...* Rio de Janeiro: ABES, 2008. p. 1-63.

ENGEVIX. *Plano diretor de abastecimento de água da região metropolitana do Rio de Janeiro: relatório final*. Rio de Janeiro: CEDAE, 1985.

FEEMA. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE. *Rio Guandu: estações de amostragem da sub-bacia do rio Guandu – período 2006a 2007*. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: www.feema.rj.gov.br/sub-bacia-guandu.asp?cat=75. Acesso em: 21/10/2008.

FUNDAÇÃO RIO-ÁGUAS. Processo Flotflux. Subsídios para contratação por inexigibilidade. In: _____. *Parecer técnico do grupo de trabalho da portaria n. 12, de 27 de fevereiro de 2004 sobre a despoluição do sistema lagunar de Jacarepaguá*. Rio de Janeiro, 2004.

PETRIE, J., STEWART, M., BASSON, L., et al. *Structured approaches to decision making for cleaner products and processes*. Sidney, University of Sydney. Department of Chemical Engineering. 2006.

SISTEMA Flotflux – e a culpa é de Tebaldi. *Gazeta de Joinville*, v. 3, n. 144 p. A4-A5, 5/9 jul. 2007.

SONDOTÉCNICA ENGENHARIA DE SOLOS S. A. *Plano estratégico de recursos hídricos das bacias hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim: relatório gerencial*. Brasília, DF: ANA, 2007.

STE. Serviços Técnicos de Engenharia S. A. *Plano diretor de esgotamento sanitário da região metropolitana do Rio de Janeiro e das bacias contribuintes à Baía de Guanabara: síntese*. Rio de Janeiro: CEDAE, 1994.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. COPPE. Estudo de alternativas para melhoria de qualidade da água a montante da ETA Guandu. In: _____. *Projeto PROÁGUA: fortalecimento institucional, fase III – sistema de gestão da bacia do Rio Paraíba do Sul*. Rio de Janeiro, 2000.

ZUFFO, A. C. *Seleção e aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento ambiental de recursos hídricos*. 1998. Tese (Doutorado)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

AUTORES

Frederico Menezes Coelho | Mestre em Ciências e Engenharia Civil pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe/UFRJ). Engenheiro Coordenador de Projetos da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (Cedae/RJ). Representante da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (Abes) no Comitê Guandu. | fredericomenezes@cedae.com.br

José Paulo Soares de Azevedo | Mestre em Engenharia Civil pelo Coppe/UFRJ. Doutor em Mecânica Computacional pelo Wessex Institute of Technology (Reino Unido). Professor do Coppe/UFRJ. | zepaulo@coc.ufrj.br

Isaac Volschan Júnior | Mestre em Engenharia Sanitária pelo Institute for Hydraulics and Environmental Engineering (Holanda). Doutor em Engenharia de Produção pelo Coppe/UFRJ. Professor da Escola Politécnica da UFRJ. Diretor da Abes-RJ. | volschan@poli.ufrj.br

RESUMO | Em vários lugares do mundo, as atuais características de ocupação das bacias hidrográficas têm contribuído para a ocorrência de importantes surtos infecciosos de caráter emergente e reemergente, causados por protozoários patogênicos veiculados pela água. Muitos países incluíram a investigação e o monitoramento da presença do protozoário *Cryptosporidium* em suas rotinas metodológicas para verificação da qualidade da água, como exigência baseada em lei específica.

No Brasil, a Portaria 2914/2011, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, em seu Art. 31, especifica a investigação de cistos de *Giargia* spp e oocistos de *Cryptosporidium* spp em determinada condição de resultados de análises de água que indiquem essa necessidade.

PALAVRAS-CHAVE | Rio Guandu; Protozoários Patógenos; Qualidade de Água.

ABSTRACT | In several places in the world, current occupation characteristics of the watershed have contributed to the occurrence of major outbreaks of emerging and reemerging nature, caused by protozoan pathogens transmitted by water. Many countries have included research and monitoring of the presence of the parasite *Cryptosporidium* in their methodological routines for checking water quality, as a requirement based on specific law. In Brazil, Decree 2914/2011, which sets forth the procedures for control and surveillance of water quality for human consumption and its potability standards, in its Article 31, specifies the investigation of cysts *Giargia* spp and *Cryptosporidium* spp in particular condition results of water analyzes indicate that need.

KEYWORDS | Guandu River; Protozoan Pathogens; Water Quality.

Bacia hidrográfica do Rio Guandu – ação antrópica e potencial presença de protozoários de importância médica

Janaina Silva Vettorazzi

Décio Tubbs Filho

Sandra Maria Gomes Thomé

1. INTRODUÇÃO

A água que abastece a Região Metropolitana do Rio de Janeiro e alguns municípios da Baixada Fluminense tem origem na bacia hidrográfica do Rio Guandu (Figura 1), sendo sua potabilização garantida pela Estação de Tratamento de Água (ETA) da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (Cedae), responsável por uma vazão de aproximadamente 40 m³/s [3].

O Rio Guandu, principal curso d'água desta bacia, possui como principais afluentes os rios dos Macacos, Santana, São Pedro, Poços/Queimados e Ipiranga, todos muito impactados negativamente em função de lançamentos de efluentes *in natura*. Em seu percurso até as barragens da Cedae, recebe influência urbana dos municípios de Japeri, Engenheiro Pedreira e Seropédica [3; 26]. No Rio de Janeiro, possui importância estratégica para a população, por ser a única fonte de abastecimento de água para mais de 12 milhões de pessoas, incluindo

80% dos habitantes da Região Metropolitana. Nas proximidades da Cedae, o Rio Guandu se divide em dois braços e, em ambos, há barragens. Onde está formada uma lagoa que recebe as águas dos rios dos Poços/Queimados e Ipiranga, poluídos por esgotos domésticos, efluentes industriais e lixo, é feita a captação do sistema Guandu [3]. Na condição de usuária a jusante, a parcela da população fluminense abastecida por essa fonte recebe tanto a água impactada oriunda do Rio Paraíba, quanto a que foi degradada ao longo de grande parte do curso do Rio Guandu [1; 3; 7; 26; 38; 40]. Este artigo tem por objetivo produzir um estudo de base conceitual no que concerne à qualidade da água presente na bacia do Rio Guandu, principalmente com relação à presença potencial de protozoários patogênicos na água captada em seus afluentes, e conseqüente risco potencial para 80% dos habitantes da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, consumidores da água proveniente desta bacia hidrográfica.

2. PROTOZOÁRIOS PATÓGENOS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA

Várias espécies de protozoários estão relacionadas à água contaminada, tais como *Cryptosporidium* spp, *Giardia* spp, *Entamoeba histolytica*, *Cyclospora cayetanensis*, *Toxoplasma gondii*, *Acanthamoeba* spp, *Isospora belli*, *Naegleria fowleri*, Microsporidia e outras [4; 5; 6; 20; 21; 27; 28; 30].

Espécies de *Giardia* e *Cryptosporidium*, entre os protozoários patogênicos, são as mais descritas, na literatura científica, como causadoras de surtos infecciosos relacionados com a ingestão de água contaminada, incluindo água pós-tratada. Entretanto, investigações científicas apontam para a necessidade de se atentar para outras espécies de protozoários que, mesmo não sendo patogênicos *a priori*, se presentes na água de consumo humano, podem provocar importantes quadros infecciosos como agentes oportunistas [5; 19; 23; 29].

2.1 *Cryptosporidium*

Protozoário parasito intracelular obrigatório, zoonótico e que infecta uma ampla faixa de animais vertebrados, causando significativo quadro infeccioso para o homem. *Cryptosporidium parvum* e *Cryptosporidium hominis* são espécies causadoras de infecções em humanos. O período de incubação da doença varia de

dois a 14 dias, podendo haver remissão espontânea em alguns indivíduos sadios. A criptosporidiose caracteriza-se por episódios de diarreia aquosa prolongada ou persistente, intensa e intermitente, com dores abdominais, náuseas, vômitos, febre baixa, podendo haver anorexia. As principais fontes de *Cryptosporidium* no meio ambiente são os efluentes orgânicos provenientes da criação de animais no entorno dos corpos hídricos e do esgoto doméstico lançado em cursos d'água, sem tratamento prévio [6]. A significância em relação à presença do protozoário em águas destinadas ao abastecimento público se faz por conta de características de sua forma infectante, os oocistos, que são resistentes ao tratamento convencional de potabilização da água. A presença do protozoário em mananciais tem sido responsabilizada por importantes surtos, gerando apreensão acerca dos suprimentos de água destinados ao abastecimento humano [34]. Surtos infecciosos produzidos por *Cryptosporidium* tendo a água como veículo foram descritos em várias regiões do mundo [11; 19; 20; 21; 23; 24]. No Brasil, não há dados sistematizados sobre a doença, somente determinados estudos sobre a prevalência em populações específicas [16].

2.2 *Giardia*

Protozoário flagelado, considerado o responsável mais comum por causar doenças diarreicas em todo o mundo. No ambiente, pode sobreviver meses, e a utilização de cloro, usado tradicionalmente para realizar a desinfecção da água, não é efetiva para a destruição das formas císticas do parasita [5]. A transmissão zoonótica é bastante expressiva, porém a frequência de sua ocorrência e as circunstâncias sob as quais acontecem ainda não estão elucidadas. Está claro que cães, gatos e bovinos podem ser fontes de disseminação de cistos em águas superficiais [19; 20].

O quadro infeccioso sintomático típico se apresenta após período de incubação de 1-2 semanas. Os sintomas iniciam-se habitualmente com mal-estar e indisposição intestinal, seguidos de náuseas e anorexia. Febre baixa e calafrios também podem ser sintomas iniciais. Sintomas posteriores, nas evoluções crônicas, podem incluir diarreias e dor abdominal. A fase aguda perdura por três a quatro dias, podendo assemelhar-se a outras causas de diarreia, por isto, muitas vezes, não é reconhecida como giardiase [12; 18; 41].

Assim, como para outros microrganismos patógenos, sua introdução nos mananciais pode se dar ou pelo rompimento de redes de esgoto, ou lançamento de dejetos animais. Entre os impactos de origem antropogênica que afetam a qualidade das águas, o despejo de efluentes *in natura* é considerado o de maior relevância [21; 23; 29].

2.3 *Entamoeba histolytica*

O gênero *Entamoeba* apresenta várias espécies que infectam humanos. *E. histolytica* é reconhecida como um protozoário associado com importante quadro infeccioso intestinal. Como agente etiológico da amebíase, apresenta alta incidência em todo o mundo, estimando-se que 12% da população mundial encontra-se infectada [5; 6; 41]. *E. histolytica* é a única ameba intestinal capaz de invadir os tecidos, causando disenteria, ulceração do cólon e formação de abscessos no fígado e pulmões [12]. Seu ciclo de vida inclui pré-cistos, cistos, metacísticos e trofozoítos. Os cistos são as formas infectantes para o homem e sobrevivem na água e nos alimentos. Depois de ingeridos, e atravessado o ambiente estomacal, surgem pequenos trofozoítos metacísticos que se desenvolvem em trofozoítos quando estabelecidos no intestino. A formação dos cistos ocorre somente no trato intestinal [27]. A infecção causa mais mortes do que outros parasitos, à exceção do *Plasmodium* e do *Schistosoma*. O período de incubação pode variar de poucos dias a meses, dependendo da endemicidade. A infecção também pode ser assintomática ou levar à morte. Os sintomas compreendem dores abdominais agudas, sangramento, febre e outros. A transmissão do patógeno pela água é comum nos países desenvolvidos, estando associado, em muitos casos, ao consumo de água originária de suprimentos de abastecimento humano [5; 22; 27; 41].

2.4 *Cyclospora cayetanensis*

Protozoário coccídeo altamente infeccioso, considerado pela literatura científica como um dos mais novos parasitas causadores de doença de caráter reemergente, podendo acometer tanto indivíduos imunodeprimidos quanto imunocompetentes [4; 35]. Doses menores do que 100 oocistos esporulados são responsáveis pelo aumento da probabilidade de ocorrência da infecção do duodeno, cuja consequência pode se manifestar por variados graus de atrofia das

vilosidades e hiperplasia das criptas intestinais, causando uma síndrome diarreica prolongada que pode se estender por vários meses [26; 40]. O gênero está relacionado taxonomicamente com outros protozoários de grande importância médica, tais como *Cryptosporidium* e *Toxoplasma* [33]. Vários surtos de ciclosporiase ocorridos no mundo foram associados com o consumo de água e, em muitos deles, a água estava devidamente clorada. É conhecida a resistência de *Cyclospora* no meio ambiente aquático, motivo pelo qual as águas de sistemas públicos devem ser adequadamente monitoradas, bem como todos os cuidados devem ser tomados em sua captação. O protozoário tem sido detectado em amostras coletadas em suprimentos de água submetidas ao processo convencional de tratamento, as quais haviam exibido resultado negativo para análises de coliformes [4; 5; 6; 20].

2.5 *Toxoplasma gondii*

É um protozoário intracelular, próprio de gatos e outros felinos, que após a ingestão de tecidos contendo as formas infectantes do parasito tornam-se portadores e passam a liberar as formas infectantes (oocistos) no meio ambiente, podendo infectar o homem de diversas maneiras, principalmente pela ingestão de água [2]. Os oocistos podem sobreviver durante meses no ambiente, e são resistentes a desinfetantes, congelamento e processo de secagem. A toxoplasmose provoca partos prematuros, problemas oculares, lesões de pele e alteração cérebro-espinhal, além de infecções prévias [17;13].

Embora a transmissão de *T. gondii* pela água fosse considerada, até recentemente, incomum na ocorrência de surtos relacionados à infecção humana tendo a água como veículo de contaminação, há registros de formas císticas encontradas em indivíduos contaminados com *T. gondii* pelo consumo de água originária de reservatório destinado ao abastecimento humano [5; 10; 32].

2.6 *Isospora belli*

Protozoário parasita obrigatório, sendo o homem seu único hospedeiro, existindo espécies que também infectam animais. Na biologia do parasito, o oocisto constitui a forma infectante, pois é eliminado nas fezes possibilitando a infecção pela rota fecal-oral. O protozoário causa uma infecção denominada isosporiase,

considerada rara, similar à criptosporidiose e giardíase, e tem sido registrada em países das mais diversas regiões do mundo. Geralmente é assintomática, autolimitante após 1-2 semanas, podendo se prolongar por seis meses. Na infecção sintomática, que se manifesta aproximadamente uma semana após a ingestão dos oocistos viáveis, ocorre febre baixa e astenia acompanhada de diarreia com cólicas abdominais. Em indivíduos imunodeprimidos, ocorre infecção crônica do sistema nervoso central e várias outras infecções, incluindo queratite e pneumonia. Também faz parte do quadro infeccioso a formação de úlceras no epitélio córneo, que se tornam crônicas, provocando sintomas não específicos e falsamente diagnosticados como herpes simples [5;16; 39].

2.7 *Naegleria fowleri*

São amebas flageladas de vida livre, amplamente distribuídas no meio ambiente, cuja forma de transmissão ocorre por ingestão de água contaminada contendo as formas císticas. *Naegleria* habita o solo, no entanto, o escoamento, por águas de chuvas, introduz o organismo em lagos, lagoas e rios, águas costeiras e áreas alagadas. O protozoário causa um importante quadro infeccioso de meningoencefalite amebiana primária (Meap), que apresenta progressão muito rápida, quase sempre fatal [38]. Os sintomas são evidentes, imediatos e abruptos, com rápida progressão, com dores de cabeça, febre, náuseas, vômitos, faringite, obstrução nasal ou coriza intensa. Os sintomas persistem com letargia, rigidez da nuca, podendo ocorrer convulsões, coma e morte entre 1-14 dias. Outros sintomas incluem alterações do paladar e olfato, fotofobia, paralisia de nervos cranianos, aumento da pressão intracraniana e anormalidades cardíacas [38]. Infecções subclínicas são possíveis em pessoas saudáveis quando o microrganismo coloniza o nariz e a garganta [14; 36; 37].

2.8 Microsporidia

O termo é uma designação não taxonômica comumente usada para descrever um grupo de protozoários parasitas intracelulares obrigatórios pertencentes ao Filo Microspora, que são capazes de infectar tanto hospedeiros vertebrados quanto invertebrados. Existem aproximadamente 100 espécies identificadas, amplamente distribuídas na natureza. Alguns gêneros são patógenos oportunistas, estando implicados com infecções humanas (*Enterocytozoon*, *Encephalitozoon*, *Nosima*, *Pleistodelfora*, *Vittaforma*, *Trachipleistophora*) [16; 21]. Esses microrganismos são esporos formadores, possuem como característica a formação de um filamento polar por onde é injetado o esporoplasma na célula hospedeira, iniciando, assim, um complexo processo infeccioso no qual novos esporos são formados. Esses esporos têm sido observados como estáveis no meio ambiente e permanecem infectivos por dias a semanas fora do hospedeiro. Por conta das dimensões dos esporos (1-5µm), existem dificuldades para sua remoção pelas técnicas convencionais de filtração.

Relatos sobre pessoas infectadas são dispersos, havendo registros de casos em todos os continentes. As manifestações clínicas mais comuns, especialmente em imunodeprimidos, compreendem uma enterite severa com diarreia crônica, desidratação e perda de peso, podendo a doença se prolongar por 48 meses. *Enterocytozoon* infecta uma variedade de tipos celulares, sendo as complicações mais comuns a keratoconjuntivite, a miosite e a hepatite. Outros quadros associados incluem infecção urinária, respiratória, sinusite e otite. O tratamento terapêutico disponível não se mostra eficaz para todas as espécies [16; 28].

Embora exista uma carência de dados sistematizados que relacionem a infecção humana produzida por esse grupo de protozoários e a ingestão de água contaminada, é possível hipotetizar que formas resistentes desses organismos possam estar circulando em águas ambientais, tendo como origem hospedeiros

infectados que, dessa maneira, podem estar contribuindo com a amplificação e manutenção desses protozoários em suprimentos de água, por conta do lançamento de efluentes não tratados nos corpos hídricos [5;15].

2.9 *Acanthamoeba* spp

São protozoários de vida livre de ampla ocorrência em diferentes ambientes aquáticos naturais. Dependendo da espécie, podem crescer em diversos graus de temperaturas na água [9]. Como patógenos oportunistas, seus efeitos sobre a saúde humana são variáveis, podendo causar encefalite multifocal, também chamada encefalite granulomatosa [27; 28; 31; 36]. Amostras ambientais de *Acanthamoeba* spp são similares às de *N. fowleri* e são caracterizadas por motilidade lenta, citoplasma granular com vacúolos, um núcleo circundado por um halo claro contendo um denso nucléolo central e um grande cariossomo ou endossomo.

3. MATERIAIS E MÉTODO

A área de interesse desse estudo compreendeu a bacia hidrográfica do Rio Guandu (Figura 1). O presente trabalho utilizou como ferramentas de pesquisa: informações obtidas de órgãos governamentais, instituições de ensino, pesquisa e acessos à internet, especialmente as informações sistematizadas pelo Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (Cepis/OPS).

Para avaliação dos aspectos de risco potencial, foram usados dados de resultados do estudo apresentado no Relatório de Diagnóstico das Condições Hídricas, elaborado no âmbito do “Macroplano de Gestão e Saneamento Ambiental da Bacia da Baía de Sepetiba” [3].

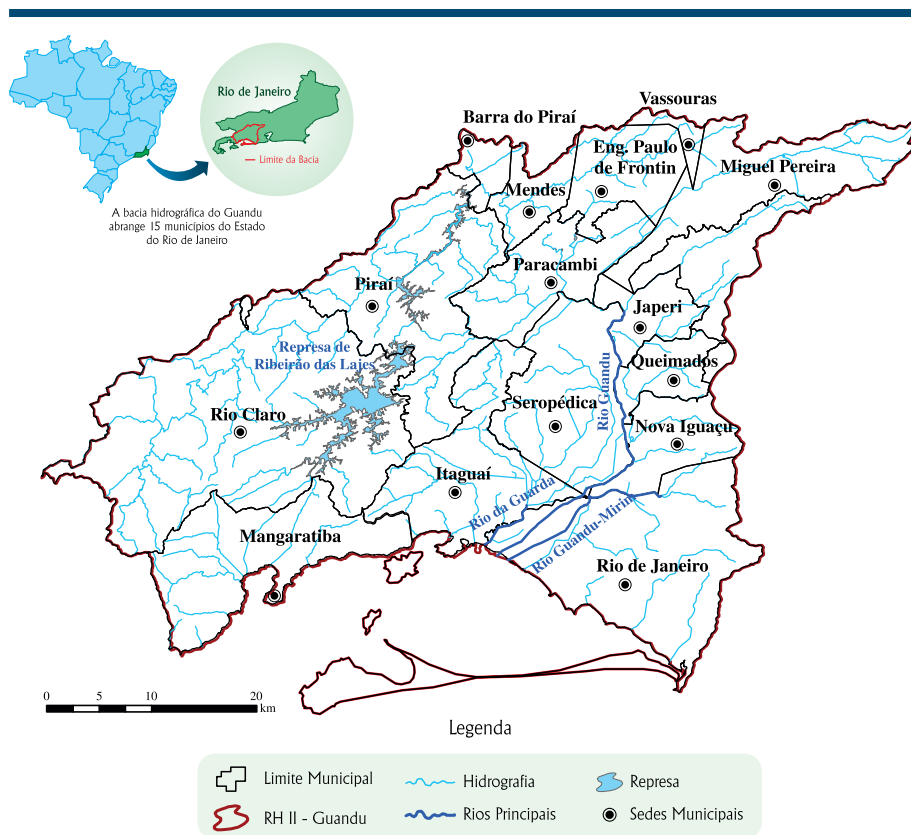


FIGURA 1 - Mapa da Bacia Hidrográfica dos Rios Guandu, da Guarda, Guandu-Mirim – RII
 Fonte: Comitê Guandu 2012

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O diagnóstico sobre as condições hídricas na bacia do Rio Guandu, produzido pela Agência Nacional de Águas (ANA) e elaborado no âmbito do “Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Guandu – 2006”, demonstrou que, em boa parte da bacia, a qualidade da água do Rio Guandu e de seus afluentes encontra-se em situação crítica, com violações de classes de parâmetros, o que está relacionado aos lançamentos de efluentes domésticos orgânicos.

A bacia do Rio Guandu apresenta índices muito baixos de atendimentos por sistemas de esgotamento sanitário. Menos de 10% da população urbana é beneficiada por algum tipo de serviço de coleta de esgoto, há carência generalizada de infraestrutura nesse setor e a maior parte dos esgotos gerados é lançada *in natura* no ambiente aquático, estando a poluição concentrada em trechos do rio e seus tributários. Nos trechos de serra na região da bacia, o reservatório de Lajes e o Rio São Pedro parecem estar em condição de melhor proteção natural. Os rios dos Poços, Queimados, Cabuçu e Ipiranga, que desembocam na lagoa do Guandu, estão poluídos por esgotos domésticos, lixo e efluentes industriais (Figura 2).

Esse quadro é decorrente da falta de coleta de resíduos sólidos nos municípios do entorno, onde os índices de atendimento por esse tipo de serviço são baixos e a disposição final dos rejeitos é feita em lixões quase sempre próximos às margens dos rios, o que contribui para o aumento da carga contaminante desses mananciais.

Dessa maneira, a tomada da Estação de Tratamento da Água da Cedae ocorre em uma área formada por um conjunto de lagoas, cujas águas estão especialmente impactadas. A água afluenta às lagoas tem características anaeróbias e sua descarga é realizada diretamente no Rio Guandu. A condição orgânica dessas águas,

aeração e insolação natural se constituem em um ambiente rico para a proliferação de muitos organismos nocivos à saúde. Assim, o nível de comprometimento da água que chega à ETA para tratamento oferece muitas dificuldades operacionais à sua potabilização.

São necessários a investigação e o monitoramento de protozoários em águas naturais, pois alguns estudos demonstraram que, mesmo para mananciais ainda não atingidos pela ação do homem, foi possível a recuperação de quantidades significativas de formas resistentes desses microrganismos, tal como oocistos de *Cryptosporidium*.

Por conseguinte, o risco potencial devido à presença de protozoários patogênicos ou ambientais presente em águas captadas para o abastecimento humano, é considerado importante, pois mesmo a água pós-tratada não oferece efetiva segurança para a população consumidora, uma vez que algumas espécies, comprovadamente, são resistentes ao tratamento convencional para potabilização da água.



FIGURA 2 - Trechos de afluentes do Rio Guandu. 1 e 2 - Criação de animais na faixa marginal do Rio Ipiranga; 3 - Rio Ipiranga com grande deposição de lixo; 4 - Rio dos Poços com suas águas exibindo resíduos industriais e orgânicos

Os protozoários patogênicos de origem entérica ou ambiental variam em sua resposta ao tratamento da água e estratégias de controle necessitam ser modificadas ou adaptadas, conforme a biologia de cada espécie. As várias discussões em torno da necessidade de revisão dos padrões legais microbiológicos, por conta de surtos comprovadamente produzidos por protozoários patogênicos veiculados pela água, somente abordam espécies de origem entérica. Entretanto, deve-se dar atenção a tipos ambientais potencialmente patogênicos oportunistas, como *Naegleria fowleri*, *Acanthamoeba* spp. *Enterocytozoon*, *Encephalitozoon*, *Nosima*, *Pleistodelfora*, *Vittaforma*, *Trachipleistophora* e talvez outras espécies ainda não identificadas, capazes de causar quadros infecciosos tão importantes quanto aquelas espécies parasitas obrigatórias.

Fatores limitantes impediram a coleta de dados epidemiológicos – registros de ocorrência de doenças parasitárias cuja transmissão se dê por veiculação hídrica – junto às secretarias de saúde municipais e estadual, principalmente nos municípios inseridos na bacia do Guandu.

No município de Paracambi, foram obtidos dados relativos a exames parasitológicos de um grupo de moradores da cidade relativos aos anos de 2008, 2009 e 2010, cedidos por um laboratório particular local de análises clínicas (Labac) (Tabela 1). Os resultados das análises demonstraram a presença de três tipos de protozoários na amostra populacional atendida, o que certamente pode corroborar a hipótese da possível ligação entre a água de consumo e a circulação desses protozoários no meio hídrico de consumo doméstico.

Contudo, mesmo os indivíduos que apresentaram diagnóstico negativo não devem ser descartados, pois podem fazer parte de uma fração de pessoas que se constituem em portadores assintomáticos, realimentando, dessa forma, o ambiente aquático da bacia com os microrganismos, por conta da precariedade do sistema de tratamento de esgotos ou de sua inexistência.

Embora não seja possível certificar a relação entre a qualidade da água consumida e a ocorrência de patologias infecciosas relacionadas a esses microrganismos, pode-se, certamente, conjecturar que formas resistentes de protozoários

patógenos de interesse em saúde pública possam estar circulando nesse ambiente, por conta da condição sanitária a que está submetida as águas da bacia, especialmente em pontos de descargas de efluentes domésticos e mesmo a jusante da estação de tratamento (ETA-Guandu).

Enquanto no mundo inteiro autoridades sanitárias e a área científica chamam atenção para o tema em questão, no Rio de Janeiro a ocorrência de patologias relacionadas com humanos é relatada somente na clínica médica e animal, não havendo a preocupação em buscar o nexo causal entre água de consumo humano e ocorrência de infecções por protozoários patógenos tendo a água como veículo de transmissão.

Dados epidemiológicos sobre morbidade em unidades hospitalares credenciadas pelo SUS apresentados em estudo diagnóstico realizado pela Agência Nacional de Águas (ANA) para os municípios inseridos na bacia hidrográfica do Rio Guandu apontaram a ocorrência de doenças infecciosas e parasitárias na população. Esses dados permitem observar que, para os municípios com altas densidades populacionais e carentes de infraestrutura de saneamento, o maior percentual de internações esteve relacionado a doenças transmissíveis e parasitárias. Entretanto, os mesmos não oferecem subsídios para que se possa afirmar a relação dessas doenças com a água de consumo, exceto em algumas situações de ocorrência de surtos em que o agente etiológico foi identificado na água de abastecimento [3].

A vigilância da qualidade da água para consumo humano contempla três grandes componentes: a análise permanente e sistemática da informação sobre a qualidade da água, para confirmar se o tratamento e a distribuição atendem aos objetivos e regulamentos estabelecidos na legislação vigente; a avaliação sistemática das diversas modalidades de fornecimento de água às populações, seja coletiva ou individual, de forma a verificar o grau de risco representado à saúde pública em função do manancial abastecedor, adequabilidade do tratamento e questões de ordem operacional; e a análise da evolução da qualidade física, química e microbiológica e sua correlação com as enfermidades veiculadas pela água em todo o sistema de abastecimento, a fim de determinar o impacto sobre a saúde dos consumidores.

TABELA 1 - INCIDÊNCIA DE CASOS DE INFECÇÕES POR PROTOZOÁRIOS PATÓGENOS NO MUNICÍPIO DE PARACAMBI - BACIA DO RIO GUANDU (LABAC, 2011)

Diagnóstico Parasitológico	2008	2009	2010
Total pessoas avaliadas	3357	3245	3341
Casos + <i>Entamoeba coli</i>	175 (5,2%)	188 (5,8%)	178 (5,3%)
Casos + <i>Entamoeba histolytica</i>	92 (2,7%)	102 (3,1%)	106 (3,2%)
Casos + <i>Giardia</i>	80 (2,4%)	93 (2,9%)	74 (2,2%)
Total de infecção por protozoários	347 (10,3%)	383 (11,8%)	358 (10,7%)

Segundo o diagnóstico realizado pela ANA, os pontos de estudos originalmente considerados para a região da bacia do Guandu devem compreender, especialmente, áreas de maior vulnerabilidade socioambiental, onde o lançamento de esgotos *in natura* ocorre de forma contínua, sendo, por isso, justificável o desenvolvimento de pesquisas que abordem a qualidade da água para identificação da presença de agentes etiológicos, o que irá contribuir para a avaliação quanto ao risco microbiológico ao qual possa estar submetida a população consumidora. Da mesma forma, as pesquisas servirão para o desenvolvimento de estratégias e procedimentos preventivos e corretivos, pois, como dito, mesmo para a água pós-tratada não é possível descartar a possibilidade de veiculação hídrica de protozoários patógenos, devido a evidências experimentais que demonstraram o caráter de resistência de determinadas espécies ao tratamento convencional para a potabilização.

Com esse cenário, fica evidente o potencial risco microbiológico para a ocorrência de transmissão de patógenos importantes para a saúde dos consumidores dessa água. Com relação ao risco oferecido pelos protozoários resistentes à cloração e/ou que não são retidos no tratamento convencional da água, pode-se depreender que, supostamente, a depender de comprovação científica, estejam afetando a saúde de seus consumidores, principalmente da população constituída por indivíduos imunossuprimidos, crianças e idosos, e aqueles portadores assintomáticos, os quais contribuem para a circulação do protozoário no ambiente.

Assim, com relação aos protozoários, certamente por conta de suas características, novos padrões deverão ser efetivados no contexto da bacia do Rio Guandu, de forma a antever situações de risco microbiológico.

Alguns autores consideram que, tão importante quanto a reformulação dos padrões sanitários de qualidade da água e sua pesquisa, é a adoção de medidas que compreendam a inspeção sanitária e a implantação de programas de proteção de mananciais, das fontes de abastecimento e das respectivas bacias de captação, observando especialmente a existência de focos de poluição pontuais ou difusos. Contribuem para este quadro as elevadas taxas de densidade urbanas, associadas às precárias condições habitacionais e ausência total de saneamento básico na bacia de captação, fatores que favorecem a proliferação e a disseminação de organismos patogênicos e de vetores de enfermidades, aumentando as possibilidades da transmissão de doenças infecciosas e parasitárias em geral.

É fato que, enquanto não existir um eficiente sistema de coleta e tratamento de esgotos domésticos nos municípios inseridos na bacia do Rio Guandu, não haverá a possibilidade de controle sobre quaisquer parâmetros considerados fundamentais para garantir as condições salutaras dos mananciais contribuintes à ETA-Guandu. Nesse sentido, um dos estudos propostos pela câmara técnica do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Guandu é a realização do Programa “Monitoramento de organismos não determinados por tratamentos convencionais de avaliação da qualidade da água”.

Mediante análises laboratoriais, conforme os parâmetros estabelecidos na legislação, a verificação da qualidade sanitária das águas captadas para tratamento na ETA-Guandu, destinadas ao consumo da população da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, não é suficiente para indicar a inocuidade da água pós-tratada, uma vez que os indicadores utilizados não são efetivos para avaliar a eficiência do tratamento de remoção de protozoários patogênicos de importância em saúde pública.

Por conta disso, encontra-se em execução, desde 2011, com finalização prevista para o início de 2013, o projeto de Monitoramento da Qualidade da Água do Rio Pirai a montante de Tocos, para investigação da qualidade da água no trecho do Rio Pirai que segue até o Ribeirão das Lajes, um dos formadores do Rio Guandu.

5. CONCLUSÃO

Devido à importância da bacia hidrográfica do Rio Guandu, principal manancial de abastecimento de água da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, e sob o histórico da inexistência tanto de tratamento de efluentes domésticos lançados em mananciais que compõem a bacia quanto de dados que ofereçam informações acerca da condição sanitária de suas águas, justificam-se os objetivos do projeto de monitoramento de Tocos, cujo documento norteador é o relatório da Agência Nacional de Águas (ANA/2004), para a investigação de *Cryptosporidium* em sua área de abrangência.

Desta forma, com a obtenção desses dados, será possível conhecer a realidade sanitária em trechos da bacia e estabelecer relações quanto à saúde e à qualidade da água dos mananciais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABICAL MT. “Saneamento Urgente”. Revista Rio Águas. V1. 2000.
- [2] AMENDOEIRA MRR. SOBRAL CAQ. TEVA A. *et al.* Inquérito sorológico para a infecção por *Toxoplasma gondii* em ameríndios isolados, Mato Grosso. Rev. Soc. Bras. Med. Trop. 36(6): 671-676, 2003.
- [3] AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA/MINIST. MEIO AMBIENTE. Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios do Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim. 2006.
- [4] ASHFORD RW. Occurrence of an undescribed coccidian in man in Papua New Guinea. Annals of Tropical Medicine and Parasitology. 73: 497-500, 1979.
- [5] ASMUTH DMPC. DEGIROLAMI, MF. EZRATTY CR. A new coccidian parasite (Apicomplexa: Eimeridae) from humans. Journal of Parasitology. 80: 625-629, 1994.
- [6] AWWA Committee report: Emerging pathogens – viruses, protozoa, and algal toxins. J. Am.Wat.Wks Assoc. 91:110–121, 1999.

- [7] AZEVEDO, EA. Exclusão sanitária em Belo Horizonte - MG: caracterização e associação com indicadores de saúde [dissertação de Mestrado]. Belo Horizonte (MG): UFMG; 2003.
- [8] BASTOS RXX. BEVILACQUA PD. HELLER L. VIEIRA MBCM, BRITO LLA. Abordagem sanitário-epidemiológica do tratamento e da qualidade da água. Entre o desejável e o possível. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (CD-ROM). João Pessoa, PB. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental; 2001.
- [9] BOTTONE EJ. Free-living amebas of the genera *Acanthamoeba*, S. A. 1997 Outbreak of toxoplasmosis associated with municipal drinking water. *Lancet*. 350:173-177, 1993.
- [10] BOWIE WR. KING AS. WERKER DH. *et al*. Outbreak of toxoplasmosis associated with municipal drinking water. *Lancet*. 350:173-177, 1997.
- [11] BRITO LLA. Dinâmica de *Cryptosporidium* spp. e de indicadores de qualidade da água ao longo da profundidade de filtros lentos de areia [dissertação de Mestrado]. Belo Horizonte (MG): UFMG; 2002.
- [12] BRUCKNER, DA. Amebiasis. *Clin. Microbiol. Rev.* 5:356-369, 1992.
- [13] CDC/ATLANTA/USA. DPDx - Toxoplasmosis. Disponível em: www.dpd.cdc.gov/dpdx
- [14] CABANES, P. WALLET F. PRINGUEZ E. AND PERNIN P. Assessing the risk of primary amoebic meningoencephalitis from swimming in the presence of environmental *N. fowleri*. *Appl Environ Microbiol* 67(7): 2927-31 2001.
- [15] FRANCO RMB. Protozoários de Veiculação Hídrica: relevância em saúde pública. *Ver. Panam. Infectol.* 9(4): 36-43, 2007.
- [16] COTTE L. RABODONIRINA M. CHAPUIS F. *et al*. Waterborne outbreak of intestinal microsporidiosis in persons with and without immunodeficiency virus infection. *J. Infect. Dis.* 180: 2003-2008, 1999.
- [17] DE CARL GA. Infecções oportunistas por protozoários parasitos: uma revisão sobre *Cryptosporidium parvum*, *Cyclospora cayetanensis*, *Isospora belli* e Microsporídios. *Rev. Bras. Anal. Clín.* 32(3): 205-214, 2000.

- [18] DUBEY JP. Toxoplasmosis – a waterborne zoonosis *Veterinary Parasitology* 126(1-2): 57-72, 2004.
- [19] FRASER GG. COOKE KR. Endemic giardiasis and municipal water supply. *Am. J. Public Health.* 81(6):760-762, 1991.
- [20] FRICKER CR and CRABB JH. Water- born cryptosporidiosis: Detection Methods and Treatment Options. *Advances in Parasitology.* 40: 241-278, 1998.
- [21] FRIKER CR. and SMITH VH. Protozoan parasites (*Cryptosporidium*, *Giardia*, *Cyclospora*). Guidelines for drinking-water quality (Second Ed.) Addendum Microbiologic agents in drinking Water Health Organization- Geneva, 2002-133.
- [22] GALLEGOS E. Amibas de vida livre potencialmente patógenas Goldstein ST, Juraneck DD. Ravenholt O. *et al.* Cryptosporidiosis: an outbreak associated with drinking water despite state-of-the-art treatment. *Ann. Intern. Med.* 124:459-468, 1996.
- [23] GOODGAME RW. Understanding intestinal spore-forming protozoa: *Cryptosporidium*, Microsporidia, *Isospora*, and *Cyclospora*. *Ann Intern Med.* 124(4):429, 1996.
- [24] GRIMASON AM, SMITH HV, TAHITI WN, SMITH PG, JACKSON MH, GIRDWOOS RWA The occurrence and removal of *Cryptosporidium* spp. oocysts and *Giardia* spp. cysts in Kenyan waste stabilization ponds. *Wat. Sci. Tech.* 27:97-104, 1992.
- [25] HANSEN JS. ONGERTH JE. Effects of time and watershed characteristics on the concentration of *Cryptosporidium* oocysts in river water. *Appl. Environ. Microbiol.* 57:2790-2795, 1991.
- [26] ISAAC-RENTON J. MOOREHEAD W. ROSS A. Longitudinal studies of *Giardia* contamination in two community drinking water supplies: cyst levels, parasite viability and health impact. *Appl. Environ. Microbiol.* 62:47-54, . 1996.
- [27] Jornal da ASEAC, 2001, Paraíba do Sul: um Rio no curso da morte. Informativo Mensal da Associação dos Empregados de Nível Universitário da CEDAE. Edição de Maio/Junho de 2001. Disponível em: www.aseac.com.br/jorn34_9.htm.

- [28] KARANIS P. KOURENTI C. and SMITH H. Waterborne transmission of protozoan parasites: A word review of outbreaks and lesson learnt. *Journal Water Health*. 05(1):1-38, 2007.
- [29] Katz DE. Taylor DN. Parasitic infections of the gastrointestinal tract. *Gastroenterol Clin North Am*. 30(3):797-815, 2001.
- [30] LECHEVALLIER MW. *et al*. Occurrence of Giardia and Cryptosporidium in surface water supplies. *Appl. Environment. Microbiol*. 57: 2610-2616, 1991.
- [31] MARSHALL MM. DONNA N. ORTEGA Y. and STERLING C. Waterborne Protozoan Pathogens *Clinical Microbiology Reviews*. 10:67-85, 1997.
- [32] IOVIENO A. LEDEE DR. MILLER D. ALFONSO EC. Detection of bacterial endosymbionts in clinical Acanthamoeba isolates. *Ophthalmology*. 117(3):445-52. 2010.
- [33] MOURA, L. Waterborne toxoplasmosis, Brasilia from Field Gene. *Emerging, Infectious Diseases*. February. 12(2), 2006.
- [34] ORTEGA YR. STERLING CR. GILMAN RH. GAMA VA. & DIAZ F. Cyclospora species - a new protozoan pathogen of humans. *N. Engl. J. Med.*; 328: (1)308-12, 1993.
- [35] RIPS-Rede de Informações do Paraíba do Sul. 2005, www.ana.gov.br/parai-badosul/Rose JB
- [36] SHIELDS JM. OLSON BH. *Cyclospora cayetanensis*: a review of an emerging parasitic coccidian. *International Journal for Parasitology*. 33: 371-391. 2003.
- [37] Sources Tell Us?" Proceedings of the Groundwater Foundation's 12th Annual Fall Stehr-Green JK, Bailey TM, Visvesvara GS. The epidemiology of Acanthamoeba keratitis in the United States. *Am J. Ophthalmol*. 107(4):331-336. 1989.
- [38] SHEROY S. WILSON G. PRESHANT H. *et al*. Primary meningoencephalitis by Neugleria. fowleri: First reported case from Mangalona south India. *J Clin Microbiol* 40(1): 309-10 2002.
- [39] SOUZA DJD. *A Degradação da Bacia do Rio Paraíba do Sul*. ENGEVISTA 6(3): 99-105, 2004.

[40] VIEIRA, R. *Legislação regula as vazões no Paraíba*. Disponível em: www.regionalnews.com.br/notnow.

[41] MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Doenças Infecciosas e Parasitárias: Guia de Bolso*. Vol. I. 3ª. Ed. Brasília, DF, MS, 236p, 2004.

AUTORES

Janaina Silva Vettorazzi | Doutora em Biologia Animal pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Coordenadora de Estudos e Projetos Ambientais do Comitê Guandu/Secretaria de Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro. | janainacomiteguandu@gmail.com

Décio Tubbs Filho | Mestre em Geoquímica Ambiental pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Doutorando em Geociências pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Professor adjunto do Departamento de Geociências do Instituto de Agronomia e do Curso de Geologia da UFRRJ. Diretor-geral do Comitê Guandu. | tubbs@ufrj.br

Sandra Maria Gomes Thomé | Doutora em Epidemiologia Experimental e Aplicada a Zoonoses pela Universidade de São Paulo (USP). Professora adjunta do Departamento de Epidemiologia e Saúde Pública da UFRRJ. Presidente da Comissão Estadual de Saúde Ambiental do Conselho Regional de Medicina Veterinária (CRMV-RJ). | sandramgthome@yahoo.com.br

RESUMO | Muitos estudos, planos e relatórios técnicos sobre o abastecimento de água da porção oeste da Região Metropolitana do Rio de Janeiro foram realizados ou estão em fase de elaboração. Como os problemas são bastante conhecidos tanto pela comunidade científica quanto por órgãos públicos responsáveis, há diversas propostas de soluções que focam fundamentalmente a qualidade da principal fonte de água para a região – a bacia hidrográfica do Rio Guandu. Complementarmente, este trabalho analisa o saldo hídrico e propõe ações para a garantia da quantidade das águas na bacia hidrográfica do Rio Guandu, objetivando prioritariamente o abastecimento de água potável para o consumo humano. Um diagnóstico da atual situação apontou o problema de escassez hídrica na bacia, após serem avaliados os processos de outorgas, reservas e declarações de uso recentes, o sistema de transposição Paraíba do Sul-Guandu e o avanço do prisma de salinidade (cunha salina) a partir da foz do rio principal da bacia. Nesse caso, o abastecimento humano foi tomado como prioritário nas análises de futuras outorgas, em detrimento do aumento da cunha salina. Enfim, os cenários existentes e futuros foram previamente descritos para, então, propor ações para a mitigação de conflitos que auxiliem nas questões do gerenciamento da bacia e do abastecimento de água para nove milhões de pessoas no Estado do Rio de Janeiro.

PALAVRAS-CHAVE | Balanço Hídrico; Outorga; Abastecimento Público; Rio Guandu; Rio Paraíba do Sul.

ABSTRACT | Many studies, plans and technical reports on water supply in the western portion of the metropolitan region of Rio de Janeiro have been or are in preparation. As the problems are well known, there are several proposed solutions, both by the scientific community as a responsible public agencies, which focus mainly on the quality of the main water source for the region – the Guandu River basin. In addition, this paper analyzes the water balance and proposes actions to guarantee the amount of water in the river basin Guandu, aiming primarily the drinking water supply for human consumption. A diagnosis of the current situation pointed to the problem of water scarcity in the basin, after being evaluated processes grants, reservations and declarations of recent use, the system implementation Paraíba do Sul-Guandu and advance the prism of salinity (salt wedge) from the mouth of the main river basin. In this case, human supply was taken as priority in the analysis of future granting at the expense of increasing wedge saline. Finally, the existing and future scenarios were previously described to then propose mitigation actions that assist in conflict management issues in the basin and the water supply for nine million people in the state of Rio de Janeiro.

KEYWORDS | Water Balance; Public Supply Grant; Rio Guandu; Rio Paraíba do Sul.

Balanço hídrico da bacia hidrográfica do Rio Guandu com as novas demandas por água e com a expansão prevista

Frederico Menezes Coelho

Julio Cesar Oliveira Antunes

1. INTRODUÇÃO

O problema do abastecimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) é histórico, estendendo-se desde os primórdios do Brasil Colônia até os dias atuais. As soluções grandiosas adotadas para combater a falta de água abrangiam desde o uso de mananciais das serras até os grandes rios que cruzam o estado, em conformidade com o aumento populacional da região do lado oeste da Baía de Guanabara, sendo o município do Rio de Janeiro o principal beneficiado. Entretanto, atualmente, o Rio Guandu tem sido a única solução viável para o abastecimento, pois a revisão do plano diretor de abastecimento de água da Região Metropolitana oeste (CNEC, 2004) revelou a inexistência de outras fontes, além daquelas amplamente estudadas e que abastecem a região, tais como: o próprio Rio Guandu, o reservatório de Ribeirão das Lajes, o sistema Acari e os mananciais locais de pequeno porte. Dessas fontes, a grande maioria pertence à bacia hidrográfica do Rio Guandu, que teve sua vazão natural mínima extremamente ampliada com a transposição dos rios Pirai e Paraíba do Sul, no

início do século XX, passando de 25 m³/s para 120 m³/s (Sondotécnica, 2007). Logo, os afluentes desses mananciais também influenciam o abastecimento de água da RMRJ oeste, tanto direta quanto indiretamente.

A Estação de Tratamento de Água (ETA) Guandu utiliza as vazões transpostas dos rios Pirai e Paraíba do Sul, oriundas da geração de energia hidrelétrica do Sistema Light (Subsistemas Paraíba-Pirai e Lajes), para abastecer cerca de nove milhões de pessoas no Estado do Rio de Janeiro (Cedae, 2008). Decorridos 50 anos, constata-se que a evolução da capacidade de produção da estação foi extremamente significativa. A ETA Guandu teve sua construção iniciada em 1950 e foi projetada para produzir 13,8 m³/s; a obra ficou pronta em 1955, com a inauguração da velha estação de tratamento de água (Veta), e teve sua produção ampliada para 24 m³/s, entre os anos de 1961 e 1964. Entre 1978 e 1982, a ETA Guandu foi novamente ampliada, dessa vez para 40 m³/s, em consequência do aumento da área de atendimento após a fusão dos antigos estados da Guanabara e Rio de Janeiro, em 15 de março de 1975, surgindo, então, a Nova Estação de Tratamento de Água (Neta), ao lado da Veta. Entre 1993 e 1994, a capacidade era de 47 m³/s (STE, 1994). Atualmente, a vazão média é de 43 m³/s e a vazão outorgada é de 45 m³/s. Isso torna a ETA Guandu a maior estação de tratamento de água em operação no mundo, certificada pelo *Guinness World Records*, em 2008 (Guinness, 2008).

Devido à necessidade de mais uma ampliação do sistema de produção do Guandu, que objetiva suprir o aumento da demanda e permitir a manutenção do sistema atual sem interromper o abastecimento (CNEC, 2004), este trabalho avalia o balanço hídrico atual e futuro da principal bacia hidrográfica para abastecimento público de água potável da Região Metropolitana do Rio de Janeiro e propõe ações gerenciais para mitigar os possíveis conflitos de usuários.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre o assunto, com as seguintes atividades principais: coleta de dados e de informações nos órgãos estaduais envolvidos e no comitê de bacia (Comitê Guandu); análise do Plano Estratégico de Recursos Hídricos (PERH) das bacias hidrográficas dos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim (Sondotécnica, 2007), ou seja, do plano

da bacia contribuinte (Guandu); identificação dos projetos em processo de licenciamento ambiental; e identificação das outorgas. Na sequência, com as informações reunidas, procedeu-se ao diagnóstico de demandas, de outorgas e de disponibilidade hídrica da bacia do Rio Guandu, para, então, elaborar o saldo hídrico e, finalmente, propor soluções gerenciais em mitigação de conflitos.

De acordo com os estudos do plano de bacia, a Tabela 1 apresenta a disponibilidade mínima de água superficial natural (Q_{7,10}) e de água subterrânea renovável (Q_{poços}) para os usuários da bacia hidrográfica do Rio Guandu que, somadas, compõem a vazão disponível para outorga dentro da bacia (Q_{outorgável}), a ser concedida pelo Instituto Estadual do Ambiente (Inea).

TABELA 1 - VAZÕES NA BACIA DO RIO GUANDU

Corpo hídrico contribuinte	Vazão disponível = Q (m ³ /s)						
	poços	¹ 7,10	SERLA	média	outorgável		
Rio Paraíba do Sul (Santa Cecília)	0,40	-	² 119,00	-	6,67		
Rio Pirai (Tocos e Santana)		-	-	-			
Reservatório Ribeirão das Lajes		0,37	16,40	5,90			
UHE Pereira Passos (a jusante)	2,20	² 120,00	-	163,00	² 120,00		
Ribeirão da Floresta		0,001		0,22	3,35		
Rio Cacaria		0,081		1,31			
Rio da Onça		0,059		0,95			
Córrego dos Macacos		0,054		0,87			
Rio Macaco		0,083	3,18	1,34			
Valão da Areia		0,032		0,52			
Rio Santana		0,378		6,09			
Rio São Pedro		0,117		1,88			
Rios Poços/Queimados/Ipiranga		0,241		3,89			
Rio Guandu (outros afluentes)		0,10		1,59			
Disponibilidade hídrica total		2,60		121,52		138,58	187,56

¹ 7,10 = vazões mínimas durante sete dias com tempo de recorrência de 10 anos;

² Descargas mínimas cf. resolução 465/04 da Agência Nacional de Águas (ANA, 2008).

Fonte: Sondotécnica, 2007

A Tabela 1 também apresenta as vazões médias ($Q_{m\u00e9dia}$) ao longo do ano e as vazões outorg\u00e1veis (Q_{Serla}) utilizadas pela extinta Superintend\u00eancia Estadual de Rio e Lagoas (Serla), atual Inea, antes de ter plano de bacia (Serla, 2006). Na seq\u00eancia, as Figuras 1 e 2 mostram as vaz\u00f5es m\u00ednimas ($Q_{7,10}$) e m\u00e9dias ($Q_{m\u00e9dia}$) ao longo dos 66,7 km de comprimento do rio principal, chamado de Ribeir\u00e3o das Lajes no in\u00edcio, de Rio Guandu no meio e de canal de S\u00e3o Francisco no final.

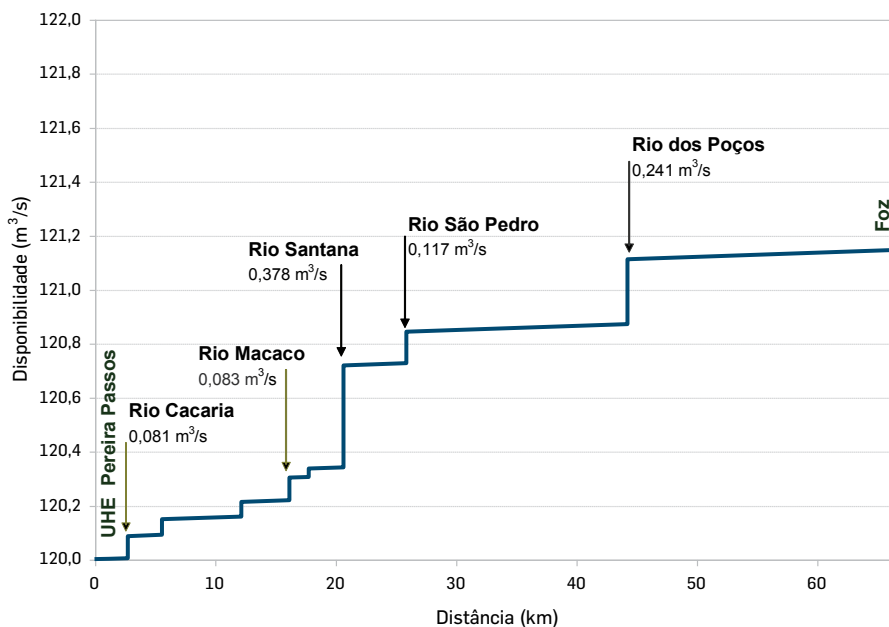


FIGURA 1 - Vaz\u00f5es m\u00ednimas ao longo do Rio Guandu
 Fonte: Sondot\u00e9cnica, 2006

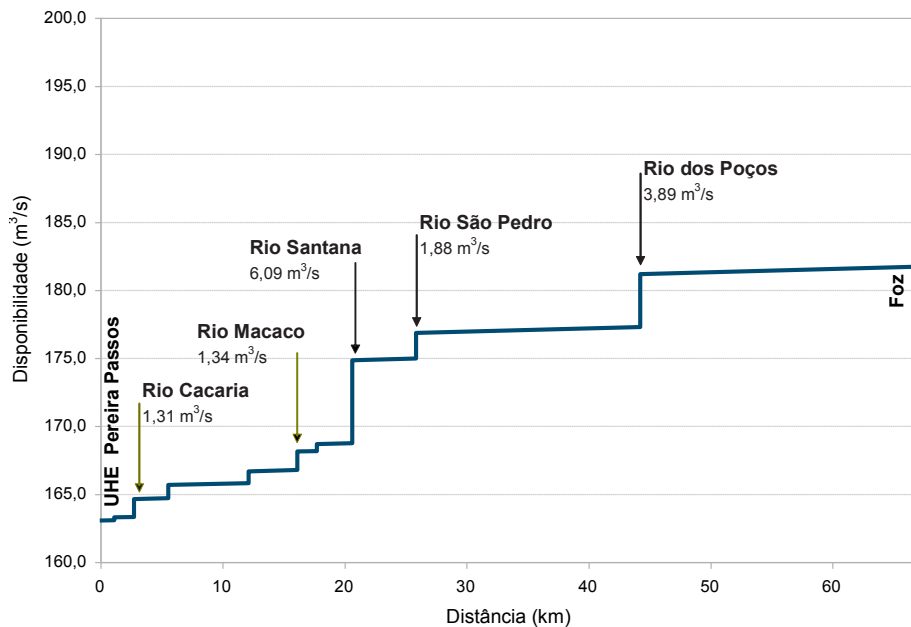


FIGURA 2 - Vazões médias ao longo do Rio Guandu
 Fonte: Sondotécnica, 2006

A Figura 3, a seguir, mostra o mapa da bacia em estudo, inclusive a Área de Proteção Ambiental (APA) Guandu.

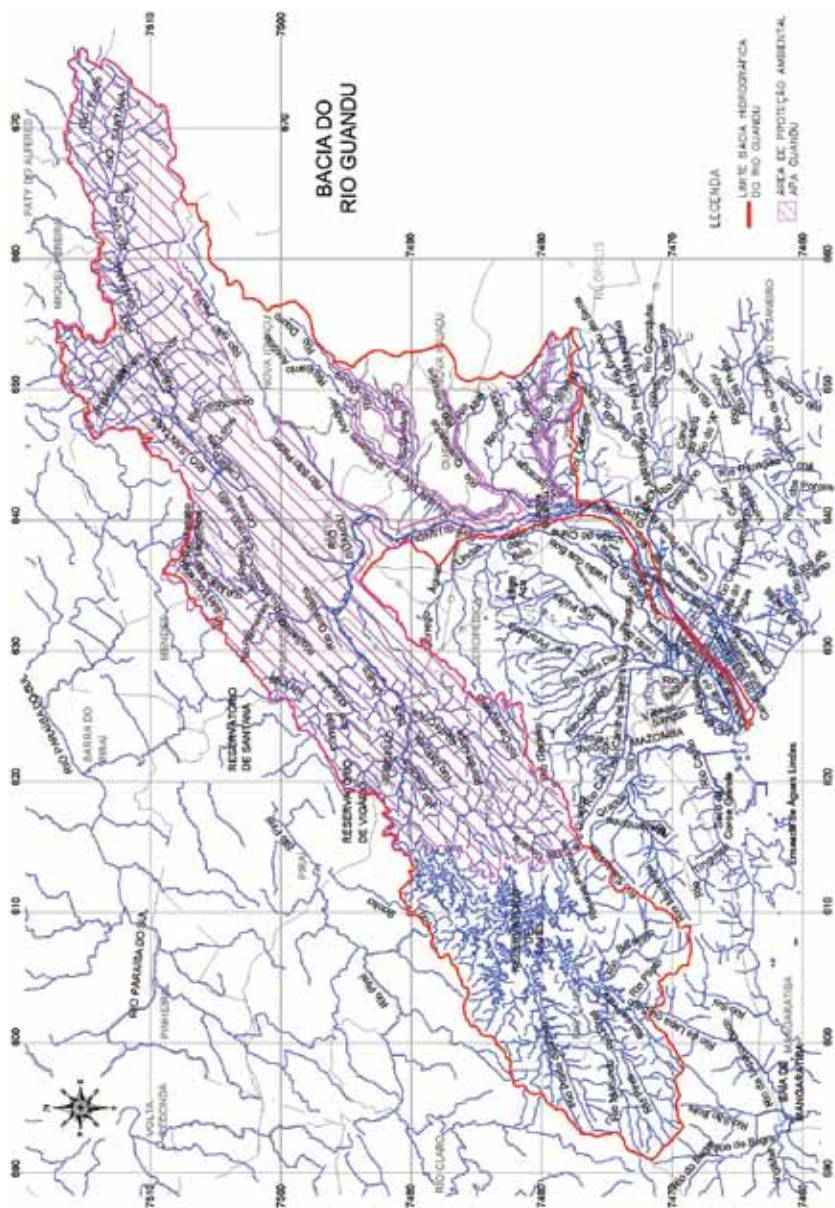


FIGURA 3 - Mapa hidrográfico da bacia do Rio Guandu e a Área de Proteção Ambiental (APA) Guandu
 Fonte: adaptado de Sondotécnica, 2006

Cabe destacar que a disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Rio Guandu depende principalmente da transposição do Rio Paraíba do Sul para a bacia do Guandu, isto é, dos reservatórios de Santana, Vigário, Ponte Coberta e das usinas hidrelétricas (UHE) de Fontes, Nilo Peçanha e Pereira Passos da Light, de acordo com a Figura 4, a seguir. Fatores limitantes do uso também diminuem a potencialidade do Rio Guandu, caso da penetração da cunha salina no canal de São Francisco a partir de sua foz na Baía de Sepetiba, o que obriga a uma reserva mínima de água necessária para impedir o avanço dessa cunha salina, que é chamada de demanda ambiental pelo Plano Estratégico de Recursos Hídricos (PERH). Cabe ainda destacar que a vazão do Rio Guandu era bem inferior, cerca de 25 m³/s, antes da transposição de bacias, no início do século XX.



FIGURA 4 - Aproveitamento hidrelétrico do Sistema Light
Fonte: Light, 2003

A relação dos usuários com a outorga em vigor até maio de 2011 está na Tabela 2, que também considera os usuários de uso insignificante (vazão inferior a 0,4L/s ou Pequenas Centrais Hidrelétricas até 1MW, conforme Portaria Serla nº 567/07). Ressalta-se que a Companhia Siderúrgica do Atlântico (CSA) alterou sua outorga de 18 m³/s, de água doce para água salobra, transferindo essa vazão para o Rio Guandu-Mirim. Da mesma forma, a demanda de 26 m³/s para produção de energia da Usina Termelétrica (UTE) de Santa Cruz não foi considerada, porque não possui outorga de água doce para tal.

A demanda pela utilização das águas doces da bacia do Rio Guandu é calculada a partir das vazões solicitadas pelos usuários outorgados ou em processo de outorga, além da restrição imposta pela penetração do prisma de salinidade no canal de São Francisco. Para o cálculo do balanço hídrico, foram consideradas tanto as vazões captadas, superficialmente (S), ou por poços subterrâneos (P), quanto as vazões lançadas por cada empresa, inclusive daqueles empreendimentos que pretendem usar os recursos hídricos da bacia. Foram consultadas todas as portarias (ou certidões) de concessão de outorga (OUT), de reserva (RES) de disponibilidade hídrica (outorga preventiva) e de declaração de uso insignificante (DUI) na bacia do Rio Guandu até maio de 2011, fornecidas pela Serla (2006) ou presentes em seus Boletins de Serviço (BS, de 2004 a 2008) e do Inea (2009 a 2011) e no Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro (Doerj, de 2007 a 2010). Os efluentes lançados em outras bacias e o retorno dos esgotos domésticos do sistema de abastecimento público não estão computados, portanto, não constam no cálculo do saldo hídrico.

TABELA 2 - DEMANDAS ATUAIS DA BACIA DO RIO GUANDU

N°	Usuários	Tipo	Vazões máx (m ³ /s)		Finalidade	Outorga			Fonte	
			Capta (-)	Lança (+)		Início	Fim	Portaria	Tipo	
1	Ambev	S	0,38889		Industrial	17/01/07	17/01/12	541	OUT	DO 026/07
2	Auto Posto Alternativo	P	0,00028	0,00018	Outros usos	19/12/08	19/12/13	of 1592	DUI	BS 01/09
3	Casa da Moeda do Brasil	P	0,00762	0,00128	Industrial	19/12/08	19/12/13	714	OUT	DO 244/08
4	Cedae (ETA Guandu)	S	45,00000		Abastecimento Público	17/01/07	17/01/17	524	OUT	DO 025/07

TABELA 2 - DEMANDAS ATUAIS DA BACIA DO RIO GUANDU

N°	Usuários	Tipo	Vazões máx (m³/s)		Finalidade	Outorga				Fonte
			Capta (-)	Lança (+)		Início	Fim	Portaria	Tipo	
5	Cedae (Fábrica da Cintra)	S	0,15000		Abastecimento Público	17/01/07	17/01/17	517	OUT	DO 021/07
6	Cedae (Novo Guandu)	S	12,00000		Abastecimento Público	20/05/08	20/05/11	of 696	RES	of.Serla
7	Cedae (Sistema Acari)	S	1,61688		Abastecimento Público	17/01/07	17/01/17	524	OUT	DO 025/07
8	Cedae (Sistema de Japeri)	S	0,15000		Abastecimento Público	09/07/09	08/07/12	RES	OUT	BS 15/09
9	Cedae (Sistema de Lajes)	S	5,50000		Abastecimento Público	17/01/07	17/01/17	517	OUT	DO 021/07
10	Cedae (Sistema de Paracambi)	S	0,02900		Abastecimento Público	17/01/07	17/01/12	518	OUT	DO 021/07
11	Cedae (Sistema de Pirai)	S	0,05000		Abastecimento Público	17/01/07	17/01/17	529	OUT	DO 026/07
12	Colégio Souza Duarte	P	0,00006		Outros usos	10/02/11	ND	15728	DUI	BS 18/11
13	Concessionária Rod. Pres. Dutra	P	0,00004		Outros usos	03/02/11	ND	15638	DUI	BS 13/11
14	Consórcio Arco Metropolitano	S	0,00039		Outros usos	11/06/10	ND	1971	DUI	BS 33/10
15	Coquepar	S	0,08333		Industrial	26/03/10	25/03/15	1572	OUT	Inea (2010)
16	CSA	S	18,00000		Produção de Energia	15/09/06	15/09/11	480	OUT	BS 040/06
17	CSN	S	2,50000		Industrial	22/05/07	22/05/12	574	OUT	DO 102/07
18	Descart Top Plus	P	0,00028		Outros usos	29/01/09	ND		DUI	BS 05/10
19	El Paso	S	0,12200		Industrial	15/03/02	15/03/12		OUT	Serla (2006)
20	Eletrobolt	S	0,08300		Industrial	15/06/01	15/06/11		OUT	Serla (2006)
21	FCC	S	0,05000		Industrial	19/04/04	19/04/24	341	OUT	BS 058/04
22	Furnas (UTE de Santa Cruz)	S	0,04000	0,00510	Industrial	28/06/04	28/06/24	347	OUT	BS 071/04
23	Ganem Empreendimentos	P	0,00028		Outros usos	26/06/09	ND		DUI	BS 14/09
24	Genpower (UTE Itaguaí)	S	0,50000		Geração de Energia	23/03/11	22/03/14	16111	RES	BS 41/11
25	Genpower (UTE Queimados)	S	3,66667		Sistema de refrigeração	10/11/09	09/11/12		RES	BS 32/09

TABELA 2 - DEMANDAS ATUAIS DA BACIA DO RIO GUANDU

N°	Usuários	Tipo	Vazões máx (m³/s)		Finalidade	Outorga				Fonte
			Capta (-)	Lança (+)		Início	Fim	Portaria	Tipo	
26	Ideal Standard do Brasil	P	0,00333	0,00222	Industrial	26/05/08	26/05/13	653	OUT	DO 098/08
27	Light (Paraíba do Sul/Guandu)	S	210,00000	210,00000	Geração de Energia		ND		OUT	Serla (2006)
28	Light Energia (Rio Claro)	P	0,00017		Outros usos	22/06/10	ND	1993	DUI	BS 39/10
29	Mineração J. Serrão	S	0,00017		Outros usos	10/05/11	ND	16588	DUI	BS 71/11
30	Minerva (CGH Cascata)	S	0,52083	0,52083	Geração de Energia	30/09/09	ND		DUI	BS 27/09
31	Minerva (CGH Serra)	S	0,69167	0,69167	Geração de Energia	30/09/09	ND		DUI	BS 27/09
32	Pepsi-Cola	S	0,05000		Industrial	17/01/96	17/01/16		OUT	Serla (2006)
33	Petrobrás (REDUC)	S	1,00000		Industrial	31/03/04	31/03/24	¹ 338	OUT	BS 056/04
34	Petrobrás (UTE Seropédica)	S	0,20833		Geração de Energia	10/03/11	09/03/14	16003	RES	BS 33/11
35	Petroflex	S	0,08889		Industrial	04/05/04	04/05/24	342	OUT	BS 061/04
36	Pref. Engenheiro Paulo de Frontin	S	0,00083		Abastecimento Público	29/08/07	29/08/12	595	OUT	DO 169/07
37	Prefeitura (ETE Nova Iguaçu)	S		0,02319	Esgotamento Sanitário	09/01/07	09/01/17	511	OUT	DO 016/07
38	Primos e Simões	S	0,01042	0,00833	Extração de Areia	04/12/08	04/12/11	² 697	OUT	DO 243/08
39	Recreação Paradiso Clube	P	0,05764		Abastecimento e lazer	26/12/06	26/12/11	500	OUT	DO 027/07
40	Rio Polímeros	S	0,25000		Industrial	10/05/04	10/05/24	337	OUT	BS 056/04
41	Salutran Auto Transporte	P	0,00081	0,00064	Outros usos	15/12/08	15/12/13	704	OUT	DO 244/08
42	Supermercado Berg e Berg	P	0,00002		Outros usos	27/12/10	ND	3485	DUI	BS 133/10
43	UTE Paracambi	S	0,40000	0,10000	Industrial	26/11/04	26/11/34	365	OUT	BS 104/04
44	UTE Termorio	S	0,44778		Industrial	17/01/07	17/01/27	540	OUT	DO 026/07
45	Valesul Alumínio	P	0,01738		Industrial	03/06/08	03/06/13	660	OUT	DO 107/08

Observações:

¹ A Portaria Serla nº 673 de 25/07/2008, publicada no Doerj nº 143 de 05/08/08, só aumentou a vazão captada (1.000 L/s) e revogou o lançamento, mantendo o prazo de validade de outorga da Portaria Serla nº 338;

² A Portaria Serla nº 618 de 29/11/2007, publicada no Doerj nº 226 de 06/12/07, referia-se à extração de 500 m³/dia de polpa, só que em outro local próximo e expirou um ano após a data de início da outorga.

3. RESULTADOS OBTIDOS OU ESPERADOS

O balanço ou saldo hídrico (Tabela 3) considerou a disponibilidade de vazão outorgável (Qoutorgável) da Tabela 1, as demandas outorgadas (Inea, ex-Serla) da Tabela 2, a implantação da ETA Novo Guandu com 12 m³/s em primeira etapa (Tabela 2) e 12 m³/s em segunda etapa (Serla, 2008) e as vazões reservadas para conter a cunha salina, isto é, as demandas ambientais atuais e futuras adotadas pelo PERH Guandu (Sondotécnica, 2007). As outras demandas são aquelas adotadas pelo plano em 2005 e 2025 para as bacias do Ribeirão das Lajes e do Rio Guandu, nas seguintes áreas: industrial (+16,09 m³/s); mineração (0,2 e 0,4 m³/s); agropecuária e aquicultura (0,24 e 0,24 m³/s). Nesse sentido, o cenário futuro sem previsão de aumento na demanda industrial é o único que não apresenta vazões negativas. Esse deverá ser o cenário adotado para gerir as futuras outorgas na bacia do Rio Guandu.

TABELA 3 - BALANÇO HÍDRICO ATUAL E FUTURO NA BACIA DO RIO GUANDU

Cenário	Tipos de uso ou outorga	Vazões (m³/s)			Fonte
		Captação (-)	Lançamento (+)	Saldo	
ATUAL	Demandas outorgadas				
	Abastecimento e lazer	0,05764	0,00000	-0,05764	Inea
	Abastecimento público	64,49672	0,00000	-64,49672	Inea
	Esgotamento sanitário	0,00000	0,02319	0,02319	Inea
	Extração de areia	0,01042	0,00833	-0,00208	Inea
	Geração de energia	211,92083	211,21250	-0,70833	Inea
	Industrial	5,53222	0,10860	-5,42362	Inea
	Outros usos	0,00249	0,00082	-0,00167	Inea
	Produção de energia	18,00000	0,00000	-18,00000	Inea
	Sistema de refrigeração	3,66667	0,00000	-3,66667	Inea
	Total	303,687	211,353	-92,334	
	Outras demandas	0,440	0,000	-0,440	PERH
	Demanda ambiental	60,000	0,000	-60,000	PERH
	Outorga disponível			130,020	Q _{outorgável}
Saldo hídrico atual			-22,754		

TABELA 3 - BALANÇO HÍDRICO ATUAL E FUTURO NA BACIA DO RIO GUANDU

Cenário	Tipos de uso ou outorga	Vazões (m ³ /s)			Fonte
		Captação (-)	Lançamento (+)	Saldo	
FUTURO	Demandas outorgadas	303,687	211,353	-92,334	Inea
	ETA Novo Guandu - 2ªetapa	12,000	0,000	-12,000	Cedae ²
	Outras demandas	16,730	0,000	-16,730	PERH
	Demanda ambiental	25,000	0,000	-25,000	PERH
	Outorga disponível			130,020	Q _{outorgável}
	Saldo hídrico futuro			-16,044	
FUTURO ¹	Demandas outorgadas	303,687	211,353	-92,334	Inea
	ETA Novo Guandu 2ªetapa	12,000	0,000	-12,000	Cedae ²
	Outras demandas ¹	0,640	0,000	-0,640	PERH
	Demanda ambiental	25,000	0,000	-25,000	PERH
	Outorga disponível			130,020	Q _{outorgável}
	Saldo hídrico futuro¹			0,046	

Notas: ¹ Sem a demanda industrial do PERH

² Cedae = Cedae, 2010

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A ocorrência de conflitos durante a concessão de novas outorgas de uso da água será inevitável, pois a disponibilidade hídrica é um fator claramente restritivo da bacia do Rio Guandu, devido ao crescente avanço do prisma de salinidade na foz do canal de São Francisco e ao aumento da dependência da operação dos reservatórios para gerar energia hidrelétrica, que funcionam cada vez mais no limite durante as estiagens. Um fator preocupante refere-se ao aumento das vazões outorgadas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, a montante da transposição para a bacia do Rio Guandu, que indica uma futura retirada entre 5 e 15 m³/s de água do Rio Paraíba do Sul, como está apresentado no Plano Diretor da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) (Sondotécnica, 2007). Segundo a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), a alternativa de retirada de água do Rio Paraíba do Sul só ocorreria após 2025, caso sejam extrapoladas todas as disponibilidades hídricas da bacia do Alto Tietê (Sondotécnica, 2007).

Os resultados apresentados na Tabela 3 mostraram que existirá um déficit de vazão, se todos os empreendimentos utilizarem a água doce do Rio Guandu ao mesmo tempo. Concluiu-se, então, que a vazão para conter a cunha salina deverá ser menor do que a preestabelecida pelo plano da bacia, a fim de atender a todos os usuários; da mesma forma, as indústrias deverão se adaptar à água salobra do canal de São Francisco, como já acontece com a UTE de Santa Cruz, da Gerdau e da CSA (processos industriais), que não foram computadas no balanço. Se esses procedimentos não ocorrerem, as novas concessões de outorga deverão privilegiar o abastecimento de água potável para o consumo humano (caso da ETA Novo Guandu), em detrimento dos outros usos, de acordo com a lei nacional de recursos hídricos (Lei nº 9433/97).

Recomenda-se, ainda, estudar a demanda ambiental da bacia hidrográfica do Rio Guandu, com o intuito de ratificar ou retificar o valor preestabelecido pelo plano da bacia, considerando outros elementos pertinentes (ambientais, por exemplo), de tal modo que esse valor não represente apenas uma vazão de contenção do prisma de salinidade. Cabe destacar que a demanda ambiental assim definida será essencial para a gestão da bacia hidrográfica mais importante do Estado do Rio de Janeiro, cujas águas saciam as necessidades fundamentais de aproximadamente nove milhões de habitantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Plano estratégico de recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim*: relatório do plano – revisão 0. Brasília, DF, SONDOTÉCNICA, 2006.

_____.: relatório gerencial. Brasília, DF, SONDOTÉCNICA, 2007.

BOLETIM DE MONITORAMENTO DOS RESERVATÓRIOS DO SISTEMA HIDRÁULICO DO RIO PARAÍBA DO SUL. Brasília, DF: ANA, v. 3, n. 7, p. 1-20, jul. 2008.

BOLETIM DE SERVIÇO [DA] FUNDAÇÃO SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DE RIOS E LAGOAS. Rio de Janeiro, 2004/2008. Disponível em: www.serla.rj.gov.br. Acesso em: 2008.

BOLETIM DE SERVIÇO [DO] INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. Rio de Janeiro, 2009/2011. Disponível em: www.inea.rj.gov.br. Acesso em: 2012.

CEDAE. COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS. *Estação de tratamento de água (ETA) Novo Guandu*. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: www.cedae.rj.gov.br. Acesso em: 30/03/2010.

_____. *Plano diretor de esgotamento sanitário da região metropolitana do Rio de Janeiro e das bacias contribuintes à Baía de Guanabara*: síntese. Rio de Janeiro, 1994. 258p.

_____. *Serviços de revisão do plano diretor de abastecimento de água da região metropolitana do Rio de Janeiro, relativamente aos municípios atendidos pelos sistemas Guandu, Ribeirão das Lajes e Acari – RJ*: revisão 0. Rio de Janeiro, CNEC, 2004.

_____. *Sítio*. Disponível em: www.cedae.rj.gov.br. Acesso em: 01/10/2008.

GUINNESS WORLD RECORDS. São Paulo, Ediouro, 2009. 150p.

INEA. INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. *Outorga de direito de uso de recursos hídricos*. Rio de Janeiro, 2010. 31p.

LIGHT. SERVIÇOS DE ELETRICIDADE S. A. *Parque gerador*: aspectos operacionais e ambientais. Rio de Janeiro, 2003.

SERLA. FUNDAÇÃO SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DE RIOS E LAGOAS. *Declaração de reserva de disponibilidade hídrica para captação de água para abastecimento público para a Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, 2008.

_____. *Bacia do Rio Guandu: outorgas de direito de uso dos recursos hídricos*. Rio de Janeiro, 2006.

_____. *Portarias SERLA 2004, 2007/ 2010*.

AUTORES

Frederico Menezes Coelho | Mestre em Ciências em Engenharia Civil pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe/UFRJ). Engenheiro Coordenador de Projetos da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (Cedae). Representante da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (Abes) no Comitê Guandu. | fmcrcj@hotmail.com

Julio Cesar Oliveira Antunes | Mestre em Recursos Hídricos pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Professor do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet/RJ). Chefe de Departamento de Operação da Estação de Tratamento de Água do Guandu da Cedae. Representante da Cedae e secretário executivo no Comitê Guandu. | jcoantunes@ig.com.br

RESUMO | A ictiofauna de sete reservatórios (Santa Branca, Ribeirão das Lajes, Tocos, Santana, Vigário, Pereira Passos e Ilha dos Pombos) da Light foi relacionada com variáveis ambientais (temperatura, condutividade, pH, potencial redox, oxigênio dissolvido, transparência, totais de sólidos suspensos e turbidez), entre janeiro e março de 2008, visando detectar eventuais padrões de dependências. Comparados com os demais reservatórios, Lajes e Santa Branca apresentaram a melhor qualidade ambiental: águas com maior transparência e oxigênio dissolvido, pH ligeiramente alcalino e baixas concentrações de sólidos totais suspensos, condutividade e turbidez. O número de espécies de peixes variou entre sete (Tocos) e 22 (Ilha dos Pombos), sendo dez dominantes e duas introduzidas. Foram verificadas relações de dependências diferenciadas entre espécies e variáveis ambientais como resultado de condicionantes locais específicas de cada sistema. Em geral, os sistemas aquáticos são estabilizados e com ictiofauna adaptada aos processos de mudanças ocorridos depois dos barramentos.

PALAVRAS-CHAVE | Qualidade Ambiental; Reservatórios, Hábitat; Peixes.

ABSTRACT | The ichthyofauna of seven reservoirs (Santa Branca, Ribeirão das Lajes, Tocos, Santana, Vigário, Pereira Passos and Ilha dos Pombos) from Light was related to environmental variables (temperature, conductivity, pH, Redox potential, dissolved oxygen, transparency, total dissolved solids and turbidity, between January and March 2008, aiming to assess eventual pattern of dependence between fish and environmental variables. Lajes and Santa Branca reservoir had better environmental quality compared with the other reservoirs, with comparatively higher transparencies and dissolved oxygen, pH slight alkaline, and lower solids suspended, conductivity and turbidity. Species richness ranged from seven species (Tocos) to 22 (Ilha dos Pombos), with ten dominant species, two of them non-natives. Environmental influences on fish were species-specific, as result of local constraints in each reservoir. Overall, all the aquatic systems were stabilized with ichthyofauna adapted to processes of changes that occurred after the impoundments.

KEYWORDS | Environmental Quality; Reservoirs; Habitat; Fish.

Composição e riqueza da ictiofauna e relações com variáveis ambientais em sete reservatórios da Light

Francisco Gerson Araújo

Rinaldo Rocha

1. INTRODUÇÃO

Os fatores que influenciam a abundância e a diversidade de peixes em reservatórios podem ser divididos em físicos, químicos, biológicos e zoogeográficos (Moyle & Cech, 1988). Muitos estudos atribuem o fato aos efeitos de barramentos na ictiofauna (Agostinho *et al.*, 1994; Craig, 2000; Larinier, 2000; Patesse *et al.*, 2007). Britski (1994) reportou que construções de reservatórios provocam sérias trocas no ambiente e relevantes perdas de biodiversidade com consequências imprevisíveis no médio e longo prazo. Portanto, é necessário realizar um inventário das espécies com o objetivo de entender e reduzir o impacto ambiental sobre as mesmas.

A interpretação das mudanças na estrutura da comunidade de peixes e suas relações com as variáveis ambientais permitem avaliar a qualidade do ambiente (Jenning *et al.*, 1995, McDonough & Hickman, 1999). Estudos desta natureza tornam-se relevantes, uma vez que o reservatório é um ecossistema artificial, no qual mudanças no ciclo hidráulico, flutuações no nível da água e eventos e

pulsos imprevisíveis determinam uma contínua reorganização da comunidade de peixes e a consequente adaptação da ictiofauna às variáveis ambientais mais marcantes e também às variáveis desse novo sistema artificial formado (Meador & Goldstein, 2003).

O presente estudo descreve e compara a ictiofauna nos sete reservatórios da Light e avalia os efeitos das variáveis ambientais na composição e estrutura dos peixes. A interpretação dessas relações foi utilizada para estimar a qualidade ambiental desses sistemas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As coletas de peixes e as medições das variáveis físico-químicas dos sete reservatórios foram realizadas entre janeiro e março de 2008. Os peixes foram coletados em locais preestabelecidos, próximos da zona litoral, e distribuídos ao longo de toda a área dos reservatórios. Em cada local foram colocadas três redes de espera de 30 m de comprimento, 2,5 m de altura, e malhas de 25, 50 e 100 mm de distância entre os nós opostos. As redes permaneceram no local por 16 horas, aproximadamente, entre o entardecer de um dia e o final da manhã do dia seguinte. As variáveis ambientais medidas foram pH, oxigênio dissolvido (mg l^{-1}), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$), turbidez (NTU), transparência de Secchi (cm) e total de sólidos suspensos (mg l^{-1}). Os métodos de coleta e medida das variáveis físico-químicas foram previamente publicados (Santos *et al.*, 2004). O teste não paramétrico de Kruskal-Wallis foi utilizado para comparações do número de espécies, número de indivíduos e biomassa dos peixes, bem como das variáveis ambientais, entre os sete reservatórios. O teste *a posteriori* de multicomparação de posição das médias foi utilizado para determinação das médias que resultaram significativamente diferentes do nível de 95% de confiança.

A correlação não paramétrica de postos de Spearman foi utilizada para testar eventuais associações entre os parâmetros da comunidade de peixes (número total, biomassa e número de espécies) e as variáveis ambientais (Zar, 1984). Os padrões das variáveis ambientais nos diferentes reservatórios foram determinados por meio da análise de componentes principais, e os padrões das amostras de peixes foram determinados pela análise de correspondência distendenciada.

Para avaliar a similaridade da composição da ictiofauna, entre as sete represas, foi utilizada uma análise de agrupamento com dados de presença/ausência das espécies.

O método de agrupamento usado foi o Unweighted Pair Group Method Average (UPGMA) e a medida de similaridade selecionada foi o índice de Jaccard. As relações entre espécies e variáveis ambientais foram analisadas utilizando o coeficiente de postos de Spearman e a análise de correspondência canônica. Esta última avaliação foi proposta por Teer Braak (1986) e, além de ser um dos mais aconselhados métodos de análise de gradiente direto em ecologia de comunidades (Rodríguez & Lewis, 1997), é muito usada para avaliar influências ambientais na ocorrência de peixes.

3. RESULTADOS

3.1 Variáveis ambientais

Todas as variáveis ambientais medidas diferiram significativamente entre os reservatórios (teste de Kruskal-Wallis: $P < 0.05$) (Tabela 1). As medianas da temperatura da água foram maiores nos reservatórios de Santa Branca e Ribeirão das Lajes, e menores no reservatório de Tocos; os outros reservatórios apresentaram valores intermediários de temperatura. As maiores transparências também foram registradas em Santa Branca e Lajes, com valores intermediários em Tocos, e menores valores nos demais reservatórios (Tabela 1). A condutividade e o volume de sólidos totais dissolvidos apresentaram padrões assemelhados, sendo inverso à transparência, com medianas menores nos reservatórios de Santa Branca, Lajes e Tocos, e maiores nos outros reservatórios.

O reservatório de Pereira Passos apresentou as menores medianas de pH. O oxigênio dissolvido foi um dos parâmetros que mais diferiu entre os reservatórios, com valores maiores no reservatório de Ilha dos Pombos, seguido de Lajes e Tocos, e, em menor medida, Santa Branca; valores intermediários foram detectados em Pereira Passos, enquanto os menores valores ocorreram em Santana e Vigário.

Significativas correlações positivas ($p < 0,05$) com o eixo 1 da análise de componentes principais foram encontradas para temperatura e transparência, enquanto correlações negativas ($p < 0,05$) foram encontradas para turbidez, totais de sólidos suspensos e condutividade (Tabela 2). O eixo 2 apresentou significativa correlação negativa ($p < 0,05$) com oxigênio dissolvido.

O diagrama de ordenação apresentou uma separação, ao longo do eixo 1, entre os reservatórios de Santa Branca e Lajes, em oposição ao reservatório Pereira Passos, com os primeiros associados às maiores transparências e temperaturas, e o último às maiores cargas de sólidos em suspensão, turbidez e condutividade (Figura 1). O eixo 2 discriminou os reservatórios de Ilha dos Pombos e Tocos, em relação aos outros reservatórios, por apresentarem maiores concentrações de oxigênio dissolvido, em oposição aos demais reservatórios (Figura 1).

TABELA 1 - INFORMAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DOS SETE RESERVATÓRIOS DA LIGHT, 2008. VALORES EXPRESSOS COMO MEDIANA (COEFICIENTE DE VARIAÇÃO) E [MÍNIMO-MÁXIMO]

Variáveis Ambientais	Reservatórios						
	Santa Branca	Lajes	Tocos	Santana	Vigário	Pereira Passos	Ilha dos Pombos
Temperatura, °C	28,3(4) [24.3-29.3]	29,1(5) [24.2-30.7]	22,2(5,6) [21.4-24.6]	25,0(1,1) [25.0-25.7]	24,6(0,2) [24.6-24.7]	24,9(0,7) [24.6-25.1]	25,3(0,7) [25.2-25.9]
Oxigênio dissolvido, mg l ⁻¹	7,9(2) [7.5-8.2]	8,0(11) [7.5-11.4]	8,2(6) [7.8-9.0]	6,9(4) [6.4-7.1]	7,0(4) [6.9-7.5]	7,5(2) [7.1-7.7]	8,8(3) [8.6-9.5]
pH	7,5(5) [7.2-8.7]	7,3(7) [6.4-8.0]	7,0(11) [6.4-8.0]	6,9(7) [6.7-8.0]	7,1(9) [6.8-8.6]	5,8(11) [5.4-8.1]	7,6(2) [7.5-8.1]
Condutividade, μS cm ⁻¹	38,0(8) [30-42]	33(10) [28-42]	27(8) [24-30]	87(1) [87-89]	83(2) [82-86]	108(38) [105-301]	59(3) [57-64]
Turbidez, NTU	3,6(41) [1.6-8.2]	1,8(119) [0.1-14.3]	16,8(19) [12.4-19.7]	67,6(13) [61.9-84.6]	44,2(5) [39.9-46.2]	19,6(13) [15.7-25.4]	90,4(2) [87.1-95.2]
Transparência de Secchi, m	2,15(31) [0,8-2,6]	2,55(40) [0,3-3,8]	0,85(9) [0,8-1,0]	0,30(15) [0,2-0,5]	0,38(13) [0,3-0,5]	0,45(29) [0,4-0,8]	0,10(10) [0,09-0,1]
Totais de sólidos suspensos, mg l ⁻¹	0,02(20) [0.01-0.03]	0,02(15) [0.01-0.03]	0,02(1) [0.01-0.02]	0,06(1) [0.05-0.06]	0,05(8) [0.04-0.06]	0,07(23) [0.07-0.14]	0,04(1) [0.04-0.04]
Área (km ²)	31	30	1,2	6,0	3,9	2,2	4,2

TABELA 2- CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS AMBIENTAIS E OS DOIS PRIMEIROS EIXOS DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS PARA OS SETE RESERVATÓRIOS DA LIGHT (CORRELAÇÕES SIGNIFICANTES – P < 0,05 – EM NEGRITO)

Variáveis ambientais	Eixo 1	Eixo 2
Temperatura	0,76	0,31
pH	0,45	-0,54
Condutividade	-0,89	0,29
Oxigênio dissolvido	0,37	-0,73
Turbidez	-0,81	-0,51
Totais de sólidos suspensos	-0,88	0,31
Transparência	0,84	0,48
Variância explicada	3,84	1,59
% variância explicada	54,8	22,7

3.2 Ictiofauna

Um total de 33 espécies de peixes foi registrado no conjunto dos sete reservatórios da Light, tendo sido registrada a maior diversidade na Ilha dos Pombos (20) e a menor em Tocos (7) (Tabelas 3 e 4). Os parâmetros da comunidade (número de indivíduos, biomassa e número de espécies) variaram entre os reservatórios (Figura 2). O número médio de espécies foi maior na Ilha dos Pombos e menor em Tocos; os demais reservatórios apresentaram valores intermediários (Figura 2). Já o número médio de indivíduos por amostra foi maior em Santa Branca, embora com grande variação, e menor em Tocos e Vigário, enquanto a média de biomassa foi maior em Pereira Passos e Ilha dos Pombos, seguida por Lajes e Santana, e menor em Tocos e Vigário.

fauna diferenciada e associada à ocorrência de *Glanidium albescens*, *Pimelodus fur* e *Hypostomus affinis* (Figura 3). *Loricariichthys castaneus* foi associado ao reservatório de Pereira Passos, enquanto *C. kelberi*, aos reservatórios de Santa Branca, Vigário e Santana.

A composição da ictiofauna mostrou-se similar entre os reservatórios de Santana e Vigário, e mais diferenciada entre Tocos e os demais reservatórios. Os reservatórios de Santana e Vigário, juntamente com o de Ilha dos Pombos e Pereira Passos, apresentaram uma ictiofauna com mais de 50% de similaridade, de acordo com o coeficiente de Jaccard (Figura 4).

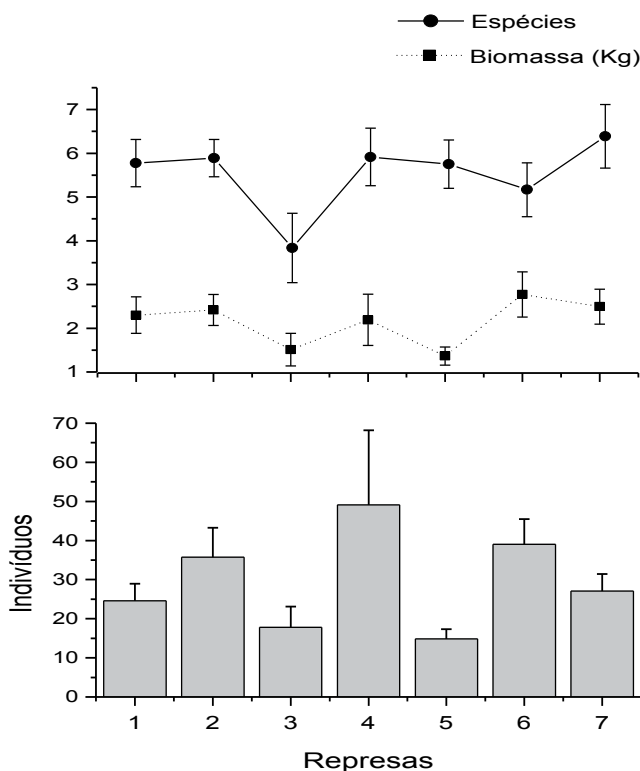


FIGURA 2 - Média e erro padrão (barras verticais) do número de espécies, número de indivíduos e biomassa de peixes nos reservatórios da Light. Código dos reservatórios: 1- Santa Branca; 2- Lajes; 3- Tocos; 4- Santana; 5- Vigário; 6- Pereira Passos; 7- Ilha dos Pombos

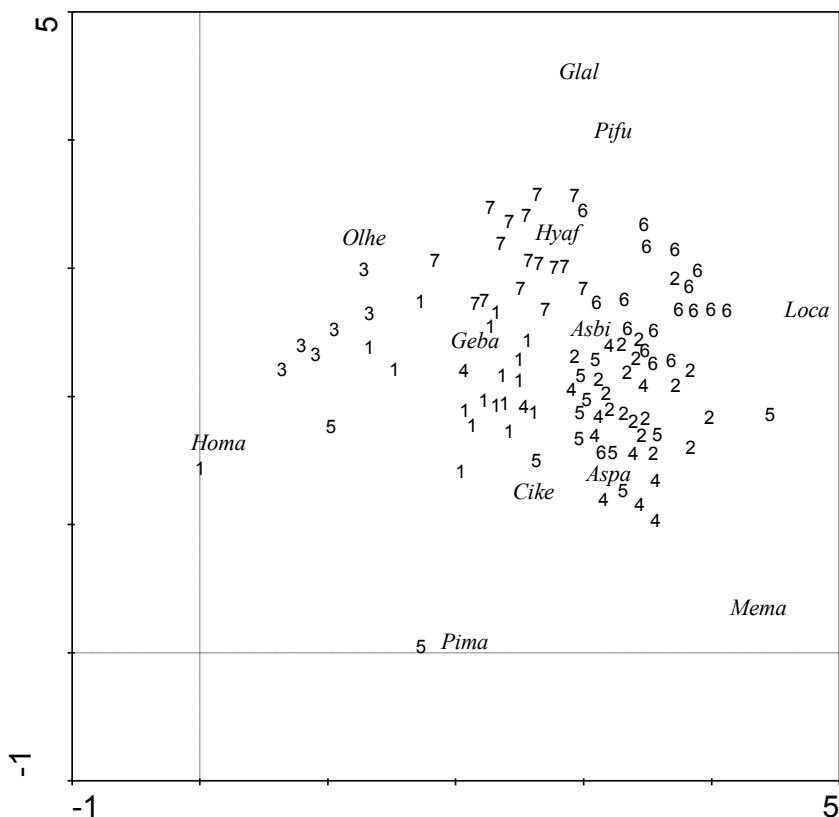


FIGURA 3 - Diagrama de ordenação da análise de correspondência distendenciada sobre a abundância relativa das dez espécies mais numerosas nos reservatórios da Light. Código dos reservatórios: 1- Santa Branca; 2- Lajes; 3- Tocos; 4- Santana; 5- Vigário; 6- Pereira Passos; 7- Ilha dos Pombos. Código das espécies: *Asbi*- *Astyanax bimaculatus*; *Aspa*- *Astyanax parahybae*; *Cike*- *Cichla kelberi*; *Gebr*- *Geophagus brasiliensis*; *Glal*- *Glanidium albescens*; *Homa*- *Hoplias malabaricus*; *Hya*f- *Hypostomus affinis*; *Loca*- *Loricariichthys castaneus*; *Mema*- *Metynnis maculatus*; *Olhe*- *Oligosarcus hepsetus*; *Pifu*- *Pimelodus fur*; *Pima*- *Pimelodus maculatus*

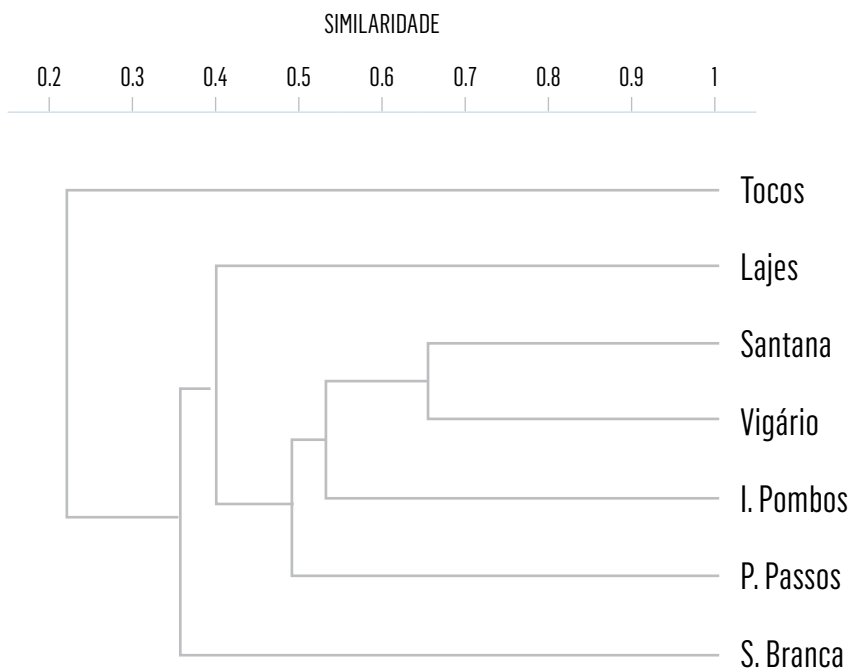


FIGURA 4 - Análise de agrupamento dos sete reservatórios da Light sobre a composição de espécies

3.3 Influências das variáveis ambientais na ictiofauna

Apenas em três reservatórios (Lajes, Santana e Vigário) foram encontradas correlações significativas entre as variáveis ambientais e os parâmetros da ictiofauna de número de indivíduos, biomassa e número de espécies (Tabela 5). O oxigênio dissolvido foi positivamente correlacionado com o número de indivíduos e de espécies em Lajes, e com o número de espécies em Santana. Outras correlações significativas foram as associações positivas entre a turbidez e o número de indivíduos em Lajes, e o número de espécies em Santana. Apenas uma correlação significativa ($r = 0,59$) foi encontrada entre a biomassa e a turbidez, a qual foi observada no reservatório do Vigário.

TABELA 3 - SUMÁRIO DOS RESULTADOS DA ORDENAÇÃO CANÔNICA DISTENDENCIADA SOBRE A ABUNDÂNCIA RELATIVA DAS DEZ ESPÉCIES DE PEIXES MAIS NUMEROSAS NOS RESERVATÓRIOS DA LIGHT

Eixos	1	2	3	4	Inércia
Autovalores	0.58	0.39	0.20	0.13	3.1
Tamanho do gradiente	4.4	3.4	2.1	2.9	
% cumulativa da variância dos dados de espécies	18.7	31.2	37.7	41.7	
Soma de todos os autovalores					3.1

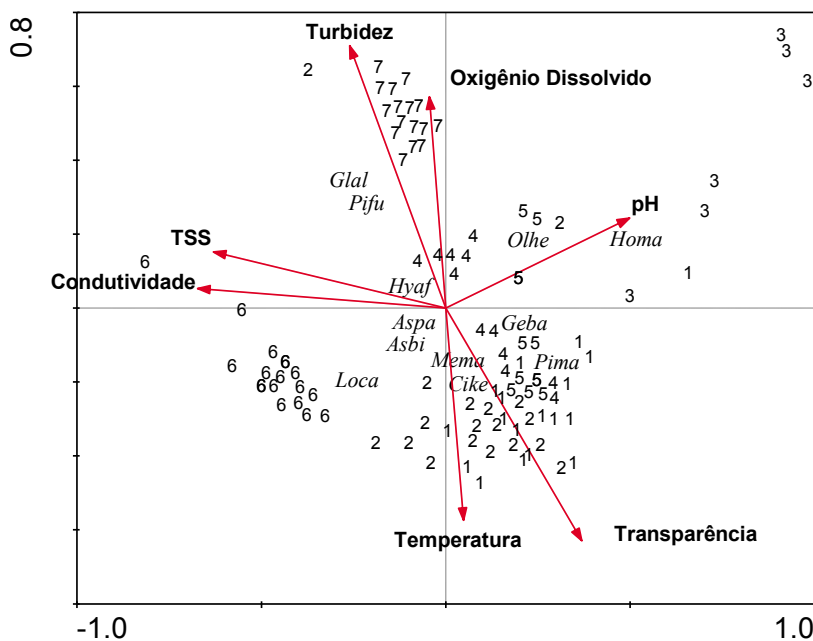


FIGURA 5 - Diagrama de ordenação da análise de correspondência canônica das variáveis ambientais e abundância relativa das espécies de peixes mais numerosas nos reservatórios da Light. Código dos reservatórios: 1- Santa Branca; 2- Lajes; 3- Tocos; 4- Santana; 5- Vigário; 6- Pereira Passos; 7- Ilha dos Pombos. Código das espécies: *Asbi- Astyanax bimaculatus*; *Aspa- Astyanax paraguayae*; *Cike- Cichla kelberi*; *Geba- Geophagus brasiliensis*; *Glal- Glandidium albescens*; *Homa- Hoplias malabaricus*; *Hyaf- Hypostomus affinis*; *Loca- Loricariichthys castaneus*; *Mema- Metynniss maculatus*; *Olhe- Oligosarcus hepsetus*; *Pifu- Pimelodus fur*; *Pima- Pimelodus maculatus*

De acordo com a análise de correlação canônica, as espécies de *Astyanax* e *L. spixii* foram associadas ao reservatório de Pereira Passos, sendo correlacionadas positivamente às maiores condutividades e totais de sólidos suspensos, e relacionadas negativamente com o eixo 1 (Figura 5, Tabela 6). Amostras dos reservatórios de Santa Branca e Lajes foram localizadas na parte inferior do diagrama, sendo positivamente relacionadas com a temperatura e transparências, como foi o caso de *M. maculatus* e *C. kelberi*. Espécies do reservatório de Ilha dos Pombos foram associadas à maior turbidez e oxigênio dissolvido com *G. albescens* e *P. fur*, sendo positivamente associadas com o eixo 2.

4. DISCUSSÃO

Os sete reservatórios da Light diferem entre si com relação às variáveis ambientais examinadas, o que pode estar refletindo na diferenciada composição da ictiofauna encontrada entre os reservatórios. Os reservatórios de Santa Branca e Lajes apresentam a melhor qualidade de água e condições oligotróficas, como indicados pela elevada transparência, pH relativamente alcalino, e baixos índices de TSS e turbidez. Os valores relativamente maiores de temperatura em Santa Branca e Lajes refletem provavelmente as condições dos dias de amostragem.

Assim, poucas variáveis podem estar influenciando os parâmetros da comunidade, uma vez que é sabido que cada espécie reage de maneira particular às condições ambientais (Reash & Pigg, 1990; Craig, 2000). A transparência das águas de Santa Branca e Lajes, comparada com a os demais reservatórios, reflete o grau de alteração desses últimos sistemas, cuja turbidez é resultante de uma grande quantidade de material em suspensão carregado para as áreas em que os mesmos se encontram. Estudos recentes do Projeto Pisces (Araújo, 2009) revelaram que o uso e cobertura da área de drenagem no entorno do reservatório de Lajes por fragmentos florestais é de cerca de 70%, enquanto no reservatório de Ilha dos Pombos é de apenas 48%. Tal disparidade justifica, em parte, a diferença da qualidade das águas desses dois sistemas, principalmente no que concerne à turbidez, transparência e totais de sólidos suspensos.

É importante salientar, no entanto, que outras condicionantes, como a ecoregião em que cada reservatório se localiza, a geomorfologia e a hidrodinâmica da água local, e o micro e macro-habitat têm também direta associação com a

configuração de espécies encontradas em cada sistema (McDonoug e Hickman, 1999; Barrella e Petrere-Jr, 2003).

A ampla dispersão das amostras no diagrama indica a distribuição da maioria das espécies de peixes em todos os reservatórios, o que é de se esperar, principalmente devido ao pequeno tempo do barramento e à proximidade dos reservatórios, a maioria deles pertencentes a uma mesma ecorregião, o que não constitui barreira suficiente para o isolamento e especiação dos componentes da ictiofauna.

A ictiofauna foi caracterizada por representantes da fauna Neotropical (Britski, 1994; Araújo & Santos, 2001; Teixeira *et al.*, 2005), sendo dominada por Characiformes e Siluriformes adaptados a ambientes lênticos. Das espécies introduzidas, destaca-se a grande contribuição de *C. kelberi* em Santa Branca e Lajes, *M. maculatus* em Lajes, Santana e Vigário, e *T. rendalli* em Lajes. Como estas espécies foram introduzidas há várias décadas (Araújo & Santos, 2001), é esperado que as interações com as populações nativas já tenham ocorrido, resultando nos níveis atuais de equilíbrio.

Os padrões de distribuição da ictiofauna entre os reservatórios, no entanto, indicaram uma separação de fauna, com as espécies *G. asbescens* e *P. fur* associadas ao reservatório de Ilha dos Pombos, o ambiente que apresentou a maior turbidez de todos os sistemas examinados. Essas espécies têm sido registradas como abundantes no trecho médio-inferior do Rio Paraíba do Sul (Teixeira *et al.*, 2005), com *P. fur* apresentando hábitos migratórios de pequenas distâncias, o que reflete a grande contribuição do influxo do Rio Paraíba do Sul no reservatório de Ilha dos Pombos. Cichlídeos, como *C. kelberi* e *G. brasiliensis*, estiveram associados aos reservatórios de Santa Branca e, em menor proporção, Lajes, indicando a preferência destas espécies por águas de maior transparência, uma vez que são predadores visuais. Além disso, essas espécies são sedentárias, e não necessitam fazer migração reprodutiva, razão do sucesso de sua adaptação ao reservatório de Lajes, que não dispõe de grandes rios contribuintes, nem de rotas migratórias para peixes reofílicos.

As elevadas diversidade e abundância registradas nos reservatórios de Santana (22 espécies; 589 ind. m⁻²) e Ilha dos Pombos (20 espécies; 487 ind. m⁻²) refletem a influência e a contribuição do Rio Paraíba do Sul, que aporta elevadas cargas de nutrientes, propiciando o aumento da riqueza e da produtividade primária e secundária. Em Ribeirão das Lajes, apenas 14 espécies foram registradas, o que está associado à baixa disponibilidade de habitats físicos (Santos *et al.*, 2004; 2008). A limitação de habitats físicos e o pequeno aporte de rios contribuintes fazem de Lajes um reservatório que, embora possua a melhor qualidade ambiental, como constatado neste estudo, também apresenta grande fragilidade e baixa resiliência em função do grande tempo de residência da água no sistema. O baixo número de espécies (7) e de indivíduos em Tocos está associado à sua menor área (1,2 km²) em comparação com os outros sistemas, e menor aporte fluvial, uma vez que este sistema é resultado do Rio Pirai em sua parte superior.

Com base na similaridade da fauna e na assemelhada composição de espécies desses reservatórios, pode-se concluir que os mesmos são sistemas relativamente bem estabilizados e que suportam uma ictiofauna estável. Eventuais variações são resultantes de condicionantes sazonais naturais e/ou artificiais (nível da água, pluviosidade, aporte de nutrientes/poluentes etc.). No caso do presente estudo, as variáveis ambientais estiveram dentro dos valores esperados para esses sistemas e a limitada ictiofauna reflete o efeito do barramento, aporte de contribuintes e limitação de habitats. Embora não seja prática difundida nos reservatórios do Brasil, é aconselhável fazer o monitoramento de longo prazo para acompanhar as variações na qualidade ambiental dos ambientes represados em todo o mundo (Rodríguez & Lewis, 1997; Craig, 2000; Larinier, 2000; Barrella & Petrere-Jr, 2003).

TABELA 4 - ABUNDÂNCIA RELATIVA (N, NÚMERO POR 100 M⁻²) E FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA (FO) DE PEIXES NOS SETE RESERVATÓRIOS DA LIGHT - TM ESPÉCIE INTRODUZIDA

Represas	Santa Branca		Ribeirão das Lajes		Tocos		Santana		Vigário		Pereira Passos		Ilha dos Pombos	
	N	%FO	N	%FO	N	%FO	N	%FO	N	%FO	N	%FO	N	%FO
<i>Australoheros facetus</i>					2	16,7								
<i>Astyanax bimaculatus</i>	79	77,8	90	72,2			94	83,3	10	41,7	107	83,3	84	66,7
<i>Astyanax paraguayae</i>	89	55,6	172	66,7			218	100	34	58,3	67	61,1	45	44,4
<i>Brycon insignis</i>	2	5,6	1	5,6										
<i>Callichthys callichthys</i>							1	8,3			1	5,6		
<i>Cichla keleri</i> [®]	64	55,6	13	44,4					2	16,7	5	22,2	1	5,6
<i>Crenicichla lacustris</i>	3	16,7	5	22,2			2	8,3	8	50	2	11,1		
<i>Cyphocharax gilbert</i>	1	5,6												
<i>Deuterodon paraguayae</i>	1	5,6												
<i>Eigenmannia virescens</i>							4	16,7	2	8,3	4	16,7	3	16,7
<i>Geophagus brasiliensis</i>	37	72,2	32	66,7			1	8,3					35	44,4
<i>Glanidium albescens</i>									0	0	43	38,9	93	55,6
<i>Gymnotus carapo</i>			1	5,6	2	33,3	4	25	1	8,3			6	22,2
<i>Hoplias malabaricus</i>	11	38,9			24	83,3	7	33,3	5	41,7				
<i>Hoplerythrinus unitaeniatus</i>							1	8,3					1	5,6
<i>Hypostomus affinis</i>	6	27,8	14	44,4	3	50	1	8,3			8	33,3	12	50
<i>Hypostomus auroguttatus</i>											29	61,1		

TABELA 4 - ABUNDÂNCIA RELATIVA (N, NÚMERO POR 100 M⁻²) E FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA (FO) DE PEIXES NOS SETE RESERVATÓRIOS DA LIGHT - ^{ln} ESPÉCIE INTRODUZIDA

Represas	Santa Branca		Ribeirão das Lajes		Tocos		Santana		Vigário		Pereira Passos		Ilha dos Pombos	
	N	%FO	N	%FO	N	%FO	N	%FO	N	%FO	N	%FO	N	%FO
Espécies														
<i>Leporinus conirostris</i>	2	11,1					1	8,3	2	8,3	2	11,1	3	5,6
<i>Leporinus copelandii</i>	2	11,1			1	16,7	4	33,3	1	8,3	11	11,1	1	5,6
<i>Loricariichthys spixii</i>			153	100			9	25	43	66,7	383	83,3		
<i>Metynnis maculatus^{ln}</i>			130	72,2			207	83,3	12	58,3	2	5,6		
<i>Oligosarcus hepsetus</i>	89	94,4	7	22,2	55	100	19	58,3	9	58,3	6	27,8	86	83,3
<i>Pachyurus adpersus</i>			4	16,7			1	8,3	1	8,3	3	16,7	21	44,4
<i>Pimelodella sp</i>			1	5,6									1	5,6
<i>Pimelodus fur</i>							3	16,7			30	27,8	43	61,1
<i>Pimelodus maculatus</i>	47	50					2	8,3	15	58,3				
<i>Plagioscion squamosissimus^{ln}</i>									26	58,3			3	11,1
<i>Prochiodus lineatus</i>	3	11,1											26	55,6
<i>Probolodus heterostomus</i>	1	5,6												
<i>Rhamdia parahybae</i>	3	16,7			20	83,3	1	8,3	1	8,3			3	11,1
<i>Rineloricaria sp</i>							1	8,3					18	33,3
<i>Tilapia rendalli^{ln}</i>	3	16,7	20	44,4										
<i>Tracheopterus striatulus</i>							8	33,3	6	16,7			2	11,1
Total de Indivíduos	443		643		107		589		178		703		487	
Número de espécies	18		14		7		22		18		16		20	

TABELA 5 - SIGNIFICATIVAS CORRELAÇÕES DE SPEARMAN ENTRE PARÂMETROS DA ICTIOFAUNA E VARIÁVEIS AMBIENTAIS NOS RESERVATÓRIOS DA LIGHT

Variáveis ambientais	Parâmetros da Ictiofauna	
	Número	Espécies
Temperatura	0,58 (Vigário)	
Transparência	0.63 (Vigário) -0,56 (Lajes)	
Oxigênio dissolvido	0,76 (Lajes)	0.73 (Santana) 0,48 (Lajes)
Turbidez	0,52(Lajes)	0,60 (Santana)
Condutividade		0,59 (Vigário)
pH		-0.75 (Santana)
TSS	0.58 (Vigário)	0,52 (Lajes)

TABELA 6 - SUMÁRIO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE CORRELAÇÃO CANÔNICA ENTRE AS VARIÁVEIS AMBIENTAIS E A ABUNDÂNCIA RELATIVA DAS 12 ESPÉCIES DE PEIXES MAIS NUMEROSAS NOS SETE RESERVATÓRIOS DA LIGHT

Eixos	1	2	3	4	Inércia
Autovalores		0.24	0.18	0.09	0.05
Correlação spp-ambiente:		0.80	0.73	0.61	0.51
% cumulativa da variância					
das espécies		11.8	20.6	24.9	27.3
da relação espécie-ambiente		39.1	68.1	82.4	90.2
Soma de todos autovalores					2.00
Soma dos autovalores canônicos					0.61
Correlação canônica					
Temperatura		0.03	-0.43	-0.44	-0.17
Transparência		0.28	-0.47	-0.14	-0.11

TABELA 6 - SUMÁRIO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE CORRELAÇÃO CANÔNICA ENTRE AS VARIÁVEIS AMBIENTAIS E A ABUNDÂNCIA RELATIVA DAS 12 ESPÉCIES DE PEIXES MAIS NUMEROSAS NOS SETE RESERVATÓRIOS DA LIGHT

Eixos	1	2	3	4	Inércia
Condutividade		-0.54	0.06	0.25	0.24
pH		0.42	0.15	-0.46	0.15
Oxigênio dissolvido		-0.01	0.40	-0.30	-0.14
Turbidez		-0.19	0.52	0.13	0.09
TSS		-0.53	0.08	0.28	0.22

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da Light Energia S.A. / Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) / Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), por meio de contrato de prestação de serviços entre a Light e a UFRRJ (Projeto Pisce).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOSTINHO, A.A.; JULHO, H.F.;PETRERE. JUNIOR, M.Itaipu reservoir (Brasil): impact of the impoundment on the fish fauna and fisheries. In: COWX, I.G. (Ed.). *Rehabilitation of freshwater fisherie*. Hull: Fishing News Books, 1994. p. 171-184.
- ARAÚJO, F.G. *Avaliação da qualidade ambiental e monitoramento dos reservatórios da LIGHT*: relatório final. Rio de Janeiro: [s.n.], 2009. 116p. (Projeto pisce, 2).
- ARAÚJO, F.G; SANTOS, L.N. Distribution of fish assemblages in the Lajes Reservoir. *Brazilian Journal of Biology*, Rio de Janeiro, v. 61, p. 563-576, 2001.
- BARELLA, W.; PETRERE.JUNIOR, M. Fish community alterations due to pollution and damming in Tietê and Paranapanema rivers (Brazil). *River Research and Applications*, v. 19, p. 59-76, 2003.

BRITSKI, H.A. A fauna de peixes brasileiros de água doce e o represamento de rios. In: SEMINÁRIO SOBRE FAUNA AQUÁTICA E O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO, 1994, Piranhas, AL. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 1995. p. 23-30.

CRAIG, J.F. *Large dams and freshwater fish biodiversity*: contributing paper. Cape Town: World Commission on Dams, 2000. 58p.

JENNING, M.J.; FORE, L.S.; KARR, J.R. Biological monitoring of fish assemblages in Tennessee Valley reservoirs. *Regulated Rivers: research and management*, v. 11, p. 263-274, 1995.

LARINIER, M. *Dams and fish migration*. Cape Town: World Commission on Dams, 2000. Disponível em: www.dams.org.

McDONOUGH, T.A.; HICKMAN, G.D. Reservoir fish assemblage index development: a tool for assessing ecological health in Tennessee Valley Authority impoundments. In: SIMON, T.P. (ed.). *Assessing the sustainability and biological integrity of water resources using fish communities*. [S.l.]: CRC press, 1999. 671p.

MEADOR, M.R.; GOLDSTEIN, R.M. Assessing water quality at large geographic scales: relations among land use, water physicochemistry, riparian condition, and fish community structure. *Environmental Management*, v. 31, n. 4, p. 504-517, 2003.

MOYLE, P.B.; CECH, J. J. *Fishes: an introduction to ichthyology*. 2. ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1988.

PATESSE, M.L.; PETRETE JÚNIOR., M.; SPINGOLON, R.J. The hydraulic management of the Barra Bonita reservoir (SP, Brazil) as a factor influencing the temporal succession of its fish community. *Brazilian Journal of Biology*, São Carlos, v. 67, p. 433 - 445, 2007.

REASH, R.J.; PIGG, J. Physicochemical factors affecting the abundance and species richness of fishes in the Cimarron River. *Proceedings of the Oklahoma Academy of Science*, Oklahoma, v. 70, p. 23-28, 1990.

RODRÍGUEZ, M. A.; LEWIS, W.M. Structure of fish assemblages along environmental gradients in floodplain lakes of the Orinoco River. *Ecological Monographs*, v. 67, p. 109-128, 1997.

SANTOS, A.F.G.N.; SANTOS, L.N.; ARAÚJO, F.G. Water level influences on body condition of *Geophagus brasiliensis* (Perciformes, Cichlidae) in a Brazilian oligotrophic reservoir. *Neotropical Ichthyology*, v. 2, p.151-156, 2004.

SANTOS, L.N.; ARAÚJO, F.G.; BROTO, D.S. Artificial structures as tools for fish habitat rehabilitation in a Neotropical reservoir. *Aquatic Conservation*, v.18, p. 896-908, 2008.

TEIXEIRA, T.P. *et al.* Diversidade das assembleias de peixes nas quatro unidades geográficas do rio Paraíba do Sul. *Iheringia*, v. 95, p. 347-357, 2005. (Série zoologia).

TER BRAAK, C.J.F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, v. 67, p.1167-1179, 1986.

ZAR.J. H. *Biostatistical analysis*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1974. p.620.

AUTORES

Francisco Gerson Araújo | Doutor em Ecologia e Ciências Ambientais pela Universidade de Londres (King's College), professor associado III e pesquisador do Departamento de Biologia Animal da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). | gerson@ufrj.br

Rinaldo Rocha | Mestre em Ecologia e Recursos Naturais pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e analista ambiental da Light Energia S.A. | rinaldo.rocha@light.com.br

RESUMO | Os contratos de gestão foram adotados pela Administração Pública para dar maior eficiência aos serviços prestados. No que tange à Gestão dos Recursos Hídricos em âmbito federal, após a promulgação das Leis nº 9.433/97, 9.984/00 e 10.881/04, que instituíram e implementaram a Política Nacional e o Gerenciamento dos Recursos Hídricos, foram criados novos organismos e, conseqüentemente, novas formas de relacionamento entre os mesmos. Considerando que essa estrutura foi igualmente adotada pelos estados, é possível perceber que o organismo localizado à extremidade do Sistema de Gestão de Recursos Hídricos (tanto federal quanto estaduais) é a entidade delegatária de funções de agência de água que, através dos contratos de gestão com o Poder Público, desenvolve as atividades atribuídas à agência de água/bacia. Este artigo aborda as condições para celebração de contratos de gestão entre a Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (Agevap) – entidade delegatária de funções de agência de bacia do Rio Paraíba do Sul, seus afluentes fluminenses e do Rio Guandu – e os órgãos gestores (federal e estaduais), com a interveniência de comitês de bacia, suas atribuições e a importância do papel da agência de bacia como integradora dessas políticas em sua área de atuação.

PALAVRAS-CHAVE | Gestão de Recursos Hídricos; Comitês de Bacias.

ABSTRACT | The Management Contracts were adopted by the Public Administration to give greater efficiency to the services provided. Regarding the Water Resources Management at the federal level, after the promulgation of the laws 9.433/97, 9.984/00 and 10.881/04 which established and implemented the National Policy and Management of Water Resources, new organisms were created and, consequently, new forms of relationship between them. Whereas this structure was also adopted by the States is can see that the organism located at the end of the System of Water Resources Management (both Federal and State) is the delegated entity to act as agents of water that develops the activities assigned to the agency through the Management Contracts with the Government. This paper discusses the conditions for concluding management contracts between Agevap (delegated entity of agency functions basin Paraíba do Sul River and its tributaries and the Guandu River) and Management Organs (State and Federal), duties and the importance of the role of agency basin as an integrator of these policies in your area.

KEYWORDS | Water Resources Management; Watershed Committees.

Contratos de gestão entre entidades delegatárias e Poder Público, com a interveniência de comitês de bacia

A Agevap como agência de bacia do Ceivap, Guandu e Comitês Afluentes Fluminenses

Mariana da Costa Facioli

1. INTRODUÇÃO

A eficiência, prevista na Constituição Federal Brasileira, é um dos princípios fundamentais da Administração Pública. Porém, devido à sobrecarga dos serviços públicos e à precariedade estrutural do Estado, houve uma perda significativa da agilidade no desempenho de tarefas fundamentais à satisfação das necessidades da população, demonstrando a insuficiência e ineficiência desses serviços. Objetivando alterar essa situação, e buscando a descentralização dos serviços que eram desenvolvidos pela administração pública direta, após a promulgação da Emenda Constitucional nº 19/1998, parte desses serviços foram entregues à responsabilidade de entidades da administração pública indireta como fundações, autarquias e empresas estatais, e alguns serviços públicos a pessoas jurídicas de direito privado, através de contrato firmado com o Poder Público. Nesse contexto, inúmeros acordos e contratos foram firmados entre os setores públicos

e privados, visando à recuperação da eficiência e satisfação de atendimento às necessidades da população [13].

Genericamente, o Contrato de Gestão é uma forma de contrato por prazo determinado entre a Administração Pública Direta e Administração Indireta ou entidades privadas (Terceiro Setor) que atuam ao lado do Estado, e visa fixar determinados objetivos a serem realizados por essas entidades, com um correspondente benefício a ser concedido pela Administração Direta.

A Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, instituídos pela Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e complementados pelas leis federais nº 9.984, de 17 de julho de 2000, criadora da Agência Nacional de Águas (ANA) e nº 10.881, de 9 de junho de 2004, objetivam, em síntese, assegurar disponibilização de água de qualidade à atual e às futuras gerações, estimular a racionalização do uso e prevenir eventos hidrológicos críticos, além de propiciar a celebração de contratos de gestão para tais finalidades [20; 22]. Nesse contexto, além dos instrumentos (plano de recursos hídricos, enquadramento dos corpos hídricos, outorga e cobrança pelo uso e sistema de informações sobre recursos hídricos), são partes integrantes do Sistema: o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, a Agência Nacional de Águas, os conselhos de recursos hídricos dos estados e do Distrito Federal, os comitês de bacia hidrográfica, os órgãos dos poderes públicos federal e estaduais, do Distrito Federal e municipais cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos e as agências de água (atualmente representadas pelas entidades a quem foram delegadas suas funções), organismo cuja atuação está diretamente relacionada ao(s) comitê(s) de bacia ao qual este(a) vinculada.

A entidade delegatária objeto deste artigo é a Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (Agevap), que, considerando a bacia hidrográfica como unidade para implementação da política e da descentralização, exerce funções de agência da bacia do Rio Paraíba do Sul e está vinculada, por intermédio de contratos de gestão, a comitês de sua área de atuação, tanto federal (Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul – Ceivap), quanto estaduais (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Guandu, do Médio Paraíba do Sul, do Rio Piabanha e Sub-Bacias Hidrográficas dos Rios Paquequer e Preto, da Região Hidrográfica do Rio Dois Rios e da Região Hidrográfica do Baixo Paraíba do Sul).

À Agevap, criada nos termos da Deliberação Ceivap nº 12, de 20 de junho de 2002, foram atribuídas funções e atividades inerentes à agência de água, inclusive as de secretaria executiva [10], inicialmente apenas para o Ceivap que, instituído pelo Decreto Federal nº 1.842, de 22 de março de 1996, foi autorizado pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos a criar sua “Agência de Água”, conforme consta na Resolução nº 26, de 29 de novembro de 2002. Quanto à personalidade jurídica, trata-se de uma associação de direito privado, sem fins econômicos, composta de Assembléia Geral, Conselho de Administração, Conselho Fiscal e Diretoria-Executiva, conforme observado na figura 1 [14].

TABELA 1 - CONSTITUIÇÃO DA AGEVAP

Função	Definição	Principais atribuições	Nº de membros
Assembleia Geral	Órgão soberano	Eleger e destituir os membros dos Conselhos	66
Conselho de Administração	Órgão colegiado	Definir linhas gerais das políticas, diretrizes e estratégias, orientando a Diretoria-Executiva no cumprimento de suas atribuições	05
Conselho Fiscal	Órgão fiscalizador	Fiscalizar a contabilidade da Associação, emitir pareceres, requisitar documentos e determinar a realização de auditorias externas	03
Diretoria-Executiva	Gestor	Gerir e executar, com liberdade operacional, todas as atividades e os serviços, finalísticos ou administrativos, da Associação	03

Em 2010, outros contratos de gestão foram celebrados entre a Agevap e o Instituto Estadual do Ambiente (Inea), com a interveniência dos comitês de bacias afluentes do trecho fluminense da bacia e do Comitê Guandu, respectivamente, com a finalidade do exercício das funções de agência de água.

A área de atuação da Agevap compreende a bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul e grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas, cuja área de drenagem, segundo informação atualizada pela Superintendência de Gestão da Informação (SGI) da ANA, tem cerca de 62.074 km² e contempla os estados de São Paulo (na região conhecida como Vale do Paraíba Paulista), de Minas Gerais (denominada Zona da Mata Mineira) e de metade do Estado do Rio de Janeiro. Em toda a sua extensão, há atualmente 184 municípios¹, sendo 39 municípios no Estado de São Paulo, 88 no Estado de Minas Gerais e 57 no Estado do Rio de Janeiro.

1. Dado atualizado conforme Resolução CNRH nº 84, de 27/03/2008, e Decreto nº. 6.591, de 01/10/2008

O Rio Paraíba do Sul é formado pela união dos rios Paraíbauna e Paraitinga e entre os principais formadores da margem esquerda destacam-se os rios Paraíbauna mineiro, Pomba e Muriaé. Na margem direita, os afluentes mais representativos são os rios Pirai, Piabanha e Dois Rios. Além de ser altamente industrializada e densamente povoada (contempla aproximadamente 14 milhões de pessoas), a bacia comporta várias usinas hidrelétricas e uma transposição de águas, nas proximidades do município de Barra do Pirai (RJ), para a bacia do Rio Guandu que, além da geração de energia elétrica, contribui para o abastecimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro e áreas adjacentes.

O objetivo deste trabalho é demonstrar que, devido à experiência adquirida pela Agevap na exequibilidade do contrato de gestão celebrado com a ANA visando à gestão dos recursos hídricos na bacia do Rio Paraíba do Sul (dominialidade federal), é tão possível quanto recomendável que essa mesma “agência”/entidade delegatária administre também os recursos estaduais destinados às bacias em sua área de influência, as quais podem ser observadas figuras 1 e 2:

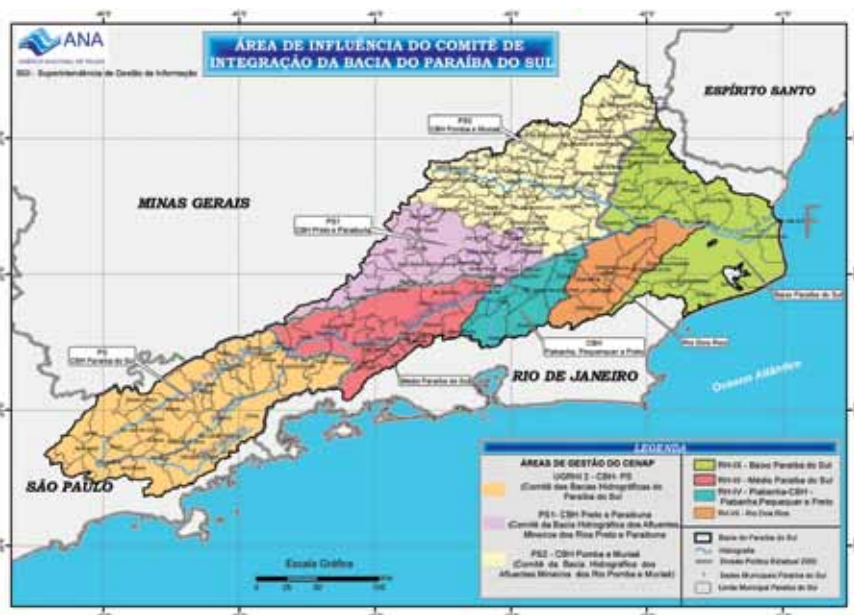


FIGURA 1 - Área de Influência do Comitê de Integração da Bacia do Paraíba do Sul
Fonte: Agência Nacional de Águas

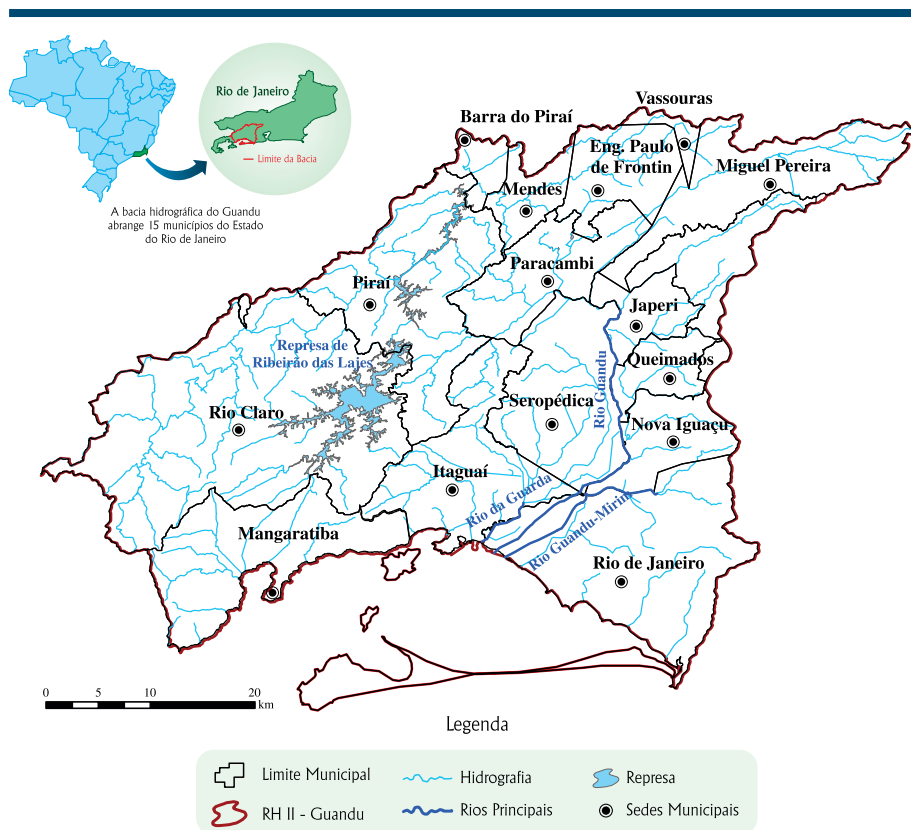


FIGURA 2 - Bacia hidrográfica do Rio Guandu

Fonte: Site do Comitê Guandu – www.comiteguandu.org.br/hidrografica.php

1.1 Cobrança, contrato de gestão e retorno dos recursos federais à bacia

A cobrança pelo uso dos recursos hídricos na bacia do Rio Paraíba do Sul teve início em março de 2003 e, em março de 2004, através da Resolução nº 38 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), a Agevap foi reconhecida como entidade delegatária das funções de agência de água da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

Em 9 de junho de 2004, foi promulgada a Lei nº 10.881, que traz no *caput*: “Dispõe sobre os contratos de gestão entre a Agência Nacional de Águas e entidades

delegatárias das funções de Agências de Água relativas à gestão de recursos hídricos de domínio da União e dá outras providências” [21].

Em setembro do mesmo ano, a Agência Nacional de Águas e a Agevap celebraram o contrato de gestão, com a interveniência do Ceivap, que tem por objeto o exercício de funções de agência de água na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Esta bacia foi a primeira a ter uma entidade delegatária de funções de agência de água no Brasil.

É fundamental a observância quanto à questão da figura jurídica da entidade a quem foram delegadas as funções de agência de água. No caso da Agevap, trata-se de uma associação, porém as entidades delegatárias das funções de agências de água podem ter outras formas.

A concepção moderna de descentralização hídrica, para se tornar operacional, necessitava de um marco legal que legitimasse as decisões referentes à utilização, preservação e recuperação das águas, considerando os usos múltiplos, tornando as decisões dos comitês de bacia exequíveis.

O contrato de gestão, no âmbito do Gerenciamento de Recursos Hídricos, tem sido considerado um elemento estratégico, cuja finalidade básica é possibilitar à Administração Pública fixar metas e prazos de execução a serem cumpridos pela entidade delegatária, a fim de permitir melhor controle de resultados.

A Lei nº 10.881/2004, quanto a esse tema, traz que: “A Agência Nacional de Águas – ANA poderá firmar contratos de gestão, por prazo determinado, com entidades sem fins lucrativos que se enquadrem no disposto pelo art. 47 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que receberem delegação do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH para exercer funções de competência das Agências de Água, previstas nos artigos 41 e 44 da mesma Lei, relativas a recursos hídricos de domínio da União.”

É estabelecido um conteúdo mínimo nos contratos de gestão, conforme artigo 2º da Lei nº 10.881/2004, e a complementação, que deve considerar as peculiaridades de cada bacia hidrográfica, fica a critério da ANA. Quando especificada uma proposta de programa de trabalho, devem ser previstas metas a serem atingidas, e respectivos prazos para execução, que serão avaliados através de indicadores de desempenho (artigo 2º, inciso I). Conforme artigo 8º daquela lei, há previsão de rescisão do contrato de gestão constatado o descumprimento do

estabelecido no mesmo. Como o referido contrato tem como “unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos” a bacia hidrográfica, a execução das metas e resultados segue o mesmo princípio, não se atendo a municípios ou estados específicos.

Para execução das atribuições previstas às agências de água, a ANA, conforme artigo 4º da referida lei, transferirá às entidades delegatárias recursos financeiros provenientes da cobrança pelos usos de recursos hídricos, arrecadados na respectiva bacia hidrográfica, para cumprimento do contrato de gestão. Os recursos federais recebidos pela Agevap entre os anos de 2004 e 2011 estão estimados em R\$ 84 milhões, entre recursos aplicados e comprometidos em projetos de recuperação e preservação da bacia.

1.2 Atuação da Agevap como entidade delegatária de funções de agência de água

O contrato de gestão de que se trata consiste em um acordo entre a ANA e a Agevap, com a anuência do Ceivap, no qual são estabelecidas as responsabilidades de ambos os lados, as metas a serem alcançadas com base em indicadores e os critérios de avaliação final.

Ele é o instrumento que garante o retorno dos recursos financeiros arrecadados, com a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, para a bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, e a aplicação desses recursos em ações de recuperação e preservação ambiental, segundo o Plano de Bacia e determinações do Ceivap. O arranjo institucional da Agevap, como associação privada, permite certa flexibilidade nos procedimentos, desde que previstos nas resoluções da ANA.

Os contratos de gestão observarão: especificação do programa de trabalho; estipulação dos limites e critérios para despesa com remuneração; obrigação de apresentar relatório sobre a execução do contrato de gestão em cada exercício; publicação de demonstrativo de sua execução físico-financeira; prazo de vigência do contrato e as condições para sua suspensão, rescisão e renovação; impossibilidade de delegação da competência prevista no inciso III do art. 44º da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (efetuar, mediante delegação do outorgante, a cobrança pelo uso de recursos hídricos); a forma de relacionamento da

entidade delegatária com o comitê e a forma de relacionamento e cooperação da entidade delegatária com as entidades estaduais diretamente relacionadas ao gerenciamento .

Para todo e qualquer contrato de gestão firmado entre a ANA e uma entidade delegatária com funções de agência de água, conforme previsto no artigo 3º da Lei nº 10.881/2004, deverá haver uma comissão de avaliação que analisará os resultados obtidos ao longo da execução das metas estipuladas, desenvolvendo as atribuições de acompanhamento da execução do contrato mediante a análise dos relatórios elaborados pela Agevap; avaliação dos resultados alcançados com a execução do contrato, com base nas metas e indicadores de desempenho acordados, na perspectiva de sua eficácia, de sua eficiência e de sua efetividade; avaliação da execução financeira; elaboração e encaminhamento de relatório conclusivo sobre a avaliação procedida, contendo comparativo específico das metas propostas com os resultados alcançados, acompanhado de parecer sobre a prestação de contas correspondente ao período avaliado, à Auditoria Interna da ANA, à Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente e ao Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (Ceivap); proposição do redimensionamento de metas, ações corretivas e recomendações decorrentes do acompanhamento e das avaliações semestrais; prestação de assessoramento técnico ao processo de negociação de metas e estabelecimento dos respectivos indicadores e cronogramas de desembolso, quando necessário; e comunicação à Diretoria Colegiada da ANA sobre qualquer irregularidade ou ilegalidade que tomar conhecimento no exercício de suas atribuições.

Os indicadores a serem atendidos no contrato de gestão celebrado entre ANA e Agevap, atualmente, referem-se a:

- ≡ a) Disponibilização de Informações – tornar disponível e atualizar informações relevantes para a gestão de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul numa página eletrônica, assim como o acompanhamento detalhado do número de consultas à mesma;
- ≡ b) Planejamento e Gestão – compreende a publicação de dados técnicos sobre a situação da bacia hidrográfica, elaboração de relatório com subsídios para ações de regulação na bacia, atualização do manual de investimento, plano de revitalização de determinada bacia afluyente;

- ≡ c) Cobrança pelo Uso da Água – conjunto de ações referentes ao aperfeiçoamento da cobrança com a aplicação dos recursos captados pela cobrança pelo uso das águas da bacia e repassados pela ANA à Agevap. Visa induzir maior desembolso frente ao valor repassado, assim como o aumento da alavancagem de recursos externos e o aperfeiçoamento da cobrança pelo uso da água;
- ≡ d) Gerenciamento Interno – compreendem as ações da agência relacionadas ao cumprimento das obrigações contratuais pela Agevap;
- ≡ e) Reconhecimento Social – avaliação da Agevap pelos membros do Comitê.

Devido ao satisfatório desempenho da Agevap, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, por meio da Resolução nº 59, de 2 de junho de 2006, prorrogou o prazo no qual a Agevap poderá exercer funções de agência de água da bacia do Rio Paraíba do Sul, o que propiciou a prorrogação também da vigência do contrato de gestão com a ANA pelo mesmo prazo, até o ano de 2016. Com a ANA, o contrato abrange as águas de domínio federal da bacia. Quanto às águas de domínio estadual, o relacionamento acontece junto aos órgãos gestores dos estados do Rio de Janeiro (Instituto Estadual do Ambiente – Inea), Minas Gerais (Instituto Mineiro de Gestão das Águas – Igam) e São Paulo (Departamento de Águas e Energia Elétrica).

Em Minas Gerais, o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH), através da Deliberação CERH nº 78, de 22 de novembro de 2007, aprovou a equiparação da Agevap à Agência de Bacia Hidrográfica dos Comitês Pomba / Muriaé e Paraibuna / Preto, desde que a cobrança pelo uso da água fosse implantada, o que não ocorreu até o final do ano de 2007. Essa equiparação foi prorrogada até o ano de 2011, quando expirou, e por ainda não haver cadastramento de usuários para a cobrança pelo uso da água, não houve nova prorrogação.

Em 2009, teve início um diálogo entre a Agevap e o Governo do Estado do Rio de Janeiro, por meio do Instituto Estadual do Ambiente (Inea), para o desempenho de funções de Agência de Bacia do Comitê Guandu e dos Comitês Afluentes Fluminenses: Médio Paraíba do Sul, Baixo Paraíba do Sul, Piabanha e Rio Dois Rios. A cobrança neste estado é um instrumento previsto na Lei nº 3.239/1999, que instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos [16], e teve início em 2004 após promulgação da Lei nº 4.247/2003 [17].

De acordo com exames realizados tanto no Estatuto da Agevap [14] quanto em seu Regimento Interno [25] foi verificado não haver óbice jurídico sobre a possibilidade de a Agevap vir a ser agência de bacia de bacias afluentes estaduais e/ou contíguas, conforme demonstrado a seguir:

≡ Estatuto

“Artigo 1º – Parágrafo 1º: A área de atuação da ASSOCIAÇÃO será formada pela área da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul e grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas, inexistindo limites intermunicipais para as finalidades a que se propõe.

Parágrafo 2º – Por decisão do Conselho de Administração a ASSOCIAÇÃO poderá ter unidades descentralizadas em Municípios integrantes da sua área de atuação.

Artigo 3º – A ASSOCIAÇÃO tem por finalidade dar apoio técnico e operacional à gestão dos recursos hídricos na sua área de atuação, promovendo o planejamento, a execução e o acompanhamento de ações, programas e projetos de acordo com os planos de recursos hídricos objetivando dar apoio técnico, administrativo e operacional; incentivar o uso racional da água; elaborar estudos e pesquisas que propiciem a melhoria de qualidade e disponibilidade hídricas; desenvolver programas de educação ambiental; apoiar tecnicamente Poder Público, Usuários e Sociedade Civil da sua área de atuação na preparação e implementação das ações previstas nos planos de recursos hídricos.

Parágrafo 1º: Para o cumprimento de suas finalidades a ASSOCIAÇÃO poderá:

Inciso II – Firmar convênios, contratos, parcerias ou acordos.”

≡ Regimento Interno

“Capítulo I – Artigo 2º: A Agevap tem por finalidade dar apoio técnico e operacional à gestão dos recursos hídricos na sua área de atuação, promovendo o planejamento, a execução e o acompanhamento de ações, programas, projetos de acordo com os planos de recursos hídricos.”

Diante do exposto é possível reafirmar a importância da figura da agência de bacia como organismo executor das políticas do setor, sendo igualmente importante sua integração com os comitês de bacia de sua área de atuação de ambos os domínios: federal (Ceivap) e estadual (Guandu, Médio Paraíba do Sul, Baixo Paraíba do Sul, Piabanha e Rio Dois Rios), no caso da Agevap, uma vez que o estreitamento dessa relação propiciará maior capilaridade em toda a bacia, favorecendo o processo integrado de sua gestão.

2. CELEBRAÇÃO DE CONTRATOS DE GESTÃO, COM A INTERVENIÊNCIA DE COMITÊS DE BACIA, NA ÁREA DE ATUAÇÃO DA AGEVAP

A seguir, serão levantadas questões sobre as celebrações de contratos de gestão e possibilidades da Agevap no âmbito dos comitês estaduais de sua área de influência nos estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo.

2.1 Contrato de gestão entre Agevap e Inea com a interveniência dos comitês de bacias afluentes de sua área de influência no Estado do Rio de Janeiro

O Inea, criado no ano de 2008 e implantado em 2009, devido à sua estrutura descentralizada e ao corpo técnico permanente, alterou as características institucionais do Estado do Rio de Janeiro quanto ao tratamento das questões ambientais. Entretanto, à época, apesar da existência dos comitês, por não haver legislação específica, ainda não havia agências de bacias ou entidades delegatárias.

Utilizando a mesma base de dados da ANA, tanto para outorga quanto para a cobrança, instituída no estado através da Lei Estadual nº 4.247, de 16 de dezembro de 2003, atualmente os comitês estaduais fluminenses da área de influência do Paraíba do Sul arrecadam aproximadamente R\$ 3.682.052,61 (três milhões, seiscentos e oitenta e dois mil, cinquenta e dois reais e sessenta e um centavos) por ano, conforme demonstrado na Tabela 2.

TABELA 2 - RECEITAS DE COBRANÇA E COMPENSAÇÃO POR GERAÇÃO DE ENERGIA DOS COMITÊS DE BACIAS AFLUENTES FLUMINENSES – 2011

Comitês de Bacias Estado do Rio de Janeiro	Receitas - Cobrança (R\$)	Compensação Financeira – Geração de Energia (R\$)	TOTAL (R\$)
Médio Paraíba	906.852,70	581.166,75	1.488.019,45
Piabanha	815.740,65	416.631,07	1.232.371,72
Rio Dois Rios	723.721,81	(não informado)	723.721,81
Baixo Paraíba	159.905,16	78.034,47	237.939,63
TOTAL	2.606.220,32	1.075.832,29	3.682.052,61

Fonte: Valor de Arrecadação da Cobrança 2011 (www.inea.rj.gov.br/mais/subcontas.asp)

Após um período de negociação entre Agevap e Inea, foi promulgada a Lei nº 5.639, de 6 de janeiro de 2010 [18], do Estado do Rio de Janeiro, análoga à Lei Federal nº 10.881/2004, que “dispõe sobre os contratos de gestão entre o órgão gestor e executor da Política Estadual de Recursos Hídricos e entidades delegatárias de funções de agência de água relativos à gestão de recursos hídricos de domínio do estado.” Prevê, ainda, que o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (Cerhi-RJ) aprove os contratos de gestão, o que, no caso dos Comitês Estaduais Afluentes da Agevap, ocorreu em período anterior à assinatura do Contrato de Gestão celebrado em 5 de julho de 2010, em conformidade com o Processo Administrativo E-07/501.501/2010. A vigência desse contrato de gestão é de cinco anos, podendo ser prorrogado, e suas metas e indicadores têm como referência aqueles utilizados no contrato de gestão firmado entre ANA e Agevap.

Em decorrência da assinatura deste contrato de gestão, o quadro funcional aumentou e foram criadas unidades descentralizadas da Agevap para atendimento executivo aos comitês de bacia nos municípios de Volta Redonda (Comitê Médio Paraíba do Sul), Petrópolis (Comitê Piabanha), Nova Friburgo (Comitê Rio Dois Rios), Campos e Italva (Comitê Baixo Paraíba do Sul).

2.2 Contrato de gestão entre Agevap e Inea com a interveniência do Comitê Guandu

Criado pelo Decreto nº 31.178/2003, o Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim – Comitê Guandu – é um órgão colegiado, vinculado ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos (Cerhi), com atribuições consultivas, normativas e deliberativas, de nível regional que, além da Plenária, conta com quatro Câmaras Técnicas: de Ciência, Tecnologia e Educação; de Estudos e Projetos; de Instrumentos de Gestão e de Assuntos Legais e Institucionais.

Segundo Regimento Interno do Comitê Guandu, sua área de 1.458,24 km² compreende a “Bacia Hidrográfica do Rio Guandu, incluídas as nascentes do Ribeirão das Lajes, as águas desviadas do Rio Paraíba do Sul e do Rio Pirai, os afluentes ao Ribeirão das Lajes, ao Rio Guandu e ao Canal de São Francisco até a sua desembocadura na Baía de Sepetiba; a Bacia Hidrográfica do Rio da Guarda e a Bacia Hidrográfica do Rio Guandu-Mirim”.

O grande vínculo com a bacia do Rio Paraíba do Sul relaciona-se à transposição de vazão de até 160 m³, iniciada na década de 1950, na altura do município de Barra do Pirai (RJ), para geração de energia e abastecimento da população da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Desse modo, e para a melhor negociação de questões essenciais e comuns, o estreitamento do relacionamento entre seus atores é quase condicionante à integração da gestão destas bacias.

Fundamentados na Lei Estadual nº 5.639/2010, citada anteriormente, Inea e Agevap celebraram o contrato de gestão para o exercício de funções de agência de bacia do Comitê Guandu, em 18 de outubro de 2010. As metas e indicadores estipulados para este contrato de gestão se assemelham àqueles celebrados com a ANA, para exercício de funções de agência de bacia do Ceivap, e com o Inea, para desempenho da mesma função em relação aos comitês afluentes fluminenses, ou seja, relacionam-se à disponibilização de informações, planejamento e gestão, cobrança pelo uso da água, gerenciamento interno e reconhecimento social.

A arrecadação do Comitê Guandu no ano de 2011 foi de R\$ 21.335.541,05 (vinte e um milhões, trezentos e trinta e cinco mil, quinhentos e quarenta e um reais e cinco centavos), conforme demonstrado na Tabela 3.

TABELA 3 - RECEITAS DE COBRANÇA PELO USO DE RECURSOS HÍDRICOS E COMPENSAÇÃO FINANCEIRA PELA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - COMITÊ GUANDU - 2011

Comitê de Bacia - Estado do Rio de Janeiro	Receitas - Cobrança (R\$)	Compensação Financeira - Geração de Energia (R\$)	TOTAL (R\$)
Comitê Guandu	19.496.132,25	1.839.408,80	21.335.541,05
TOTAL	19.496.132,25	1.839.408,80	21.335.541,05

Fonte: Valor de Arrecadação da Cobrança 2011 (www.inea.rj.gov.br/mais/subcontas.asp)

Do valor descrito acima, aproximadamente R\$ 1.500.000,00 (um milhão e quinhentos mil reais) são repassados à Agevap, por meio do contrato de gestão, para o exercício de funções de secretaria executiva que inclui a criação de uma estrutura para atendimento às demandas administrativas e operacionais para o funcionamento do Comitê, o que ocorreu através da criação de uma unidade descentralizada no município de Seropédica, que conta com corpo funcional da agência e apoio técnico e administrativo.

Outros recursos financeiros, limitados à estimativa anual de arrecadação, poderão ser destinados à execução de programas de investimentos em serviços e obras de interesse dos recursos hídricos, aprovados pelo Comitê Guandu, considerando as diretrizes definidas em seu Plano de Bacia e com a anuência do Inea, como é o caso dos projetos descritos a seguir:

- ≡ Projeto de Monitoramento da Qualidade da Água do Rio Pirai a montante do túnel de Tocos, na Região Hidrográfica II – Guandu, em conformidade com o Plano de Bacia;
- ≡ Projeto de Comunicação Social;
- ≡ Auxílio Financeiro à realização de estudos para elaboração de trabalhos de graduação, mestrado e doutorado;
- ≡ Projeto de Monitoramento e Controle de Queimadas;
- ≡ Proteção e melhoria das captações de fontes e minas d'água;
- ≡ Projeto Observatório de Bacia;
- ≡ Programa Produtor de Águas e Florestas, entre outros.

Esse contrato de gestão tem vigência de cinco anos e poderá ser renovado.

2.3 Outras possibilidades de celebração de contratos de gestão na área de abrangência da Agevap

2.3.1 O Estado de Minas Gerais

A celebração de contratos de gestão entre entidades equiparadas a funções de agência de água e o Estado de Minas Gerais está prevista no artigo 4º da Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Minas Gerais (CERH-MG) 19/2006 –, no qual, seguindo a mesma diretriz dos demais, deverá haver previsão de alcance de metas diversas, inclusive a aplicação dos recursos arrecadados com a cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

Para que seja implementada a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, o artigo 53º da Lei Estadual nº 13.199/99 [15], estabelece conteúdos mínimos, como segue:

- ≡ Desenvolvimento de programa de comunicação social sobre a necessidade econômica, social e ambiental da utilização racional e proteção das águas;
- ≡ Implantação do sistema integrado de outorga de direito de uso dos recursos hídricos, devidamente compatibilizados com os sistemas de licenciamento ambiental;
- ≡ Cadastramento dos usuários das águas e da regularização dos direitos de uso;
- ≡ Articulações do Estado com a União e com os estados vizinhos, tendo em vista a implantação da cobrança pelo uso de recursos hídricos nas bacias hidrográficas de rios de domínio federal e a celebração de convênios de cooperação técnica;
- ≡ Proposição de critérios e normas para fixação de tarifas, definição de instrumentos técnicos e jurídicos indispensáveis à implantação da cobrança pelo uso da água. O Decreto Estadual nº 44.046/2005, em seu artigo 5º, vincula a cobrança pelo uso de recursos hídricos à implementação de programas, projetos, serviços e obras, de interesse público, da iniciativa pública ou privada, definidos nos planos diretores de recursos hídricos de bacias hidrográficas, aprovados previamente pelos respectivos comitês de bacia hidrográfica e pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH).

Soma-se ao descrito:

- ≡ A definição dos usos insignificantes pelo respectivo comitê de bacia hidrográfica;
- ≡ A instituição de agência de bacia hidrográfica ou entidade a ela equiparada, na mesma área de atuação de um ou mais comitês de bacia hidrográfica; e
- ≡ A aprovação pelo CERH-MG da proposta de cobrança, tecnicamente fundamentada, encaminhada pelo respectivo comitê de bacia hidrográfica.

Considerando o cenário exposto anteriormente e que, através da Deliberação CERH nº 78, de 29 de novembro de 2007, a Agevap teve a sua equiparação à Agência de Bacias Hidrográficas das Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos – UPGRHs “PS1” – Preto/Paraibuna, e “PS2” – Pomba/Muriaé, é possível perceber que a assinatura de um Contrato de Gestão entre Agevap e Igam pode tornar-se realidade [11]. Para isso, é necessário que sejam cumpridos alguns requisitos legais e de base estrutural para implementação da cobrança como, por exemplo, o processo de cadastramento de usuários das UPGRHs PS1 e PS2 que está em curso.

O Plano de Recursos Hídricos, aprovado pelo Ceivap, traz em seus Cadernos 3 e 5, respectivamente, diagnóstico das bacias em referência e indica as ações necessárias para sua recuperação a serem implementadas com recursos da cobrança pelo uso da água.

As metodologias de cobrança pelo uso dos recursos hídricos nas referidas bacias já foram debatidas pelos respectivos comitês, os quais tendem a utilizar os mesmos mecanismos de cobrança adotados pelo Ceivap; no entanto, apenas o CBH Pomba/Muriaé aprovou sua metodologia através da Deliberação Compe nº 07/2007, restando ainda a aprovação pelo CBH Preto/Paraibuna.

As propostas de metodologia serão apreciadas pelo CERH-MG, somente após a aprovação pelos CBHs.

2.3.2 O Estado de São Paulo

Dentre os três estados componentes da bacia do Paraíba do Sul, o único que tem impedimento jurídico para celebração de Contrato de Gestão com a Agevap é São Paulo, que, devido à Lei Estadual nº 10.020, de 3 de julho de 1998, “autoriza

o Poder Executivo a participar da constituição de Fundações Agências de Bacias Hidrográficas dirigidas aos corpos de água superficiais e subterrâneos de domínio do Estado”, vetando, nesse caso, a forma jurídica da Agevap (Associação) [19].

3. CONCLUSÃO

A assinatura de contratos de gestão entre entidades delegatárias com funções de agência com órgãos gestores tanto federais quanto estaduais fortalece o Sistema de Gestão de Recursos Hídricos na Bacia do Rio Paraíba do Sul e Bacias Afluentes devido ao estreitamento do relacionamento entre os atores e à otimização de recursos técnicos, financeiros e operacionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AGEVAP. ASSOCIAÇÃO PRÓ-GESTÃO DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL. *Execução do contrato de gestão: 1º relatório*. Comitê Guandu. Resende: 2011. Disponível em: www.agevap.org.br/agevap/conteudo/relatorio2011guandufinal.pdf.
- [2] _____. _____.: 8º relatório. Resende: 2009. Disponível em: ceivap.org.br/downloads2010/relatoriogestao2009.pdf.
- [3] ÁGUAS de Minas II: cruzada pelas águas. *Revista do Legislativo*, Belo Horizonte, n. 34, p. 4-25, 2002. Disponível em: www.almg.gov.br/RevistaLegis/Revista34/cid34.pdf.
- [4] BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº 26, de 29 de novembro de 2002. Autoriza o Comitê para Integração da Bacia do Rio Paraíba do Sul – CEIVAP a criar sua Agência de Água. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 24 dez. 2002. Seção 1.
- [5] _____. Resolução nº 38, de 26 de março de 2004. Delegar competência à Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul para o exercício de funções e atividades inerentes à Agência de Água da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 20 ago. 2004. Seção 1.

[6] _____. Resolução nº 59, de 02 de junho de 2006. Prorrogar o prazo da delegação de competência à Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, para o exercício de funções e atividades inerentes à Agência de Água da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 29 jun. 2006. Seção 1.

[7] _____. Resolução nº 84, de 27 de março de 2008. Encaminha à Casa Civil proposta de Decreto que acresce parágrafo único ao art. 1º do Decreto nº 1.842, de 22 de março de 1996, que institui Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul – CEIVAP, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 5 maio 2008. Seção 1.

[8] BRASIL. Decreto nº 1.842, de 22 de março de 1996. Institui Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul – CEIVAP, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 25 mar. 1996. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D1842.htm.

[9] MINAS GERAIS (Estado). Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Pomba e Muriaé. Deliberação CBH – Pomba e Muriaé nº 07. Adota o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul como instrumento da Política Estadual de Recursos Hídricos a ser adotado na gestão da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Pomba e Muriaé. Cataguases, 5 dez. 2006. Disponível em: comites.igam.mg.gov.br/downloads/paraiba-do-sul/ps2/1182-deliberacoes.

[10] CEEIVAP. Comitê Executivo de Estudos Integrados da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Deliberação nº 12. Aprova a criação da Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Juiz de Fora, 20 jun. 2002. Disponível em: www.ceivap.org.br/base_1.php.

[11] MINAS GERAIS (Estado). Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Deliberação nº 78, de 22 de novembro de 2007. Aprova a equiparação da Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul – AGEVAP à Agência de Bacia Hidrográfica dos CBH's Pomba / Muriaé e Paraibuna / Preto, e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado [de] Minas Gerais*, Belo Horizonte, 29 nov. 2007. Disponível em: www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=10891.

[12]. _____. Deliberação Normativa CERH n.º 19, de 28 de junho de 2006. Regulamenta o art. 19, do Decreto 41.578/2001 que dispõe sobre as agências de bacia hidrográfica e entidades a elas equiparadas e dá outras providências. *Diário Oficial [do] Estado de Minas Gerais*, Belo Horizonte, 29 jun. 2006. Disponível em: arquivos.ana.gov.br/institucional/sag/CobrancaUso/Agencias/Leis/Delibera%C3%A7%C3%A3o%20Normativa%20%20n%C2%BA%2019%20CERH_MG.pdf.

[13] BRASIL. Constituição (1988). Emenda constitucional n.º 19, de 04 de junho de 1998. Modifica o regime e dispõe sobre princípios e normas da Administração Pública, servidores e agentes políticos, controle de despesas e finanças públicas e custeio de atividades a cargo do Distrito Federal, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 5 de jun. 1998. Seção 1.

[14] AGEVAP. *Estatuto*. Disponível em: www.agevap.org.br/downloads/estatuto-5alteracao.pdf.

[15] MINAS GERAIS (Estado). Lei n.º 13.199, de 29 de janeiro de 1999. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. *Diário do Executivo [do] Estado de Minas Gerais*, Belo Horizonte, 30 jan. 1999. Disponível em: www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5309.

[16] RIO DE JANEIRO (Estado). Lei n.º 3239, de 02 de agosto de 1999. Instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos, cria o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta a Constituição Estadual, em seu artigo 261, parágrafo 1º, inciso VII, e dá outras providências. *Diário Oficial [do] Estado do Rio de Janeiro*, Rio de Janeiro, 03 ago. 1999. Disponível em: alerjln1.alerj.rj.gov.br/contlei.nsf/f25571cac4a61011032564fe0052c89c/43fd110fc03f0e6c032567c30072625b?OpenDocument.

[17] _____. Lei n.º 4247, de 16 de dezembro de 2003. Dispõe sobre a cobrança pela utilização dos recursos hídricos de domínio do Estado do Rio de Janeiro e dá outras providências. *Diário Oficial [do] Estado do Rio de Janeiro*, Rio de Janeiro, 17 dez. 2003. Disponível em: alerjln1.alerj.rj.gov.br/contlei.nsf/01017f90ba503d61032564fe0066ea5b/6716fa36f132abd183256dff006c88f4?OpenDocument.

[18] _____. Lei n.º 5639, de 06 de janeiro de 2010. Dispõe sobre os contratos de gestão entre o órgão gestor e executor da Política Estadual de Recursos Hídricos

e entidades delegatárias de funções de agência de água relativos à Gestão de Recursos Hídricos de domínio do Estado, e dá outras providências. *Diário Oficial [do] Estado do Rio de Janeiro*, Rio de Janeiro, 07 jan. 2010. Disponível em: alerjln1.alerj.rj.gov.br/contlei.nsf/c8aa0900025feef6032564ec0060dfff/810bf3e068d4c113832576a4005e3bbd?OpenDocument.

[19] SÃO PAULO (Estado). Lei nº 10.020, de 03 de julho de 1998. Autoriza o Poder Executivo a participar da constituição de Fundações Agências de Bacias Hidrográficas dirigidas aos corpos de água superficiais e subterrâneos de domínio do Estado de São Paulo e dá outras providências correlatas. *Diário Oficial [do] Estado de São Paulo*, São Paulo, 1998. Disponível em: www.jusbrasil.com.br/legislacao/anotada/3419745/lei-10020-98-sao-paulo.

[20] BRASIL. Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas – ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 18 set. 2000. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9984.htm.

[21] _____. Lei nº 10.881, de 09 de junho de 2004. Dispõe sobre os contratos de gestão entre a Agência Nacional de Águas e entidades delegatárias das funções de Agências de Águas relativas à gestão de recursos hídricos de domínio da União e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 11 jun. 2004. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/l10.881.htm.

[22] _____. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997- Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 09 jan. 1997. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm.

[23] REVISTA PELAS ÁGUAS DO PARAÍBA. Resende: CEIVAP, 1999-1999.

[24] AGEVAP. *Plano de recursos hídricos da bacia do Rio Paraíba do Sul (2007 a 2010)*. Rio de Janeiro, Coppetec, 2007. Disponível em: www.ceivap.org.br/downloads/PSR-RE-012-R1.pdf.

[25] _____. *Regimento interno*. Resende, 2010. Disponível em: www.agevap.org.br/downloads/Regimentointerno4assinad.pdf.

[26] _____. *Relatório de atividades: informações corporativas*. Resende, 2010.

[27] RIO DE JANEIRO (Estado). Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Resolução nº 31, de 30 de julho de 2008. Aprova a aplicação de recursos financeiros alocados na subconta Região hidrográfica IV – Piabanha / FUNDRHI para implantação da Secretaria Executiva do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha e Sub-Bacias Hidrográficas dos Rios. *Diário Oficial [do] Estado do Rio de Janeiro*, Poder Executivo, Rio de Janeiro, 2008. Seção 1.

[28] SILVA NETO, Belarmino José da. Organizações sociais: a viabilidade jurídica de uma nova forma de gestão compartilhada, *Jus Navigandi*, Teresina, v. 6, n. 59, out. 2002.

AUTORA

Mariana da Costa Facioli | Especialista em Gestão Ambiental de Bacias Hidrográficas pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe/UFRJ). Especialista em Gestão Pública pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Especialista em Recursos Hídricos da Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (Agevap). | marianafacioli@hotmail.com

RESUMO | A multiabordagem de avaliação ambiental constitui uma ferramenta eficiente de diagnóstico ambiental em reservatórios. O comportamento da coluna d'água do reservatório Ribeirão das Lajes implica em importantes diferenças sazonais relativas à qualidade de água. As chuvas propiciam o aumento de nutrientes, especialmente fósforo total. Como bons indicadores ambientais químicos, destacam-se o fósforo total, nitrogênio total, clorofila-*a* e DBO. Na avaliação das condições de água da Classe Especial, ressalta-se a importância da análise do biovolume do fitoplâncton. O zooplâncton foi eficiente em diagnosticar mudanças de qualidade de água e de regime hidráulico no corpo d'água. A comunidade de anfíbios mostrou ser uma boa monitora ambiental para áreas de entorno do reservatório. Os autores agradecem à Empresa Light Energia S.A. pelo apoio logístico a todas as atividades de amostragens nos reservatórios.

PALAVRAS-CHAVE | Reservatórios; Qualidade da Água; Nutrientes; Biodiversidade.

ABSTRACT | A multi-approach to environmental assessment can be a useful tool to the environmental diagnosis in reservoirs. The water column condition in Ribeirão das Lajes reservoir resulted in significant seasonal differences relating to water quality. The rains influenced the increase in nutrients, especially phosphorus. As good environmental indicators of water quality were total phosphorus, total nitrogen, chlorophyll-*a* and BOD. In evaluating the conditions of a Special Class reservoir, it was emphasized the importance of analyzing the phytoplankton biovolume. Zooplankton was effective in detect changes in water quality and hydraulic regimes. The amphibian species were efficient environmental monitors to areas around the reservoir.

KEYWORDS | Reservoirs; Water Quality; Nutrients; Biodiversity.

Estudos integrados da biota e qualidade de água na avaliação ambiental do reservatório de Ribeirão das Lajes (bacia do Rio Guandu, RJ)

Christina W. Castelo Branco

Alcides W.S. Guarino

1. INTRODUÇÃO

O estudo multidisciplinar dos fenômenos ecológicos, através da utilização de análises integradas de fatores bióticos e abióticos e suas respectivas dinâmicas e interações, tem permitido a obtenção de uma visão conjunta e abrangente da problemática ambiental. Novos modelos de desenvolvimento sustentável, baseados em sólidos conhecimentos científicos, delineiam-se como instrumentos inestimáveis para o inventário real de recursos hídricos e previsão de seus múltiplos usos. Essas novas abordagens estão relacionadas à crescente preocupação com a conservação ambiental e manutenção da biodiversidade, que surgiu como resposta a diversas pressões decorrentes da expansão populacional, industrial e agrícola, à poluição das águas continentais e a mudanças climáticas globais [1; 2; 3; 4].

O Brasil tem um parque gerador hidrelétrico bastante desenvolvido: enquanto as usinas hidrelétricas são responsáveis por cerca de 14% da energia elétrica em todo o mundo, no Brasil este número já alcançou 97% e agora é de 72% [5; 6]. Como fonte de geração de energia elétrica e abastecimento de água doméstico e industrial, bem como um local para a conservação da biota aquática, os reservatórios estão sujeitos à influência de inúmeros fatores, tais como o uso dos solos da bacia de drenagem, hidrologia e regimes climáticos, e de entrada de nutrientes, que alteram as características físicas, químicas e biológicas da massa de água. Assim, as represas de hidrelétricas têm se constituído excelentes cenários de estudo, necessários tanto para o seu gerenciamento funcional como para a manutenção da biodiversidade aquática, esta sempre associada às condições de qualidade da água [7; 8; 9; 10]. O tema qualidade de água em reservatórios de hidrelétricas tem sido amplamente abordado, bem como estudos de levantamento da biota aquática. Entretanto, a maioria das pesquisas é realizada de forma compartimentada, com foco em comunidades específicas, sendo poucos os estudos integrados [11; 12;13; 14].

Dentro da filosofia de otimização e integração de dados para um efetivo diagnóstico ambiental, foi desenvolvido, nos anos de 2007-2009, como projeto de Pesquisa e Desenvolvimento da Light S.A. junto à Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), o projeto Bioágua II: Qualidade de Água, Biodiversidade e Biomanipulação de Comunidades Aquáticas nos Reservatórios de Ribeirão das Lajes, Santana e Vigário, executado sob a coordenação da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (Unirio). Este projeto objetivou o estudo conjunto e integrado da biodiversidade e estrutura das comunidades de plâncton, insetos aquáticos e anfíbios, visando obter o diagnóstico das condições ecológicas dos três reservatórios. Em paralelo, foram analisadas variáveis físicas e químicas da coluna d'água. O projeto pretendeu ainda promover o aprofundamento dos conhecimentos sobre a qualidade da água e sobre a biodiversidade aquática do reservatório de Ribeirão das Lajes, objeto do presente trabalho.

2. ÁREA DE ESTUDO

O reservatório de Ribeirão das Lajes foi construído em 1908, na calha do rio de mesmo nome, mas seu maior volume de água provém de um desvio artificial do Rio Pirai – um afluente da bacia do Rio Paraíba do Sul, via o Túnel de Tocos. O Rio Ribeirão das Lajes pertence à bacia do Rio Guandu. O reservatório é usado para produção de energia e abastecimento de água para cerca de um milhão de pessoas, utilizando a cloração simples. Apresenta águas oligo-mesotróficas [15] e classificadas como Classe Especial de acordo com a legislação brasileira. Os arredores do reservatório apresentam várias formações e fragmentos de Mata Atlântica, contribuindo para sua elevada qualidade da água. O reservatório também é utilizado para pesca esportiva e, mais recentemente, foi implantada, em um de seus braços, atividade de aquicultura. O espelho d'água do reservatório tem 415 m, área de superfície de cerca de 40 km², profundidade média de 15 m, profundidade máxima de 40 m e um tempo de retenção de 297 dias. O nível do reservatório é mantido artificialmente, mas segue o regime de precipitação: o nível mais elevado é atingido no final do período de chuvas (abril) e o mínimo, no início (novembro). A diferença entre os níveis máximo e mínimo é de cerca de 8 m [15].

3. METODOLOGIA

As amostragens foram realizadas no reservatório de Ribeirão das Lajes, mensalmente, de janeiro de 2007 a agosto de 2009, em seis pontos. O ponto 1 foi localizado próximo à saída do Túnel de Tocos; os pontos 2 a 6 em um gradiente até a barragem, excetuando-se o ponto 5, que foi localizado próximo às atividades de piscicultura (Figura1). Em campo foi utilizada sonda multiparamétrica (YSI 6920) para medida de temperatura da água, oxigênio dissolvido ao longo do perfil e coletadas amostras por meio de garrafa de Van Dorn para análise de pH, nutrientes e clorofila-*a*. Os nutrientes foram analisados de acordo com as metodologias do *Standard Methods for Waste and Water Analysis* da APHA [16] e a clorofila-*a* por extração com etanol a quente.

Foram realizadas coletas de fitoplâncton e zooplâncton com a utilização de redes de plâncton com malha de 20 e 68 µm, respectivamente. Para o estudo

dos anfíbios, foram coletados exemplares em fases larvais (girinos) e adultos. Os girinos foram coletados com peneiras e transportados para o laboratório em recipientes plásticos ou com água do ambiente ou fixados na hora. Alguns girinos foram mantidos em aquários equipados com bombas de ar para análise de sua coloração em vida e estudo dos seus diferentes estágios de desenvolvimento.

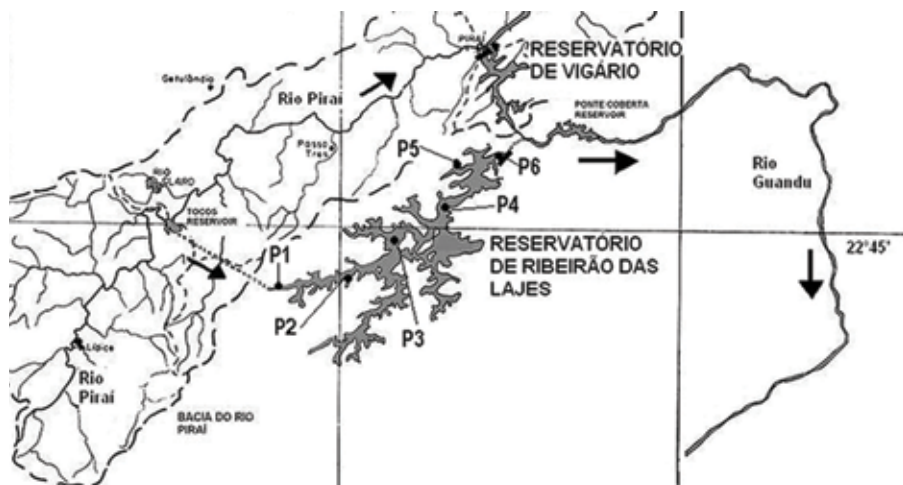


FIGURA 1 - Localização do reservatório de Ribeirão das Lajes com os pontos de amostragem

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variáveis físicas e químicas

4.1.1 Temperatura da água

A temperatura média da subsuperfície do corpo d'água do reservatório de Ribeirão das Lajes no período de janeiro de 2007 a agosto de 2009 para os pontos estudados ficou em torno de 25 °C, sendo que para o ponto 1 a temperatura média foi de 22,2 °C (Figura 2), evidenciando o aporte de águas mais frias provenientes do Túnel de Tocos.

Temperatura Média Subsuperfície (Jan/2007 - Ago/2009)

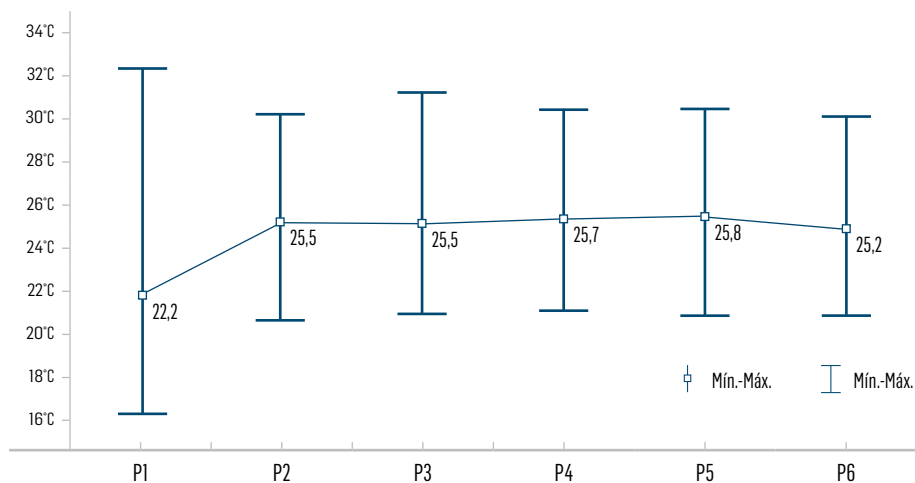


FIGURA 2 - Temperatura média, mínima e máxima da subsuperfície nos diferentes pontos de jan/2007 a ago/2009

O ponto 2 apresentou profundidade de até 10 metros, e suas águas sofrem influência da água proveniente do ponto 1. Todos os pontos, excetuando-se o 1, apresentaram variação térmica da água acompanhando o ciclo sazonal (verão – inverno), com águas mais frias nos meses de junho, julho e agosto, com mistura térmica no mês de agosto de 2007, janeiro, junho e julho de 2009. Esta mistura é evidenciada pela menor diferença existente entre a temperatura da superfície e da profundidade máxima (Figura 3). Este padrão de mistura obedece à climatologia da região, com resfriamento das camadas superficiais no inverno, promovendo mistura da coluna de água [17]. Os pontos 4 e 6, por estarem mais protegidos da influência dos ventos e possuírem maiores profundidades, apresentaram uma mistura térmica parcial nos meses de julho de 2007 e junho de 2008 e 2009. O ponto 5 apresentou uma mistura parcial nos meses de julho e agosto de 2007, e, em junho de 2008 e de 2009, ocorreu uma mistura completa.

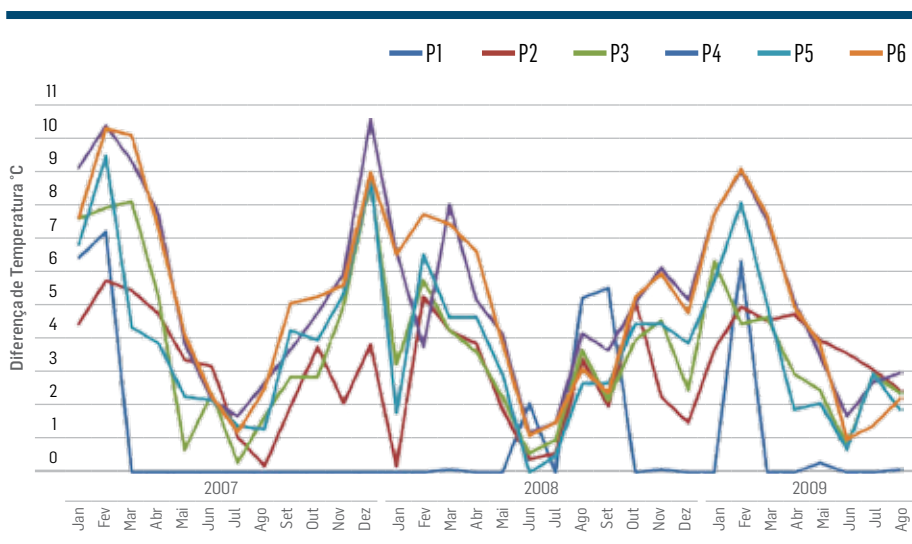


FIGURA 3 - Diferença de temperatura entre a subsuperfície e a profundidade máxima medida no período de jan/2007 a ago/2009

4.1.2 Oxigênio dissolvido

A diferença de densidade da água também conduziu a uma estratificação do oxigênio e ao isolamento da água das camadas inferiores. Em consequência do isolamento devido à estratificação térmica, o oxigênio dissolvido sofreu uma forte diminuição nas camadas inferiores, a partir de 10 metros de profundidade (Figura 4), nos pontos de 3 a 6.

Os pontos 1 e 2 mantiveram suas camadas misturadas com concentrações acima de $4,0 \text{ mg.L}^{-1}$ em quase todo o período de estudo. Os resultados de oxigênio dissolvido no perfil revelam que a camada óxica disponível para a biota é dependente da época do ano, e pode ser restrita aos primeiros 10 m em situação de estratificação. Por outro lado, as manobras na barragem relativas à tomada de água de fundo devem atentar para as condições de anoxia existentes na barragem na maior parte do ano. O uso da água de fundo do reservatório de Lajes para geração de energia pode gerar impacto nos corpos d'água existentes a jusante.

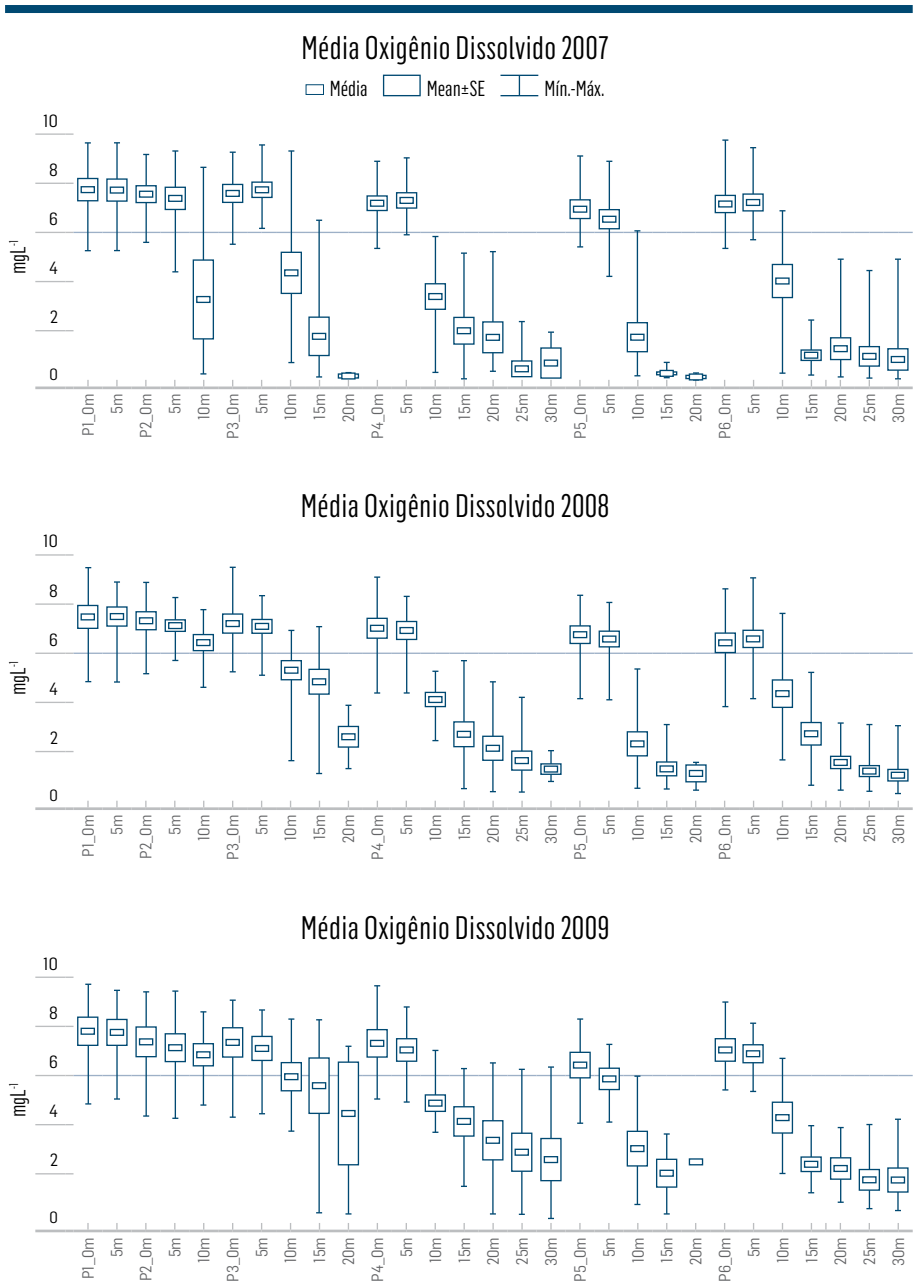


FIGURA 4 - Média do oxigênio dissolvido no perfil vertical para os pontos 1 a 6 nos anos de 2007, 2008 e 2009

4.1.3 Transparência da água

Os valores mais altos de transparência por disco de Secchi ocorreram nos pontos 4 e 6. A partir da medida da transparência da água, pode-se estimar a profundidade da zona eufótica do reservatório, camada onde haverá predominância de atividades produtoras (fotossíntese). Quando se estimou o limite da zona eufótica para o ponto 6, próximo à barragem, foram observadas variações anuais, com tendência de menores valores no início da época chuvosa e maiores no inverno (Figura 5).

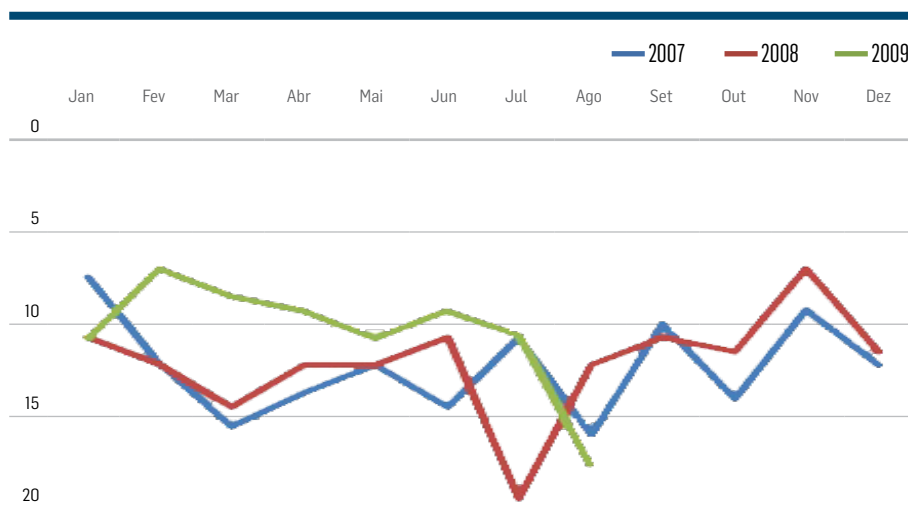


FIGURA 5 - Zona eufótica estimada do ponto 6 no período de jan/2007 a ago/2009

4.1.4 Condutividade elétrica e pH

O reservatório de Ribeirão das Lajes apresentou baixos valores de condutividade elétrica da água na subsuperfície em todo o período de estudo, com o ponto 1 apresentando os menores valores ($< 27\mu S.cm^{-1}$). O reservatório constitui um corpo d'água homogêneo para a condutividade elétrica com os maiores valores ocorrendo nas camadas mais profundas (maior concentração iônica).

O reservatório de Ribeirão das Lajes apresentou um pH médio para o período de estudo em torno de 6,3, com uma mínima em torno de 5,0 e máxima em torno de 7,0. Foi observado que as águas do reservatório se tornaram levemente ácidas ao longo dos três anos de monitoramento, com valores de pH variando entre 5,1 a 7,8.

4.1.5 Fósforo total

O ponto 1 apresentou elevadas concentrações de fósforo total com máxima de 158,7 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no mês de janeiro de 2008. A média para o ano de 2007 foi de 44,9 $\mu\text{g.L}^{-1}$; para o ano de 2008, de 50,2 $\mu\text{g.L}^{-1}$; e para o ano de 2009, de 54,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$. O Túnel de Tocos, que influencia diretamente o ponto 1, é uma importante fonte de fósforo para o reservatório, tornando, portanto, o controle das atividades antrópicas na bacia de drenagem a montante uma estratégia importante para a manutenção da qualidade da água do reservatório de Lajes. Sob influência das águas provenientes do Túnel de Tocos que chegam ao ponto 1, o ponto 2 também apresentou altas concentrações de fósforo total (Figura 6). Esta situação aponta para um crescente processo de eutrofização nessa parte do reservatório. É importante salientar também a influência das chuvas no incremento do aporte de maiores cargas de fósforo ao corpo d'água.

O ponto 5 apresentou elevadas concentrações de fósforo total com um incremento ao longo do período de estudo, possivelmente pela influência de uma piscicultura instalada no local; os pontos 4 e 6 mantiveram concentrações abaixo de 20 $\mu\text{g.L}^{-1}$ em quase todo o período de estudo (Figura 7), como indicado para um corpo de água de Classe Especial. É importante destacar que próximo ao braço das atividades de piscicultura existe uma tomada de água para abastecimento da cidade de Pirai e para as atividades da fábrica da Ambev. Um processo de eutrofização nesta região inviabilizaria o uso da água do reservatório para estes fins.

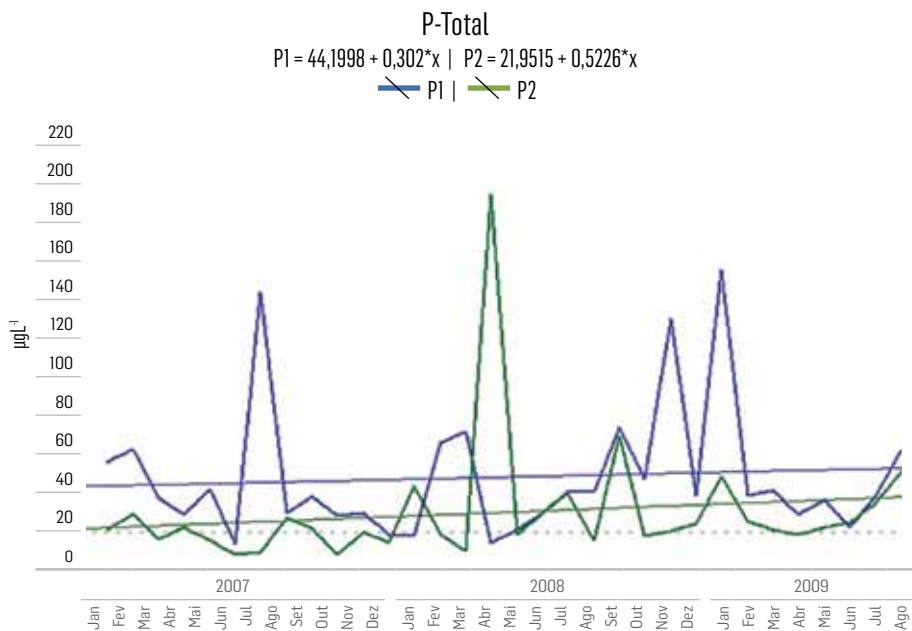


FIGURA 6 - Concentração de fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) dos pontos 1 e 2 no período de jan/2007 a ago/2009 com respectivas linhas de tendência

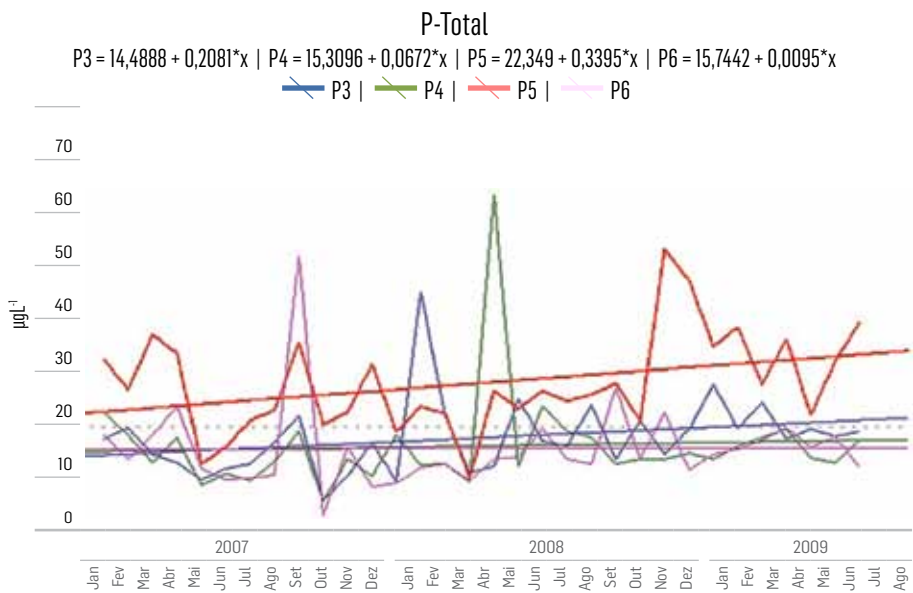


FIGURA 7 - Concentração de fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) dos pontos 3 a 6 no período de jan/2007 a ago/2009 com linhas de tendência para os pontos

4.1.6 Clorofila-a

De modo geral, os valores de clorofila-a encontrados foram baixos, sendo que as maiores concentrações ocorreram no ponto 5 (Figura 8). Tal como o incremento observado nos valores de fósforo, o aumento de biomassa algal revelado pelos valores de clorofila próximos à piscicultura revela o impacto desta atividade sobre o corpo d'água.

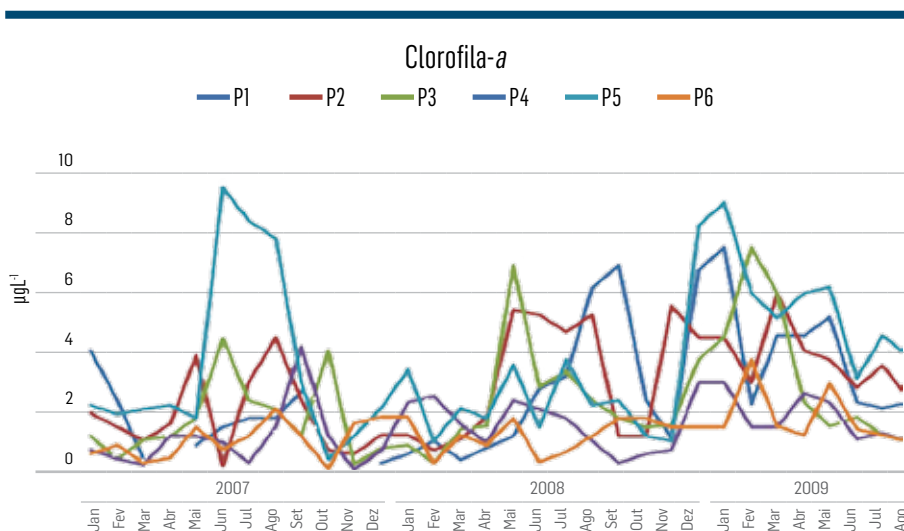


FIGURA 8 - Concentração de clorofila-a (µg.L⁻¹) do ponto 1 ao 6 no período de jan/2007 a ago/2009

4.1.7 Íons nitrito, nitrato e nitrogênio total

O reservatório de Lajes apresentou baixas concentrações de nitrogênio na forma de nitrito, nitrato (Figuras 9 e 10) e amônio. No ponto 1, o íon nitrito alcançou uma concentração média de $25,6 \mu\text{g.L}^{-1}$, o íon nitrato, $293,0 \mu\text{g.L}^{-1}$, e o íon amônio, $332,7 \mu\text{g.L}^{-1}$. Vale salientar que mesmo as concentrações mais altas estão bem abaixo do estabelecido pela Resolução Conama nº 357/2005 para corpos de água classe 1.

O íon nitrito (NO_2^-) e o íon nitrato (NO_3^-) têm sido considerados contaminantes ambientais de larga expansão para corpos d'água, tanto subterrâneos como superficiais, em todo o mundo. O excesso desses íons em corpos d'água, resultante das atividades agrícolas ou por mudanças demográficas, pode causar a eutrofização desses ecossistemas.

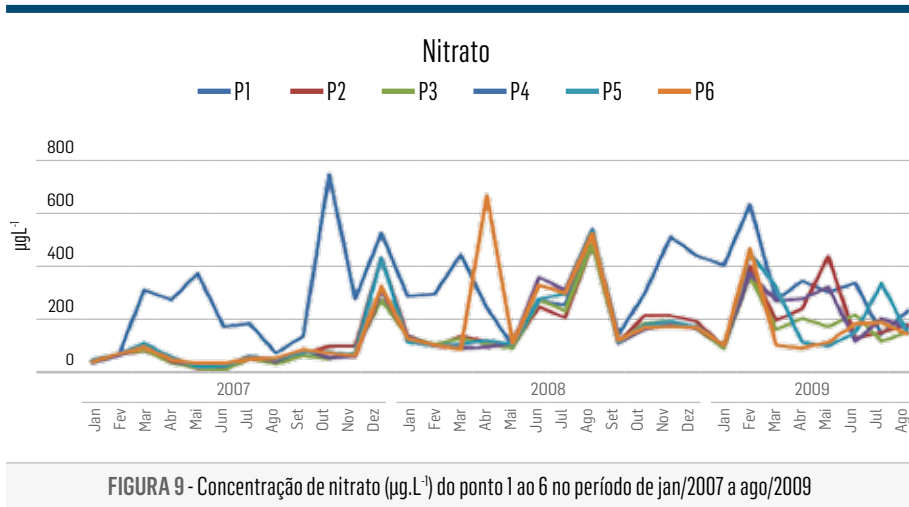


FIGURA 9 - Concentração de nitrato ($\mu\text{g.L}^{-1}$) do ponto 1 ao 6 no período de jan/2007 a ago/2009

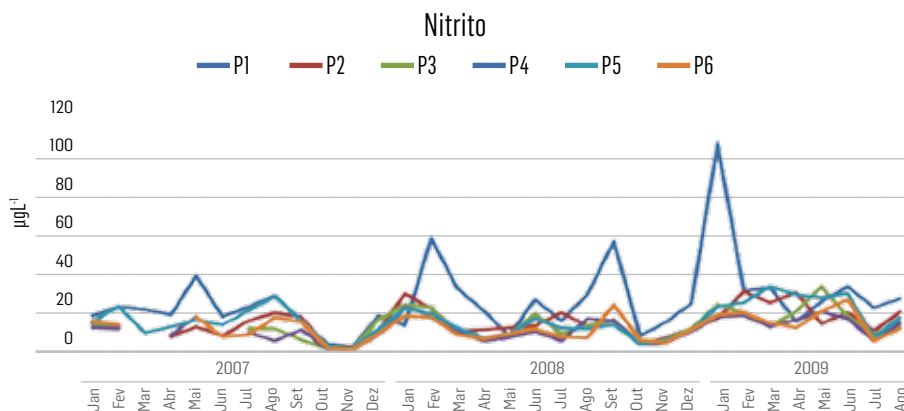


FIGURA 10 - Concentração de nitrito ($\mu\text{g.L}^{-1}$) do ponto 1 ao 6 no período de jan/2007 a ago/2009

O nitrogênio total foi mais elevado nos pontos 1, 2 e 5. A média para o período de estudo no ponto 1 foi de $794,8 \mu\text{g.L}^{-1}$ e, no ponto 5, de $558,7 \mu\text{g.L}^{-1}$. O nitrogênio total também se apresentou como um bom indicador de uma maior influência antrópica no reservatório, destacando a carga proveniente do Túnel de Tocos e das atividades de piscicultura.

4.1.8 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5)

A Demanda Bioquímica de Oxigênio apresentou algumas oscilações ao longo do reservatório, com os maiores valores no ponto 5 (Figura 11). No período de inverno (seca), os valores de DBO_5 decaem e voltam a aumentar no período de verão (chuvas). Como algumas das variáveis supracitadas, a DBO_5 também se constitui em uma boa indicadora de influências negativas relativas a atividades antrópicas sobre a qualidade da água do reservatório. Os pontos sob maior influência de atividades antrópicas (1 e 5) apresentaram sempre os maiores valores.

Do ponto de vista de abastecimento de água para consumo humano, se considerado o número de células por mL referido na Portaria nº 518, em todas as datas amostradas durante o ano de 2007, houve pelo menos um ponto de coleta com mais de 20.000 céls mL⁻¹. No entanto, se considerado o biovolume, apenas muito raramente ocorreram valores maiores que 2 mm³ L⁻¹. Este fato é claramente explicado pelo pequeno tamanho das espécies de cianobactérias que dominam no reservatório de Lajes.

4.1.10 Comunidade zooplanctônica

Considerando o total de amostras analisadas, foram encontrados 136 táxons, distribuídos em cinco grupos: Protozoários (23 táxons), Rotíferos (71), Cladóceros (19), Copépodos (9) e “Outros” (outros invertebrados) (16). Os rotíferos apresentaram o maior número de táxons, sendo os gêneros *Brachionus* e *Lecane* os mais representativos. O grupo dos Rotífera apresentou o maior número de táxons considerados “constantes”: *Conochilus unicornis*, *Ptygura* sp, *Collotheca* spp, *Keratella cochlearis*, *Keratella americana*, *Polyarthra* spp, *Conochilus coenobasis*, e *Hexarthra* spp. Ressalta-se a presença de uma espécie exótica na comunidade, a *Kellicotia bostonensis*, que foi encontrada apenas a partir de maio 2007, em todos os meses, na maioria dos pontos. Os táxons *Ceriodaphnia silvestrii*, *Diaphanosoma birgei* e *Bosmina hagdmani* foram os mais frequentes dentre o grupo dos cladóceros. Ressalta-se também a presença de *Daphnia gessneri*, importante herbívoro do zooplâncton. O grupo dos copépodos, bastante frequentes, apresentou a dominância de formas jovens, indicando pressão de pregação existente sobre esse grupo. Foram comuns as espécies de *Cyclopoida* *Thermocyclops decipiens* e *Mesocyclops longisetus* e o *Calanoida Notodiptomus cearensis*. Também apresentaram ocorrência comum na coluna d’água platelmintos, larva de caoborídeos, ácaros e larvas de quironomídeos. O fechamento do Túnel de Tocos, em junho de 2008, proporcionou a existência de maiores condições lênticas, influenciando a ocorrência de maiores riquezas no zooplâncton. A comunidade zooplanctônica estudada apresentou, como um todo, espécies características de condições boas de qualidade de água (oligotrofia/ mesotrofia). Entretanto, no P1, foi observada, frequentemente a presença de organismos comuns de ambientes eutróficos, como protozoários ciliados.

4.1.11 Comunidade de anfíbios

Foram registradas 29 espécies de anuros distribuídas em nove famílias. Deste total, cerca de 50% estão representadas na família Hylidae: *Aplastodiscus eugenioi*, *Hypsiboas faber*, *Hypsiboas semilineata*, *Hypsiboas pardalis*, *Dendropsophus anceps*, *Dendropsophus bertalutzae*, *Dendropsophus decipiens*, *Dendropsophus minutus*, *Phyllomedusa burmeisteri*, *Scinax alter*, *Scinax argyreornatus*, *Scinax fuscovarius*, *Scinax hayii*, *Scinax trapicheiroi* e *Trachycephalus mesophaeus*. As demais estão distribuídas nas famílias Brachycephalidae, Leptodactylidae, Bufonidae, Microhylidae, Cycloramphidae, Hylodidae, Leiuperidae e Craugastoridae.

Em ambiente lêntico, como poças temporárias e brejos, foram registrados girinos de *Hypsiboas faber*, *H. semilineata*, *Dendropsophus bertalutzae*, *D. decipiens*, *D. minutus*, *Phyllomedusa burmeisteri*, *Scinax alter*, *S. argyreornatus*, *S. fuscovarius*, *S. hayii*, *Trachycephalus mesophaeus*, *Leptodactylus fuscus*, *L. marmoratus*, *L. ocellatus*, *Chiamoscleis* sp, *Stereocyclops parkeri* e *Physalaemus signifer*. No ambiente lótico, como riachos ou remansos dentro de mata, registramos os girinos de *Aplastodiscus eugenioi*, *H. pardalis*, *S. trapicheiroi*, *Rhinella icterica*, *Thoropa miliaris*, *Crossodactylus gaudichaudii*. Quatro espécies encontradas são consideradas de desenvolvimento direto, ou seja, não possuem estágio larval (girino), reproduzindo-se em solo úmido: *Haddadus binotatus*, *Ischnocnema guentheri*, *I. octavioi* e *I. parva*.

Dos seis pontos estudados, o que apresentou maior diversidade de anuros foi o ponto Cacaria (próximo à região da barragem), com 24 espécies. Este fato pode ser explicado pelo ecossistema da região, uma mata bem preservada e microambientes distintos que possibilitam a reprodução dessas espécies, tais como paredão rochoso, riacho com remansos, brejos, poças temporárias e folhço de mata. Algumas espécies de anfíbios são muito exigentes a determinados padrões de qualidade de água, que favorecem o crescimento de girinos. Os adultos depositam seus ovos em local peculiar, propício para o desenvolvimento dos seus girinos, e cabe a estes forragear o ambiente de modo a esgotar o máximo do seu recurso. Diferentemente, a região com menor diversidade de anfíbios foi a área de Sacramento (no braço correspondente ao ponto 2 de coleta de água). Através

desta comunidade, foi observada uma qualidade ambiental menor na região com menos cobertura vegetal e predomínio de pastagens, onde uma variedade menor de espécies de anfíbios atestou a alteração da região.

5. CONCLUSÕES

Na maior parte do período estudado, o reservatório de Ribeirão das Lajes apresentou-se estratificado, com águas anóxicas em profundidade. As chuvas influem sobremaneira no sistema aquático, já que propiciam o aumento dos valores de nutrientes, especialmente fósforo total. De acordo com os valores de clorofila-*a*, o reservatório foi considerado como meso-eutrófico. Há claramente uma diferença espacial no reservatório relativa a um gradiente de qualidade de água. Comparando-se a qualidade da água existente no ponto 1, próximo ao principal tributário (Túnel de Tocos), há uma sensível melhora da qualidade de água em direção à barragem, sendo a água vertida de melhor qualidade, excetuando-se quando a tomada é feita em profundidade, com o sistema estratificado e com condições anóxicas no fundo.

Como bons indicadores de influência antrópica sobre a qualidade de água, destacaram-se fósforo total, nitrogênio total, clorofila-*a* e DBO. A análise destas variáveis deve ser empregada para avaliação e diagnóstico ambiental do reservatório de Lajes, de forma rápida e eficiente.

Na avaliação das condições de um reservatório considerado de Classe Especial, como o de Ribeirão das Lajes, deve ser destacada a importância de se avaliar no fitoplâncton o biovolume em detrimento do número de células por mL, que propicia um diagnóstico mais adequado das cianobactérias características presentes no reservatório. A comunidade zooplancônica foi eficiente em diagnosticar mudanças tanto de qualidade de água como de regime hidráulico no corpo d'água. Especialmente junto ao principal tributário (P1), mudanças no aporte de água (fechamento da afluência do Túnel de Tocos) refletiram em mudanças na comunidade.

A comunidade de anfíbios mostrou ser uma boa monitora ambiental para o reservatório de Ribeirão das Lajes. Os anuros atestaram bem a qualidade ambiental de áreas de entorno do reservatório. Foi diagnosticada uma melhor qualidade

ambiental na região de Cacaria, onde foi encontrada uma maior diversidade de espécies, estas correlacionadas com a existência de uma mata bem preservada e uma maior heterogeneidade ambiental para abrigar a fauna residente. Em síntese, a multiabordagem de avaliação ambiental, com estudos integrados de qualidade de água e biota, empregada no presente estudo propiciou um diagnóstico eficiente das condições tanto da coluna d'água, como em áreas do entorno do reservatório de Ribeirão das Lajes e apontou caminhos estratégicos para a preservação do corpo d'água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] JORGENSEN, S. E.; CONSTANZA, R; XU, F. L. *Handbook of ecological indicators for assessment ecosystem health*. New York: Science, 2005. 439 p.
- [2] ESTEVES, F. A. *Fundamentos de limnologia*. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 601p.
- [3] MARGALEF, R. *Limnologia*. Barcelona: Omega, 1993. 1010 p.
- [4] BEGON, M; HARPER, J; TOWSED, C. A. *Fundamentos de ecologia*. 3. ed. Rio de Janeiro: Artmed, 2010. 576 p.
- [5] KELMAN, J. *et al.* Hidreletricidade. In: REBOUÇAS, A. C; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo: Escrituras, 2002.
- [6] ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Banco de informação de geração-BIG*. Disponível em: www.aneel.gov.br/15.htm. Acesso em: 27 fev. 2011.
- [7] KALF, J. *Limnology: inland water ecosystems*. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 592 p.
- [8] TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631 p.
- [9] THORTON, K. W; KIMMEL, B. L; PAYNE, F. E. (Org.). *Reservoir limnology: ecological perspectives*. New York: John Wiley, 1990. 246 p.

- [10] STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G. *Diretrizes para o gerenciamento de lagos: gerenciamento da qualidade de águas em represas*. São Carlos: IIE/ILEC, 2000. 258 p.
- [11] RODRIGUES, L. *et al. Biocenoses em reservatórios: padrões espaciais e temporais*. São Carlos: Rima, 2005. 321 p.
- [12] NOGUEIRA, M.G.; HENRY, R.; JORCIN, A. *Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata*. São Carlos: Rima, 2005. 459 p.
- [13] AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C. *Reservatório de segredo: bases ecológicas para o manejo*. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 1997. 387 p.
- [14] ESPINDOLA, E. L. G.; LEITE, M. A.; DORNFELD, C. B. *Reservatório de Salto Grande (Americana, SP): caracterização, impactos e propostas de manejo*. São Carlos: Rima, 2004. 484p.
- [15] GUARINO, A.W. S. *et al. Limnological characteristics of an old tropical reservoir (Ribeirão das Lajes Reservoir, RJ, Brazil)*. *Acta Limnologica Brasiliensia*, São Carlos, v. 17, n. 2, p. 129-141, 2005.
- [16] AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21. ed. Washington, D.C., 2005. 1268p.
- [17] BRANCO, C.W.C. *et al. Impact of climate on the vertical water column structure of Lajes Reservoir (Brazil): a tropical reservoir case study*. *Lakes and Reservoirs: research and management*, v. 14, n. 3, p. 175-191, 16 set. 2009.

AUTORES

Christina W. Castelo Branco | Doutora em Ciências (Biofísica) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Professora associada do Instituto de Biociências da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (Unirio). Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Biodiversidade Neotropical) da Unirio. | cbranco@unirio.br

Alcides W.S. Guarino | Doutor em Química (Inorgânica) pela UFRJ. Professor associado do Instituto de Biociências da Unirio. Diretor do Departamento de Documentação e Registro de Assuntos Docentes, vinculado à Pró-Reitoria de Graduação da Unirio. | guarino@unirio.br

RESUMO | O Rio Guandu possui uma extensão de cerca de 80 km, colaborando com 4% da água doce que chega à Baía de Sepetiba. Apresenta um histórico de várias indústrias que despejam metais pesados em quantidades bastante expressivas, o que contribui com o aporte fluvial de metais para a Baía de Sepetiba. A grande importância do Guandu na região deve-se ao fato deste ter em sua bacia áreas de oito municípios, ser responsável por carrear para a baía 75% da carga total de sedimentos e contribuir com cerca de 70% da água potável e 25% da energia elétrica consumidas no Estado do Rio de Janeiro.

Este trabalho, através de análises químicas e mineralógicas em oito estações ao longo do Rio Guandu, teve como objetivo compreender com maior clareza as influências antropogênicas de Ni, Fe, Zn, Al, Pb, Cu e Cd ao longo do rio, buscando identificar os pontos de *input* e o melhor entendimento da contribuição deste rio como carreador de metais pesados para a Baía de Sepetiba.

Através de análise dos dados e por correlação entre os vários parâmetros observamos o comportamento e as concentrações dos metais, exceto o Cd que se encontrava abaixo do limite de detecção. Esse procedimento foi adotado tendo a impossibilidade de se fazer uma comparação direta com Al ou com Fe, que são mais usuais. Foram encontradas altas concentrações de Al entre a rodovia Rio-Santos e até a foz do Guandu, de Pb junto à Rio-Santos, na Dutra e na linha férrea que corta o Guandu no município de Seropédica, o Zn foi encontrado em altas concentrações na Rio-Santos, na Dutra e na ponte que liga os municípios de Seropédica e Japeri, e o Cu seguiu o comportamento do Zn. O Ni esteve presente em altas concentrações na estação da Dutra, e os altos valores encontrados para os pontos estudados puderam ser associados à presença de atividades industriais locais.

A estação junto à rodovia Presidente Dutra que liga o Rio de Janeiro a São Paulo foi a que apresentou altos valores para quase todos os metais analisados, podendo ser comparada ao Rio Reno na Alemanha, que é sabidamente poluído.

A grande variação de valores encontrados ao longo do rio, em alguns casos de até duas ordens de grandeza, levou a concluir que a poluição antropogênica é a principal característica do ambiente estudado.

PALAVRAS-CHAVE | Metais Pesados; Baía de Sepetiba; Rio Guandu; Poluição Industrial.

ABSTRACT | The Guandu River has extents for about 80 km, collaborating with 4% of the fresh water in Sepetiba Bay. Have an historic of many industries with heavy metals discharges in expressive quantities; this is the most important source of heavy metals trough Sepetiba Bay.

The major importance of the Guandu river in the region concern in your draining basin areas of eight cities, being responsible for carrier to the bay a sedimentary charge of about 75% of total, response also about 70% of treated waters and 25% of electric energy used in the Rio de Janeiro state.

This work trough chemicals and mineralogy analysis in eight stations in the Guandu River, have the main objective understand with major clarity, the anthropogenic influence of Ni, Fe, Zn, Al, Pb, Cu e Cd trough the river, identifying the input points and with understanding the Guandu River as a carrier of metals.

Trough data analyses and correlation between parameters we searched the compartment and concentrations of metals. Correlation of metals with Al and Fe were not possible. Highest values are found for Al in Rio-Santos route till estuarine zone, Pb in Rio-Santos route and railroad, crossing Guandu in county of Seropédica and Japeri, Zn in Rio-Santos, Dutra and limit and Seropédica and Japeri, and Cu in Dutra route in the bridge between Seropédica and Japeri. Ni present in highest concentration in Dutra route, this values showing have associations with industrials activities. The station in Dutra route shows the highest values for many of metals and should be compared with the polluted river Reno in Germany.

The highest variation of values found trough river sediments take conclusion that anthropogenic pollution is the principal characteristic the environment in study.

KEYWORDS | Heavy Metals; Sepetiba Bay; Guandu River; Industrial Pollution.

Influência de atividades industriais na poluição por metais no Rio Guandu, Baía de Sepetiba-RJ

Friedrich Wilhelm Herms

Handerson Aginaldo de Almeida Lanzillotta

1. INTRODUÇÃO

Dos tempos mais remotos da história até os dias atuais, os rios sempre foram um dos mais importantes corpos d'água para o homem. Foram fontes de alimento, de água potável e de irrigação, e após a revolução industrial começaram a sofrer todos os tipos de agressões, funcionando até mesmo como depósito ou um meio carreador de dejetos industriais e domésticos.

No mundo moderno, a transformação de matérias-primas em produtos manufaturados se tornou uma condição necessária para a vida e o desenvolvimento do homem. A crescente diversificação e o grande número de produtos e subprodutos dessa industrialização têm ocasionado uma progressiva alteração do meio ambiente [1].

Desde a revolução industrial, os esforços para remover do ambiente natural os poluentes produzidos pelo homem têm sido incapazes de acompanhar o aumento da produção desses resíduos. Isso, frequentemente, tem resultado em mudanças na qualidade da água de lagos, rios e regiões costeiras [2].

A poluição do ar, água e solos com metais tóxicos se tornou um fenômeno global segundo vários autores [3;4;5;6]. As descargas de metais traços para esses ambientes por descargas industriais variam desde $3,5 \times 10^9 \text{g/ano}$ no ar até $1322 \times 10^9 \text{g/ano}$ nos solos [6] (Tabela 1).

Existem basicamente dois grupos de poluentes, os orgânicos e os inorgânicos, que podem ter influência direta ou indireta sobre o homem e podem causar sérios danos. Substâncias tais como pesticidas, material radioativo e elementos traços causam sérios danos à vida humana. Dar-se-á neste trabalho enfoque para os metais pesados, os quais não são eliminados usualmente dos ecossistemas aquáticos por processos naturais [2].

TABELA 1 - DESCARGA INDUSTRIAL GLOBAL DE METAIS TRAÇOS NO AR, ÁGUA E SOLO³

Elementos	Ar	Água	Solo
Antimônio	3,5	18	26
Arsênio	19	42	82
Cádmio	7,6	9,1	22
Cromo	31	143	898
Chumbo	332	138	759
Mercúrio	3,5	6,5	8,3
Níquel	52	114	294
Selênio	6,3	41	41
Vanádio	86	33	128
Zinco	132	237	1322

Obs.: Unidades em 10^9g.ano^{-1}

Devemos considerar que os metais pesados possuem um ciclo biogeoquímico: em um dado momento estiveram aprisionados no interior da Terra e hoje, por processos naturais (intemperismo) ou induzidos (queima), podem estar na forma disponível no ambiente [7]. Devemos ver a Terra, não como um planeta morto feito de rochas, oceano e atmosfera inanimada, meramente habitado pela vida, mas sim como um verdadeiro sistema, abrangendo toda a vida e todo seu ambiente, estreitamente acoplados, de modo a formar uma entidade

autorreguladora [8]. De forma geral, o ciclo dos elementos compreende um movimento irreversível, através do qual são retirados do interior da terra e incorporados à biosfera ou à superfície terrestre.

É necessário também entendermos o comportamento dos metais traços na atmosfera para uma melhor compreensão dos ciclos biogeoquímicos [9]. A queima de combustíveis fósseis é responsável por cerca de 70% da energia produzida no mundo [10]. Os metais oriundos do aporte atmosférico são devidos principalmente às descargas de indústrias e à queima de combustíveis fósseis, como por exemplo o chumbo, que era comum na gasolina e ainda é detectado facilmente, em altas concentrações, em locais de grande tráfego de veículos automotores.

No Brasil, estudos de metais pesados têm sido realizados em áreas sob forte pressão ambiental, como as baías de Santos e de Guanabara. Entretanto, poucos dados existem para regiões isentas de pressões humanas [11].

O Estado do Rio de Janeiro, principalmente a Baía de Guanabara e significativamente a Baía de Sepetiba, é a região do Brasil, que apresenta a maior contaminação, em se tratando de metais pesado [12]. Sua costa é caracterizada por baías fechadas, nas quais ocorreu um rápido crescimento em um curto espaço de tempo [13].

Os metais possuem posição importante na sustentabilidade da vida, pois como elementos traços são importantes na fisiologia dos organismos e na regulação de processos bioquímicos, mas em altas concentrações podem ser bastante tóxicos [14].

A toxicidade está relacionada às suas características atômicas, tais como valência, raio atômico e energia de ionização. Essas características irão se refletir na afinidade diferencial que os diversos metais têm com as bases biológicas (nitrogenadas ou sulfuradas) disponíveis. Sendo assim, o elemento irá participar ou não em certos processos fisiológicos dos organismos, fato este que irá condicionar o seu tempo de residência e o local de fixação no mesmo [15].

De forma geral, os metais podem ser classificados em essenciais e não essenciais. Como essenciais temos Na, Mg, Ca, Co, Cu, Cr, Fe, Mo, Mn, Se, Ni, V e Zn, sendo Se, Cu, Zn, Cr, Fe essenciais em baixas concentrações, pois em valores altos passam a ser tóxicos, enquanto que Cd, Pb e Hg são tóxicos mesmo em baixas concentrações [1].

Já Wood [15] classifica metais em não crítico (Fe, Mg, Ca e Na), tóxicos (La, Ra, Ba, Zr) e em muito tóxicos (Ni, Cu, Cd, Cr, Ni, Zn, Hg, Pb).

A zona máxima de turbidez interfere também na interação dos compartimentos, material particulado em suspensão e água. Esta zona possui um caráter benéfico para o sistema como um todo, funcionando como um filtro para os metais, impedindo que eles atinjam a baía.

A toxicidade dos metais pesados para os seres humanos e consequentes efeitos (Tabela 2) está relacionada diretamente com a concentração destes poluentes no alimento e com a frequência de ingestão [16].

TABELA 2 - EFEITO DOS METAIS EM ALTAS CONCENTRAÇÕES NO ORGANISMO HUMANO (ADAPTADO DE BRAILE & CAVALCANTI [17])

Metais	Efeitos
Cu	- Cancerígeno
Mn	- Degenerações neurológicas e psiquiátricas
Zn	- Alterações no metabolismo
Cd	- Lesões nos rins e, se a exposição for contínua, osteomalacia, problemas ósseos
Pb	- Anemia, prejudica a produção de sangue - Acumula-se nos ossos, devido a sua semelhança atômica com o cálcio - Altera a capacidade intelectual das crianças - Causa distúrbios nos rins e no fígado

Por exemplo, quando o Cd e Hg estão em ambientes aquáticos, podem ser bioacumulados facilmente pela biota, e serem transferidos ao longo de outros níveis tróficos (biomagnificação), podendo chegar até ao homem. Podem também, ocasionar a morte dos organismos mais sensíveis e, por consequência, alterar a estrutura dos ecossistemas em questão.

Estudos mostram um incremento da concentração de metais no fitoplâncton em relação à água de várias ordens de grandeza, mas a passagem destes metais para o segundo nível trófico, o zooplâncton, só é evidenciada com o aumento da concentração de determinados metais, tais como o Zn, Cu e Cd.

Na maioria dos casos a principal via de acesso dos metais pesados aos seres humanos no Brasil são os invertebrados marinhos (moluscos e crustáceos) e espécies de peixes consideradas pouco nobres (corvinas, tainhas e cocorocas), muito consumidas pelas populações de baixa renda [16].

A seguir é apresentada a tabela de concentração de diversos metais na biota da Baía de Sepetiba, sendo destacados em negrito os valores acima das concentrações máximas permitidas pela legislação brasileira (Tabela 3).

Atualmente a poluição ambiental mais relevante associada ao setor industrial é relacionada à contaminação por metais pesados (Tabela 4). Embora decorrente do lançamento destes em vários pontos do sistema hídrico de uma bacia ou diretamente no corpo receptor, esse tipo de contaminação tem como principal compartimento os sedimentos de fundo.

Malm [1] em 1986 e Soares [18] em 1999 apontaram o sedimento de fundo como o compartimento integrador das condições ambientais locais, além de apresentar melhor reprodutibilidade dos resultados e permitir maior facilidade de manejo. Rodrigues [15], em 1990, mostrou que a razão entre a concentração do metal no sedimento e no particulado, para a maioria dos metais e para regiões com um bom nível de oxidação, pode ser utilizada para obter-se a concentração em um compartimento na ausência de informações a respeito do outro.

TABELA 3 - ÍNDICES DE METAIS PESADOS ENCONTRADOS NOS ANIMAIS DA BAÍA DE SEPETIBA-RJ. (ADAPTADO DE SEMA/RJ [16] - 1988)

Biota	Metais					
	Cu	Cr	Cd	Zn	Mn	Pb
Mollusca						
<i>Ostrea equestris</i> – ostra-da-pedra	3.19	1.57	1.60	973	2.75	1.12
<i>Crassostrea rhizophorae</i> – ostra-do-mague	1.37	0.39	0.48	471	1.44	0.77
<i>Mytella guyanenses</i> – sururu	1.63	1.35	0.49	29.2	2.9	0.96
<i>Tagelus plebeius</i> – unha-de-velho	2.52	1.45	0.09	96.4	8.4	1.64
<i>Anomalocardia brasiliana</i> – samanguiá	0.76	0.38	0.40	19.51	4.15	0.92
Crustacea						
<i>Penaeus schimitti</i> - camarão-branco	3.47	0.76	0.08	37.8	0.50	2.38
<i>Callinectes danae</i> – siri	32.8	1.51	0.34	39.50	4.12	1.96
Piscies						
<i>Mugil</i> sp. – tainha	0.70	0.50	0.03	7.40	0.80	0.60
<i>Cynoscion</i> sp. – pescada	0.27	0.31	0.02	3.42	0.20	0.57
<i>Micropogonias</i> sp. – corvina	0.54	0.77	0.04	27.30	0.97	1.08
<i>Haemulon</i> sp. – cocoroca	0.60	0.53	0.04	9.00	0.61	1.48
Concentração Máxima Permitida na legislação brasileira	30	0.1	0.1	50	----	8

Obs: unidade em $\mu\text{g.g}^{-1}$

**TABELA 4 - ORIGEM DOS METAIS DE ACORDO COM O TIPO DE INDÚSTRIA
(ADAPTADO E MODIFICADO DE BRAILE & CAVALCANTI [17])**

Poluentes	Origem do metal
Cobre	galvanoplastia, tintura têxtil, tintas, impressões fotográficas, inseticidas, curtimentos, pigmentos, combustão da gasolina, bebidas.
Chumbo	impressoras, tinturarias, fósforos, explosivos, pigmentos, baterias, produtos metálicos, queima de combustíveis.
Níquel	galvanoplastia, tinta invisível, indústria eletrônica, produção de inúmeros compostos metálicos, queima de combustíveis.
Cádmio	produção de inúmeros compostos metálicos, pigmentos, componentes de aparelhos eletrônicos, indústrias de plásticos, PVC, baterias, indústria de papel.
Ferro	intemperismo das rochas, produção de inúmeros compostos metálicos.
Al	metalurgia e química.
Zinco	galvanoplastia, fábrica de papel, tinturas, produção de inúmeros compostos metálicos, fertilizantes a base de fosfato, queima de combustíveis, produção de borrachas (pneus), bebidas.

2. OBJETIVOS

O Rio Guandu possui uma extensão de cerca de 80 km, contribui com 4% da água doce e 75% do material em suspensão que chega à Baía de Sepetiba. Apresenta um histórico de várias indústrias que despejam metais pesados em quantidades bastante expressivas, possui relevante importância econômica e abriga uma grande população que habita a região da Baía de Sepetiba. Este trabalho, através de análises químicas e mineralógicas, tentar compreender de forma mais clara o *Input* dos metais pesados ao longo do Rio Guandu, bem como o seus comportamentos em relação a parâmetros característicos das amostras tais como % de Carbono, % de Nitrogênio, teor de finos, matéria orgânica e teor de carbonato. Tendo em vista ser o aporte fluvial o principal meio de entrada destes metais para a Baía de Sepetiba [16], o Rio Guandu foi escolhido como área de realização deste trabalho.

O propósito principal do trabalho é quantificar os teores de Ni, Fe, Zn, Al, Pb, Cu, Cd em sedimentos de oito estações ao longo do Rio Guandu, relacionando-os com os centros urbanos e atividades industriais.

Observando com mais clareza a distribuição desses metais ao longo do Rio Guandu, espera-se que seja possível um melhor entendimento da contribuição deste rio nos aportes de metais na Baía de Sepetiba.

3. ÁREA DE ESTUDO

A Baía de Sepetiba encontra-se a 60 km a sudoeste da cidade do Rio de Janeiro, e devido a suas características oceanográficas pode ser considerada um ecossistema estuarino, caracterizado por uma massa de água semifechada que possui ligação livre com o mar aberto [11].

Um crescente polo industrial do Estado do Rio de Janeiro situa-se na região de Sepetiba, onde existem cerca de 100 indústrias, dentre as quais se destacam as de pirometalurgia, siderurgia e metalurgia, abrangendo empresas de grande porte como a CSA, Cosigua, Basf e a Casa da Moeda.

As bacias dos rios Guandu (1.385 km²), da Guarda (346 km²) e Guandu-Mirim (190 km²) totalizam uma área de drenagem de 1.921 km², onde vivem cerca de 1 milhão de habitantes, o que representa cerca de 70% da área total da bacia hidrográfica contribuinte à Baía de Sepetiba (Tabela 5).

A população residente estimada nas áreas compreendidas pelas bacias dos três principais rios passou de 890.300, em 1991, para 987.523 pessoas, em 2000, significando uma taxa de crescimento relativamente baixa (1,2% aa), abaixo da média estadual, mas superior, contudo, à da população total dos municípios sob influência das mesmas bacias (0,7% aa). Assim, o peso populacional da área compreendida pela bacia da Baía de Sepetiba aumentou um pouco, de 13,4% para 13,8%, em relação à população total dos municípios.

TABELA 5 - PROJEÇÕES POPULACIONAIS - BACIA DOS RIOS GUANDU, DA GUARDA E GUANDU-MIRIM 2000-2025

Região/Município	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Municípios das bacias	7.105.385	7.330.107	7.561.886	7.789.863	8.005.931	8.217.302
Engenheiro Paulo de Frontin	12.154	12.168	12.187	12.236	12.305	12.358
Itaguaí	81.935	92.643	104.364	116.052	127.308	139.230
Japeri	83.209	91.109	99.041	106.333	112.824	119.642
Miguel Pereira	23.882	25.785	27.542	29.177	30.676	32.201
Nova Iguaçu	753.892	748.763	744.442	742.697	742.650	742.634
Paracambi	40.441	42.119	43.684	45.192	46.619	48.004
Piraí	22.100	23.391	24.545	25.553	26.403	27.285
Queimados	121.892	132.397	142.958	152.705	161.412	170.482
Rio Claro	16.215	17.310	18.288	19.139	19.848	20.593
Rio de Janeiro	5.853.034	6.037.650	6.227.148	6.412.243	6.586.468	6.754.904
Seropédica	65.206	74.190	84.021	93.812	103.229	113.261
Vassouras	31.425	32.582	33.666	34.724	35.737	36.710
Total das Bacias	987.523	1.036.741	1.088.264	1.138.516	1.185.768	1.234.384
Bacia do Rio Guandu	407.315	429.023	451.165	472.196	491.468	511.519

O Rio Guandu, principal curso d'água da bacia da Baía de Sepetiba, drena uma área de 1.385 Km². É formado pelo Ribeirão das Lajes que passa a se chamar Rio Guandu a partir da confluência com o Rio Santana, na altitude 30 m. Tem como principais afluentes, os rios dos Macacos, Santana, São Pedro, Poços/Queimados e Ipiranga. O seu curso final retificado leva o nome de Canal de São Francisco. Todo o seu percurso até a foz (Ribeirão das Lajes-Guandu-Canal de São Francisco), totaliza 48 km (Figura 1).

Em seu percurso de 24 km desde a usina de Pereira Passos até as barragens da Estação de Tratamento de Água Guandu (ETA Guandu) da Companhia Estadual de Água e Esgotos (Cedae), margeia as áreas urbanas de Japeri e Engenheiro Pedreira, situadas em sua margem esquerda, e mais abaixo, áreas do município de Seropédica.

Pouco abaixo do distrito de Japeri, recebe pela margem esquerda o Rio São Pedro, afluente em bom estado de conservação, mas cuja foz vem sendo degradada pela exploração de areia. Na altura de Engenheiro Pedreira há um depósito de lixo em sua margem esquerda.

A jusante da via Dutra, o curso do Rio Guandu segue rumo sul margeando áreas de pastagem até a localidade urbana de Campo Lindo, em Seropédica. A montante da ponte da antiga estrada Rio-São Paulo situa-se a ilha da Cedae, onde o Guandu se divide em dois braços. Em ambos há barragens pertencentes à ETA Guandu e fazem parte da estrutura de captação do sistema Guandu de abastecimento de água. Junto ao braço leste encontra-se a Lagoa do Guandu onde desembocam os rios dos Poços, Queimados e Ipiranga, ambos fortemente poluídos por esgotos domésticos, efluentes industriais e lixo.

A jusante da ilha da Cedae, o Guandu atravessa um pequeno trecho com leito pedregoso, formando uma corredeira. Depois toma rumo sudoeste e percorre cerca de 9 km até adentrar no Canal de São Francisco.

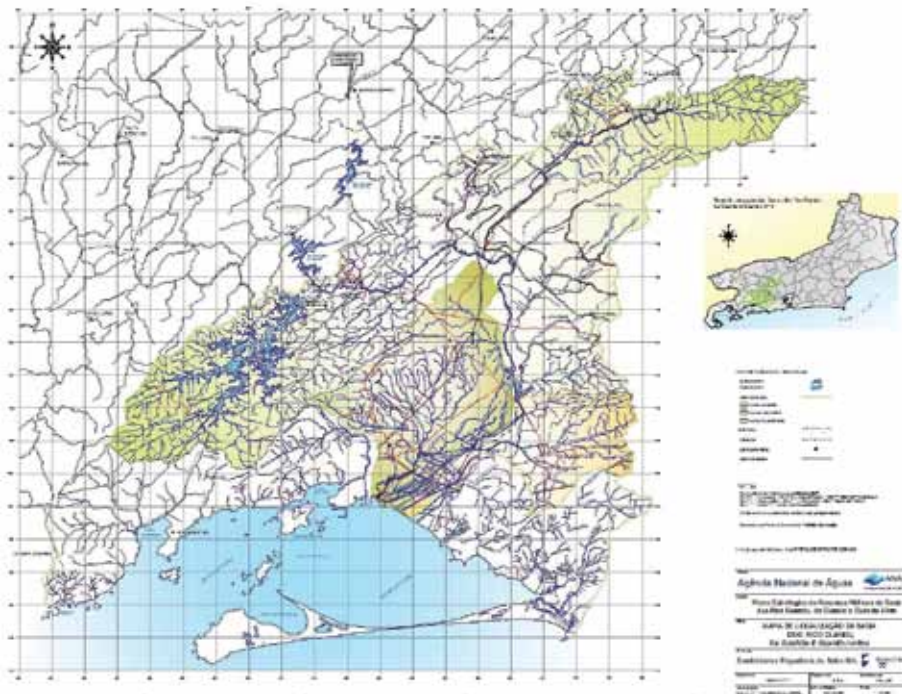


FIGURA 1 - Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim

O Canal de São Francisco segue por 15 km até desaguar na Baía de Sepetiba. A zona da foz é ocupada por manguezais e nela encontra-se um delta em formação. Todo o Rio Guandu e o Canal de São Francisco sofreram os efeitos da atividade de extração de areia, que até bem pouco tempo era livremente praticada no estirão fluvial, promovendo a desfiguração da calha, desmontando a barranca e abrindo buracos e enseadas laterais.

A influência da maré no Canal de São Francisco estende-se até cerca de 1 km a montante do cruzamento com a BR-101, situado a 7 km de sua foz. A magnitude da penetração da cunha salina no Canal de São Francisco depende da vazão do rio e da situação da maré. Para uma descarga de 50 m³/s e situação de maré alta de sigízia, a penetração alcança cerca de 4 km do rio a partir de sua foz, chegando próximo à área situada entre a tomada de água da Companhia

Siderúrgica Guanabara (Cosigua) e a ponte da Rede Ferroviária Federal S.A (RFFSA). Para uma maré alta de 1,5 metros, e considerando uma descarga de 25 m³/s, a entrada da cunha salina atingiria aproximadamente a região da ponte da BR-101, próximo aos 6,5 km da foz.

Junto com o grande crescimento da região, crescem também os problemas de ordem ambiental, principalmente devido à exploração mineral, descargas industriais e de esgotos domésticos. A bacia do Rio Guandu possui relevante uso industrial e urbano, congregando as diferenciadas dinâmicas territoriais da serra e da Baixada Fluminense. Em sua porção serrana encontram-se extensas áreas de solos esgotados, dominados por processos erosivos, que associados a atividades de exploração de areia onde os sedimentos finos, embora proibidos, são lançados de volta nos cursos d'água, e que acrescidas às cargas aportadas do Rio Paraíba do Sul, fazem com que bacia do Guandu seja a principal área de produção e transporte de sedimentos da bacia da Baía de Sepetiba, contribuindo com aproximadamente 75% do aporte total [16].

Várias formas de introdução de metais contaminantes no sistema aquático da Baía de Sepetiba foram estudadas, entre elas o aporte fluvial, a lavagem superficial, *input* via atmosfera, e diretamente por chuvas [19;20;21;22]. Os fluxos atmosférico, fluvial e total de metais pesados para a Baía de Sepetiba, que mostram uma carga significativa de Mn, Zn, Cu, Cr, Ni e Cd, além da contribuição natural de Fe que é bastante alta, são apresentados na Tabela 6.

TABELA 6 - TIPO DE ENTRADA DE METAIS PESADOS NA BAÍA DE SEPETIBA-RJ

Aporte de metais	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	Cr
Atmosférico	34	8	56	0.7	2.48	0.2	1.15	0.1
Fluvial	24000	760	330	54	4.15	1.1	-	32
Total	24034	768	386	54.7	6.63	1.3	-	32.1

Obs: unidade em ton.ano⁻¹

A contaminação por metais pesados na Baía de Sepetiba é decorrente, principalmente, do lançamento de dejetos industriais em vários pontos do seu sistema hídrico, que se depositam, finalmente, nos sedimentos da baía.

O parque industrial da Baía de Sepetiba conta com mais de 100 indústrias ativas, distribuídas por oito municípios, com uma grande concentração de indústrias nos municípios do Rio de Janeiro, Itaguaí e Queimados. Metade das grandes empresas é do setor metalúrgico, há também importantes indústrias do ramo de cervejaria, gráfica e de borracha [16].

O parque industrial de Sepetiba pode ser considerado recente, pois grande parte das indústrias possui menos de trinta anos. Das 100 empresas consideradas no censo da Secretaria Estadual de Meio Ambiente (Sema), em 1988, apenas trinta possuíam unidades de tratamento. O setor metalúrgico é constituído de empresas de médio e de grande porte, em geral antigas, com baixa eficiência de utilização de matérias-primas, com grande potencial de produção de resíduos e condições precárias em termos de tratamento, apresentando, assim, baixo desempenho ambiental [16].

4. PONTOS DE COLETA

Os pontos de amostragem dos sedimentos foram distribuídos ao longo do Rio Guandu, em locais de fácil acesso para realização das coletas (Tabela 7), e de modo que se pudesse notar a possível influência antrópica ao longo do rio, desde o ponto a jusante da represa Ribeirão das Lajes até sua desembocadura na Baía de Sepetiba (Figura 2).

TABELA 7 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE COLETA

Estação	Latitude	Longitude	Observações
1	S 22°53'809"	W 043°44'310"	Ponte da linha férrea do polo industrial de Santa Cruz.
2	S 22°53'056"	W 043°42'990"	Ponte da rodovia Rio-Santos (Br-101)
3	S 22°51'309"	W 043°40'501"	Seropédica, no bairro Canto do Rio
4	S 22°48'569"	W 043°37'656"	Jusante da barragem do Guandu
5	S 22°43'639	W 043°38'496"	Rodovia Rio- São Paulo (Br-116)
6	S 22°39'349	W 043°39'580"	Ponte entre os municípios de Seropédica e Japerí, estrada para Miguel Pereira.
7	S 28°38'912"	W 043°40'699"	Ponte da linha férrea, no município de Seropédica
8	S 22°38'479	W 043°42'790"	Ponte que faz limite entre municípios de Paracambi e Seropédica

No campo foram coletadas amostras de sedimentos superficiais do leito do rio. As coordenadas dos pontos foram obtidas através de aparelho de posicionamento – GPS portátil, da marca Eagle, o mais próximo possível dos previamente determinados na programação das coletas e totalizaram oito pontos ao longo do rio.

Como o índice de tratamento de esgotos domésticos na região é baixo ou inexistente, o lançamento de matéria orgânica nos rios é frequente. Assim, entre as estações 8 e 7, encontra-se a foz do Rio dos Macacos, que traz o esgoto dos municípios de Paracambi e Engenheiro Paulo de Frontin, e entre as estações 7 e 6, o Rio Santana, que carrega a maior parte do esgoto doméstico da cidade de Japeri. Observa-se ainda que entre as estações 6 e 5 ocorre o deságue do Rio São Pedro, que aparentemente não passa em seu curso por nenhum grande centro populacional ou industrial. Entretanto, entre as estações 5 e 4 temos a foz do Rio Queimados, que drena a cidade de Queimados, parte da região do Cabuçu (Nova Iguaçu) e o distrito industrial de Queimados. A região entre as estações 4 e 3 apresenta um grande adensamento populacional, onde encontra-se o bairro Canto do Rio, no limite oeste do município de Seropédica, que, assim como os demais municípios, contribui com seus esgotos domésticos sem tratamento algum.

Entre as estações 3 e 2, observa-se a influência do Rio Guandu do Sena, que troca de nome para Rio Prata do Mendanha e que passa a se chamar Rio Guandu-Mirim quando desemboca no Canal de São Francisco e drena em todo o seu curso uma grande área dos municípios de Santa Cruz e Campo Grande.

Entre as estações 2 e 1, situa-se a zona industrial de Itaguaí e Santa Cruz, que possui 14 conjuntos habitacionais, oito favelas e indústrias de grande porte.



FIGURA 2 - Foto de Satélite (Google Earth) com a localização dos pontos de coleta no Rio Guandu

5. METODOLOGIAS DE ANÁLISES

5.1 Coleta de amostras

A amostragem dos sedimentos foi feita usando-se um coletor busca-fundo de aço inox do tipo Van Veen. As amostras sempre foram coletadas nos pontos de maior fluxo do rio. Após a coleta as amostras foram postas primeiramente em uma bandeja descontaminada e logo depois acondicionadas em sacos plásticos previamente identificados, sendo imediatamente colocadas em um isopor com gelo para que não se iniciasse o processo de degradação da matéria orgânica. O material foi transportado diretamente para o Laboratório de Análises de Elementos Traços do Departamento de Oceanografia Química da Faculdade de Oceanografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (Uerj).

5.2 Preparação das amostras

Uma vez no laboratório, as amostras foram congeladas e no momento do processamento foram postas para descongelar de um dia para outro. Após o completo descongelamento, foram separadas amostras brutas, e subamostras das frações maiores que 2 mm (cascalho), frações grossas entre 2 e 0,063 mm (areia), e frações finas menores que 0,063mm (silte-argila), já que é sabido que há uma grande afinidade dos metais pesados com o sedimento fino. Uma vez separadas, as subamostras foram secas a 60°C, até o momento que seu peso se manteve constante.

O próximo passo foi a moagem do material no Laboratório de Preparação de Amostras da Faculdade de Geologia da Uerj. Para tanto, foi utilizado um moinho de bolas de tungstênio, no qual se processou a moagem durante quatro minutos, tomando-se sempre cuidado para que não houvesse contaminação entre as amostras. Entre uma amostra e outra, o moinho era limpo com um banho de areia, lavado com sabão neutro e, por fim, limpo com álcool e seco com a ajuda de um jato de ar, e depois posto na estufa a 60°C. Após o processo de moagem, o material ficava então preparado para as análises de matéria orgânica, metais pesados e composição elementar (CHNS).

5.3 Determinação de matéria orgânica

O método utilizado foi o de determinação por perda ao fogo, em que a amostra foi levada a 450°C, em mufla por 24h, e posterior cálculo do percentual de matéria orgânica. Esse procedimento foi aplicado a amostras tanto de sedimento total, como em amostras de sedimentos finos (silte-argila).

5.4 Análise da composição elementar (CHNS)

Primeiramente, para diferenciar o carbono orgânico do inorgânico, foi feita a descarbonatação da amostra, tanto na fração fina quanto na fração grossa. Cerca de 2 gramas de amostra em duplicata foram colocados em tubos de polipropileno, procedendo-se então a adição de 20 ml de água destilada a qual foram adicionadas gotas de ácido clorídrico (HCl-1 M) até atingir o pH em torno de

2. O material foi submetido à agitação em um agitador orbital, na rotação de 120 rpm, por 24 horas. Após esse tempo, o pH da amostra foi conferido e, nos casos em que não houve variação do pH, o material então foi colocado em uma centrífuga 3000 rpm, durante 10 minutos, para decantação da fração sólida. Em seguida, as amostras foram lavadas com água destilada (20 ml) por quatro vezes sucessivas, até que os cloretos fossem eliminados totalmente. Após a lavagem se completar, as amostras foram secas em estufa a 60°C, por 24 horas, até atingir o peso constante. O novo peso da amostra, após esse processo, permitiu calcular por diferença de peso o percentual de carbonato eliminado.

As amostras, agora descarbonatadas, foram introduzidas em pequenas capsulas de estanho, que depois de fechadas eram introduzidas no Analisador Elemental CHNS, marca CE Instruments, modelo EA1110. Assim, foram obtidos os resultados de carbono, hidrogênio, nitrogênio e enxofre, em percentual de massa. Com estes resultados foi possível calcular as relações C/H, C/N e C/S que permitiu avaliar a origem do material da amostra.

5.5 Análise dos metais

Subamostras de sedimentos finos foram submetidas ao processo de extração total (exceto para silicatos), através de abertura a quente, em triplicata, de cerca de 1 grama da amostra, em bomba de Teflon previamente descontaminada, com 10 ml de água régia (HCl+HNO₃ 3:1). Após quatro horas a temperatura ambiente para redução de matéria orgânica e carbonatos, a mistura foi levada à digestão em bloco digestor, com temperatura controlada a 80°C, por um período de 12 horas. Após este período, as bombas de Teflon foram abertas e submetidas à temperatura de 250°C por mais seis horas, período em que foram adicionados HCl e HNO₃, até o resíduo se tornar bem claro.

Após o término da abertura, a fase líquida de cada uma das amostras foram transferidas para tubos de 50 ml de polipropileno, previamente descontaminados para serem avolumados a 50 ml com HCl (0,1M).

Estando o material preparado após a abertura por tratamento ácido, foram verificados quantitativamente as concentrações de alumínio (Al), cobre (Cu), chumbo (Pb), zinco (Zn), cádmio (Cd) e ferro (Fe).

O procedimento de descontaminação do material do laboratório utilizado foi o de limpeza por 48 horas em banho de Extram a 10% e mais 48 horas em banho de HNO₃ a 10%, sempre usando em todos os processos água desionizada.

As leituras das concentrações de metais dos extratos foram realizadas utilizando-se um espectrofotômetro de absorção atômica por chama (Perkin Elmer AAnalyst 300) seguindo as recomendações do fabricante para cada tipo de metal, baseados nos métodos preconizados pelo “Standart Methods”.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No que diz respeito à granulometria, as amostras foram muito heterogêneas variando, praticamente, de lama à areia, sendo que as estações 3, 4, 5, 6, 7 e 8 possuem mais que 97% de areia, fato este explicado pelo grande hidrodinamismo do rio, responsável pelo grande aporte de finos na Baía de Sepetiba. Em contrapartida os pontos 1 e 2, já na fase final do curso do rio e na área sob a influência da maré, mostram uma granulometria onde é marcante a presença de finos (Tabela 8).

TABELA 8 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS DOS SEDIMENTOS

Estações	1	2	3	4	5	6	7	8
% de Areia ($\varnothing > 0,063$ e $\varnothing < 2$ mm)	26,16	0,10	99,90	97,22	99,90	97,87	97,86	97,70
% de Finos ($\varnothing < 0,063$ mm)	73,84	99,90	0,10	2,78	0,10	2,13	2,150	2,30
% de Matéria Orgânica Total	1,24	12,61	0,39	0,92	0,32	0,74	1,33	0,57
% de Matéria Orgânica nos finos	10,00	16,90	10,10	10,00	8,60	10,40	8,90	8,80
% de Carbonato nos finos	5,50	6,00	3,00	2,50	1,00	3,00	3,50	2,00

Os valores mais altos de matéria orgânica tanto nos finos quanto nos grossos, carbonatos nos finos e maior relação C/N (Tabela 9), são observados para a estação 2, que pode ser considerada como localizada na zona de máxima turbidez, como já era esperado, por ser uma região de menor energia o carbono orgânico advindo de restos de plantas, de organismos, tende a se depositar, fazendo com que aumente a concentração de carbono orgânico.

Foi necessário a aplicação de um fator de correção relativo à amônia, que geralmente fica aprisionada na estrutura mineral dos argilominerais, fazendo com que o valor de nitrogênio total seja maior que o proveniente da composição orgânica. Baseado neste fato, foi feita a correção para amônia, de acordo com os valores encontrados no gráfico de C/N de 0,14172%, eliminando a amônia pode-se fazer um cálculo do nitrogênio orgânico, e não do nitrogênio total.

TABELA 9 - RESULTADO DO CHNS NA FRAÇÃO DE FINOS

Estação	% N	% C	C/n	C/n molar	% N corrigido	C/n corrigido	C/n molar corrigido
1	0.21	0.72	3.51	4.01	0.06	11.38	13.27
2	0.39	3.28	8.41	9.81	0.25	13.21	15.41
3	0.32	0.83	2.63	3.07	0.17	4.79	5.59
4	0.36	1.58	4.39	5.12	0.22	7.24	8.44
5	0.34	0.92	2.73	3.19	0.19	4.73	5.52
6	0.21	0.86	4.07	4.75	0.07	12.52	14.61
7	0.30	1.00	3.32	3.87	0.16	6.29	7.33
8	0.25	0.79	3.16	3.69	0.11	7.30	8.51

TABELA 10 - CONCENTRAÇÕES DE METAIS NOS SEDIMENTOS FINOS NO RIO GUANDU- RJ

Amostras	Concentração de metais/ fração < 0,063 mm (Extração com água régia)						
	Ni(µg/g)	Fe(mg/g)	Zn(µg/g)	Al(mg/g)	Pb(µg/g)	Cu(µg/g)	Cd(µg/g)
1	11,64	24,96	48,01	125,26	0,61	20,44	< LD
2	23,44	40,47	73,30	96,50	0,59	30,92	< LD
3	97,91	87,53	306,06	57,32	1,31	187,25	< LD
4	22,95	42,05	158,54	75,28	1,06	84,45	1,235
5	194,07	68,69	371,71	51,30	246,74	604,86	< LD
6	78,18	74,72	414,91	88,36	4,62	476,34	< LD
7	76,78	79,26	238,70	84,20	14,25	278,22	< LD
8	60,23	76,52	243,13	80,65	1,98	313,48	< LD
Média	70,65	61,77	231,8	82,36	33,89	249,5	nd
LD (mg/L)	0,09	1,10	0,3	0,53	0,14	0,05	0,001
LD (µg/g)	4,69	54,53	1,36	26,65	6,88	2,42	0,50

Observação: LD - Limite de detecção, ND - Não determinado

Quanto às concentrações de metais nos sedimentos finos (Tabela 10) e no sedimento bruto (Tabela 11), pode ser observado que a estação 1 apresentou os menores valores para Fe, Ni e Cu, diferente do esperado uma vez que esse ponto é o que sofre maior influência da maré, provocando maior precipitação, principalmente de hidróxido e óxido de Fe, e carreando os demais metais. A estação 1 apresentou ainda alta concentração de Al, que pode estar associada ao aumento da salinidade ou ao fato de o aporte ser de origem marinha, face à existência de pontos com alta concentração desses elementos na baía.

TABELA 11 - CONCENTRAÇÃO DE METAIS NO SEDIMENTO BRUTO

Amostras	Concentração de metais no sedimento bruto						
	Ni($\mu\text{g/g}$)	Fe(mg/g)	Zn($\mu\text{g/g}$)	Al(mg/g)	Pb($\mu\text{g/g}$)	Cu($\mu\text{g/g}$)	Cd($\mu\text{g/g}$)
1	8.63	18.52	35.62	92.94	0.45	15.16	< LD
2	23,23	40,11	72.64	95.63	0,59	30.64	< LD
3	97.91	87,53	306,06	57,32	1,31	187,25	< LD
4	1.896	1.51	5.71	2.71	0.03	3.04	0.04
5	1.94	0.69	3.72	0.51	2.47	6.04	< LD
6	1.64	1.57	8.71	1.86	0.10	10.00	< LD
7	1.84	1.90	5.72	2.02	0.34	6.68	< LD
8	1.57	1.99	6.32	2.10	0.05	8.15	< LD

Os resultados da concentração de Cd nos sedimentos mostraram que na maioria das estações as concentrações ficaram abaixo do limite de detecção do método, portanto, abaixo da média mundial, que é de $0,3\mu\text{g/g}$. Para a estação 4, local em que foi detectado o elemento Cd, encontramos o valor de $1,23\mu\text{g/g}$ na fração de sedimentos finos, valor bem acima da média mundial, o que pode estar relacionado ao efluente de uma metalúrgica, onde é comum a presença de Cd, usado na produção de inúmeros compostos metálicos. Este trecho recebe ainda efluentes de duas fábricas de refrigerantes.

O aumento da concentração de vários metais nas estações 1 e 2, respectivamente na ponte da linha férrea no polo industrial de Santa Cruz e sobre a ponte da rodovia Rio-Santos, houve principalmente aumento das concentrações de Al, talvez esteja relacionada a zona de máxima turbidez, onde existe uma grande deposição de material sedimentar fino devido a mudança brusca de salinidade e pH^{23} , o sedimento fino representava 99,9%, sendo também este o local onde foram encontrados os mais altos valores de matéria orgânica (16,9%), fazendo desta zona a reguladora do comportamento dos metais, na medida em que favorece a deposição de material particulado e de metais a estes ligados. Outra hipótese para os altos valores encontrados para o Al nesses pontos é deste Al estar vindo da contribuição marinha, tendo em vista que trabalhos confirmam esses altos valores advindos da baía [24].

6.1 Tratamento estatístico dos resultados

Inicialmente foram realizadas análises de regressão com um intervalo de confiança de 95%, usou-se o software STATISTICA 5, no qual foram correlacionadas todas as variáveis, mas esta análise nos dava uma visão muito pontual, dificultando o entendimento do comportamento dos metais em uma escala mais ampla.

Tentou-se a normalização para Al, que geralmente é um bom candidato a material de referência, por ser o segundo metal mais abundante na crosta terrestre, por sua proporção ser constante e por suas concentrações não serem afetadas por fontes de origem antropogênicas [25]. Os valores pareciam ser de origem natural, não apresentando grandes variações até receberem os rejeitos da estação de tratamento de água do Guandu, ricos em óxidos e hidróxidos de Al, que são eliminados a jusante da barragem. Talvez esse lançamento indevido e possíveis *inputs* marinhos sejam a razão de não haver sido observada uma boa correlação do Al com nenhum dos metais, nos obrigando a fazer uma normalização múltipla (Figura 3).

Devido à baixa correlação dos elementos com o alumínio (Al), passamos a usar correlação individualizada para obtermos uma visão mais ampla de como estava se dando os aportes. Primeiramente, relacionamos todas as variáveis, tais como as concentrações dos metais (Al, Zn, Fe, Cd, Ni, Zn e Pb), matéria orgânica, C, H, N, S, C/N e C/N Molar, CaCO_3 , sedimentos finos e grossos. Mostrando uma correlação bem confusa. Resolvemos eliminar da análise as variáveis areia e sedimentos finos, tendo em vista que as análises de metais, de carbonato, C/N, matéria orgânica e C, H, N, S foram realizadas somente no sedimento fino. Optamos também por retirar os resultados de Cd da análise, por ter sido encontrado valor acima do limite de detecção somente em uma estação. Foi retirada ainda a relação C/N, devido ao fato do C/N molar ter a mesma representação, e por fim retiramos os percentuais de H e de S, por suas correlações se apresentarem muito fracas.

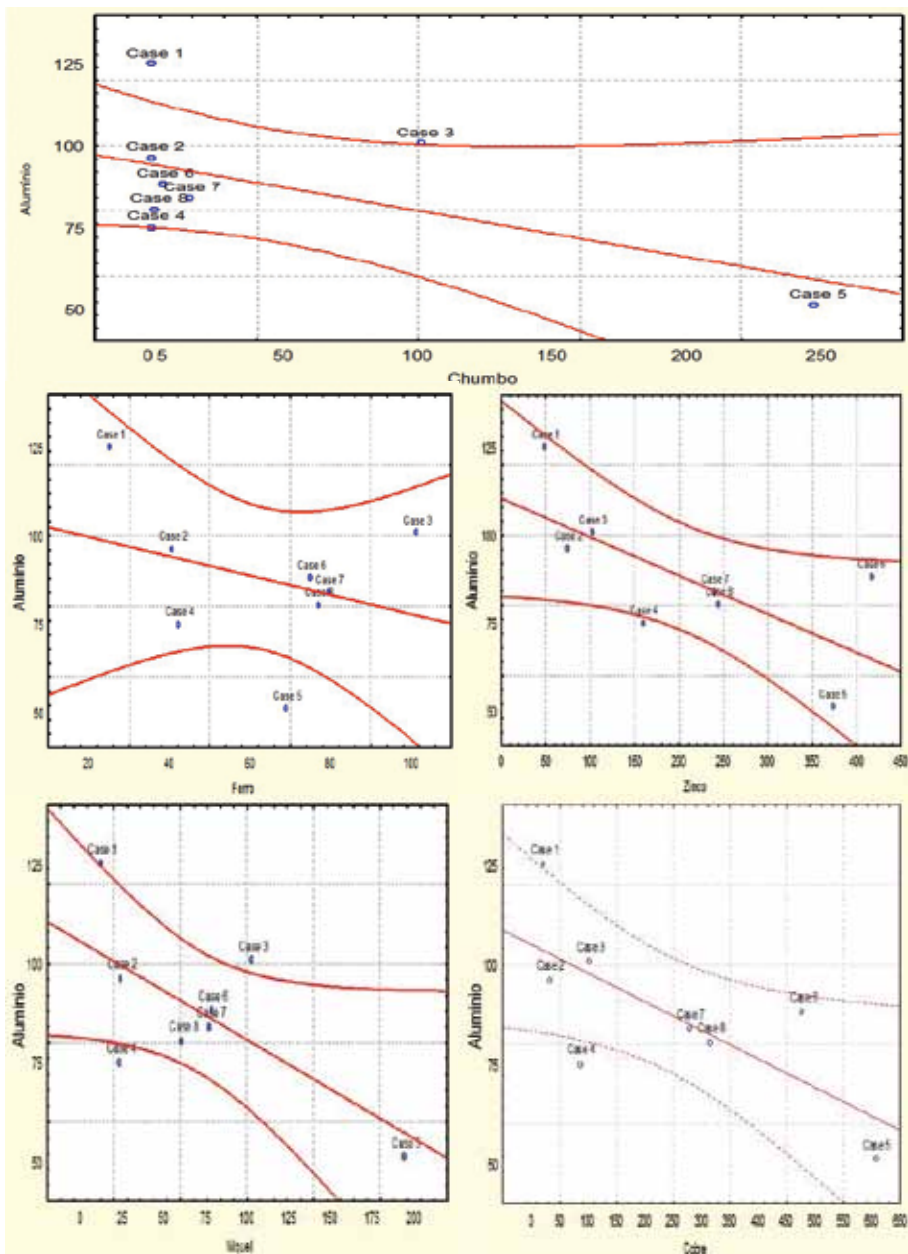


FIGURA 3 - Correlação das concentrações dos metais com a concentração de alumínio

Após termos em mão o resultado da nova correlação entre as concentrações de metais nas amostras, observou-se que existiam alguns pontos fora do intervalo de confiança, pontos esses que poderiam ser reflexo da poluição antropogênica (Figura 4).

Pode-se constatar que os pontos 3, 5 e 7 apresentaram concentrações de Pb (Figura 4) fora dos limites do intervalo de confiança da correlação, e que se localizavam respectivamente sobre a rodovia Rio-Santos (Br-116), a rodovia Presidente Dutra (Br-101) e uma linha férrea que apresenta grande tráfego de trens, e desta forma estavam associados a fontes de contaminação externa de origem atmosférica, associados ao grande tráfego de veículos automotores, portanto deveriam ser estes os primeiros pontos a serem eliminados na nova metodologia de análise. Com este procedimento houve uma melhora significativa da correlação do Pb (Figura 5) com as concentrações de Cu, Zn e Fe nas amostras.

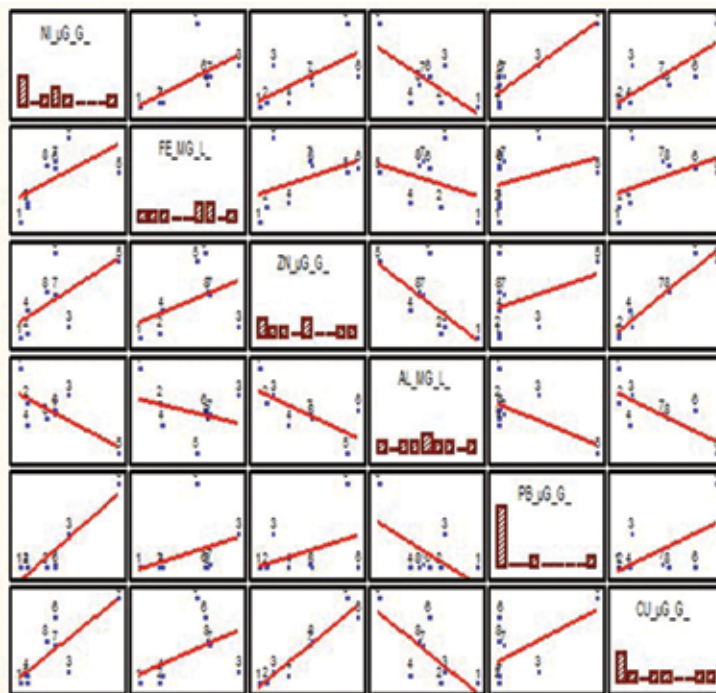


FIGURA 4 - Correlação das concentrações de todos os metais

Para o Ni a correlação ainda continuou ruim, onde se observou que com a retirada do ponto 5 para o Ni a correlação melhoraria sensivelmente, portanto o próximo passo foi a retirada do valor de Ni na estação 5 (Figura 6).

O Zn apresentou uma boa correlação com os demais metais, sendo que para melhorar ainda mais sua correlação, testamos e comprovamos que a retirada do valor da estação 3 (Figura 7) melhoraria sensivelmente a correlação com os demais metais, sendo este portanto o próximo passo. A alta concentração de Zn na estação 3 talvez esteja associada a presença de duas indústrias de bebidas na região.

Para Zn e Cu foram encontradas altas concentrações nas estações 3 e 6, onde são usualmente eliminados os rejeitos industriais de fábricas de tecidos, estas por sua vez se localizam entre as estações 3 e 4 e entre as estações 7 e 8, estes despejos estão se refletindo nas concentrações das estações 3 e 6.

Apesar do rejeito detectado na estação 6 ter provavelmente sua origem entre as estações 7 e 8, não é detectado em grandes concentrações na estação 7, só apresentando maiores valores na estação 6, então são necessários novos estudos, de forma a compreender como este metal comporta-se no ambiente.

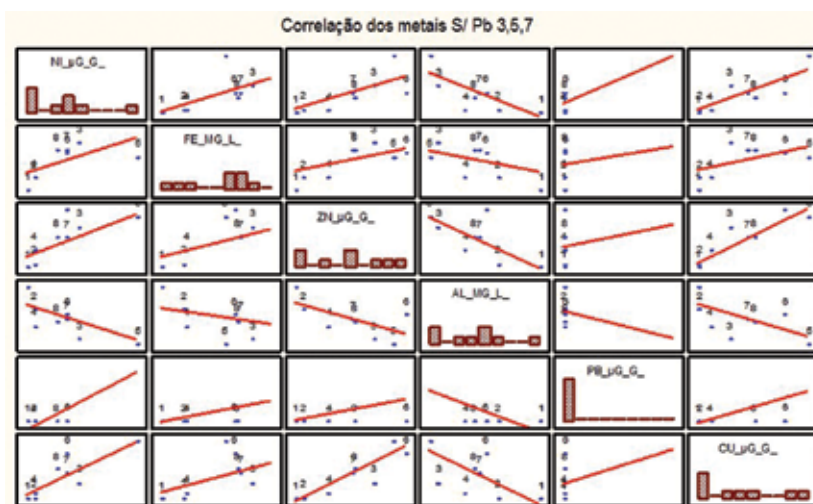


FIGURA 5 - Correlação das concentrações de todos os metais sem as concentrações de Pb das estações 3, 5 e 7

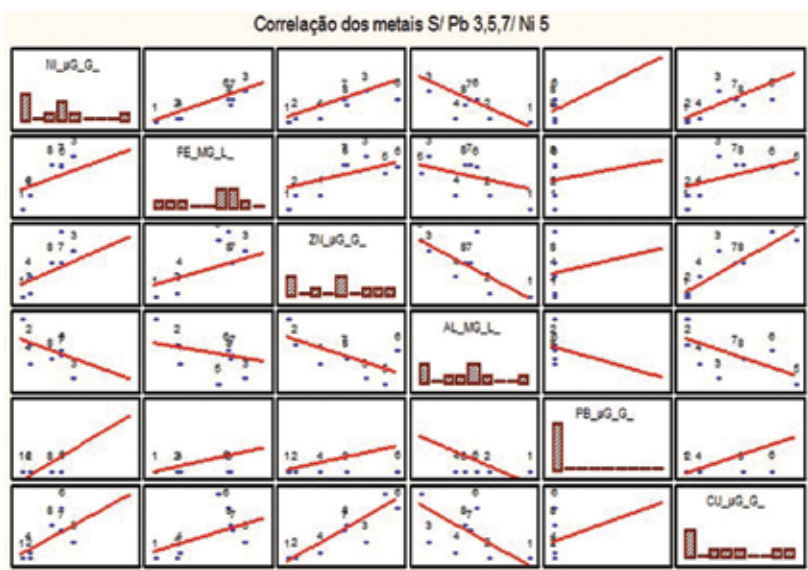


FIGURA 6 - Correlação das concentrações de todos os metais sem as concentrações de Pb das estações 3, 5 e 7 e Ni da estação 5

Mesmo após todos esses procedimentos as concentrações de Al ainda não apresentaram uma boa correlação com nenhum metal, e por conseguinte optou-se por retirar primeiramente a estação 1, na qual a melhora foi pouca e depois a estação 2 (Figura 8), passando o Al a ter uma boa correlação com Ni, Fe e Pb, continuando ainda uma correlação ruim com Cu e Zn e também ruim do Cu com o Fe, tendo por base a teoria que este elemento tem como fonte a estação de tratamento de água do Guandu, isto estaria provocando a ocorrência desses valores anômalos. As concentrações de ferro se mantiveram constantes ao longo de todo o percurso, refletindo o alto intemperismo que sofrem as rochas da região. Os teores de Fe se mantiveram próximo aos medidos nos trabalhos de Malm [1] e Rodrigues [15], e estes valores acima da média mundial podem ser explicados pela alta taxa de sedimentação decorrente da extração da areia que disponibiliza mais sedimentos finos para o ambiente.

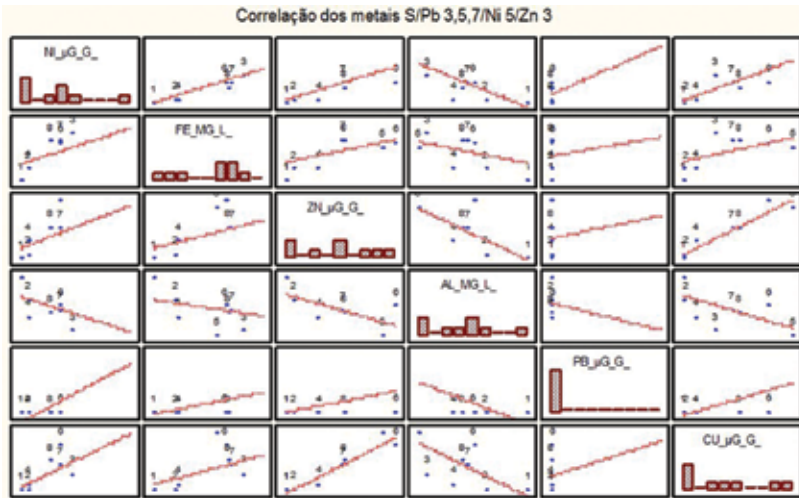


FIGURA 7 - Correlação das concentrações de todos os metais sem as concentrações de Pb das estações 3, 5 e 7, Ni da estação 5 e Zn da estação 3

Em relação ao C/N, as amostras apresentaram um relação abaixo do esperado, com exceção da estação 6. A alta do N deve ser devido a atividade bacteriana que incorpora amônia, enquanto que a baixa de C deva ser ocasionada pela mineralização do C, devido a estes pontos estarem ocorrendo em zonas de alta energia.

Para a estação 6, que apresentou valores diferentes, vale ressaltar que ela recebe o esgoto do município de Japeri e que a atividade bacteriana pode estar removendo o N, colaborando para que aumente a relação C/N.

Para as estações 1 e 2 onde temos uma maior quantidade de finos, e portanto uma zona de baixa energia e onde a atividade microbiana é maior, esta atividade deve estar incorporando nitrogênio, fazendo com que os valores de nitrogênio diminuam e por ser uma zona de mais baixa energia, pode estar ocorrendo deposição de C, fazendo com que seus valores aumentem.

6.2 Comparação com outros trabalhos

Todos os metais analisados nos sedimentos coletados no Rio Guandu apresentaram concentrações bastante acima da média mundial (Tabela 12), atingindo para Ni, Cu e Fe valores próximo ao do Rio Reno, na Alemanha, que é um dos rios mais poluídos do mundo. A concentração de Pb no geral se manteve baixa em relação aos outros rios, apresentando maior concentração somente no trecho das rodovias Rio-Santos e Presidente Dutra.

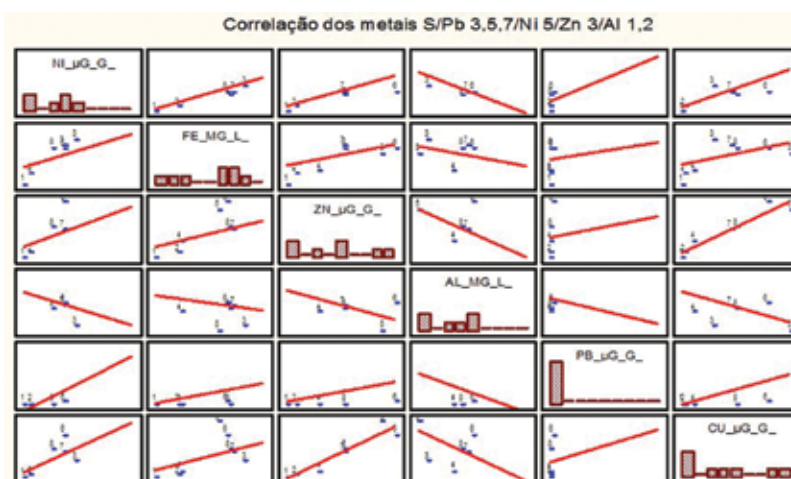


FIGURA 8 - Correlação das concentrações de todos os metais sem as concentrações de Pb das estações 3, 5 e 7, Ni da estação 5, Zn da estação 3 e Al das estações 1 e 2.

TABELA 12 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS COM OUTROS TRABALHOS

Metais	Ni	Fe	Zn	Al	Pb	Cu	Cd
Este Trabalho ($\mu\text{g/g}$)	70,65	61770	231,8	82,36	33,89	249,5	----
Reno ($\mu\text{g/g}$) ¹	152.0	-----	520.0	----	155.0	86.0	4.0
Reno ($\mu\text{g/g}$) ²	167	37000	1096,0	----	333.0	376.0	28.0
Paraíba. do Sul/ Guandu ($\mu\text{g/g}$) ³	62	61000	327.0	----	94.0	105.0	0.64
Canal de São Francisco ⁴ ($\mu\text{g/g}$)	----	42600	131.0	----	47.0	21.0	----
M. Mundial ($\mu\text{g/g}$)	52	41000	95	----	19	33	0.3

¹ Trecho Moderadamente Poluído (Forstner and Wittman 1979 *apud* Malm, 1986)

² Trecho Poluído (Patchuneelam, 1975 *apud* Malm, 1986)

³ Malm, 1986

⁴ Rodrigues, 1990

7. CONCLUSÕES

O ponto de coleta localizado sob a rodovia Presidente Dutra apresentou-se o mais impactado para chumbo, cobre, zinco e níquel. Para o alumínio não foi possível fazer uma normalização para determinar a contribuição da matriz geológica, tendo em vista que este pode ter tido suas concentrações nos sedimentos coletados fortemente alterado pelos descartes da estação de tratamento de água da Cedae.

Os resultados de concentração de chumbo parecem indicar que a sua entrada no ecossistema do Rio Guandu está principalmente ligada ao aporte atmosférico, tendo em vista que os mais altos valores foram encontrados nas estações próximo aos pontos com maior fluxo de veículos automotores.

O resultado das concentrações de ferro, nas amostras analisadas, se manteve bastante homogêneo, não indicando muita influência antropogênica, mas sim grandes valores de aporte natural.

Os resultados encontrados para zinco, cobre e níquel parecem ter suas concentrações fortemente alteradas por descartes industriais da região. Quanto às concentrações de cádmio, os resultados foram abaixo do limite de detecção do aparelho (0,5 µg/ mol), com exceção do ponto 4 (1,23 µg/ mol), que se mostrou impactado, possivelmente por descartes de indústrias metalúrgicas.

Todos os metais analisados nos sedimentos coletados no Rio Guandu apresentaram concentrações bastante acima da média mundial, atingindo para Ni, Cu e Fe valores próximo ao do Rio Reno, na Alemanha, um dos mais poluídos do mundo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MALM O. 1986. Estudo da Poluição Ambiental por Metais Pesados no Sistema do Rio Paraíba do Sul- Guandu. Através de Metodologia de Abordagem Pelos Parâmetros Críticos. Tese de Mestrado em Biologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- [2] FÖRSTNER U. & WITTMAN G.T.W. 1981. Metal Pollution in the Aquatic Environment, 2nd ed. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York 487.
- [3] NRIAGU, O. J. & PACYNA J.M. 1988. Quantitative Assesment of Worldwide Contamination of Air, Water and Soils by Trace Metals. Nature, 333 (6169). 134-139, May.
- [4] PACYNA J.M. & MÜNCH J. 1989 European Inventory of Trace Metals Emission to The Atmosfere. (ICHME), Genebra. 144-147
- [5] NRIAGU, O. J. 1989 The History of Leaded Gasoline. International conference of Heavy Metals in the Environment (ICHME), 361-366 Genebra
- [6] NRIAGU, O. J. 1991. Human Influence on the GlobalCycling of Trace Metals. (ICHME) 01-05, Edimburg.
- [7] BEZERRA H. C. & PATCHINEELAM S. R. 1984. Estudos preliminares da Geoquímica dos sedimentos superficiais dos manguesal de Coroa Grande (Baía de Sepetiba). Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro pp 16.

- [8] CAPRA, FRITJOF. 1986. A Teia da Vida. Uma Nova Compreensão Científica dos Sistemas Vivos. Livro Texto. Editora Cultrix. São Paulo-SP pp 92.
- [9] LACERDA, L. D. 1994. Biogeochemistry of Heavy Metals in Coastal Lagoons, Universidade Federal Fluminense /Programa de Geoquímica.
- [10] LACERDA, L. D.; GUERRA T.; CASTILHOS, Z.C; HATJE, V; CANESIN, F.P. & CUNHA, L. C., 1995. Heavy Metals Atmospheric Inputs From Energy Generation in Brazil. International Conference. Hamburg- September 1995 pp 81.
- [11] LACERDA, L. D.; GRAÇA, N. M., QUINTANILHA, M. C. P. 1994. Bibliografia sobre a Contaminação por Metais Pesados em Ambientes Costeiros do Estado do Rio de Janeiro, Universidade Federal Fluminense / Programa de Geoquímica.
- [12] SOUZA C.M.M.; PESTANA M.H.D. ;LACERDA L.D. 1986. Geochemical Partitioning of Heavy Metals In Sediments Of Three Estuaries Along The Coast of Rio de Janeiro (Brazil). The Science Of Total Environment, 58: 63-72
- [13] LIMA, N. R. W, LACERDA L. D., PFEIFFER W. C. and FISZMAN, M. 1986. Temporal and Espatial Variability In Zn, Cr, Cd and Fe Concentrations in Oyster Tissues (*Crassostrea Brasiliana Lamarck*, 1819) From Sepetiba Bay. Brazil.Environmental Technology Letters, vol 7, 453-460.
- [14] CHAPMAM D.1996. A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. UNESCO/ WHO/ UNEP. Text book (2nd edition): 98- 99.
- [15] RODRIGUES P. P. G . W. 1990. Aporte para os Metais Pesados para a Baía de Sepetiba e seu Comportamento na Região Estuarina. Tese de mestrado Universidade Federal Fluminense / Programa de Geoquímica.
- [16] SEMA/RJ, 1998. Macroplano de Gestão e Saneamento Ambiental da Bacia da Baía de Sepetiba. Relatório Final.
- [17] BRAILE P. M. & CAVALCANTI J.E.W.A. 1979. Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo- Brasil.

- [18] SOARES H.M.V.M.; BOAVENTURA R.A.R.; ESTEVES DA SILVA J.C.G. 1999. Sediments as monitors of Heavy Metal Contamination in the Ave River Basin (Portugal): Multivariate Analise of Data. *Environmental Pollution* 105, 311-323. Portugal/ Universidade do Porto/ Faculdade de Engenharia/ Departamento de Engenharia Química
- [19] LANZILLOTTA H. A. de A., 1999. Influência de Atividades Industriais na Poluição por Metais Pesados, Rio Guandu, Baía de Sepetiba-RJ. *Anais da XII Semana Nacional de Oceanografia*, Rio de Janeiro. Universidade Estadual do Rio de Janeiro.
- [20] MARINS R.V., SILVA FILHO E.V. AND LACERDA L.D. 1996. Atmospheric Deposition of Mercury over Sepetiba Bay, SE Brazil. *J. Braz Chem. Soc.*, Vol.3, 177-180.
- [21] SILVA FILHO, E. V.; MOUTELLA, A. C. C.; DIAS A. M. M.; BOAVENTURA, G. R. & LACERDA L. D. 1995. Composição Química de Água de Chuva na Região Costeira do Rio de Janeiro. V Congresso Brasileiro de Geoquímica e III Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, Niterói-RJ
- [22] PEDLOWISKY M A., LACERDA L D., OVALLE A. R. C.WATTS P. P AND SILVA FILHO E. V. 1991. Atmospheric Inputs of Zn, Fe and Mn into the Sepetiba Bay, Rio de Janeiro. *Ciência e Cultura* September/October 1991 43:380-38.
- [23] TURNER. A. 1996. Trace Metal Partitioning in Estuaries: Importance of Salinity and and Particle Concentration. *Marine Chemistry* 54, 27-39. Department of Environmental Sciences, University of Plymont PL48AA, UK
- [24] UERJ/IGEO/OCN, 1997. Análise Granulométrica e Teores De Óleos e Graxas em Sedimentos, Metais Pesados em Sedimento, Moluscos, Crustáceos, Peixes e no Material em Suspensão Existente Nas Áreas de Influência das Obras de Dragagem do Porto de Sepetiba.
- [25] SCHROPP J.S.; CLADER F.D.; BURNEY L.C.; WINDOW H.L. 1989. A Practical Approach For Assesseing Metal Contamination in Costal Sediments- An Exemple From Tampa Bay. *Sixth Symposium on Costal and Ocean Managemente*, Vol 4, pp 11-14, Charleston South Carolina, Florida Departament of Environmental Regulation/ Talahassee/ Florida.

AUTORES

Friedrich Wilhelm Herms | Mestre e doutor em Química Analítica Inorgânica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Professor adjunto da Faculdade de Oceanografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (Uerj). Representante da Uerj na Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (Agevap), cujo Conselho de Administração preside. Consultor *ad hoc* de diversas instituições, entre elas a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (Faperj) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). | fredwh@uerj.br

Handerson Agnaldo de Almeida Lanzillotta | Mestre em Engenharia Ambiental pela Uerj. Supervisor na empresa Qatar Petroleum, com participação em mais de 150 operações de resposta a vazamentos de óleo e produtos químicos no Brasil, México e Qatar. | lanzillotta@qp.com.qa

RESUMO | O distrito areeiro de Seropédica-Itaguaí possui um importante papel para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, suprindo aproximadamente 70% da demanda de areia para a construção civil. O processo de extração de areia remove as camadas sedimentares superficiais, de composição quartzo-feldspática, fazendo com que a água subterrânea preencha as cavas. Entretanto, essa atividade causa mudanças físico-químicas nas águas das cavas, tais como a oxidação de sedimentos reduzidos, diminuindo os valores de pH ($< 3,5$) e aumentando as concentrações de SO_4 ($> 90 \text{ mg.l}^{-1}$). Os baixos valores de pH das lagoas de cava promovem um aumento na taxa de intemperismo, especialmente sobre os minerais silicáticos, e, como consequência, produzem altas concentrações de Al dissolvido ($> 10 \text{ mg.l}^{-1}$). Quatro lagoas de cava e quatro poços próximos às lagoas foram monitorados de novembro de 2005 a março de 2007. Este trabalho mostra que os parâmetros físico-químicos da água subterrânea e das lagoas de cava e suas espécies dissolvidas são controlados pelo processo de extração de areia, bem como pelo regime de pluviosidade, principalmente no caso do Al, que pode ser o fator limitante para a introdução de aquíicultura nas lagoas ao término das atividades minerárias, além de ser um possível contaminante para a água subterrânea.

PALAVRAS-CHAVE | Água Subterrânea; Extração de Areia; Águas Ácidas.

ABSTRACT | Seropédica-Itaguaí sand mining district has an important role in the Rio de Janeiro Metropolitan Region, supplying approximately 70% of the sand for civil construction. The sand extraction process removes surface sedimentary layers (with quartz-feldspatic composition), increasing water table in the mined pit. However, this activity causes some chemical and physico-chemical changes in the water, such as the oxidation of reduced sediments, lowering pH values (reaching values $< 3,5$) and increasing SO_4 concentration (reaching more than 90 mg.l^{-1}). The relatively low pH values of those waters promote an increase of weathering rate, especially the silicate minerals, and, as a consequence, high Al concentrations ($>10 \text{ mg.l}^{-1}$) are obtained. Four sand pit lakes and four wells located close to each other were sampled from November 2005 to March 2007. This work shows that the groundwater and sand pit lakes physico-chemical parameters and their dissolved species are controlled by sand extraction process as well as the rainfall regime, mainly for Al, which could be the limiting factor to the aquaculture introducing in the sand pit lakes at the end of mining activities and a possible contaminant to groundwater.

KEYWORDS | Groundwater Extraction of Sand; Acidic Waters.

Impactos das cavas de extração de areia sobre a química das águas subterrâneas na região da Piranema, bacia sedimentar de Sepetiba, Rio de Janeiro

Eduardo Duarte Marques

Décio Tubbs Filho

Olga Venimar O. Gomes

Emmanoel Vieira Silva-Filho

1. INTRODUÇÃO

Excetuando-se os combustíveis fósseis, os agregados naturais possuem a *commodity* mais valiosa no mundo e a vida moderna sem estes recursos é inimaginável [11].

Areia, cascalho e rochas possuem extensa utilidade na vida moderna, sendo aplicados, sobretudo na construção civil, na manufatura de concreto e asfalto, entre outros produtos. A areia, assim como a pedra britada, caracteriza-se por grandes volumes produzidos relativamente ao consumo de outros insumos em outras atividades. No concreto, por exemplo, os agregados respondem por 60% do volume total [2]. Outra notável característica da exploração de areia é o alto ganho comercial com baixo custo em infraestrutura.

No Brasil, destaca-se a produção de areia comercializada bruta, que atingiu no ano de 2005 um total de 141.084.561 m³, cerca de R\$ 2.000.000.000, com um investimento de somente R\$ 25.670.006, indicando a facilidade de extração e beneficiamento deste bem mineral, devido ao fato de que todas as minas de areia são a céu aberto [8]. Ao final da década de 1960, com o aumento da construção civil na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), o distrito areeiro de Seropédica-Itaguaí tornou-se o principal provedor de areia para a construção civil do estado, produzindo cerca de 6.000.000 m³ de areia (~ 10.000.000 toneladas – mais da metade de toda a produção do estado em 2005) e suprimindo cerca de 70% da areia da RMRJ, o que significa a geração de mais de 300 empregos diretos e dezenas de indiretos [1; 8].

Atualmente são mais de 80 cavas de extração de areia em atividade, compreendendo uma área total de 40 km² (Figura 1) e alcançando a profundidade média de 28 m e a reserva estimada de 540 km³ (todo o distrito areeiro).

Reconhecidamente, a mineração de areia causa efeitos adversos no meio ambiente, principalmente devido à atividade de dragagem. No distrito de Seropédica-Itaguaí, a mineração de areia é desenvolvida por um grande número de empresas, resultando na depreciação da paisagem, exposição e rebaixamento do lençol freático, o que impacta a qualidade da água através da contaminação por óleo diesel das dragas flutuantes ou por efluentes domésticos e industriais [5; 19]

Apesar das implicações ambientais dessa atividade, não há outro tipo de material, até o momento, que possa substituir a areia como insumo para a construção civil. Conseqüentemente, a região da Piranema possui um dos maiores passivos ambientais do Estado do Rio de Janeiro, devido à impossibilidade de recuperação do cenário.

As cavas de areia possuem características peculiares, como baixo valor de pH (atingindo valores < 3,1), assemelhando-se a cavas de minérios sulfetados, cujo processo se dá pela oxidação de fases minerais. Esses ambientes possuem altas concentrações de metais-traço dissolvidos, devido aos baixos valores de pH, e altos teores de SO₄ [2; 17; 23].

A região estudada está inserida na bacia sedimentar de Sepetiba, datada do período Quaternário, com sua história geológica compreendendo um ambiente pantanoso de manguezal onde houve acúmulo de matéria orgânica e formação de espécies sulfetadas, principalmente gás sulfídrico. Esse material, quando exposto pela extração de areia, sofre oxidação, baixando os valores de pH das águas das cavas, o que explica a acidificação dessas águas – uma vez que não há nenhum tipo de mineralização sulfetada que justifique tal condição [5; 15; 18].

A acidificação de águas naturais é uma preocupação global e estudos em países tropicais, especialmente o Brasil, são escassos [25; 27]. Um grande desafio para as autoridades em diversos países é definir um novo manejo para as cavas de minérios ao final das atividades mineradoras. Muitas estratégias estão sendo geridas para a reabilitação dessas cavas, objetivando transformá-las em áreas de recreação e parques temáticos. No Brasil, a ideia mais aventada e barata para a recuperação desses ambientes é a aplicação da aquicultura, como a piscicultura e plantações hidropônicas. Entretanto, esses tipos de reabilitação dependem da química da água, que é influenciada pela geologia local [14]. Observando a composição dos sedimentos da área de estudo que possuem quartzo e feldspato como principais fases minerais (que podem atingir mais de 96% da composição mineral), é claro que a composição da água subterrânea será pobre e somente os íons maiores serão encontrados nessas águas (Na, K, Mg, Ca, Cl e SO_4) [4]. Contudo, com a acidificação dessas águas, novos compostos poderão ser encontrados, especialmente o Al, e também haverá um aumento nas concentrações de SO_4 . A pluviosidade regional é um importante fator do controle das espécies dissolvidas nas águas das cavas de extração de areia, como mostrado por Marques *et al.* (2010).

Uma das principais consequências da acidificação das águas das cavas é a influência das mudanças físico-químicas da água subterrânea, condição que oferece risco à saúde da população local, que utiliza esse tipo de fonte como abastecimento alternativo.

Logo, o objetivo deste estudo foi caracterizar a influência das lagoas de cava de extração de areia na água subterrânea local, identificando as mudanças químicas e geoquímicas que ocorrem em ambos os sistemas.

2. ÁREA DE ESTUDO

A bacia sedimentar de Sepetiba ocupa uma área de aproximadamente 4% do Estado do Rio de Janeiro e tem como seu principal tributário o Rio Guandu, cuja cabeceira localiza-se na Serra do Mar. A bacia hidrográfica do Rio Guandu ocupa uma área de 2.000 km², sendo 90% da área com características de depósitos aluviais (Sema, 1996).

A área de estudo está inserida nessa planície e localizada nas coordenadas UTM Norte 7.470.000; 7.478.000 e UTM Leste 630.000; 638.000. O Rio Guandu recebe água da transposição do Rio Paraíba do Sul, com um volume de aproximadamente 166 m³s⁻¹. Parte desse volume serve a Estação de Tratamento de Água (ETA) do Rio Guandu, a maior da América Latina.

A geologia local é formada por sedimentos quaternários de ambiente aluvial (fácies fluvial, flúvio-lacustre e flúvio-marinho) depositados sobre o embasamento pré-cambriano. Esses sedimentos constituíram a Formação Piranema, que é representada por duas unidades. A porção inferior apresenta fácies arenosas pleistocênicas, com textura variando de média a grossa e geralmente cascalhosa na base. A porção superior, também chamada de cobertura aluvial, é composta por fácies silte-argilosas holocênicas. Relatos na região de estudo indicaram espessuras entre 35 e 40 m, podendo atingir profundidades maiores que 70 m [15]. A mineralogia dos sedimentos arenosos foi caracterizada por Berbert (2003) e indicou 82% de quartzo, 14% de feldspatos (80% de k-feldspatos e 20% de plagioclásio) e 2% de micas e fragmentos de rocha, classificando esta fração como subarcosiana.

A bacia sedimentar de Sepetiba possui boas características hidrológicas (apresenta boas porosidade e permeabilidade), condicionando o acúmulo e transmissão de água em subsuperfície e caracterizando a Formação Piranema como uma unidade aquífera denominada Aquífero Piranema. Esse aquífero livre sedimentar possui uma área de 350 km² (70% da área mostrada na Figura 1) e está localizado a aproximadamente 60 km da cidade do Rio de Janeiro. A área de recarga do aquífero livre sedimentar é distribuída por toda sua extensão, tendendo a maiores níveis potenciométricos quanto maior for a topografia. Assim, a direção de fluxo é controlada pela irregularidade da topografia. O nível do lençol freático varia de 3 a 7,5 m, dependendo do período climático [30].

As coberturas de solo, originadas das rochas do embasamento cristalino, podem gerar um sistema aquífero com características similares ao aquífero sedimentar (depósitos coluviais) e, gradualmente, de acordo com a profundidade, passar para o sistema aquífero fraturado. Juntos, os aquíferos fraturados e coberturas de solos são responsáveis por cerca de 30% (150 km²) da área (Figura 1). A intercomunicação entre os aquíferos sedimentares fraturado e coluvial pode aumentar o potencial hidrogeológico da região e determinar a recarga e as direções de fluxo da água subterrânea [12].

3. MATERIAL E MÉTODOS

Quatro lagoas de cava (Figura 2) e quatro poços localizados próximo a cada lagoa foram monitorados de novembro de 2005 a março de 2007, totalizando dez campanhas (40 amostras) de amostragens para as lagoas e seis para os poços (24 amostras). Três lagoas de cava estavam em atividade contínua e uma em atividade intermitente. Entretanto, os quatro poços amostrados estavam constantemente em utilização.

Para a amostragem de água subterrânea, foi feito o bombeamento por dez minutos antes da amostragem. Após esse tempo, as amostras foram coletadas e estocadas em garrafas de polietileno. A amostragem nas lagoas de cava foi realizada em profundidade abaixo de cinco metros da superfície, utilizando-se uma garrafa Van Dorn. Após transferências para garrafas de polietileno, a amostra foi acondicionada e preservada em um ambiente refrigerado.

Parâmetros como condutividade elétrica, temperatura, pH e Eh foram mensurados com eletrodos WTW-LF (modelo 330) no instante da amostragem. Todas as amostras foram filtradas por películas de 0,45 µm (Millex® - filtros GS Millipore) para assegurar a separação da fração argilosa e coloidal da amostra de água. As amostras filtradas foram divididas em três alíquotas de 50 ml. A primeira alíquota foi utilizada para análise de sílica; a segunda foi acidificada com ácido nítrico (pH~1) e utilizada para análise de metais; e a terceira utilizada para análise de ânions (sem acidificação).

As concentrações de Cl, SO₄, NO₃ e HCO₃ foram determinadas por cromatografia iônica (LC-10AD, detector de condutividade CDD-6A). A determinação de Ca, Mg, Na e K foi realizada por espectrometria de absorção atômica com chama (Varian Spectraa-300). As concentrações de Al, Fe total e Mn foram realizadas por espectrometria de emissão óptica acoplada a plasma indutivo (ICP-OES, Jobin Yvon – Horiba, Ultima2), cujos limites de detecção inferior foram 0,2; 0,2 e 0,05 µg l⁻¹, respectivamente. SiO₂ foi determinado por método específico de espectrofotometria de absorção molecular [16] e analisado com espectrofotômetro Hitachi, U-1100. Os softwares de modelagem hidrogeoquímica PHREEQC [21] e WATEQ4F [3] foram utilizados para os cálculos de equilíbrio mineral e espécies dissolvidas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição química da água das lagoas de cava não é comum, o que dificulta sua comparação com outro ambiente aquático. Os únicos ambientes aquosos comparáveis a esse seriam as lagoas de cava de minério sulfetado, devido ao baixo valor de pH. Entretanto, os resultados encontrados (Tabela 1) mostram que as espécies dissolvidas e o pH não são comparáveis entre esses dois ambientes. As concentrações das espécies dissolvidas nas lagoas de cavas de minério são mais altas do que as estudadas, destacando as espécies hidrolisáveis (Al, Fe e Mn). Logo, mesmo sem a influência da mineralização massiva (sulfetos), as mudanças físico-químicas nas lagoas de cava de areia, causadas pela atividade de dragagem sobre os sedimentos reduzidos, podem atuar sobre a química das águas subterrâneas no entorno. Por outro lado, altos valores de pH e baixa concentração de metais são apresentados nos reservatórios de Santana e Vigário (Tabela 1), ambos os lagos construídos para geração de energia elétrica e fornecimento de água potável para a população da RMRJ, fazendo das lagoas de cava de areia, mais uma vez, um ambiente peculiar e de difícil comparação.



FIGURA 2 - Areais amostrados: Areal Fernandes e Cardoso (1), Areal Irmãos Unidos (2), Areal Santa Helena (3) e Areal LBF (4)

Na Tabela 2, são mostradas as concentrações médias, máximas e mínimas dos íons maiores e valores dos parâmetros físico-químicos encontrados para as águas das lagoas de cava e seus respectivos poços. A escolha dessas variáveis se deu em função da representatividade de suas concentrações nas lagoas de cava e água subterrânea.

Considerando que as lagoas de cava têm a mesma origem das águas subterrâneas, ambas podem apresentar a mesma composição química. Entretanto, uma simples análise comparativa de alguns parâmetros químicos das lagoas e dos poços amostrados evidencia uma pequena disparidade composicional entre os

dois sistemas, como mostra o diagrama de Piper (Figura 3), no qual a água subterrânea é classificada como fácies do tipo Na-SO₄-Cl-HCO₃, enquanto as águas das lagoas de cava são classificadas como fácies do tipo Na-SO₄-Cl, tendo o íon bicarbonato como diferencial entre os sistemas.

A mineração de areia é responsável por mudanças físico-químicas nas lagoas de cava e, conseqüentemente, na água subterrânea. Em ambos os sistemas, os parâmetros físico-químicos controlam as espécies dissolvidas. Contudo, a pluviosidade da região contribui bastante para o controle químico das lagoas de cava e água subterrânea. A grande evapotranspiração aliada à temperatura da região leva à evapoconcentração das lagoas de cava, principalmente durante o período seco, quando a evapotranspiração atinge mais de 6 mm.dia⁻¹ [6] As lagoas de cava amostradas estão submetidas a esse processo por mais de 10 anos, com exceção da lagoa de cava da mineração Santa Helena, aberta em 2003.

TABELA 1 - MÉDIAS DE ÍONS DISSOLVIDOS DAS LAGOAS DE CAVA, DE OUTROS TRABALHOS EM LAGOAS DE CAVA DE MINÉRIO SULFETADO E EM ÁGUAS NATURAIS

	pH	Al	Total Fe	Mn	HCO ₃	SO ₄
Lagoas de Cava	4,3	2,4	0,17	0,26	8,54	39
Mina de Urânio Königstein ¹	2,85	39,2	276	12,4	10,5	1260
Mina Libiola ²	2,7	103,3	604,2	6,93	n.a.	6809
Lagoas de Cava de Berkley ³	2,45	247,5	754	225	223,2	7425
Reservatório de Santana ⁴	6,8	0,12	0,25	0,02	-	-
Reservatório do Vigário ⁴	6,8	0,11	0,24	0,02	-	-

1- Ulrich *et al.* (2006)

2- Acconero *et al.* (2005)

3- Pellicori *et al.* (2005), valores médios de outubro de 2003

4- Valittuto *et al.* (2006)

n.a. - não analisado

Entre os parâmetros físico-químicos, o pH e a condutividade elétrica (CE) têm o principal controle sobre as espécies dissolvidas nas lagoas e águas subterrâneas. Os valores de CE em ambos os sistemas são baixos e não há variação significativa

entre os períodos seco e chuvoso. Os valores naturalmente baixos dessas águas devem-se à mineralogia dos sedimentos, essencialmente quartzo-feldspáticos (resistentes ao intemperismo). Por outro lado, os baixos valores de pH são consequência da baixa taxa de intemperismo dos sedimentos, que não é suficiente para consumir H^+ .

A Tabela 3 apresenta os valores de correlação de CE e pH entre as espécies dissolvidas nas águas das lagoas de cavas e nos poços amostrados. A CE mostrou melhores correlações ($> 0,60$) do que o pH nos períodos seco e chuvoso. Para as lagoas de cava, Ca, Mg, Mn, SO_4 apresentaram boas correlações com CE em ambos os períodos; Na obteve boas correlações apenas no período chuvoso e Cl, apenas no período seco. Os íons supracitados, incluindo o Fe, possuem a mesma origem (antigos sedimentos de manguezal) e podem ser responsáveis pelo controle da CE nesse sistema. Por outro lado, somente SO_4 e HCO_3 possuem correlações significantes com a CE para a água subterrânea no período seco (respectivamente 0,72 e 0,90). O HCO_3 é abundante na água subterrânea devido às reações ar-água e água-sedimento (Stumm & Morgan, 1996), contudo este íon é quase ausente nas lagoas devido à reação de tamponamento do pH daquelas águas.

O Al nas lagoas de cava tem origem na oxidação de sedimentos reduzidos (presença de H_2S), devido à extração de areia, e, na água subterrânea, sua presença ocorre devido à oxidação decorrente do contato do ar na abertura do poço. Esse processo aumenta a taxa de intemperismo de minerais primários e, principalmente, de argilominerais. As altas concentrações de Al durante o período seco devem-se à intensificação da taxa de intemperismo, em decorrência da ausência de entrada de águas meteóricas.

As concentrações de Cl mostraram altos valores nas lagoas de cava e águas subterrâneas, confirmando a hipótese de proveniência marinha, presente nas litologias reduzidas como consequência da entrada por águas meteóricas [9; 24; 26].

As altas concentrações de SiO_2 nas lagoas e águas subterrâneas são maiores do que as observadas em outras águas naturais. Nessas águas, as concentrações de SiO_2 encontradas nas faixas de pH estavam supersaturadas em relação ao quartzo (atividade de H_4SiO_4 maior que 10^{-4}) e a SiO_2 amorfa (atividade de H_4SiO_4 menor que 2×10^{-3}). Portanto, a SiO_2 pode se solubilizar como H_4SiO_4 , além de apresentar-se na forma coloidal [20; 19].

TABELA 2 - VALORES MÉDIOS, MÁXIMOS E MÍNIMOS DOS PRINCIPAIS COMPOSTOS PRESENTES NAS ÁGUAS (MG.L⁻¹), PH, CE (CONDUTIVIDADE ELÉTRICA), EM 24 AMOSTRAS DE POÇOS E 40 AMOSTRAS EM LAGOAS DE CAVAS

	pH	Eh	CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	Na	Mg	K	Ca	Mn	Fe	Al	Cl	SO ₄	NO ₃	HCO ₃	SiO ₂	
Lagoa 1																
Média	3,7	280	289	26,6	4,31	3,05	8,51	0,40	0,28	2,7	29,0	60,7	3,8	< 1,0	23,3	
Máximo	4,2	367	329	35,2	6,06	4,13	21,0	0,61	0,62	14,7	48,5	72,5	18,3	< 1,0	34,4	
Mínimo	3,1	133	208	14,6	1,85	1,50	4,35	0,06	0,04	0,06	5,8	25,7	< 0,2	< 1,0	2,1	
Poço 1																
Média	5,4	124	216	24,7	5,91	3,30	6,63	0,12	1,07	1,97	26,9	37,6	7,3	15,1	27,45	
Máximo	5,8	195	234	28,5	8,91	4,42	9,93	0,17	3,60	7,40	39,6	72,1	9,2	17,4	35,7	
Mínimo	5,0	-0,2	183	21,5	3,90	2,80	3,97	0,08	0,02	0,01	20,4	22,7	3,9	12,4	16,9	
Lagoa 2																
Média	4,3	272	193	26,7	2,26	2,87	3,54	0,14	0,15	2,83	29,7	32,6	2,5	4,1	27,3	
Máximo	5,2	313	221	33,4	3,27	3,85	4,56	0,18	0,42	13,7	50,2	64,1	14,0	16,8	36,2	
Mínimo	3,9	232	121	17,7	1,28	2,19	2,26	0,10	0,01	0,01	17,7	20,6	< 0,02	< 1,0	13,4	
Poço 2																
Média	5,0	161	185	27,4	1,21	2,01	1,85	0,24	1,03	2,31	40,8	5,5	2,1	11,9	30,0	
Máximo	5,4	262	262	35,5	1,90	2,71	3,08	0,87	3,54	9,51	65,4	13,9	11,2	17,9	37,3	
Mínimo	4,6	84	123	20,1	0,18	1,59	1,34	0,08	0,02	0,01	23,2	0,53	0,02	8,1	20,9	
Lagoa 3																
Média	4,5	287	127	17,7	0,77	2,16	2,09	0,13	0,27	3,93	25,8	3,8	0,92	6,2	21,3	
Máximo	5,0	353	139	22,9	1,10	2,72	10,9	0,18	1,26	20,1	29,5	10,3	4,50	17,9	31,3	
Mínimo	3,9	214	111	2,72	0,42	1,82	0,41	0,06	< 0,01	0,01	18,6	0,39	< 0,02	< 1,0	8,8	
Poço 3																
Média	5,7	-38	201	24,1	1,36	2,60	2,21	0,57	17,6	2,80	28,5	8,6	2,5	23,9	27,5	
Máximo	6,1	-15	250	27,8	4,40	3,62	6,40	0,95	34,9	11,6	39,0	20,7	14,1	56,0	36,8	
Mínimo	5,3	-83	154	19,2	0,55	1,50	1,13	0,30	0,30	< 0,01	23,0	3,8	0,02	12,9	20,0	

TABELA 2 - VALORES MÉDIOS, MÁXIMOS E MÍNIMOS DOS PRINCIPAIS COMPOSTOS PRESENTES NAS ÁGUAS (MG.L⁻¹), PH, CE (CONDUTIVIDADE ELÉTRICA), EM 24 AMOSTRAS DE POÇOS E 40 AMOSTRAS EM LAGOAS DE CAVAS

	pH	Eh	CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	Na	Mg	K	Ca	Mn	Fe	Al	Cl	SO ₄	NO ₃	HCO ₃	SiO ₂
Lagoa 4															
Média	4,4	240	292	30,3	5,85	3,88	8,37	0,44	0,36	3,87	39,7	58,0	0,31	3,36	25,7
Máximo	5,1	290	388	43,6	8,88	4,92	11,5	0,76	1,05	14,4	78,9	88,1	0,79	14,6	34,1
Mínimo	3,8	210	207	4,79	3,40	1,52	4,60	0,21	0,02	0,04	16,9	34,6	0,07	<1,0	6,8
Poço 4															
Média	5,7	-70	245	27,6	3,30	2,98	5,57	0,37	11,8	4,12	28,8	14,1	0,15	37,3	26,3
Máximo	6,6	-43	269	35,0	4,88	3,57	9,28	0,48	18,4	12,3	34,9	17,7	0,50	66,1	32,5
Mínimo	4,9	-96	213	18,4	0,68	2,24	0,86	0,30	0,38	<0,01	23,3	3,4	0,02	15,7	18,8

TABELA 3 - VALORES DE CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E OS ÍONS DISSOLVIDOS NAS LAGOAS DE CAVA E ÁGUA SUBTERRÂNEA DURANTE O REGIME DE PLUVIOSIDADE. AS MELHORES CORRELAÇÕES ESTÃO DESTACADAS EM NEGRITO

Lagoas de Cava	Na	Mg	K	Ca	Mn	Fe	Al	Cl	SO ₄	NO ₃	HCO ₃	SiO ₂
Período Chuvoso												
pH	-0,23	-0,32	0,10	-0,34	-0,42	-0,43	-0,19	-0,22	-0,45	-0,09	0,75	0,16
CE	0,70	0,83	0,39	0,87	0,73	0,26	0,56	0,43	0,88	0,14	-0,41	-0,15
Período Seco												
pH	0,22	-0,04	-0,06	-0,23	0,02	0,02	0,21	-0,15	-0,41	0,12	0,62	0,19
CE	0,30	0,82	0,31	0,86	0,81	0,12	-0,09	0,71	0,88	0,18	0,02	0,03
Água Subterrânea	Na	Mg	K	Ca	Mn	Fe	Al	Cl	SO ₄	NO ₃	HCO ₃	SiO ₂
Período Chuvoso												
pH	0,16	0,13	0,38	0,32	0,38	0,60	-0,05	-0,17	0,19	0,08	0,28	0,09
CE	0,70	0,03	0,15	0,07	0,03	0,42	0,53	0,39	0,13	0,24	0,00	-0,33
Período Seco												
pH	-0,11	0,05	0,60	0,14	0,52	0,52	0,42	-0,28	0,14	0,09	0,13	0,30
CE	0,05	0,80	0,60	0,67	-0,04	0,14	0,41	-0,20	0,72	0,11	0,90	-0,32

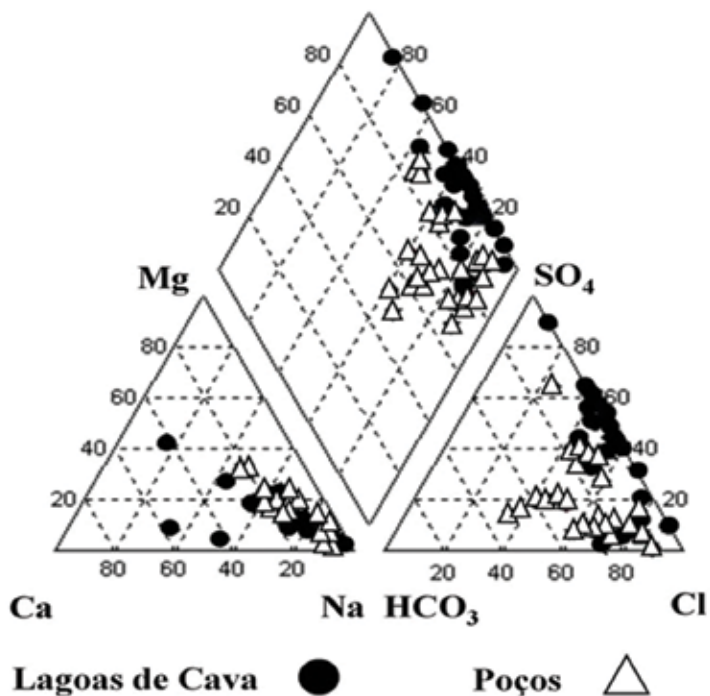


FIGURA 3 - Diagrama de Piper para as amostras das águas das lagoas de cava e dos poços

A presença de NO_3 nas águas de ambos os sistemas está relacionada a atividades antropogênicas na região das lagoas de cava. A presença de nitrato (NO_3) nos poços está relacionada à agricultura e à criação de gado na região. Nas lagoas, o NO_3 está associado à lixiviação de fertilizantes utilizados nos plantios de espécies vegetais com o objetivo de promover a estabilização das bordas das lagoas.

A Tabela 4 apresenta as concentrações médias das espécies dissolvidas analisadas nas lagoas de cava e água subterrânea durante o período seco e chuvoso. A maioria dos íons tem variação significativa em suas concentrações nas lagoas entre o período seco e chuvoso, com exceção do Mn. Para as espécies dissolvidas na água subterrânea, as concentrações de Al, SO_4 , NO_3 e HCO_3 são destacadas

pelas suas variações significantes, enquanto Na, Mg, K e Ca não apresentam quase nenhuma variação.

Na água subterrânea, durante o período seco, com o rebaixamento do lençol freático e a exposição dos sedimentos reduzidos ao ar, o processo de oxidação é favorecido. Esse processo origina íons H^+ (reação água/sulfeto) e outras espécies presentes nestas litologias, como Fe, Na, Cl, Mg, Ca e Mn, que induzem ao aumento da CE. Por outro lado, durante o período chuvoso, o aumento do lençol freático (entrada de águas meteóricas) percola as litologias, aumentando a concentração das espécies dissolvidas na água subterrânea e diminuindo o pH. O fator de diluição pelas águas pluviais influencia diretamente a diminuição da CE, apesar das maiores concentrações das espécies dissolvidas serem alcançadas neste período.

Para as lagoas de cava, durante o período seco, sem a entrada de águas meteóricas e com grande influência da evapotranspiração, a força iônica média da água atinge 0,00317 e os valores de pH se tornam maiores devido ao tamponamento pelas maiores concentrações dos íons dissolvidos, levando ao processo escudo iônico pelos íons H^+ . Deutsch (1997) mostra que o modelo do escudo iônico em uma interação de soluções atribui o aumento da força iônica da solução devido ao efeito “escudo” dos íons sobre os outros. Nesse caso, os íons H^+ podem sofrer esse processo assim como qualquer outra espécie iônica. As condições ambientais no período seco favorecem a precipitação de sais nas lagoas, principalmente Na, Mg, Cl e SO_4 (sais complexos), processo observado também para menores concentrações dos íons maiores (ver Tabela 3). No período chuvoso, a entrada de águas meteóricas dilui a água das cavas, dissolvendo os sais precipitados e aumentando as concentrações dos íons maiores. O fator de diluição é também preponderante no aumento dos íons H^+ (menores valores de pH), pois leva ao enfraquecimento do escudo iônico (força iônica média para o período de 0,00258) antes exercido pelas espécies dissolvidas.

TABELA 4 - MÉDIA DE CONCENTRAÇÃO DOS ÍONS ANALISADOS (MG.L-1), PH, EH, CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (CE), TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA (PPT, EM MM) DAS LAGOAS DE CAVA E ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA OS PERÍODOS SECO E CHUVOSO

	pH	Eh (mV)	EC (μ S. cm ⁻¹)	T (°C)	Na	Mg	K	Ca	Mn	Fe	Al	Cl	SO ₄	NO ₃	HCO ₃	SiO ₂	PPT	
Lagoas de Cava																		
Período Chuvoso	4,21	235,75	229	29,30	27,93	3,54	2,97	4,80	0,28	0,21	0,69	33,32	39,20	2,89	4,67	22,17	144	
Período Seco	4,37	269,73	221	24,70	21,39	2,92	3,02	6,87	0,28	0,35	7,29	27,64	38,04	0,34	1,54	27,79	71	
Água Subterrânea																		
Período Chuvoso	5,60	32,25	204	26,50	26,36	2,96	2,73	3,97	0,36	7,74	0,58	32,45	17,60	3,82	23,77	26,68	144	
Período Seco	5,33	68,75	226	25,80	25,25	2,48	2,63	3,92	0,28	9,09	7,99	29,16	10,85	1,51	19,09	30,44	71	

5. O PAPEL DA FORMAÇÃO DE MINERAIS SECUNDÁRIOS (SAIS COMPLEXOS) NA CONCENTRAÇÃO DE AL NAS LAGOAS DE CAVA E ÁGUA SUBTERRÂNEA

As concentrações de Al nas lagoas de cava e água subterrânea estão ligadas à formação de sais minerais secundários (sais complexos), controlados por sua solubilidade nesse tipo de água. Os cálculos de equilíbrio mineral para uma amostra de água são úteis para informar se haverá formação de minerais em sistemas aquosos [10; 13]. O Índice de saturação (IS) é dado por $IS = \log (PAI/K_{sp})$, onde PAI é o Produto da Atividade Iônica de íons presentes em um dado mineral; K_{sp} é o Produto de Solubilidade, uma constante de um determinado mineral. Esses cálculos foram realizados pelos softwares de modelagem hidrogeoquímica PHREEQC e WATEQ4F, que mostram os IS nos períodos seco e chuvoso.

Os cálculos de equilíbrio apresentaram cinco minerais que podem ser formados nas lagoas e águas subterrâneas: os sais complexos de SO_4 alunita ($\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$) e basaluminita ($\text{Al}_4(\text{OH})_{10}\text{SO}_4$); os hidroxialuminossilicatos allophana [$\text{Al}(\text{OH})_3$] $_{3(1-x)}$ [SiO_2] $_x$ e halloysita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$); além da gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$). A demonstração das reações minerais e suas constantes de solubilidade usadas nessa simulação são mostradas na Tabela 5.

O pH não mostrou boas correlações com os íons analisados ao longo dos períodos amostrados, como visto na Tabela 3. Contudo, esse parâmetro apresentou boas correlações com os IS para todos os minerais indicados pela modelagem, mostrando que o pH exerce controle sobre a concentração de Al nas águas analisadas. A Figura 4 mostra os valores de IS dos minerais indicados em função do pH para as lagoas de cava e água subterrânea nos períodos seco e chuvoso. Boas correlações de pH e sais de SO_4 são notadas nos dois períodos para basaluminita, porém, somente no período seco para alunita. Para os hidroxialuminossilicatos e gibbsita, o pH mostrou também boas correlações para ambos os períodos. As boas correlações mostradas entre pH e IS podem explicar como as mudanças físico-químicas das lagoas podem influenciar a água subterrânea, demonstrando uma configuração linear nos gráficos, ou seja, o *plot* das amostras das lagoas de cava com baixo pH e baixo IS passando para as amostras de água subterrânea com altos valores de pH e alto IS nos períodos seco e chuvoso. A configuração dispersa dos *plots* das amostras no período chuvoso para os dois sistemas se deve à diluição pelas águas meteóricas.

TABELA 5 – REAÇÕES MINERAIS E AS CONSTANTES DE SOLUBILIDADE UTILIZADAS PARA A MODELAGEM HIDROGEOQUÍMICA NAS LAGOAS DE CAVA E ÁGUA SUBTERRÂNEA

Mineral	Reação	Log <i>Ksp</i>
Alunita	$\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6 = \text{K}^+ + 3\text{Al}^{3+} + 2\text{SO}_4^{2-} + 6\text{OH}^-$	-1,4 ^a
Basaluminita	$\text{Al}_4(\text{OH})_{10}\text{SO}_4 + 10\text{H}^+ = 4\text{Al}^{3+} + \text{SO}_4^{2-} + 10\text{H}_2\text{O}$	22,7 ^b
Allophana	$[\text{Al}(\text{OH})_3]_{3(1-x)}[\text{SiO}_2]_x + (3-3x)\text{H}^+ = (1-x)\text{Al}^{3+} + x\text{H}_4\text{SiO}_4^0 + (3-5x)\text{H}_2\text{O}$	6,06 ^c
Halloysita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 6\text{H}^+ = 2\text{Al}^{3+} + 2\text{H}_4\text{SiO}_4^0 + \text{H}_2\text{O}$	12,498 ^d
Gibbsita	$\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+ = \text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$	8,11 ^a

a- Nordstrom *et al.* (1986); b- Singh (1969); c- Paces (1973); d- Robie & Waldbaum (1968)

Quase todas as amostras das lagoas de cava se apresentam em subsaturação ($IS < 0$) no período chuvoso, exceto para alunita, enquanto as amostras no período seco para todos os minerais selecionados se mostram em condições de equilíbrio ($IS = 0$) e saturação ($IS > 0$), exceto para gibbsita.

No período chuvoso, foram encontrados nas amostras de água subterrânea todos os minerais em faixas de subsaturação até saturação, atingindo totalmente a zona de saturação no período seco. As amostras em supersaturação ($IS > 1$) tanto para as lagoas quanto para a água subterrânea possivelmente atingiram os componentes de precipitação tardiamente, uma vez que poderiam limitar a concentração de seus componentes, promovendo o equilíbrio entre o meio e os componentes dos minerais ($IS = 0$).

Assim, ao comparar todos os IS dos minerais indicados, os sais de SO_4 (principalmente alunita) são os melhores carreadores de Al em ambos os sistemas devido à maioria das amostras das lagoas e águas subterrâneas se encontrarem em supersaturação em ambos os períodos. Os hidroxialuminossilicatos também se mostram bons carreadores de Al, indicando condições de supersaturação em parte das amostras das lagoas no período seco, em parte das amostras no período chuvoso e em todas as amostras no período seco para a água subterrânea. A gibbsita não apresentou um número significativo de amostras em condições de supersaturação, portanto, não é indicado como um carreador eficiente de Al. O SO_4 , como bom coagulante, é responsável pela baixa quantidade de material particulado em suspensão nas águas das lagoas de cava e, juntamente com os raios solares, e de acordo com a profundidade relativa das lagoas, dá às suas águas a cor azul (Munk *et al.*, 2002).

6. CONCLUSÃO

As cavas de extração de areia (ou lagoas de cava) formam um ambiente peculiar devido ao processo de acidificação, que revela uma água de características únicas, se comparada a outros corpos d'água, similares somente a lagoas de cava de minério sulfetado. A comparação entre concentrações das espécies iônicas nas lagoas e águas subterrâneas indica que o processo de extração de areia aliado à pluviosidade regional são os principais fatores das variações físico-químicas nestas águas. Apesar de compartilharem algumas peculiaridades, as lagoas de cava mostram menor conteúdo de espécies dissolvidas (menores valores de CE), comparadas à água subterrânea.

Entre os minerais indicados, os sais complexos de SO_4 , alunita e basaluminita são os melhores carreadores de Al para as lagoas e água subterrânea, devido à maioria das amostras se encontrarem em condições de supersaturação, seguidos dos hidroxialuminossilicatos. A formação desses minerais aluminossilicáticos pode desestimular a atividade de aquicultura nas lagoas, principalmente criação de peixes, pois o Al pode ser tóxico para esses animais (atinge o mecanismo de osmorregulação nas guelras/assimilação de oxigênio).

Apesar de pouco provável, devido às efetivas reações de hidrólise, a extensão do Al na água subterrânea deve ser levada em consideração por causa da faixa de pH. Alguns poços locados próximo às lagoas de cava podem sofrer grandes variações do nível freático ou serem bombeados em áreas de ocorrência de sedimentos em condições redutoras, que podem desencadear o processo de oxidação do material geológico e lixiviar metais, tais como Al, Fe e Mn, para a água subterrânea consumida pela população local.

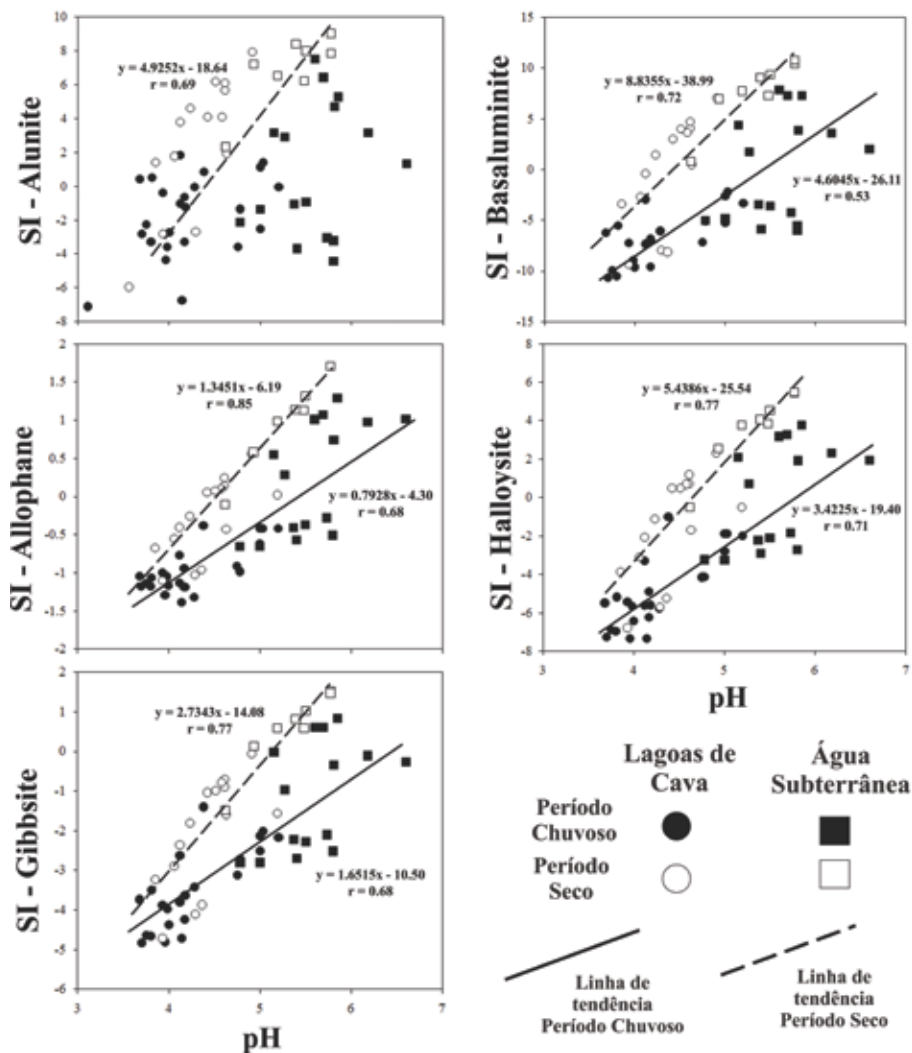


FIGURA 4 - Índice de saturação dos minerais indicados em função do pH nas lagoas de cava e água subterrânea nos períodos seco e chuvoso

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] REVISTA AREIA E BRITA. São Paulo: ANEPAC, n. 43, 2008.
- [2] ALPERS, C. N.; BLOWES, D. W (Ed.). Environmental geochemistry of sulfide oxidation. *ACS Symposium Series*, v. 550, p. 2-13, 1994.
- [3] BALL, J. W.; NORDSTROM, D. K.; ZACHMANN, D. W. *WATEQ4F*: a personal computer FORTRAN translation of the geochemical model WATEQ2 with revised data base. Denver: U.S. Geological Survey, 1987. 108 p. (Open-file report, 87-50)
- [4] BARBOSA, C. F. *Hidrogeoquímica e a contaminação por nitrato em água subterrânea no bairro Piranema, Seropédica - RJ*. 2005. 101 f. Dissertação (Mestrado em Geociências)-Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
- [5] BERBERT, M. C. *A mineração de areia no distrito areeiro de Itaguaí-Seropédica/RJ: geologia dos depósitos e caracterização das atividades de lavra e dos impactos ambientais*. 2003. 132 f. Dissertação (Mestrado em Geociências)-Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- [6] CARVALHO, D. F. *et al*. Evaluation of the reference evapotranspiration in Seropédica, Rio de Janeiro State, Brazil, using weighing lysimeter. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 187-195, 2006.
- [7] CASTENDYK, D. N.; WEBSTER-BROWN, J. G. Sensitivity analyses in pit lake prediction, Martha mine, New Zealand 2: geochemistry, water-rock reactions, and surface adsorption. *Chemical Geology*, Amsterdam, v. 244 n. 1-2, p. 56-73, 2007.
- [8] ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO. Brasília, DF.: DNPM, v. 34, 2006.
- [9] MELLO, W. Z. Precipitation chemistry in the coast of the Metropolitan Region of Rio de Janeiro Brazil. *Environmental Pollution*, Barking, v. 114, p. 235-242, 2001.
- [10] DEUTSCH, W. J. *Groundwater geochemistry: fundamentals and application to contamination*. Boca Raton: CRC Press, 1997. 221p.
- [11] DREW, L. J.; LANGER, W. H.; SACHS, J. S. Environmentalism and natural aggregate mining. *Natural Resources Research*, v. 11, p. 19-28, 2002.

- [12] ELETROBOLT. *Estudos hidrogeológicos dos aquíferos intergranulares a oeste do Rio Guandu, Município de Seropédica/RJ*: relatório de consultoria técnica. Seropédica, 2003. 234 p.
- [13] EARY, L. E. Predicting the effects of evapoconcentration on water quality in mine pit lakes. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 64, p. 223-236, 1998.
- [14] FISHER, T. S. R.; LAWRENCE, G. A. Observations at the upper halocline of the Island Copper pit lake. In: *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON STRATIFIED FLOWS, 5., 2000*, Vancouver. *Proceedings...* Vancouver, 2000. p. 413-418.
- [15] GÓES, M. H. B. *Diagnóstico ambiental por geoprocessamento do município de Itaguaí, RJ*. 1994. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente)-Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, São Paulo, 1994.
- [16] GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M.; KREMLING, K. *Methods of seawater analysis*. 2.ed. Weinheim: Verlag Chemie, 1983. 419 p.
- [17] JAMBOR, J. L.; BLOWES, D. *Environmental geochemistry of sulfidic mine wastes*. Nepean: Mineral Association of Canada, 1994. 438 p.
- [18] MARQUES, E. D. *et al.* Geochemical behavior and dissolved species control in acid sand pit lakes, Sepetiba sedimentary basin, Rio de Janeiro, SE-Brazil. *Journal of South American Earth Science*, v. 30, p.176-188, 2010.
- [19] _____. Hydrogeochemistry of sand pit lakes at Sepetiba Basin, Rio de Janeiro, Southeastern Brazil. *Water, Air and Soil Pollution*, v. 189, p. 21-36, 2008.
- [20] MIRETZKY, P.; CONZONNO, V.; CIRELLI, A. F. Geochemical processes controlling silica concentrations in groundwaters of the Salado River drainage basin, Argentina. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 73, p. 155-166, 2001
- [21] PARKHURST, D. L. User's guide to PHREEQC: *A computer program for speciation, reaction-path, advective-transport, and Inverse geochemical calculations*: water-resources investigations report. Virgínia: U.S Geological Survey, 1995. 143 p.
- [22] PLUMLEE, G. S.; LOGSDON, M. J (Ed). The environmental geochemistry of mineral deposits. *Rev Econ Geol*, v.6, p. 224-240, 1999.

- [23] SEINFELD, J. H. *Atmospheric chemistry and physics of air pollution*. New York: John Wiley, 1986. 738p.
- [24] SHEORAN, A. S.; SHEORAN, V. Heavy metal removal mechanism of acid mine drainage in wetlands: a critical review. *Minerals Engineering*, v. 19, n. 2, p. 105-116, 2006.
- [25] SILVA-FILHO, E. V. *et al.* Groundwater chemical characterization of a Rio de Janeiro coastal aquifer, SE-Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v.27, p. 100-108, 2009.
- [26] STOTTMEISTER, U. *et al.* Strategies for remediation of former opencast mining areas in eastern Germany. In: AZCUE, J. M. (Ed). *Environmental impacts of mining activities*. New York, Springer, 1999. p. 263-296.
- [27] STUMM, W.; MORGAN, J. J. *Aquatic chemistry, chemical equilibrium and rates in natural waters*. 3. ed. New York: John Wiley, 1996. 1022 p.
- [28] VALVERDE, F. M. Agregados para construção civil. *Sumário Mineral - 2006*, Brasília, DF, p 37-42, 2006.
- [29] TUBBS, D. *Ocorrência das águas subterrâneas: Aquífero Piranema no município de Seropédica, área da Universidade Rural e arredores, estado do Rio de Janeiro – relatório final de pesquisa*. Rio de Janeiro, FAPERJ, 1999. 123p.

AUTORES

Eduardo Duarte Marques | Doutor e mestre em Geoquímica pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Coordenador regional de Geoquímica e pesquisador do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). | eduardo.marques@cprm.gov.br

Décio Tubbs Filho | Mestre em Geoquímica Ambiental pela UFF. Doutorando em Geociências pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Professor adjunto do Departamento de Geociências do Instituto de Agronomia e do curso de Geologia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Diretor-geral do Comitê Guandu. | tubbs@ufrj.br

Olga Venimar O. Gomes | Doutora em Geoquímica Ambiental pela UFF. Professora assistente do curso de Gestão Ambiental e pesquisadora da UFRRJ. | gomes.olga@gmail.com

Emmanuel Vieira Silva-Filho | Pós-doutor em Hidrogeoquímica pela Université D'Avignon (França). Professor adjunto e pesquisador do Instituto de Química da UFF. | geoemma@vm.uff.br

RESUMO | O sistema fluvial formado pelos rios Paraíba do Sul e Guandu é a principal fonte de água disponível para abastecer aproximadamente dez milhões de pessoas no Rio de Janeiro. Na década de 1980, estudos importantes e pioneiros [1; 2], avaliaram as alterações nas concentrações de metais pesados nesse sistema devido à atividade industrial e à agricultura. Atualmente o cenário político e as mudanças nas leis ambientais tendem a minimizar as agressões promovidas no passado. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a atual situação da concentração dos metais estudados na década supracitada, a fim de quantificar as possíveis e esperadas modificações nas concentrações deles. Ademais, alguns parâmetros físico-químicos constantes na Resolução Conama nº 357 [3] também foram avaliados com o objetivo de enriquecer o conhecimento sobre o Rio Guandu. Tendo em vista que para fins práticos a fração de interesse é a fração solúvel, somente esta foi levada a estudo. Desse modo foi possível elaborar um trabalho mais econômico e sem muitas dificuldades técnicas, tanto na coleta de amostras como na análise delas. Isso é particularmente importante se considerarmos que o tratamento utilizado atualmente na Estação de Tratamento de Água (ETA) Guandu não prevê a retirada de metais pesados solúveis na água.

PALAVRAS-CHAVE | Bacia do Rio Guandu; Metais Pesados.

ABSTRACT | The river system formed by the rivers Paraíba do Sul and Guandu is a major source of water available to supply approximately ten (10) million people in Rio de Janeiro. In the 80s, pioneering and important studies [1;2] evaluated the changes in the concentrations of heavy metals in this system due to industrial activity and agriculture. Currently the political landscape and changes in environmental laws tend to minimize aggression promoted in the past, so the aim of this study was to assess the current situation of the concentration of the metals studied in the 80s in order to quantify the possible and expected changes in the concentrations thereof. Moreover, some physico-chemical parameters listed in Conama Resolution 357 [3] were also evaluated with the goal of enriching the knowledge about the Rio Guandu. Considering that for practical purposes the fraction of interest is the soluble fraction, only this study was carried thus been possible to develop a more economical and without many technical difficulties, both in sampling and analysis of these. This is particularly important considering that currently used in the treatment ETA Guandu not provide for the removal of heavy metals soluble in water.

KEYWORDS | River Basin Guandu; Heavy Metals.

Monitoramento da concentração de metais pesados solúveis e parâmetros físico-químicos na bacia do Guandu: avaliação comparativa com dados da década de 1980 e dados atuais

Alexandro Pereira da Silva

Marcos Antônio Ferreira Consoli

Edes Fernandes de Oliveira

1. INTRODUÇÃO

Durante a década de 1980, a intensa atividade industrial promovida no distrito industrial de Queimados estava em plena expansão, assim como a atividade agrícola da região e nas proximidades, o que gerava uma grande sobrecarga de efluentes em alguns rios que compõem a bacia do Rio Guandu, principal fonte de abastecimento de água para a população do Rio de Janeiro [1].

Em parte, esse problema ocorria devido à falta de leis rigorosas e dificuldades de fiscalização por parte dos órgãos ambientais, que muitas vezes sofriam com a falta de pessoal e, principalmente, de recursos materiais necessários para as atividades a que se dispunham.

Entre os anos 1980 e 1990, estudos importantes e pioneiros avaliaram as alterações nas concentrações de metais pesados nesse sistema hídrico, gerando importantes registros da situação dos rios afetados [1; 2].

Atualmente, o cenário político e as mudanças nas leis ambientais tendem a minimizar as agressões sofridas no passado por esse sistema fluvial. Assim, o objetivo maior deste trabalho é avaliar a atual situação da concentração dos diversos metais estudados na década de 1980, a fim de quantificar as possíveis e esperadas modificações em suas concentrações.

Além dos metais, alguns parâmetros físico-químicos constantes na Resolução Conama nº 357 também foram avaliados, com o objetivo de enriquecer o conhecimento sobre o Rio Guandu [3].

Tendo em vista que para fins práticos a fração de interesse é a fração solúvel, somente esta foi levada a estudo, possibilitando a elaboração de um trabalho mais econômico e sem muitas dificuldades técnicas, tanto na coleta como na análise de amostras.

Isso é particularmente importante se considerarmos que o tratamento utilizado atualmente na ETA Guandu não prevê a retirada de metais pesados solúveis na água, embora alguns trabalhos, ainda em andamento, sugiram que os processos de floculação e decantação removem parte dessa fração e que a fração mais persistente ainda pode ser adsorvida pelas diversas camadas dos filtros, principalmente com o incremento da matéria orgânica floculada depositada nos mesmos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Ao longo de toda a bacia do Guandu foram escolhidos 18 pontos de coleta. Esses pontos, estrategicamente selecionados, permitem a obtenção de amostras que representam a qualidade de diversos afluentes do Rio Guandu, desde o ponto em que ocorre a transposição do Rio Paraíba do Sul até o ponto onde a ETA Guandu realiza a tomada de água para tratamento.

As amostragens foram conduzidas com periodicidade mensal. Os metais foram avaliados por espectrometria de absorção atômica, utilizando um vaporizador eletrotérmico (forno de grafite) e padrões rastreados ao National Institute of Standards and Technology (NIST). Os parâmetros físico-químicos gerais foram avaliados de acordo com a rotina dos laboratórios da ETA Guandu, sendo todos os procedimentos de análises especificados nos Standard Methods [4].

TABELA 1 - PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS AVALIADOS

Parâmetros	Periodicidade	Parâmetros	Periodicidade
Turbidez	Diária/semanal	Fósforo Total	Semanal/mensal
pH	Diária/semanal	Carbono Orgânico Total	Semanal/mensal
Cloreto	Semanal/mensal	Metais	Mensal
Nitrato	Semanal/mensal	Amônia	Semanal/mensal

Os ensaios de coliformes termotolerantes e totais foram realizados com periodicidade diária na tomada de água da ETA Guandu e mensalmente nos afluentes do Rio Guandu.

O período de avaliação dos metais (sete, no total: alumínio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro e manganês) foi de oito meses, e o período de avaliação dos demais parâmetros, de 45 meses, sendo eles: pH, turbidez, cloreto, fósforo, nitrato, amônia, carbono orgânico total, as várias frações de resíduos e os teores de coliformes totais e termotolerantes.

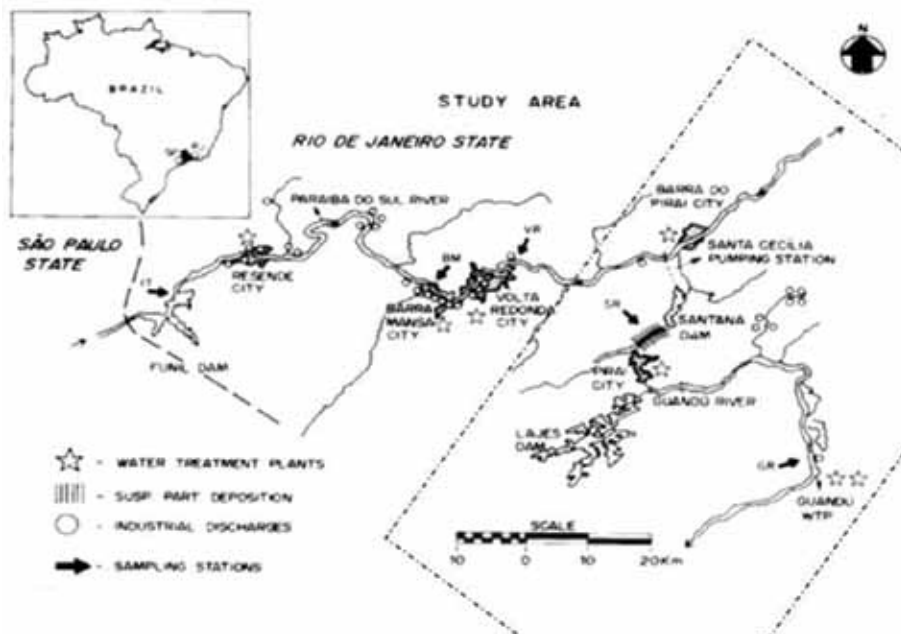


FIGURA 1 - A área total refere-se aos estudos da década de 1980; a área tracejada refere-se à atual área de estudo

TABELA 2 - IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DA BACIA DO RIO GUANDU

Localização dos Pontos de Coleta - Monitoramento Atual do Sistema Guandu					Localização GPS	
Código	Corpo Hídrico	Trecho	Município	Latitude	Longitude	
RPS-01	Rio Paraíba do Sul	Montante da barragem de Santa Cecília	Barra do Pirai	22°28'56.16" S	43°50'22.09" O	
RPI-02	Rio Pirai	Origem Tocos	Pirai	22°37'41.56" S	43°53'44.27" O	
LLJ-03	Lago de Lajes	Calha de Fontes	Pirai	22°41'31.59" S	43°51'45.63" O	
RRL-04	Ribeirão das Lajes	Jusante da Usina Pereira Passos	Pirai	22°40'56.50" S	43°49'0.30" O	
RMC-05	Rio Macaco	Foz	Paracambi	22°38'5.84" S	43°42'17.93" O	
RSA-06	Rio Santana	Foz	Japeri	22°38'39.97" S	43°40'10.82" O	
RSP-07	Rio São Pedro	Foz	Japeri	22°38'33.42" S	43°37'22.85" O	
RGN-08	Rio Guandu	Trecho médio – Jusante do Rio São Pedro	Japeri	22°43'41.11" S	43°38'26.08" O	
RPÇ-09	Rio Poços	Jusante Codin	Queimados	22°45'36.17" S	43°36'57.34" O	
RQM-10	Rio Queimados	Montante Codin	Queimados	22°44'27.07" S	43°36'31.81" O	
RQM-11	Rio Queimados	Jusante Codin	Queimados	22°45'3.56" S	43°36'54.65" O	
RIG-12	Rio Ipiranga	Foz	Nova Iguaçu	22°48'10.13" S	43°37'24.16" O	
LGA-13	Lagoa	Final	Nova Iguaçu	22°47'8.43" S	43°37'48.04" O	
LGA-14	Lagoa	Meio	Nova Iguaçu	22°48'10.13" S	43°37'24.16" O	
LGA-15	Lagoa	Foz	Nova Iguaçu	22°48'21.37" S	43°37'38.48" O	
RGN-16	Rio Guandu	Barragem auxiliar	Nova Iguaçu	22°48'15.15" S	43°37'50.43" O	
RGN-17	Rio Guandu	Barragem principal	Nova Iguaçu	22°48'31.28" S	43°37'50.43" O	
CRL - 18	Captação de Lajes	Captação Ceda	Pirai	22°42'02.83" S	43°52'56.83" O	

Fonte: Ceda-ETA Guandu - MAR/2005

3. RESULTADOS

A área de estudo abrangida neste trabalho é inferior àquela estudada na década de 1980 [2]. No entanto, trata-se da região de maior importância para o controle da água que é tratada pela ETA Guandu.

Na tabela abaixo, estão relacionados os dados médios obtidos para alguns metais e parâmetros físico-químicos. Esses dados referem-se às médias das análises obtidas em todo o sistema estudado, de acordo com o mapa anterior.

TABELA 3 - ALGUNS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS AVALIADOS NA DÉCADA DE 1980 NO SISTEMA RIO PARAÍBA DO SUL – RIO GUANDU (RPS-RG)

Avaliado	pH	Coli. Fecal (Ufc/100 mL)	Coli. Total (Ufc/100 mL)	P. Total (mg L ⁻¹)	N. Total (mg L ⁻¹)
Mínimo	5,6	100	2.000	0,04	1,0
Média	6,6	*	*	*	*
Máximo	7,2	210.000	460.000	0,25	2,5

TABELA 4 - METAIS AVALIADOS NA DÉCADA DE 1980 [1] NO SISTEMA RIO PARAÍBA DO SUL – RIO GUANDU (RPS-RG)

Metais	Fe (mg.L ⁻¹)	Mn (mg.L ⁻¹)	Zn (µg.L ⁻¹)	Cu (µg.L ⁻¹)	Cr (µg.L ⁻¹)	Pb (µg.L ⁻¹)	Ni (mg.L ⁻¹)	Cd (µg.L ⁻¹)
Média	1,90	1,50	13	3,6	1,9	1,7	0,95	0,35

No estudo atual, foi utilizada a média obtida em cada ponto no período de coleta. Os resultados estão expressos nos gráficos a seguir:

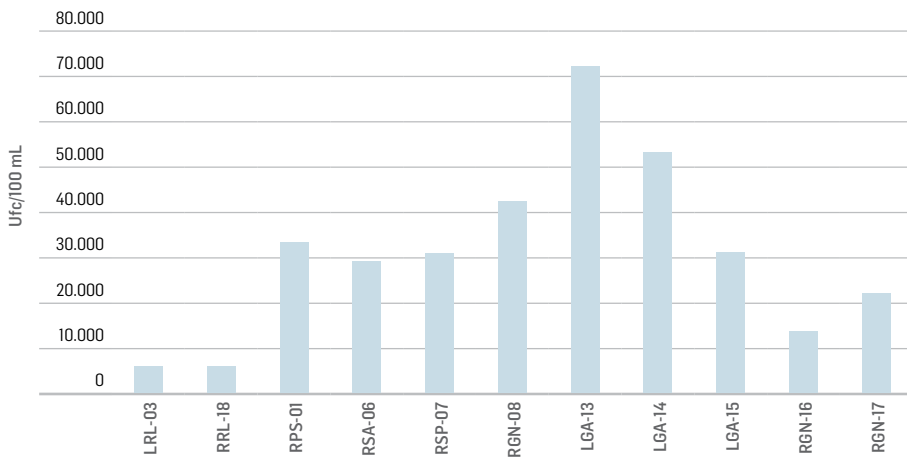


FIGURA 2 - Valores médios para a concentração de coliformes totais ao longo de 11 pontos de coleta (média de 45 meses)

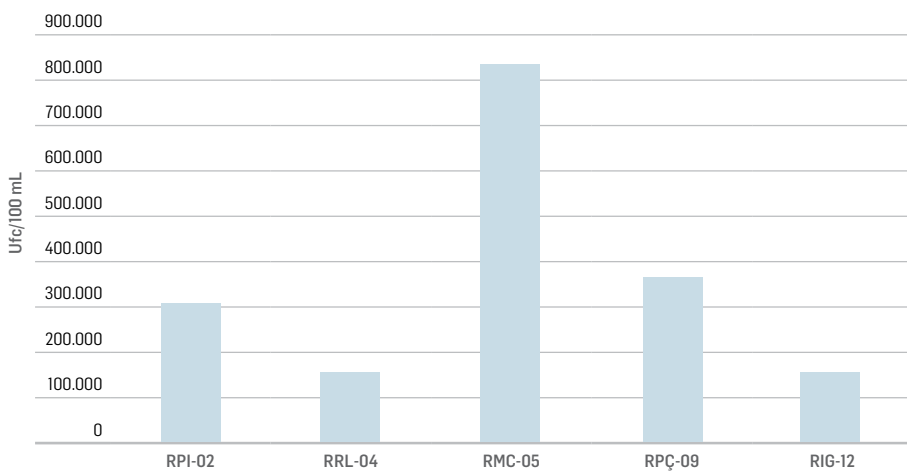


FIGURA 3 - Valores médios para a concentração de coliformes totais ao longo de cinco pontos de coleta apresentando grande contaminação sanitária (média de 45 meses)

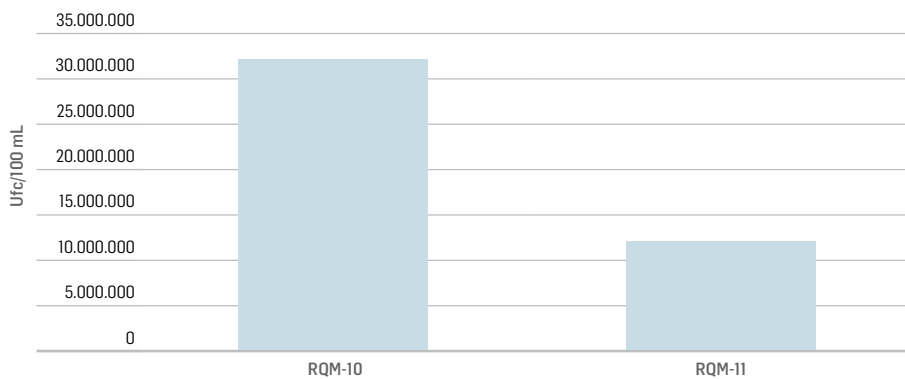


FIGURA 4 - Valores médios para a concentração de coliformes totais ao longo de dois pontos de coleta apresentando extrema contaminação sanitária (média de 45 meses)

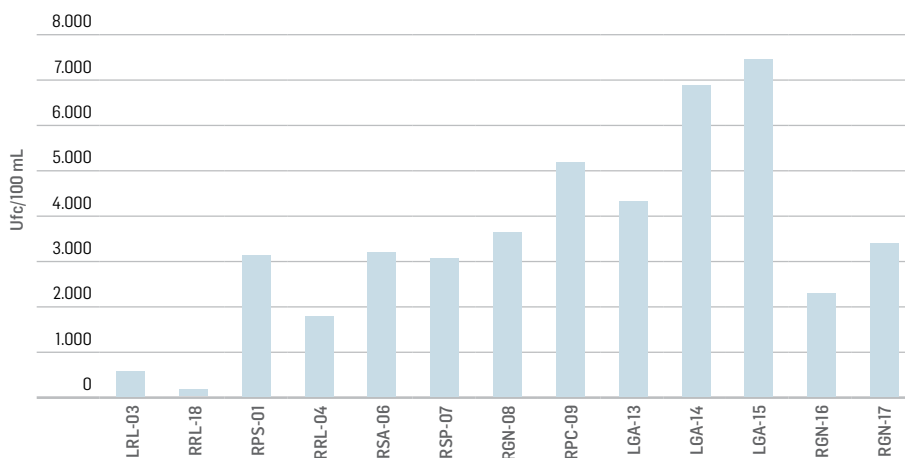


FIGURA 5 - Valores médios para a concentração de coliformes termotolerantes ao longo de 13 pontos de coleta (média de 45 meses)

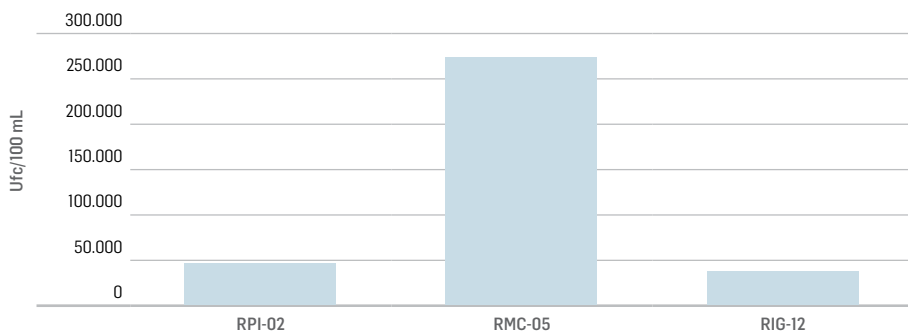


FIGURA 6 - Valores médios para a concentração de coliformes termotolerantes ao longo de três pontos de coleta apresentando grande contaminação (média de 45 meses)

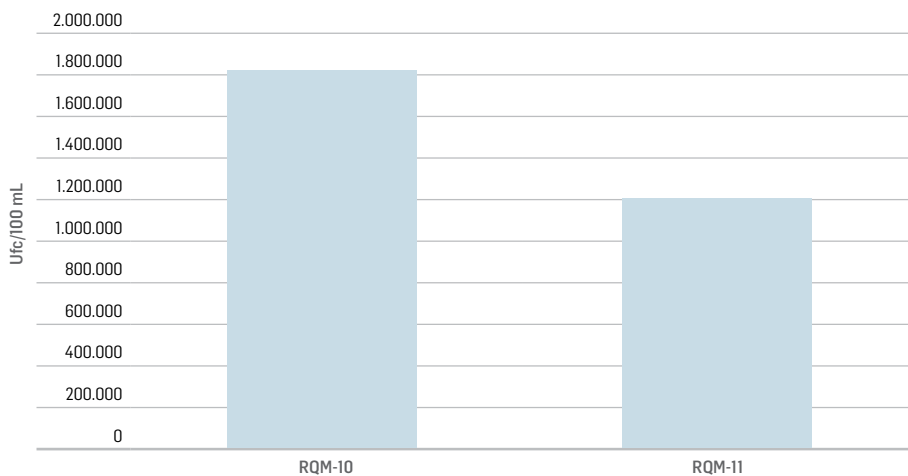


FIGURA 7 - Valores médios para a concentração de coliformes termotolerantes ao longo de três pontos de coleta apresentando extrema contaminação (média de 45 meses)

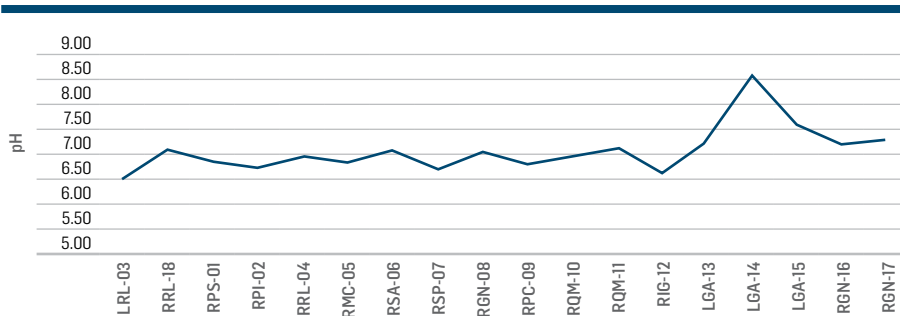


FIGURA 8 - Variação da média para o parâmetro pH ao longo dos pontos de coleta (média de 45 meses)

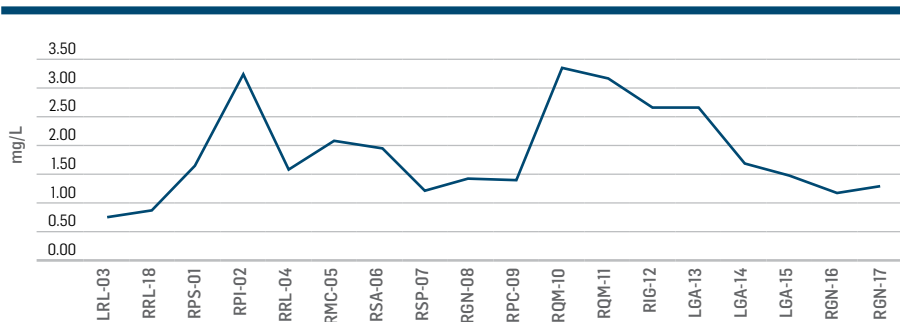


FIGURA 9 - Variação da média para o parâmetro nitrato ao longo dos pontos de coleta (média de 45 meses)

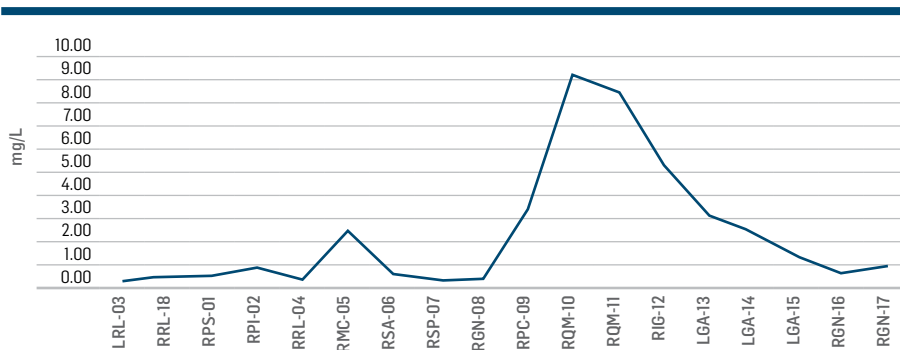


FIGURA 10 - Variação da média para o parâmetro amônia ao longo dos pontos de coleta (média de 45 meses)

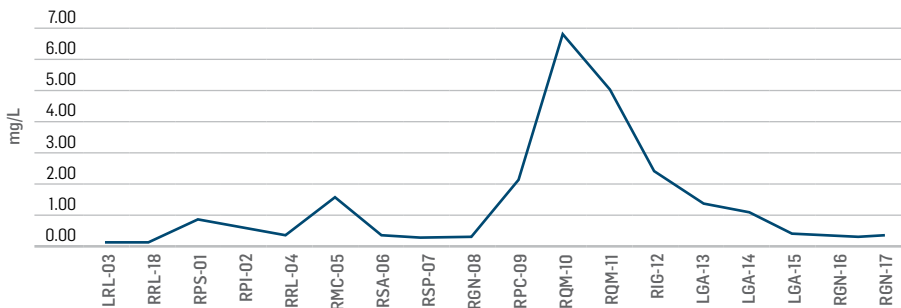


FIGURA 11 - Variação da média para o parâmetro fósforo ao longo dos pontos de coleta (média de 45 meses)

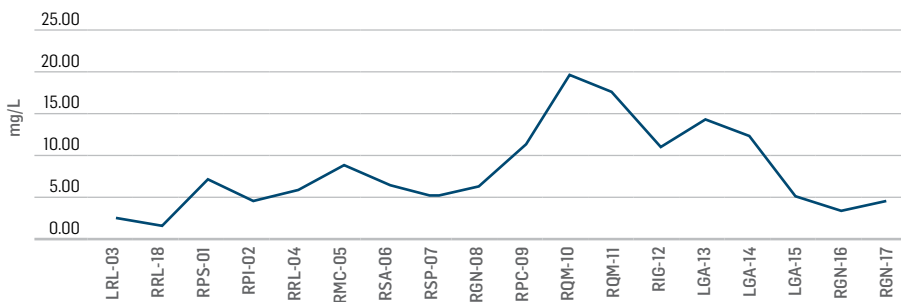


FIGURA 12 - Variação da média para o parâmetro carbono orgânico total ao longo dos pontos de coleta (média de 45 meses)

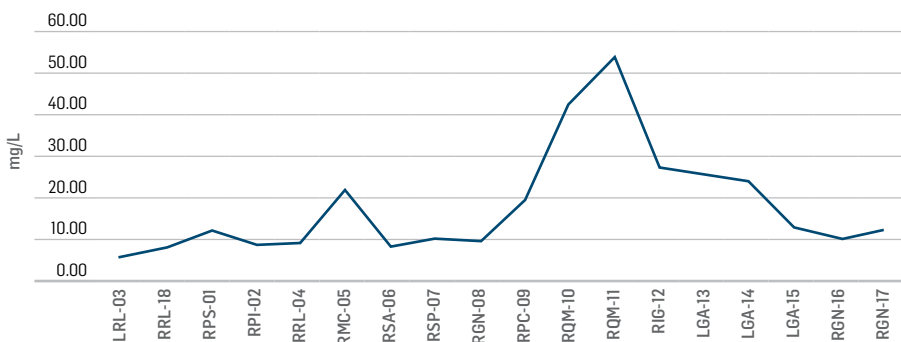


FIGURA 13 - Variação da média para o parâmetro cloreto ao longo dos pontos de coleta (média de 45 meses)

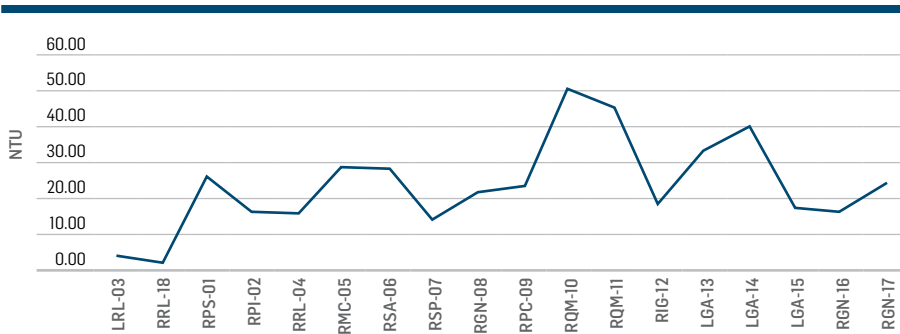


FIGURA 14 - Variação da média para o parâmetro turbidez ao longo dos pontos de coleta (média de 45 meses)

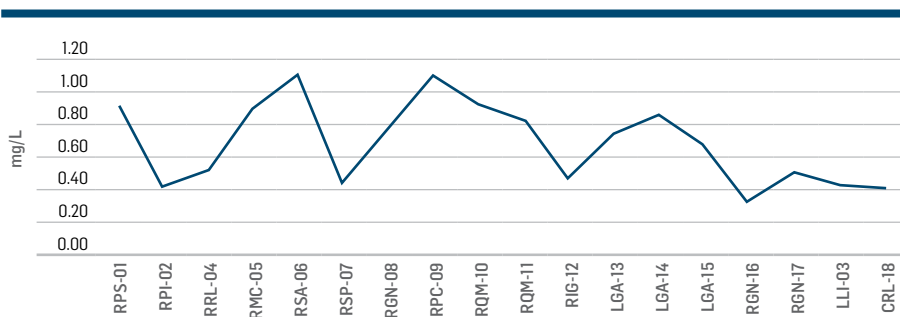


FIGURA 15 - Variação da média para o parâmetro ferro longo dos pontos de coleta (média de oito meses)

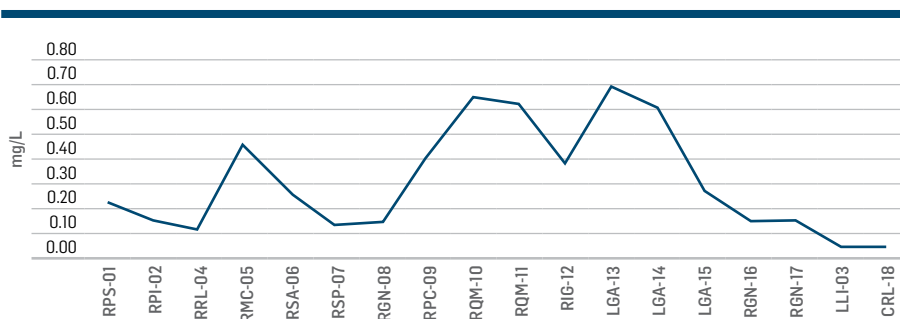


FIGURA 16 - Variação da média para o parâmetro alumínio ao longo dos pontos de coleta (média de oito meses)

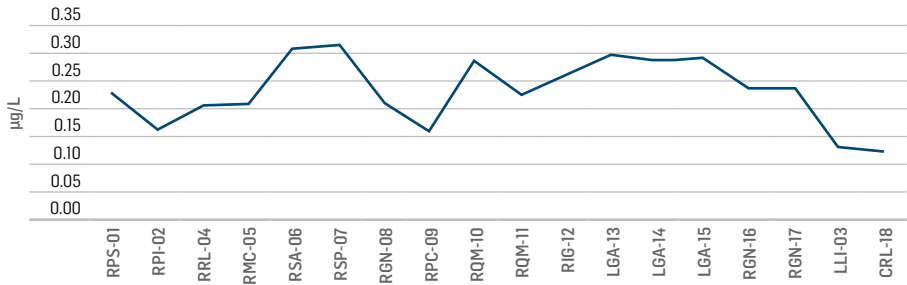


FIGURA 17 - Variação da média para o parâmetro cádmio (ppb) ao longo dos pontos de coleta (média de oito meses)

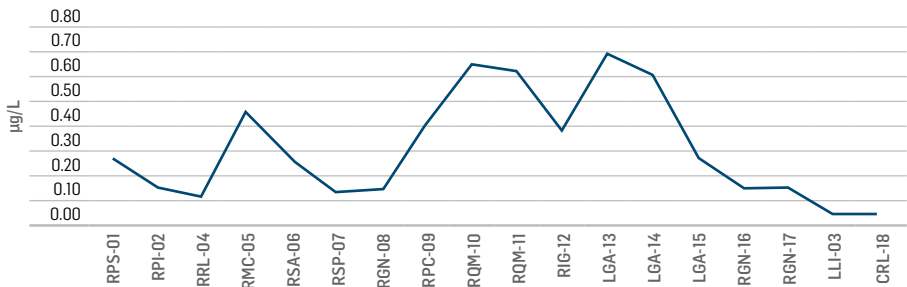


FIGURA 18 - Variação da média para o parâmetro cromo (ppb) ao longo dos pontos de coleta (média de oito meses)

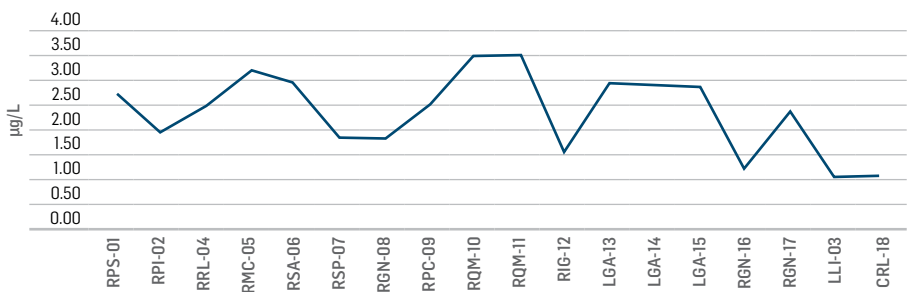


FIGURA 19 - Variação da média para o parâmetro cobre (ppb) ao longo dos pontos de coleta (média de oito meses)

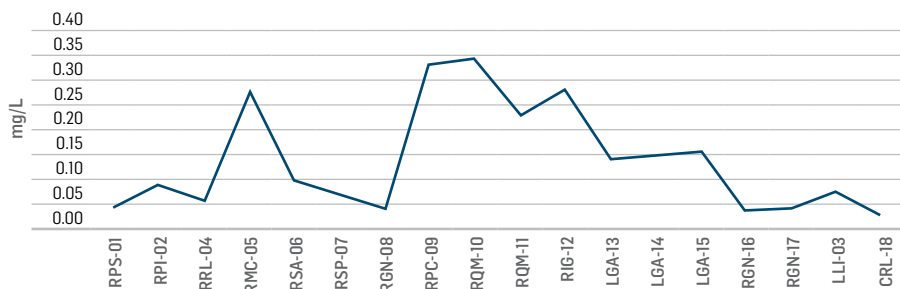


FIGURA 20 - Variação da média para o parâmetro manganês (ppm) ao longo dos pontos de coleta (média de oito meses)

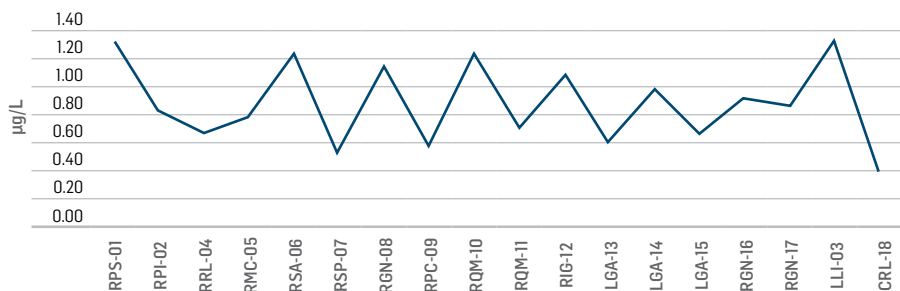


FIGURA 21 - Variação da média para o parâmetro chumbo (ppb) ao longo dos pontos de coleta (média de oito meses)

Os resultados obtidos atestam que ocorreu uma significativa melhoria na qualidade da água desses corpos hídricos, principalmente se destacarmos os teores de metais pesados encontrados na forma solúvel. Dentre as frações de elementos metálicos que podem ser encontradas na água, a fração solúvel é a mais importante quando o objetivo é fornecer água potável à população, visto que a fração de insolúveis é completamente removida durante o processo de tratamento de água na ETA Guandu.

A cor e a turbidez variam naturalmente devido às mudanças no ambiente, independente da atividade humana. No entanto, os crescentes despejos de esgoto doméstico na região, consequência do crescimento demográfico não planejado, têm promovido alterações significativas nesses parâmetros.

Contudo, a situação da água no ponto de captação apresenta excelente qualidade, visto que as barragens principal e auxiliar encontram-se em pleno funcionamento, permitindo, desse modo, que a lagoa formada na cabeceira do rio a montante da captação sirva como pré-tratamento e favorecendo, ainda, as manobras de descarga das águas poluídas do Rio Ipiranga, que, de outra forma, se misturariam às águas do Rio Guandu, próximo do ponto de captação.

Esse controle se mostrou muito eficiente, principalmente quando avaliamos as variações nas concentrações de coliformes termotolerantes nos últimos cinco anos, com periodicidade diária, conforme especifica o gráfico abaixo:

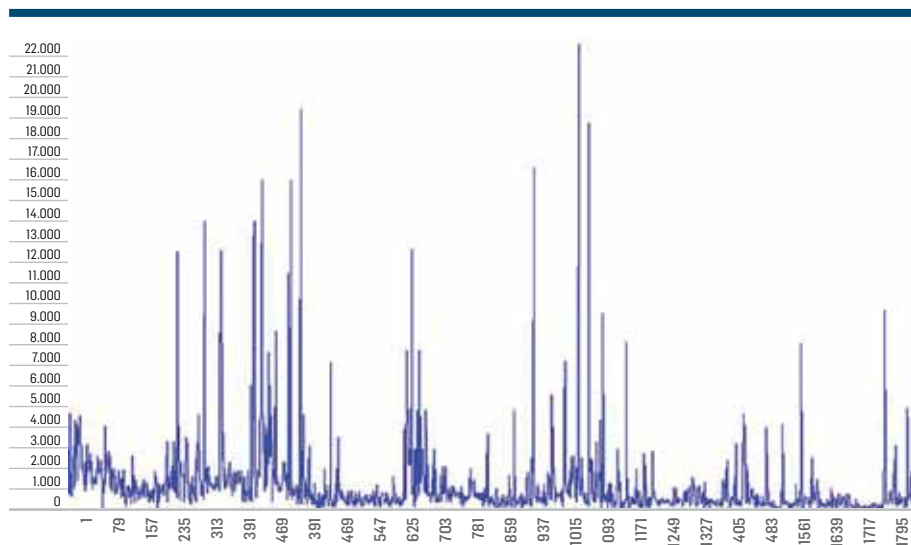


FIGURA 22 - Monitoramento de coliformes termotolerantes na captação de água do Rio Guandu para a ETA Guandu no período de 2003 a 2007

Atualmente, a região de Queimados apresenta elevada poluição sanitária, reflexo da falta de saneamento adequado na região e adjacências. Devido à desativação da maior parte das indústrias que existiam na área, podemos observar, pelos resultados expostos, que a contaminação de metais nessa região não representa um problema para o tratamento de água realizado na ETA Guandu, visto que a fração solúvel de metais é muito pequena.

4. CONCLUSÕES

Tendo por base os dados armazenados desde a década de 1980, podemos inferir que a qualidade das águas do sistema de rios da bacia do Guandu passou por grandes e favoráveis modificações. Parte dessa melhoria pode ser diretamente atribuída ao sistema implantado pela Companhia Siderurgia Nacional (CSN), que agora recircula seus efluentes, diminuindo, assim, consideravelmente a carga de poluentes metálicos que outrora lançava Rio Paraíba do Sul.

A atuação governamental, com a imposição de leis mais rígidas e conscientes, além da respectiva fiscalização, contribuiu para a melhoria da qualidade do sistema. Contudo, vale ressaltar que essas medidas devem ser constantes e rigorosas, visto que no passado muitas indústrias não levaram em consideração a necessidade de preservar os recursos hídricos da região.

Uma medida necessária para restabelecer a qualidade ambiental do sistema hídrico da bacia do Guandu será a ampliação do atual sistema de saneamento básico na Baixada Fluminense, principal responsável pela poluição da bacia do Guandu e, politicamente, a região que mais sofre com o descaso governamental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] PFEIFFER, W.C et. al. Heavy metal pollution in the Paraíba do Sul river, Brasil. *The Science of the Total Environment*, 58 (1986) 73-79.

[2] _____. Transport and availability of heavy metals in the Paraíba do Sul: Guandu river system, Rio de Janeiro State, Brasil. *The Science of the Total Environment*, v. 75, p. 201-209, 1988.

[3] BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Seção 1.

[4] AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20. ed. Washington, D.C., 1998.

AUTORES

Alexandro Pereira da Silva | Químico pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Analista de qualidade da Estação de Tratamento de Água (ETA) Guandu/Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (Cedae). Professor de Química da rede estadual de ensino do Rio de Janeiro. | alexandro@cedae.com.br

Marcos Antônio Ferreira Consoli | Biólogo pela Fundação Técnico Educacional Souza Marques do Rio de Janeiro. Coordenador dos laboratórios de controle de qualidade físico-químico e microbiológico da ETA Guandu/Cedae. | mconsoli@cedae.com.br

Edes Fernandes de Oliveira | Pós-graduado em Engenharia de Saneamento pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia (Coppe) da UFRJ. Gerente da ETA Guandu/Cedae. | edes@cedae.com.br

RESUMO | A confirmação da presença do molusco asiático invasor *Corbicula fluminea* (Muller, 1774) na bacia hidrográfica do Rio Guandu, Estado do Rio de Janeiro, se impõe como fato relevante não somente pelos aspectos ecológicos, mas, também, devido aos possíveis desdobramentos econômicos provocados pelo sucesso da colonização dessa espécie em ambientes não autóctones. Este trabalho apresenta as primeiras observações da presença desse molusco em afluentes do Ribeirão das Lajes, principal formador do Rio Guandu, cujas águas são usadas para gerar energia – através de usinas hidrelétricas e termelétricas – e abastecer mais de oito milhões de habitantes da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

PALAVRAS-CHAVE | Molusco Bivalve Invasor; Afluentes do Rio Guandu.

ABSTRACT | The confirmation of the presence of invading Asian mollusk *Corbicula fluminea* (Muller, 1774) in Guandu River basin-RJ constitutes a material fact not only because of ecological aspects, but due to the possible economic developments that may be generated due to the success colonization of this species in non-indigenous. The area of the Guandu basin is responsible for generation of electricity through power plants and for water supply for more than eight million inhabitants in the metropolitan region of Rio de Janeiro, thus, a strategic region. This work presents the first observations of the presence of shellfish in their catchment area in tributaries of Lajes, the main trainer of the Guandu River.

KEYWORDS | Invasive Bivalve Mollusk; Guandu River tributaries.

Presença do molusco bivalve *Corbicula fluminea* em afluentes da bacia hidrográfica do Rio Guandu

Décio Tubbs Filho

Janaina Silva Vettorazzi

1. INTRODUÇÃO

Molusco bivalve, a *Corbicula fluminea*, também conhecida como Asian clam (Muller, 1774), é uma das espécies exóticas mais invasoras de ecossistemas aquáticos superficiais dulcícolas. Nativa do sul e leste da Ásia (leste da Rússia, Tailândia, Filipinas, China, Taiwan, Coreia e Japão), Austrália e África, e introduzida de forma acidental e/ou deliberada em áreas não autóctones, o macroinvertebrado tem causado sérios danos ao ambiente e à economia. Seu processo de disseminação ocorre de maneira subsequente e rápida, e alcança longas distâncias. Com um eficiente mecanismo para colonizar com sucesso novos ambientes, esse organismo tornou-se elemento de desequilíbrio nas comunidades biológicas dos ecossistemas aquáticos, ocasionando a extinção de espécies nativas, sendo considerado, portanto, uma das maiores ameaças biológicas atuais [4; 6; 10; 15]. O bivalve possui características biológicas que lhe conferem um mecanismo de invasão bastante eficiente. Essas características compreendem curto ciclo de vida (2 – 3 anos); desenvolvimento

rápido da maturidade sexual (uma estratégia tipicamente dioica com hermafroditismo ocasional); altas taxas de crescimento, fecundidade e tolerância fisiológica; ampla variabilidade e plasticidade filogenética; comportamento gregário; e capacidade para repovoar habitats previamente colonizados, o que favorece sua instalação em estuários, rios, lagos ou canais, reservatórios e portos [7; 15; 21].

O tempo de vida da espécie varia, de um a cinco anos. Sua reprodução ocorre duas vezes por ano: na primavera/verão e no final do verão/outono, com padrão habitual de liberação da forma juvenil anual, apresentando períodos reprodutivos oscilatórios de ecossistema para ecossistema [26]. Essas flutuações no número de eventos reprodutivos podem estar relacionadas a fatores ambientais e/ou com os recursos alimentares disponíveis no ambiente. A maior parte da energia metabólica produzida por esse organismo é alocada para seu crescimento e processo reprodutivo, sendo apenas uma pequena parte dedicada à respiração, o que deu ao bivalve maior eficiência metabólica.

Como mecanismo de dispersão, as formas juvenis do molusco são lançadas a longas distâncias, principalmente em direção a jusante, por fluxos turbulentos no meio hídrico.

A espécie está no grupo de moluscos invasores reconhecidos atualmente por causar prejuízos a sistemas de tratamento de água e a empreendimentos de diferentes setores da economia (energético, agrícola, piscicultor, silvicultor e mercantil). Esse cenário é decorrente da crescente globalização e do aumento do comércio internacional, que fazem com que espécies exóticas sejam transferidas para áreas onde não encontram predadores naturais e, conseqüentemente, tornem-se mais eficientes que as espécies nativas no uso dos recursos naturais [12; 13; 14].

Os danos e prejuízos econômicos produzidos pela *C. fluminea* a sistemas industriais, especialmente às indústrias de produção de energia e tratamento de água, ocorrem por conta da infestação de suas formas de vida, conchas vazias e tecidos do corpo morto, que inviabilizam ou interferem no funcionamento dos equipamentos. As formas juvenis do molusco, após serem lançadas na coluna d'água,

fixam-se nos equipamentos devido à produção de mucilagem, que, somada ao acúmulo de biomassa, causa o entupimento de tubulações, válvulas e filtros em telas de entrada de colunas de água, redução do diâmetro das tubulações nas estações de tratamento de água e indústrias geradoras de energia, entre outras alterações, tendo por consequência a oclusão de bombas, filtros e sistemas de refrigeração [28; 29; 30].

Suas transições geográficas têm sido sequenciais. Em 1938, a *C. fluminea* foi encontrada no Rio Columbia, Washington (EUA), espalhando-se, posteriormente, pelos 36 estados continentais desse país. No final de 1970, a espécie foi introduzida na Europa, espalhando-se por todo o território da França, Portugal, Espanha, Alemanha, Bélgica, Países Baixos e Hungria. Em 1998, a espécie foi encontrada na Grã-Bretanha pela primeira vez. Na América do Sul, a *C. fluminea* foi relatada simultaneamente na Argentina e no Brasil, no início de 1980, tendo sido a invasão registrada, em ambos os casos, na década de 1970. Atualmente, o bivalve coloniza uma faixa que se estende do norte da Patagônia ao Uruguai e sul do Brasil, existindo relatos de sua presença em outras regiões do país [8; 13; 14; 20].

Na Europa, o macroinvertebrado dispersou-se por várias bacias hidrográficas. Na América do Norte, a *C. fluminea* teve seu primeiro registro em 1924, no norte do Canadá. Rapidamente, a espécie se dispersou pelo país, causando danos consideráveis a usinas hidrelétricas e sistemas de captação de água, tornando-se uma das mais importantes pragas introduzidas em ambiente natural naquela região. Nos Estados Unidos, as espécies invasoras são uma ameaça crescente, estando a *C. fluminea* entre os moluscos invasores que mais requerem atenção por conta dos danos produzidos. A espécie é responsável pela obstrução de tubos de admissão de água, afetando a produção de energia, de água e de outras indústrias; por constituir-se um bioincrustante em complexos industriais, causa problemas em canais e tubos de irrigação [7; 19; 27; 33]. Além disso, nos Estados Unidos, vários reatores nucleares tiveram de ser desligados para remoção da *C. fluminea* dos sistemas de refrigeração [7; 19; 27; 32].

Na América do Sul, sua introdução ocorreu praticamente ao mesmo tempo em Buenos Aires, Argentina, e Porto Alegre, Brasil, ocorrendo o primeiro registro de

coleta do molusco no Rio Uruguai, em junho de 1979. No Brasil, o organismo invasor está instalado em algumas bacias hidrográficas [6; 22; 25; 30; 31].

A invasão por *C. fluminea* encontra-se em estágio avançado, principalmente no território brasileiro, no Estado do Rio Grande do Sul e na bacia hidrográfica do Alto Rio Uruguai. O mesmo processo se dá na bacia hidrográfica na região a montante do Rio Itajaí-Açu/SC e nas áreas de manguezais daquela região.

Com relação aos prejuízos causados por esses organismos a atividades industriais, em 1998, as hidrelétricas dos estados do Rio Grande do Sul e de Minas Gerais tiveram seus canos e trocadores de calor obstruídos por formas jovens do molusco. Em 2007, foi constatada a presença de *C. fluminea* no reservatório de Furnas localizado na bacia hidrográfica do Rio Grande, Minas Gerais [2; 3; 4; 8; 14; 15].

A Companhia Energética do Estado de São Paulo (Cesp) realiza estudos sistemáticos de monitoramento limnológico para o bivalve no reservatório de Porto Primavera - Usina Hidrelétrica Engenheiro Sérgio Motta, localizado no Rio Paraná, entre os estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul [10].

Assim, o presente trabalho tem como objetivo principal apresentar o primeiro registro da presença do molusco bivalve *C. fluminea* em pontos específicos de alguns dos rios que compõem a bacia do Rio Guandu, Estado do Rio de Janeiro.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA - ASPECTOS FÍSICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GUANDU

A bacia do Rio Guandu se notabiliza por possuir recursos hídricos que atendem a múltiplos usos, especialmente geração de energia elétrica e abastecimento de água. Responsável pelo abastecimento de água a oito milhões de habitantes da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, ela também produz energia através de usinas hidrelétricas tradicionais, de uma pequena central hidrelétrica (PCH) e de termelétricas. Suas águas ainda atendem a dezenas de indústrias localizadas na

área da bacia. O principal formador do Rio Guandu, Ribeirão das Lajes, tem como afluentes pela margem direita os rios da Onça e Cacaria, ao sul dos municípios de Pirai e Paracambi, no Estado do Rio de Janeiro. Esses dois rios ocupam uma área da bacia de 54,1 Km² e 74 Km², respectivamente, e as vazões apresentam embasamento rochoso predominantemente formado por rochas de origem ígnea e metamórfica, de composição granítica, cortadas frequentemente por diques de rochas básicas, sendo comum também a ocorrência de rochas carbonáticas, mármore dolomíticos e rochas cálcio-silicatadas.

A região apresenta relevo de baixada com morros isolados de configuração topográfica residual, vertentes convexas e topos arredondados ou alongados, e altitude em torno de 50-60 metros que, de forma transicional, passa para outro tipo de relevo mais escarpado com topos levemente arredondados ou de cristas alinhadas, que se destacam topograficamente, alcançando cotas acima dos 800 metros nas serras do Caçador e do Matoso. As porções mais elevadas das bacias apresentam trechos de pequena extensão, caracterizados por corredeiras e cachoeiras, principalmente no leito do Rio Cacaria [1].

As precipitações pluviométricas que atingem a região relacionam-se a diversos processos atmosféricos e apresentam média de 1.500 mm/ano, com as chuvas concentradas entre dezembro e março, e os períodos mais secos, entre junho e setembro [1].

Nas últimas décadas, a região apresentou intensa descaracterização ambiental quando parte significativa da cobertura vegetal foi substituída pela pecuária, cultivo de banana, plantios de subsistência e uso para lazer. Recentemente, no entanto, a região começou a experimentar uma fase de recuperação ambiental através da revegetação e preservação dos remanescentes florestais [1]. Os cursos médios e inferiores são caracterizados por intensa produção de sedimentos detríticos, organizados em depósitos aluvionares geralmente de pouca espessura, formados por areias finas a grosseiras e eventualmente cascalhos, constituídos geralmente por quartzo, feldspato, mica e fragmentos de rocha.



FIGURA 1 - Confluência do Ribeirão das Lages (esquerda) com o Rio Valão dos Bois (direita)



FIGURA 2 - Baixo curso do Rio Valão dos Bois tomado pelas águas do Ribeirão das Lages

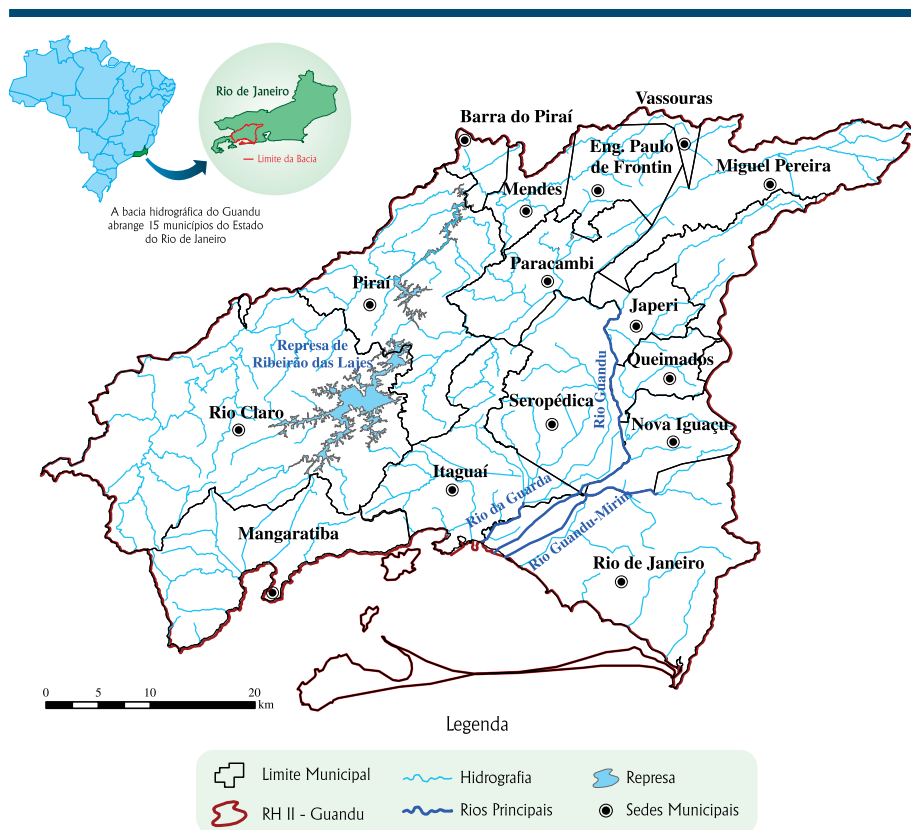


FIGURA 3 - Mapa da Bacia Hidrográfica dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim – RII
 Fonte: Comitê Guandu, 2012

3. METODOLOGIA

3.1 Área de amostragem do molusco

A área de amostragem compreendeu trechos dos rios da Onça e Cacaria, afluentes pela margem direita do Ribeirão das Lajes (Figura 4).

Foram feitas coletas quantitativas de forma aleatória sobre o solo, através de escavações superficiais (Figuras 5 e 6) em dois momentos. A primeira, em período de estiagem, no dia anterior à coleta; e, a outra, após o período de chuvas intensas. A identificação da espécie foi realizada mediante consulta aos trabalhos de Mansur (1987), utilizando parâmetros morfológicos.



FIGURA 4 - Representação gráfica de parte da bacia hidrográfica do Rio Guandu. As setas em vermelho mostram os afluentes Rio da Onça e Rio Cacaria

Fonte: Comitê Guandu, 2012



FIGURA 5 - Conchas do bivalve *Corbicula fluminea* na margem do Ribeirão das Lajes, formador do Rio Guandu, ao sul dos municípios de Pirai e Paracambi, RJ



FIGURA 6 - *Corbicula fluminea*: molusco aquático invasor estabelecido em afluente do Rio Guandu

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comprovação factual de *C. fluminea* em trechos de afluentes do Rio Ribeirão das Lajes – os rios da Onça e Cacaria – demonstra que o bivalve invasor já está presente na respectiva bacia hidrográfica. Foram observados indivíduos de diferentes tamanhos, o que demonstra a presença do bivalve em diferentes estágios de desenvolvimento (Figuras 5 e 6).

Morfologicamente, as conchas dos espécimes coletados, bem como os exemplares vivos, não apresentaram variações bruscas na formação dos anéis de crescimento, com umbos altos, inflados e afilados em uma das extremidades, ondulações na superfície externa, perióstraco de cor marrom-amarelada e aspecto semibrilhoso (Figura 7).



FIGURA 7 - Conchas do bivalve *C. fluminea*: anéis de crescimento com umbos altos, inflados e afilados em uma das extremidades e ondulações na superfície externa

Com relação ao tamanho dos indivíduos, *C. fluminea* foi observada principalmente no baixo e médio curso dos rios da Onça e Cacaria, em distâncias que variam de 6 a 7 km a partir da confluência desses rios com o Ribeirão das Lajes. Até o momento, ainda não foram observadas espécies nas porções mais elevadas das duas bacias. As figuras 5 e 6 apresentam exemplares do bivalve coletados manualmente no Rio da Onça em um dos vários pontos investigados (22°

43° 19 07" S / 43° 47' 32 41" O), distando, aproximadamente, 5,5 km a montante da confluência com o Ribeirão das Lajes, em um trecho de mais ou menos dois metros de largura, semirretilíneo, pouco profundo e com sedimentação arenosa, variando de média a grosseira. A identificação dos moluscos somente no baixo e médio curso dos rios pode indicar que a invasão ocorreu possivelmente de jusante para montante, a partir da confluência com o Ribeirão das Lajes, considerando que a vazão deste último é sempre acima dos 120 m³/s e, portanto, muito superior à dos dois afluentes, que apresentam vazões médias de 1,18m³/s e 1,64 m³/s. Essa diferença de vazão implica numa contínua ocupação de parte do leito inferior dos rios da Onça e Cacaria. A partir da mistura de águas e das condições ambientais existentes nos dois rios (pH elevado, sedimentos arenosos, meio oxigenado etc.), foi possível o deslocamento dos moluscos para o interior das bacias, sem alcançar as cotas mais elevadas. Vale a pena destacar que esses moluscos presentes nos trechos dos rios, conforme observado, certamente irão se expandir para outras áreas da bacia hidrográfica, como tem sido relatado em outras regiões [11; 20]. A comprovar-se a estratégia de colonização desses bivalves, estamos diante de uma situação de maior complexidade, pois quase toda a água do Ribeirão das Lajes, originada a partir da transposição das águas do Rio Paraíba do Sul, no município sul fluminense de Barra do Pirai, é usada para abastecer a população e gerar energia elétrica.

Dessa forma, considerando a vulnerabilidade dos sistemas naturais da região à presença do bivalve, torna-se necessário, a partir dessa primeira constatação, implementar estudos comparativos entre as áreas já afetadas e aquelas que apresentam potencial para a invasão. Como sistema de alerta, deve ser criado um modelo geral e um programa de prospecção ao longo dos trechos dos rios e para as demais regiões da bacia hidrográfica do Rio Guandu, com a finalidade de estabelecer padrões de distribuição que relacionem sua expansão, abundância e/ou fatores de abióticos e de biomassa.

Outros estudos serão necessários para que se conheçam melhor o comportamento e os processos ecológicos do organismo instalado na bacia hidrográfica do Rio Guandu e, assim, seja possível reduzir os riscos potenciais e/ou iminentes de impactos ambientais e econômicos. Outro fator de alerta é o fato de que a ocorrência de *Corbicula* spp em ambientes não autóctones, em todos os casos,

precedeu a entrada do mexilhão dourado, outro molusco bivalve com extenso histórico de danos e prejuízos ao meio ambiente e à economia.

É importante mencionar que, uma vez ocorrida, a invasão do ambiente pelo bivalve é irreversível, estimando-se que nos próximos 20 anos não será possível estabelecer um método eficiente de eliminação total desses organismos.

5. CONCLUSÃO

Através do conhecimento referencial levantado até o momento, fica estabelecido que o território hidrográfico da bacia do Rio Guandu é um alvo já atingido, embora não se possa considerar ainda, com exatidão, a proporção.

Não há dúvida de que esses organismos invasores representam um sério problema global e não diferentemente será para a região da bacia do Rio Guandu, que, em sua área de abrangência, possui uma das maiores estações de tratamento de água do mundo, várias usinas hidro e termelétricas e um complexo industrial ligado principalmente à indústria siderúrgica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Plano estratégico de recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim*: relatório do diagnóstico final. Brasília, DF, 2006.
- [2] AGUDO-PADRÓN, A. I. Recent terrestrial and freshwater molluscs of Rio Grande do Sul State, RS, Southern Brazil region: a comprehensive synthesis and check list. *Visaya*, Cebú, p. 1-13, 14, maio 2009.
- [3] ARRUDA, E. P.; AMARAL, A. C. Z. Spatial distribution of mollusks in the intertidal zone of sheltered beaches in southeastern of Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, v. 20, n.2, p. 291-300, 2003.
- [4] BOLTOVSKOY, D. *et al.* Environmental stress on *Corbicula fluminea* (Bivalvia) in the Parana River Delta (Argentina): complex pollution-related disruption of population structures. *ArchHydrobiol*, v. 138, n. 4, p. 483-507, fev. 1997.

- [5] BONETTO, A. A.; MANSUR, M. C. D. Lasnaiades de lacuencadel Guaíba. *Acta Zoologica, Lilloana*, v. 27, p. 241-260, 1970.
- [6] CARDENAS, E. B.; ARANDA, D. A. A review of reproductive patterns of bivalve mollusks from Mexico. *Bulletin Marine Science*, v. 66, n. 1, p. 13-27, 2000.
- [7] CARLTON, J. T. Molluscan invasions in marine and estuarine communities. *Malacologia*, v. 41, p. 439-454, 1999.
- [8] CATALDO, D; BOLTOVSKOY, D. Population dynamics of *Corbicula fluminea* (Bivalvia) in the Parana river delta (Argentina). *Hydrobiologia*, v. 380, p. 153-163, 1998.
- [9] CHAPIN III, F. S. *et al.* Ecosystem consequences of changing biodiversity: experimental evidence and a research agenda for the future. *Bio Science*, v. 48, n. 1, p. 45-52, 1998.
- [10] COMITESINOS. COMITÊ DE PRESERVAÇÃO, GERENCIAMENTO E PESQUISA DA BACIA DO RIO DOS SINOS. *Programa integrado de monitoramento da qualidade da água do rio dos Sinos e seus afluentes: utilização de um índice de qualidade da água para o rio dos Sinos/RS*. Porto Alegre, 1990. 43p.
- [11] CROOKS, J. A. Characterizing ecosystem-level consequences of biological invasions: the role of ecosystem engineers. *Oikos*, v. 97, p. 153-165, 2002.
- [12] DARRINGRAN, G. A. Potential impact of filter-feeding invaders on temperate inland freshwater environments. *Biological invasions*, v. 4, p. 145-156, 2002.
- [13] DEVIN, S. Patterns of biological invasions in French freshwater systems by non-indigenous macroinvertebrates. *Hydrobiologia*, v. 551, p. 137-146, 2005.
- [14] DREIER, H.; TRANQUILLI, J. A. Reproduction, growth, distribution, and abundance of *Corbicula* in an Illinois cooling lake. *Illinois Nat. Hist. Surv. Bull.*, 32, p. 378- 393, 1981.
- [15] FOCHT, T.; VEITENHEIMER-MENDES, I. L. Distribuição sazonal e reprodução de *Neocorbicula limosa* (Maton) (Bivalvia, Corbiculidae) no lago Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, Curitiba, v. 18, n. 1, p. 35-43, 2001.
- [16] FONSECA, F. O. *Olhares sobre o Lago Paranoá*. Brasília, DF: Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2001. 425p.

- [17] ITUARTE, C. F. Growth dynamics in a natural population of *Corbicula fumi-nea* (Bivalvia Sphaeriacea) a Punta Atalaya, Rio de La Plata, Argentina. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, v. 20, n.4, p. 217-225, 1985.
- [18] JARAMILLO, E.; GONZALEZ, M. Community structure and zonation of the macroinfauna along a dissipative-reflective range of beach category in Southern Chile. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, v. 26, n. 4, p.193-212, 1991.
- [19] KARR, J. R. Biological integrity: a long neglected aspect of water resource management. *Ecological Applications*, v.1, n.1, p. 26- 35, 1991.
- [20] KENNEDY, V. S.; HUEKELEM, L. Van. Gametogenesis and larval produc-tion in a population of the introduced Asiatic Clam, *Corbicula* sp. (Bivalvia: Corbiculidae), in Maryland. *Biological Bulletin*, v. 168, n.1, p. 50-60, 1985.
- [21] MANSUR, M. C. D. *et al.* Uma retrospectiva e mapeamento da invasão de espécies de *Corbicula* (Mollusca, Bivalvia, Veneroidea, Corbiculidae) oriundas do sudeste asiático, na América do Sul. In: SILVA, J. S. V. de; SOUZA, R. C. C. L. de (Ed.). *Água de lastro e bioinvasão*. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. cap. 5, p. 39-58.
- [22] MANSUR, M. C. D.; GARCES, L. Ocorrência e densidade de *Corbiculafluminea* (Mueller, 1774) e *Neocorbicula limosa* (Maton, 1811) na Estação Ecológica do Taim e áreas adjacentes, Rio Grande do Sul, Brasil (Mollusca, Bivalvia, Corbiculidae). *Iheringia*, v. 68, p. 99-115, 1988. (Série Zoologia).
- [23] MANSUR, M. C. D.*et al.* Moluscos Bivalves de água doce: Identificação do gênero do Sul e Leste do Brasil. *Acta Biologica Leopoldensia*, v. 9, n. 2, p. 181-202, 1987.
- [24] MANSUR, M. C. D. *et al.* Primeiros dados quali-quantitativos do mexilhão-dourado, *Limnoperna fortunei* (Dunker), no delta do Jacuí, no lago Guaíba e na Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil e alguns aspectos de sua invasão no novo ambiente. *Revista Brasileira de Zoologia*, v. 20, p. 75-84, 2003.
- [25] MANSUR, M. C. D.; VALER, R. M.; AIRES, N. C. M. Distribuição e preferências ambientais dos moluscos bivalves do açude do Parque de Proteção Ambiental Copesul, Município de Triunfo, Rio Grande do Sul, Brasil. *Biociências*, v. 2, n. 1, p. 27-45, 1994.

- [26] McMAHON, R.F. Ecology of non invasive pest bivalve *Corbicula*. In: RUSSELL-HUNTER, W. D. *The Mollusca Ecology*. New York: Academic Press, 1983. p. 505-561.
- [27] OLSON, L. J.; ROY, S. The economics of controlling a stochastic biological invasion. *American Journal of Agricultural Economics*, v. 84, n. 5, p. 1311-1316, Nov. 2001.
- [28] PIMENTEL, D. *et al.* Environmental and economic costs of non indigenous species in the United States. *Bioscience*, v. 50, n. 1, p. 53-56, 2000.
- [29] SHOGREN, J. F. Reduction Strategies against the “explosive invader”. In: PERRINGS, C.; WILLIAMSON, M.; DALMAZZONE, S. (Ed.). *The economics of biological invasions*. Cheltenham: Edward Elgar, 2000. p. 56-69.
- [30] VEITENHEIMER-MENDES, I.; OLAZZARI, J. Primeros registros de *Corbicula Mergele*, (1811 Bivalva, Corbiculidae) para el rio Uruguay. *Boletín de la Sociedad de Zoología del Uruguay*, v. 1, p. 50-53, 1983.
- [31] VIDIGAL, T. H. D. A. *et al.* Gastrópodes e bivalves límnicos do trecho médio da bacia do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. *Lundiana*, v.6, p. 67-76, 2005.
- [32] VOLOSHKEVICH E.V; Son, V. O. *Corbicula fluminalis*: a new species of bivalve molluscs in the fauna of Ukraine. *Vestnik Zool*, v.36, n. 94, 2002.

AUTORES

Décio Tubbs Filho | Mestre em Geoquímica Ambiental pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Doutorando em Geociências pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Professor adjunto do Departamento de Geociências do Instituto de Agronomia e do curso de Geologia da Universidade Federal Rural Fluminense (UFRRJ). Diretor-geral do Comitê Guandu. | tubbs@ufrj.br

Janaina Silva Vettorazzi | Doutora em Biologia Animal pela UFRRJ. Coordenadora de Estudos e Projetos Ambientais do Comitê Guandu. | janainacomiteguandu@gmail.com

RESUMO | O projeto Produtores de Água e Floresta se propõe a aplicar o modelo Provedor - Recebedor, por meio de um sistema de pagamentos por serviços ambientais, incentivando, mediante compensação financeira, os agentes que comprovadamente adotarem práticas para a proteção e recuperação de mananciais, auxiliando a recuperação do potencial de geração de serviços ecossistêmicos e provendo benefícios às bacias hidrográficas e à sociedade. Para elaboração e gestão do projeto, constituiu-se um termo de cooperação técnica em parceria com a Secretaria de Estado do Ambiente (SEA), o Instituto Estadual do Ambiente (Inea), o Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Guandu, a Prefeitura Municipal de Rio Claro, a ONG internacional The Nature Conservancy (TNC) e o Instituto Terra de Preservação Ambiental (ITPA), formalmente denominado Unidade Gestora do Projeto (UGP). O objetivo da UGP é viabilizar a implementação do projeto e o compartilhamento da sua gestão entre Poder Público, instância deliberativa e sociedade civil organizada. O projeto vem obtendo grande êxito e atualmente envolve 43 proprietários rurais. Formalmente contratados pela Agência de Bacia (Agevap), eles totalizam uma meta aproximada de 3.000 ha de conservação florestal, além de 200 hectares de restauração florestal.

PALAVRAS-CHAVE | Serviços Ambientais; Incentivo Econômico; Preservação Ambiental.

ABSTRACT | Based on the degradation of the Atlantic Forest and its importance to life preservation, the pilot project Water and Forest Producers has been developed. The project is a strategy developed to implement the provider-receiver model. The project establishes a payment for environmental services (PES) scheme that rewards farmers that contribute to the protection and recovery of remaining forests, and who also support the recovery the potential of water resources production as well as other benefits. A working group was established with members representing the Environmental State Secretariat, the Guandu River Watershed Committee, the City of Rio Claro, The Nature Conservancy (TNC) and the Conservation Land Institute; officially known as the Project Management Unit (PMU), which enables shared management and implementation responsibilities between government, deliberative proceedings and civil society. Currently, the project has been expanded to another watershed including the rivers Coutinho and Braço. The project's potential can reach up to fifteen thousand (15,000) hectares. The PES scheme has shown to be an effective tool to support the State's PES Policy (Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais created by Decree Nº 42.029/2011). In its first year of implementation (2009), 60 hectares of Atlantic forest have been restored, and other 920 ha protected. At the end of the third year (2011), a total of 206 ha were being restored and 3.000 ha of forest conserved.

KEYWORDS | Environmental Services; Economic Incentive; Environmental Preservation.

Produtores de Água e Floresta, Rio Claro, Rio de Janeiro

Mariana Barbosa Vilar

Juliana Bustamante

Maurício Ruiz

1. INTRODUÇÃO

Instrumentos econômicos podem ser úteis e efetivos para promover a conservação ambiental. Dentre esses instrumentos, o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) tem obtido merecido destaque no Brasil, não apenas pelo seu potencial de apoiar a proteção e o uso sustentável dos recursos ambientais, mas por possibilitar melhorias na qualidade de vida de pequenos produtores rurais (MMA, 2011). Ao atribuir valor econômico aos serviços ambientais e incentivar proprietários rurais a conservar os recursos naturais, evidencia-se o caráter multifuncional do meio ambiente. Dessa maneira, o valor da natureza pode ser reconhecido pela sua importância nos processos de regulação ecológica, hoje fora dos valores de mercado.

A teoria econômica tradicional não reconhece os bens e serviços ambientais como componentes do sistema econômico, portanto, eles não são transacionados no mercado. Entretanto, a economia ecológica lança um olhar crítico sobre a degradação ambiental resultante dos processos de produção e consumo, tentando integrar os sistemas econômicos às condições da natureza (LEFF, 2001)¹.

¹ Para aprofundamento nos temas PSA e serviços ambientais (conceitos, valoração e implementação), sugere-se a leitura da publicação do MMA sobre PSA na Mata Atlântica, cuja referência bibliográfica encontra-se no final deste artigo.

Nesse cenário, o projeto Produtores de Água e Floresta foi lançado em 2009 com o objetivo de remunerar proprietários rurais pela restauração florestal e pela manutenção de florestas em suas propriedades. A área foco do projeto está localizada em Lídice, município de Rio Claro, Rio de Janeiro, e abrange uma área total de 5.227 ha, compreendendo as principais nascentes do Rio Pirai. Esse manancial é responsável por até 15% dos recursos hídricos disponíveis no Sistema Guandu, destacando-se, igualmente, pela alta relevância para a biodiversidade da Mata Atlântica, sendo zona núcleo da Reserva da Biosfera, entorno do Parque Estadual Cunhambebe e território da Área de Proteção Ambiental do Alto Pirai.

A bacia hidrográfica do Rio Guandu é responsável por cerca de 80% do abastecimento de água e 25% da energia elétrica gerada para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, onde beneficia aproximadamente sete milhões de pessoas (ANA, MMA, 2006). Tem como instância de gestão um dos mais atuantes comitês de bacia hidrográfica de todo o Brasil. A Agência de Bacia (Agevap) é considerada a entidade jurídica que executa as ações do Comitê Guandu.

A região hidrográfica do Rio Guandu é marcada historicamente pela exploração de seus recursos naturais, com o predomínio de modos de produção – como a pecuária leiteira de baixa produtividade – que resultaram em um cenário de progressiva degradação do ambiente (desmatamento, deterioração do solo e recursos hídricos, assoreamento, entre outros). Com o intuito de superar esses e outros obstáculos ao desenvolvimento sustentável, as atividades desenvolvidas no âmbito do projeto Produtores de Água e Florestas buscam estruturar e proporcionar maior sustentabilidade aos recursos da bacia hidrográfica do Rio Guandu por meio do mecanismo de PSA em desenvolvimento.

Este trabalho tem por objetivo apresentar o projeto Produtores de Água e Florestas, suas ações, metodologia e resultados alcançados até o início do primeiro semestre de 2012.

2. METODOLOGIA

A área-piloto do projeto tem 5.000 ha e está localizada na microbacia do Rio das Pedras (Figura 1), situada no alto da bacia do Rio Guandu, no município de Rio Claro. Nessa região encontra-se a nascente do Rio Pirai, que é considerado um dos mais importantes rios do Sistema Guandu.

A região do projeto localiza-se no chamado Corredor de Biodiversidade Tinguá-Bocaina. Esse corredor conecta os maciços florestais representados, de um lado, pela Reserva Biológica do Tinguá, na região central fluminense, e, de outro, pelo Parque Nacional da Serra da Bocaina, no litoral sul. Sua área total soma 195.000 ha de floresta no Estado do Rio de Janeiro. O Ministério do Meio Ambiente (MMA) e a Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (Unesco) reconheceram esse corredor como uma das áreas prioritárias mais importantes para a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica. A região do Corredor Tinguá-Bocaina é considerada também o ponto mais crítico de fragmentação do cordão da Serra do Mar, maior extensão contígua de Mata Atlântica ainda existente, estendendo-se do Paraná até o Rio de Janeiro (MMA, 2000).

2.1 Gestão do projeto

Para a mobilização e gestão participativa do projeto constituiu-se um grupo de trabalho entre membros da SEA, Inea, Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH) do Rio Guandu, Prefeitura Municipal de Rio Claro, TNC e ITPA, formalmente denominado Unidade Gestora do Projeto (UGP). A UGP possibilita a implantação e gestão compartilhadas desse projeto entre Poder Público, instância deliberativa e sociedade civil organizada.

Por meio de reuniões periódicas desse grupo, foram definidas as participações de cada instituição, de forma a executar as seguintes metas:

- ≡ Coordenação e monitoramento - processo de construção do projeto executivo, seus trâmites para aprovação e formalização das parcerias, formação e capacitação de equipe técnica, coordenação e execução das atividades na área do projeto e interação dos parceiros;
- ≡ Levantamento de informações e replicação - prover o projeto de informações fundamentais a respeito do perfil socioagrícola, ambiente físico, cobertura vegetal, potencial de geração de serviços ambientais (prioridade para a produção de água, contenção de sedimentos e manutenção da biodiversidade), assim como a difusão e capacitação da iniciativa;
- ≡ Restauração florestal - reconstituir a cobertura florestal em áreas de preservação permanente e com alto potencial de aporte de água para o sistema;

- ≡ Conservação de florestas - mitigar a pressão e o efeito de borda em fragmentos contíguos a pastagens e áreas de uso antrópico;
- ≡ Saneamento ambiental - mitigar a contaminação e degradação dos recursos hídricos da bacia por meio do incentivo e instalação de biossistemas e contenções de sedimentos em estradas;
- ≡ Pagamento por serviços ambientais - compensação financeira pelo cumprimento de metas de conservação e restauração ambiental;
- ≡ Sistematização da experiência e comunicação - consolidar e possibilitar a utilização das experiências vivenciadas para futuras iniciativas semelhantes.



FIGURA 1 - Área-piloto do projeto Produtores de Água e Florestas, Rio Claro, RJ
 Fonte: ITPA, 2011

2.2 Base legal

A implantação do projeto-piloto em Rio Claro teve o apoio da prefeitura municipal, que publicou a Lei Municipal nº 514/2010, criando o projeto Produtor de Águas e Florestas, e autorizou o Executivo a prestar apoio financeiro aos proprietários de reservas particulares do Patrimônio Natural (RPPNs). Essa lei permitiu a criação do projeto com o objetivo de implantar ações para a melhoria da qualidade e o aumento da quantidade das águas, e também de medidas que visem à conservação da biodiversidade no município de Rio Claro.

Em 2011, o Legislativo municipal de Rio Claro regulamentou a Lei nº 514/2010, através do Decreto nº 931, de 1º de julho de 2011. Este decreto regulamentou a Lei Municipal nº 514, de 29 de dezembro de 2010, e deu outras providências.

No âmbito do CBH do Rio Guandu, a Resolução nº 42, de 18 de dezembro de 2009, definiu os recursos financeiros, arrecadados através da subconta do Comitê Guandu no Fundo Estadual de Recursos Hídricos (Fundrhi), a serem aplicados nesse projeto.

2.3 Contratação

O projeto Produtores de Água e Floresta é destinado aos proprietários, detentores de imóveis rurais ou responsáveis pelo uso e manejo do solo nas cabeceiras das bacias contribuintes da região hidrográfica do Guandu. Estão aptos a submeter propostas:

- ≡ Pessoas físicas proprietárias de imóveis rurais, desde que comprovada sua relação legal com o imóvel;
- ≡ Pessoas jurídicas sem fins lucrativos de comunidades tradicionais (quilombolas, indígenas e caiçaras);
- ≡ Prefeituras que tenham legislação aprovada sobre PSA, desde que apresentem propostas de proprietários rurais munícipes.

Os critérios utilizados para a escolha dos proprietários participantes são: intenção de conservação ou restauração; quantidade de áreas prioritárias para produção de água dentro da propriedade; estado de conservação dos fragmentos florestais localizados dentro da propriedade e localização na área de abrangência do projeto.

Para adesão ao projeto, ou seja, para pleitear recursos de PSA no âmbito do projeto, os proponentes/candidatos devem submeter proposta descrevendo as ações e metas de conservação e restauração florestal para a propriedade contratada.

A condição mínima para adesão ao projeto é que, do total de área sem cobertura florestal em áreas prioritárias ao projeto², sejam disponibilizados no mínimo 25% para restauração. Esse percentual influencia diretamente a valoração do serviço ambiental prestado, conforme exposto no próximo item. Aqueles proprietários que disponibilizam maiores percentuais de áreas prioritárias para restauração recebem os maiores valores referentes às áreas de conservação.

2.4 Valoração dos serviços ambientais prestados

Existem muitos desafios em relação à valoração econômica dos serviços ambientais, por envolverem questões éticas, filosóficas ou metodológicas (TEEB, 2010). No entanto, essas iniciativas são extremamente valiosas e devem ser preservadas, não somente por motivos sociais, éticos ou ambientais, mas também por razões econômicas (MMA, 2011).

A valoração do serviço ambiental prestado se deu com base na área (em hectares) contratada e no percentual de restauração proposto, cujo cálculo utiliza como valor de referência o custo de oportunidade local³ (R\$ por ha/ano), associado a quatro parâmetros (Tabela 1): áreas em conservação e restauração (ha), nível de prioridade para a produção de água na bacia-piloto (APPs⁴ e Áreas Interceptoras de Água⁵), estágio de sucessão dos remanescentes em conservação (avançado, médio ou inicial) e contexto geográfico de proximidade ou inclusão em Unidades de Conservação (UCs).

² Áreas Prioritárias: porções do território definidas como foco para os objetivos do projeto. Constituem as APPs (margens de rios e nascentes; Lei nº 4775/65) e as áreas interceptoras de umidade (porções das encostas que interceptam a umidade) (Barboza, 2006).

³ Custo de Oportunidade Local: Potencial de geração de riqueza por área. Fixado para o município de Rio Claro com base nos principais usos e índices de produção acompanhados pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater/RJ) na elaboração do projeto.

⁴ APPs: áreas de preservação permanente, conforme Lei nº 4771/65. Neste projeto, são consideradas apenas as APPs de margens de rios e no entorno de nascentes e lagos.

⁵ Áreas Interceptoras de Água: porções do território avaliadas como de maior potencial para interceptação de umidade atmosférica, definidas em mapa disponível para consulta na secretaria executiva da UGP.

TABELA 1 - REFERÊNCIA PARA CÁLCULO DE PSA POR AÇÃO IMPLEMENTADA

Restauração		Bem Cuidada (R\$/ha)	Médio Cuidada (R\$/ha)	
		50,00	30,00	
% de Restauração (Adesão)				
Conservação		25 - 50%	51 - 75%	76 - 100%
Sem contexto de proximidade ou inclusão em UC	APPs + áreas interceptoras (Vegetação em estágio médio/avançado)	30,00	40,00	50,00
	APPs + áreas interceptoras (Vegetação em estágio inicial)	20,00	30,00	40,00
	Outras áreas com floresta (estágio médio/avançado)	20,00	30,00	40,00
	Outras áreas com floresta (estágio inicial)	10,00	20,00	30,00
Entorno de Unidades de Conservação + Áreas de Proteção Ambiental + Reserva Particular do Patrimônio Natural	APPs + áreas interceptoras (Vegetação em estágio médio/avançado)	36,00	48,00	60,00
	APPs + áreas interceptoras (Vegetação em estágio inicial)	24,00	36,00	48,00
	Outras áreas com floresta (estágio médio/avançado)	24,00	36,00	48,00
	Outras áreas com floresta (estágio inicial)	12,00	24,00	36,00

* Valores máximos calculados em R\$/ha
 Fonte: ITPA, 2012

Wunder (2005) e Vilar *et al* (2010) afirmam que um sistema de PSA deve cobrir o custo de oportunidade da terra, sendo este um método amplamente utilizado para balizar as tomadas de decisões e os valores a serem adotados para o pagamento por serviços ambientais.

Esses pagamentos prestados aos proprietários contratados no projeto estão condicionados à avaliação das atividades desenvolvidas em suas propriedades para

cumprimento das metas contratadas. Essa avaliação, atualmente realizada pela Agevap, acontece através da análise de relatórios periódicos e vistoria de campo, onde são observados o estado geral e os cuidados com as ações implantadas. A partir dessa análise e do resultado da vistoria da Agevap, a UGP autoriza os pagamentos, que são realizados pela Agevap com apoio do ITPA.⁶

2.5 Recursos orçamentários

Os valores destinados para a aplicação de recursos no projeto Produtores de Água e Florestas são determinados pelo Comitê Guandu, através das resoluções que tratam de seu orçamento e da alocação dos recursos disponíveis para investimentos em ações oriundas de demandas espontâneas ou induzidas na bacia.

Os recursos destinados aos pagamentos pelos serviços ambientais prestados no âmbito do projeto são fixados e deliberados pelo Comitê Guandu em sua Resolução nº 42, de dezembro de 2009. Esses recursos foram ratificados pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos na Resolução nº 43, de maio de 2010, garantido sua aplicabilidade para PSA no âmbito do projeto.

2.6 Ações de conservação e restauração florestal

As metas de conservação de fragmentos florestais são determinadas através da identificação de áreas com intenso efeito de borda e vetores de pressão. Essa ação geralmente é realizada em conjunto com os proprietários durante a alocação das áreas a serem contratadas em visitas de campo. Posteriormente, após efetivação do contrato de prestação de serviços ambientais, inicia-se a implantação de medidas de isolamento dessas áreas. O isolamento para a conservação de remanescentes florestais é implantado conjuntamente com os demais isolamentos de áreas de restauração.

⁶ O fluxograma das atividades apresentado na sequência desse artigo traz esse esquema mais detalhado.

As metas de restauração são negociadas junto aos proprietários rurais e podem ser efetivadas através de diferentes métodos, tais como: plantio total, condução de regeneração, nucleação, enriquecimento ou através de sistemas agroflorestais, seguindo os padrões referendados no Pacto de Restauração da Mata Atlântica (2011). No plano de trabalho de cada propriedade são descritas as diferentes ações de restauração. Contudo, a primeira etapa desse processo é o isolamento e a proteção da área para a mitigação, em especial, da pressão de pastoreio.

2.7 Fluxograma atual do projeto Produtores de Água e Floresta

Os sistemas de PSA são complexos e exigem envolvimento dos diversos atores partícipes do processo. Cada sistema é desenvolvido de acordo com as particularidades de cada região e do serviço ambiental prestado. A Figura 2 ilustra de forma sintética os procedimentos do projeto.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atualmente o projeto conta com 43 propriedades contratadas no município de Rio Claro e existe grande expectativa de que outros proprietários rurais adiram ao projeto, o que reflete a aceitação dessa iniciativa na região. Além disso, percebe-se que o sistema de PSA, além de gerar renda diretamente, é um reconhecimento aos proprietários rurais que prestam serviços ambientais à sociedade. Serviços como produção de água, regulação climática, manutenção da biodiversidade, entre outros, fundamentais à sobrevivência humana. Na Tabela 2 são apresentados alguns números do projeto.

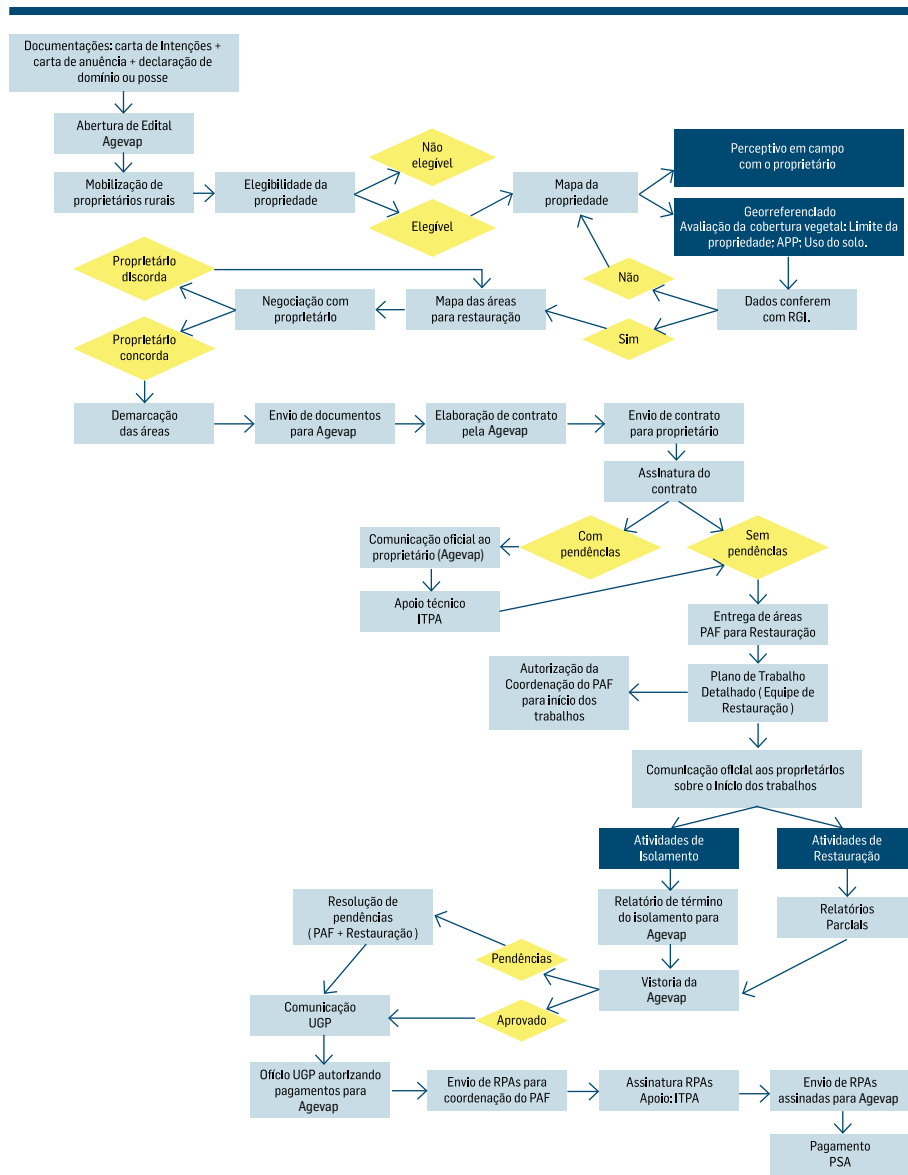


FIGURA 2 - Fluxograma das atividades do projeto Produtores de Água e Floresta, Rio Claro, RJ

Fonte: ITPA, 2012

TABELA 2 – ÁREAS CONTRATADAS PARA CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO FLORESTAL NO ÂMBITO DO PROJETO PRODUTORES DE ÁGUA E FLORESTAS

Tipo de Contrato	Número de proprietários	Conservação (ha)	Restauração (ha)
Contrato Papur 2010	17	852,12	65,49
Edital Agevap 2011 – I chamada	21	2.062,53	111,68
Edital Agevap 2011 – II chamada	5	93,44	31,44
TOTAL	43	3.008,09	208,61

Fonte: ITPA, 2012

As atividades de restauração envolvem inicialmente o isolamento e todo o processo de preparo de áreas (abertura de berços, calagem, adubação e controle de formigas), plantio das mudas, controle do mato-competição e adubação de cobertura. Essas atividades são realizadas sistematicamente após o plantio e são acompanhadas pela equipe do projeto. As mudas utilizadas no plantio são recomendadas pela literatura e são consideradas como adaptadas aos processos de restauração florestal local. Busca-se, assim, garantir a diversidade biológica da região através da utilização de espécies florestais distintas, como pode ser visualizado na Tabela 3.

TABELA 3 – LISTA DE ESPÉCIES FLORESTAIS UTILIZADAS PARA RESTAURAÇÃO EM PROPRIEDADES CONTRATADAS NO PROJETO PRODUTORES DE ÁGUA E FLORESTAS

Nome vulgar	Nome científico	Nome vulgar	Nome científico
Açoita-Burro	<i>Luehea</i> sp.	Araribá-Vermelho	<i>Centrolobium tomentosum</i>
Açoita-Cavalo	<i>Luhea grandiflora</i>	Aroeira	<i>Schinus terebinthifolius Raddi</i>
Açoita-Purunga	<i>Luehea</i> sp.	Aroeira-do-Sertão	<i>Myracrodruon urundeuva Allemão</i>
Aldrago	<i>Pterocarpus violaceus</i>	Amendoim-Bravo	<i>Peterogyne</i> sp.
Amarelão	<i>Senna multijuga</i>	Amora	<i>Maclura tinctoria</i>
Angelim-Coco	<i>Andira fraxinifolia Benth.</i>	Babosa-Branca	<i>Cordia albizia</i>

TABELA 3 – LISTA DE ESPÉCIES FLORESTAIS UTILIZADAS PARA RESTAURAÇÃO EM PROPRIEDADES CONTRATADAS NO PROJETO PRODUTORES DE ÁGUA E FLORESTAS

Nome vulgar	Nome científico	Nome vulgar	Nome científico
Angico	<i>Anadenabthera macrocarpa</i>	Banana-de-Quati	<i>Swartzia oblata</i>
Angico-Branco	<i>Senna multijuga</i>	Baruna-Preta	<i>Melanoxylon brauna</i>
Angico-Cangalha	<i>Mimosa artemisiana</i>	Boleira	<i>Joannesia princeps Vell.</i>
Angico-Canjiquinha	<i>Peltophorum dubium</i>	Breu-Vermelho	<i>Protium heptaphyllum</i>
Acácia-Rosa	<i>Acacia</i> sp.	Cajazão	<i>Rollinia laurifolia Schlttdl.</i>
Acácia-do-Brejo	<i>Acacia</i> sp.	Cajá-Mirim	<i>Spondias mombin</i>
Araçá	<i>Psidium cattleianum</i>	Camboatá-Branco	<i>Toulicia laevigata Radlk.</i>
Araçá-da-Mata	<i>Psidium longipetiolatum</i>	Camboatá-Nativo	<i>Cupania emarginata Cambess.</i>
Canafistula	<i>Canafistola</i> sp.	Cambucá	<i>Myrciaria strigipes O.Berg</i>
Capichingui	<i>Croton floribundus Spreng.</i>	Casca-Rosada	<i>Maytenus multiflora Reiss.</i>
Cascudeira	<i>Cordia superba Cham.</i>	Figueira-Limão	<i>Ficus</i> sp.
Castanha-do-Maranhão	<i>Bombacopsis glabra</i>	Fruta-de-Macaco	<i>Posoqueria latifolia</i>
Catuaba-Branca	<i>Eriotheca candolleana</i>	Fruta-do-Conde	<i>Rollinia mucosa</i>
Cedro-Rosa	<i>Cedrela odorata Linn.</i>	Gabiroba	<i>Campomanesia guazumifolia</i>
Cerejeira (Me)	<i>Amburana cearensis</i>	Garapa	<i>Apuleia leiocarpa</i>
Cordia	<i>Cordia sellowiana</i>	Goiaba	<i>Psidium guajava</i>
Cupuba	<i>Tapirira guianensis Aubl.</i>	Farinha-Seca	<i>Pterygota brasiliensis Fr. All.</i>
Fedegoso	<i>Senna macranthera</i>	Goiaba-do-Ipiranga	<i>Psidium cattleianum Sabine</i>
Guaiti (Me)	<i>Licania salzmannii</i>	Gonçalo-Alves	<i>Astronium concinnum</i>
Gurindiba	<i>Trema micrantha</i>	Ipê-Amarelo-do-Campo	<i>Handroanthus chrysotrichus</i>
Guapuruvú	<i>Schizolobim parahyba</i>	Ipê-Branco	<i>Tabebuia rosea Alba</i>
Imbaúba-Mirim	<i>Cecropia pachystachya</i>	Ipê-Brasil	<i>Handroanthus umbellatus</i>
Ingá-Amarelo	<i>Inga</i> sp.	Ipê-Felpudo	<i>Zeyheria tuberculosa</i>
Imbiruçu	<i>Pseudobombax grandiflorum</i>	Ipê-Cinto-Folhas	<i>Sparottosperma leucanthum</i>
Ingá-Branco	<i>Inga striata Benth.</i>	Ipê-Roxo	<i>Handroanthus heptaphyllus</i>

TABELA 3 – LISTA DE ESPÉCIES FLORESTAIS UTILIZADAS PARA RESTAURAÇÃO EM PROPRIEDADES CONTRATADAS NO PROJETO PRODUTORES DE ÁGUA E FLORESTAS

Nome vulgar	Nome científico	Nome vulgar	Nome científico
Ingá-do-Brejo	<i>Inga uruguensis (Sw.) Willd.</i>	Ipê-Rosa	<i>Tabebuia avellanedae</i>
Ingá-da-Praia	<i>Inga laurina (Sw.) Willd.</i>	Ipê-Verde	<i>Cybstax antisiphilitica</i>
Ingá-Quatro-Minas	<i>Inga uruquaensis</i>	Jaboticaba	<i>Myrciaria jaboticaba</i>
Ingá-de-Metro	<i>Inga edulis</i>	Jacarandá-Bahia	<i>Dalbergia miscolobium</i>
Ipê Amarelo	<i>Handroanthus riodicensis</i>	Jacarandá-Caviúna	<i>Dalbergia nigra</i>
Jequitibá Rosa	<i>Cariniana legalis</i>	Jacaranda-Mimoso	<i>Jacaranda mimosifolia</i>
Jurema	<i>Pithecolobium tortum</i>	Jacaré	<i>Piptadenia gonoacantha</i>
Leiteira	<i>Peschiera fuchsiaefolia</i>	Jacarandá-de-Minas	<i>Jacaranda cuspidifolia</i>
Mamão-Jacatiá	<i>Jacaratia spinosa</i>	Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i>
Massaranduba-Nativo	<i>Manilkara salzmannii</i>	Jenipapo-Amarelo	<i>Genipa infundibuliformis</i>
Mata-Pau	<i>Ficus gomelleira</i>	Jequitibá-Branco	<i>Cariniana estrellensis</i>
Mirindiba	<i>Lafoensia gliptocarpa</i>	Pau-D'alto	<i>Gallesia integrifolia</i>
Monjoleiro	<i>Acacia polyphilla</i>	Orelha-de-Negro	<i>Enterolobium sp.</i>
Mulato-Velho	<i>Citharexylum myrianthum</i>	Oiti	<i>Licania tomentosa</i>
Mululo	<i>Aegiphila Sellowiana Cham.</i>	Paineira	<i>Clorisia speciosa</i>
Mulungu	<i>Erythrina Velutina</i>	Paineira-Rosa	<i>Pseudobombax grandiflorum</i>
Olho-de-Cabra	<i>Ormosia arborea</i>	Paineira-Rosa (Me)	<i>Pseudobombax grandiflorum</i>
Óleo-Baio	<i>Deguelia longeracemosa</i>	Paineira Branca	<i>Chorisia glaziovii</i>
Óleo de Copaíba	<i>Copaifera langsdorffii Desf.</i>	Palmito-Juçara	<i>Eutherp edulis</i>
Pau-Ferro	<i>Caesalpinia ferrea</i>	Pau-Brasil	<i>Caesalpinia echinata Lam.</i>
Pau-Pólvora	<i>Trema sp.</i>	Pau-Tamanco	<i>Tabebuia obtusifolia</i>
Pau-Roxeado	<i>Peltogyne confertiflora</i>	Pau-Formiga	<i>Triplaris brasiliana</i>
Peloteira	<i>Guarea guidonia</i>	Pinha-da-Mata	<i>Rollinia laurifolia Schlttd.</i>
Peroba-Osso	<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i>	Pitanga	<i>Eugenia uniflora Lin.</i>
Pitanga-Mirim	<i>Eugenia sp.</i>	Quaresma	<i>Tibouchina fissinervia Cogn.</i>

TABELA 3 – LISTA DE ESPÉCIES FLORESTAIS UTILIZADAS PARA RESTAURAÇÃO EM PROPRIEDADES CONTRATADAS NO PROJETO PRODUTORES DE ÁGUA E FLORESTAS

Nome vulgar	Nome científico	Nome vulgar	Nome científico
Pitomba Amarela	<i>Talisia intermedia Radlk.</i>	Sabiá Sansão-do-Campo	<i>Mimosa caesalpiniiifolia Benth.</i>
Sabonteira	<i>Sapindus saponaria</i>	Sapucaia-Vermelha	<i>Lecythis pisonis Cambess.</i>
Saco-de-Mono	<i>Swartzia acutifolia Vogel</i>	Sandra-D'água	<i>Croton urucurana</i>
Sena	<i>Senna alexandrina Mill</i>	Tamburil	<i>Reltophorum dubim</i>
Sibipiruna	<i>Caesalpinia peltophoroyides</i>	Uva-Branca	<i>Alchornea iricurana Casar.</i>
Vinhático	<i>Plathymenia foliolosa</i>	Grumixama	<i>Eugenia sp.</i>

3.1 Benefícios indiretos

Além da compensação financeira pela prestação de serviços ambientais, o referido projeto contribui para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental da região. Dentre os principais benefícios indiretos do projeto, destacam-se:

Saneamento rural através da implantação de biossistemas

Comunidades atendidas: Associação de Remanescentes de Quilombolas da Serra do Mar (aproximadamente 30 pessoas) e Comunidade da Várzea do Inhame (aproximadamente 100 pessoas).

Definição do biossistema: tratamento biológico de efluentes com aproveitamento de biogás e reciclagem de nutrientes através de biossistemas integrados.

Benefícios:

- ≡ Simplifica a operação com processos naturais de purificação e reciclagem;
- ≡ Recicla nutrientes, eliminando a necessidade de fontes externas, fertilizantes e outros produtos químicos tóxicos;
- ≡ Reduz a eutrofização das águas;

- ≡ Reduz os custos líquidos de operação para o município;
- ≡ Diminui os riscos à saúde pública através da redução de agentes patogênicos a níveis seguros;
- ≡ Utiliza processos naturais de despoluição, evitando custos e aumentando os benefícios;
- ≡ Gera biogás, energia renovável, a partir de biomassa (derivados de dejetos humanos e animal);
- ≡ Permite o reuso da água e do biossólido na produção sustentada de alimentos e recupera solos degradados;
- ≡ Aumenta a consciência ecológica quanto à necessidade de se preservar o ambiente para as futuras gerações.

Componentes sociais

As atividades do projeto Produtores de Água e Florestas têm aquecido o mercado local, devido à geração de empregos diretos e indiretos e ao incremento de renda dos proprietários rurais contratados pelo projeto. A aquisição de insumos necessários às atividades do projeto e o consumo de bens materiais pelos trabalhadores contratados pelo ITPA – cujo poder aquisitivo foi potencializado – movimentam o comércio local. O ITPA é responsável, hoje, por todo o processo de implantação, manutenção e coordenação dos trabalhos de campo.

Até o final de dezembro de 2011 estavam contratados 36 auxiliares de campo, sendo 18 deles da região do Rio das Pedras, área do projeto-piloto. Além de gerar empregos, os funcionários recebem capacitação profissional para atuarem como auxiliares de restauração florestal, aprendendo técnicas de preparo do solo, controle de formigas, adubação, plantio e manutenção florestal.

Os proprietários contratados recebem, além do incentivo financeiro por área conservada/restaurada, materiais necessários para o isolamento de áreas (mourão, arame, grampo) e todos os insumos essenciais à restauração florestal. Vale destacar que, ao serem tecnicamente instruídos pelo ITPA, os proprietários

rurais passam a entender a real importância da prestação de serviços ambientais, tornando-se agentes multiplicadores desse processo.

Outro destaque nesse componente social são as ações de educação ambiental que permeiam as atividades do projeto. Elas acontecem na forma de palestras, realizadas nas escolas municipais de Rio Claro, e abordam diversos temas ambientais, contribuindo para a formação dos estudantes e para a divulgação do projeto. É interessante ressaltar que a sede do ITPA no município de Rio Claro está localizada na Escola Municipalizada do Rio das Pedras, que foi revitalizada pela instituição para abrigar a equipe do projeto. Trata-se de mais um dos benefícios indiretos gerados pelo projeto, visto que à época a escola estava abandonada e foi reativada após a intervenção do Instituto. Atualmente a Escola do Rio das Pedras atende a 41 alunos da região.

O PSA no município de Rio Claro também tem possibilitado à Associação de Remanescentes de Quilombolas do Alto da Serra do Mar a implantação de benfeitorias como o galpão para realização de eventos na comunidade. O ITPA forneceu o suporte técnico para o planejamento e aquisição dos recursos financeiros usados para construir o galpão.

Conclui-se, portanto, que o projeto Produtores de Água e Florestas vem obtendo resultados satisfatórios em nível socioeconômico, contribuindo para o desenvolvimento local. Ressalta-se ainda que os benefícios ambientais gerados pelo projeto abrangem a conservação dos solos, redução de erosões, abastecimentos dos lençóis freáticos, aumento da biodiversidade e cobertura vegetal local. Além disso, as ações de restauração florestal contribuem diretamente para a interligação de importantes fragmentos florestais da Mata Atlântica, através do corredor de biodiversidade Tinguá-Bocaina.

AGRADECIMENTOS

Aos parceiros do projeto TNC, do Comitê Guandu, da Prefeitura Municipal de Rio Claro, do Inea, da SEA e do CI (Conservação Internacional). Ao Gilberto de Souza Pereira, que coordenou as ações do projeto até o final de 2011. Agradecemos ainda aos proprietários rurais contratados pela confiança na equipe do projeto e pela prestação dos serviços ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Plano Estratégico de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim*: relatório do diagnóstico final. Brasília, DF, 2006.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica e Campos Sulinos*. Brasília, DF, 2000. 40p.

GUEDES, Fátima B.; SEEHUSEN, Susan E. (Org.). *Pagamento por serviços ambientais na Mata Atlântica*: lições aprendidas e desafios. Brasília, DF: MMA, 2011. 276 p.

LEFF, E. *Saber ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder*. 3. ed. Petrópolis, Vozes, 2001. 494 p.

PACTO PELA RESTAURAÇÃO DA MATA ATLÂNTICA. *Protocolo de monitoramento para programas/ projetos de restauração florestal*. [S.l.]: 2011. 40 p.

PAGIOLA, S.; LANDELL-MILLS, N. e BISHOP, J. Mecanismos baseados no mercado para a conservação florestal e o desenvolvimento. In: _____. *Mercados para serviços ecossistêmicos*. Rio de Janeiro, REBRAAF, 2005. p. 1-8.

RIO CLARO (RJ). Decreto nº 931, de 01 de julho de 2011. Regulamenta a Lei Municipal nº 514 de 29 de dezembro de 2010, e dá outras providências. Rio Claro, Câmara Municipal, 2011.

_____. Lei Municipal nº 514 de 29 de dezembro de 2010. Cria o projeto Produtor de Águas e Florestas, autoriza o executivo a prestar apoio financeiro aos proprietários de RPPN's e dá outras providências. Rio Claro, Câmara Municipal, 2010.

RIO DE JANEIRO (Estado). CERHI. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Resolução nº 43 de 26 de maio de 2010. Aprova a definição da aplicação de recursos financeiros, arrecadados através da subconta do Comitê Guandú do Fundo Estadual de Recursos Hídricos – FUNDRHI, no projeto Produtores de Água e Floresta. *Diário Oficial [do] Estado do Rio de Janeiro*. Poder Executivo, Rio de Janeiro, 10 jun. 2010.

RIO DE JANEIRO (Estado). Comitê de Bacias Hidrográficas dos rios Guandú, da Guarda e Guandú-Mirim. Resolução nº 42 de 18 dezembro de 2009. Define a aplicação de recursos financeiros, arrecadados através da subconta do Comitê Guandu do Fundo Estadual de Recursos Hídricos – FUNDRHI, a serem aplicados no projeto Produtores de Água e Floresta. Seropédica, 2009.

INGLATERRA. TEEB. The Economics of Ecosystems and Biodiversity. *Ecological and economic foundations*. London: Earthscan, 2010.

VILAR, M. B. *et al.* Valoração ambiental de propriedades rurais de municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Xopotó, MG. *Revista Cerne*, Lavras, v. 16, n. 4, p. 539-545, out./ dez. 2010.

WUNDER, Sven. *Payments for environmental services: some nuts and bolts*. Jacarta: CIFOR, 2005. 26p. (Occasional paper, 42).

AUTORES

Mariana Barbosa Vilar | Mestre em Ciências Florestais pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Coordenadora do projeto Produtores de Água e Floresta, do Instituto Terra de Preservação Ambiental (ITPA) | paf@itpa.org.br

Juliana Bustamante | Especialista em Gestão Ambiental pela Universidade Cândido Mendes (Ucam). Assistente-executiva e gestora de projetos do ITPA | contratos@itpa.org.br

Maurício Ruiz | Técnico agrícola pelo Colégio Agrícola Nilo Peçanha, da Universidade Federal Fluminense (UFF). Secretário-executivo do ITPA | mauricio@itpa.org.br

RESUMO | Esta contribuição tem como meta fundamental apresentar o processo operacional de implantação e desenvolvimento de um sistema de informação geoambiental integrado e interativo para a bacia do Rio Guandu, onde está situada a Baixada de Sepetiba, no Rio de Janeiro. Esse sistema pretende contribuir com um amplo espectro de ações e intervenções, inerentes ao planejamento e à gestão ambiental dessa área. Trata-se de uma significativa massa de dados e informações ambientais, desenvolvidos e consolidados pelo Laboratório de Geoprocessamento Aplicado (LGA) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

Como todos os demais sistemas de informação, apresenta também uma estrutura logística organizacional, constituída por três módulos: a) um modelo digital para o ambiente de superfície, em nível regional, municipal e local, alcançado através do método de Varredura Analítica por Geoprocessamento, e que tem como produtos base de dados georreferenciados (BDG/Guandu), constituída por um conjunto de 32 mapas temáticos básicos, e avaliação de questões ambientais mais estratégicas (áreas de enchentes, por exemplo), representadas em mapas classificatórios; b) os modelos conceituais, para o ambiente de subsuperfície, resultado do levantamento da retrospectiva geológica/geomorfológica, destacando-se para a bacia sedimentar: os sistemas deposicionais; a Formação Piranema, com a assinatura faciológica das três litofácies e associações; as fases deltaicas do então Rio Guandu e a definição dos modelos morfoestratigráfico e paleogeomorfológico; c) um gerenciador de informações ambientais tratado e atualizado pelo Sistema de Vigilância e Controle Ambiental (Vicon) e pelo Sistema de Análise Geoambiental (Saga).

PALAVRAS-CHAVE | Bacia do Guandu; Saga; Sistema de Análise Geoambiental; Vigilância e Controle; Geoprocessamento; Análise Ambiental.

ABSTRACT | This contribution aims to present the fundamental operational process implementation and development of an integrated and interactive environmental information system for the Guandu River basin, where is situated the Baixada de Sepetiba, in Rio de Janeiro. This system aims to contribute to a wide spectrum of actions and interventions inherent in planning and environmental management of this area. This is a significant mass of environmental data and information, developed and consolidated by Geoprocessing Laboratory of Applied Rural Federal University of Rio de Janeiro, known as LGA/UFRRJ. Like all other information systems, also presents a logistical organizational structure consisting of three modules: a) a digital model for the environment, in a surface, regional, municipal and local level, by Analytical Scan method for GIS, taking as products georeferenced databases, consisting in a set of 32 basic thematic maps, and also more strategic environmental issues evaluation (flooding areas, for example), represented on classificatory maps; b) the conceptual models for the environment subsurface, a result of the retrospective geological/geomorphological survey, especially for sedimentary basin: depositional systems; Training Piranema, with the signing of three lithofacies and facies associations; Rio Guandu delta phases and the definition of morphostratigraphic and paleogeomorphological models; c) an information manager and updated by an environmental treaty Surveillance and Environmental Control System (Vicon/Saga).

KEYWORDS | Guandu Basin; Saga; Geo-Environmental Evaluation System; Vigilance and Control; GIS; Geoprocessing; Environmental Analysis.

Um sistema de geoinformação ambiental para a bacia do Guandu como apoio à gestão territorial

Maria Hilde de Barros Goes

Jorge Xavier da Silva

Tiago Badre Marino

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho reflete a crescente preocupação de órgãos públicos e privados e de entidades associadas com a ocupação sistemática e o uso sustentável da Baixada de Sepetiba e da bacia do Rio Guandu. Seu objetivo é orientar o desenvolvimento, implantação e disseminação de um sistema de geoinformação ambiental para a referida bacia hidrográfica e seu entorno, com base nos cenários Original, Pretérito, Atual e Prospectivo, desenvolvidos no Laboratório de Geoprocessamento Aplicado (LGA) [1] do Departamento de Geociências da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Para isso, aborda temas aplicados não só ao ambiente de superfície da paisagem atual, como também ao ambiente de subsuperfície da extensa área deposicional da bacia do Rio Guandu.

Atualmente a extensão territorial da área de abrangência da original bacia do Rio Guandu compreende as bacias dos rios Guandu, Guarda e Guandu-Mirim, consideradas, geograficamente, componentes da bacia da Baía de Sepetiba. No entanto, tais bacias hidrográficas são investigadas nesta contribuição como um único sistema hidrográfico relativo ao Cenário Original da então bacia

hidrográfica, ou seja, a real bacia do Guandu, definida antes das obras de engenharia (saneamento geral da Baixada de Sepetiba e o complexo da represa de Lages). O Cenário Atual do sistema hidrográfico acima referido, que foi antropicamente modificado, é apresentado através de um modelo digital para o seu atual ambiente hidrográfico de superfície.

Para o desenvolvimento dos projetos de pesquisa e extensão, o LGA/UFRRJ tem sido apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (Faperj) e pelo Laboratório de Geoprocessamento (Lageop) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) [2]. Parte dos produtos apresentados a seguir já está concluída; outra, ainda em desenvolvimento ou em fase conclusiva, desenvolvida com a participação de bolsistas do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do CNPq, estagiários e orientandos de programas de pós-graduação da UFRRJ. Essas contribuições visam atender a meta fundamental de qualquer estudo ambiental voltado à sustentabilidade, um apoio direto à gestão territorial e ambiental da área de interesse.

Existe hoje no LGA/UFRRJ um significativo acervo de dados e informações facilitadas por métodos e ferramentas de apoio, como a estatística, imagens orbitais e a geofísica, que, além de definirem entidades paleoambientais, integram-se ao contexto informativo do ambiente de superfície, definido pelo método de varredura analítica com o uso do geoprocessamento.

A gestão de um território não pode prescindir de um controle das três dimensões básicas de qualquer fenômeno ambiental: o espaço, o tempo e a taxonomia. O geoprocessamento propicia um tratamento múltiplo e traz, ao lidar na prática com os dados ambientais, um caráter conjugado e quase simultâneo ao processamento desses aspectos axiomáticos dos fenômenos ambientais.

Hoje, é fato notório o uso da tecnologia de geoprocessamento, ou seja, a capacidade de seu uso, para um eficaz planejamento ambiental/territorial, em que seus resultados diagnósticos e prognósticos orientarão substancialmente os planos, projetos e programas de instâncias administrativas superiores.

Para tal meta são aplicadas metodologias constituintes do projeto Sistema de Análise Geoambiental (Saga), da UFRJ, e o Sistema de Vigilância e Controle

Ambiental (Vicon), este último um sistema gerenciador de informações, ambos implantados e operacionais no LGA/UFRRJ [1; 2].

O contexto estrutural sobre o desenvolvimento e consolidação do sistema de geoinformação para a área da bacia do Guandu e suas entidades associadas é traduzido por três produtos integrados e interativos, expostos como um tripé de cunho conceitual e técnico-metodológico: um modelo digital para o ambiente de superfície; o levantamento cronoinformativo para o ambiente de subsuperfície; e o armazenamento e tratamento das informações do acervo documental pelo programa Vicon/Saga.

2. EMBASAMENTO CONCEITUAL E METODOLÓGICO

2.1 Informações básicas

O denominado Projeto Guandu, desenvolvido no LGA/UFRRJ, abrange os ambientes de subsuperfície e de superfície existentes na área estudada. No estudo de tais ambientes são aplicados conceitos, teorias, métodos e técnicas de clássicos de geociências, assim como os de geoprocessamento, para obtenção de modelos conceituais e digitais relativos ao conjunto da área estudada, assim como são igualmente retratados diversos aspectos físicos, bióticos e socioeconômicos julgados relevantes como apoio a decisões relativas ao planejamento territorial e à gestão ambiental. Quanto às investigações de subsuperfície, são embasadas por um elenco integrado de procedimentos geológicos e paleogeomorfológicos e analisados por métodos estratigráficos, estatísticos, geofísicos e geomorfológicos, constituindo uma contribuição acadêmica sobre ambientes pretéritos registrados na bacia sedimentar do Guandu, tendo sido essa deposição reconhecida como a Formação Piranema [3]. Tal procedimento foi aplicado ao contexto geomorfológico encontrado, o que levou Goes [3] a defini-lo como “Método Geomorfológico Integrativo”, baseado na tríade eventos controladores, geodinâmica associada e entidades produzidas. Essa perspectiva permite o entendimento das sequências estratigráficas, constituindo um arcabouço conceitual que visa desvendar como foi organizado o registro estratigráfico e a interpretação de seus produtos, com base na atuação dos eventos controladores e processos associados [4].

Quanto aos modelos digitais, muitos deles avaliativos, outros temáticos, representativos de condições ambientais de superfície, seus resultados baseiam-se no uso do Saga/UFRJ, gerando como produtos as bases de dados georreferenciados (BDGs): a) temática (BDG/Guandu, com seus mapeamentos básicos); e b) aplicada (relativa a questões ambientais específicas) [1]. Vale mencionar que os mapeamentos avaliativos foram obtidos pela metodologia de geoprocessamento denominada Varredura Analítica e Integração Locacional (Vail), altamente contrastante com a tradicional Inspeção Pontual e Generalização (IPG) [5; 6].

Essa metodologia não elide todo o fluxo metodológico de pesquisa geológico-geomorfológica, continuando imprescindíveis as convencionais campanhas de campo, a análise por métodos estatísticos e geofísicos, as interpretações de imagens orbitais, passando pelas fases de mapeamentos, até culminar na edição, armazenamento e tratamento por geoprocessamento. Como produto final tem-se o conjunto dos 32 mapas temáticos da BDG/Guandu, o elenco de mapas classificatórios representativos das inúmeras questões ambientais (enchentes, por exemplo) e a análise ambiental das referidas BDGs. Esses dados alimentam o acervo de informação ambiental da área, armazenado e tratado pelo programa Vicon/Saga [2].

O resultado de uma varredura analítica de qualquer ambiente em investigação é a geração de um conjunto de registros que, corretamente interpretado, pode se tornar elemento de apoio à gestão das áreas analisadas, dando embasamento técnico-científico às ações planejadas e intervenções político-administrativas que se fizerem necessárias no andamento da gestão territorial. Hoje, é um instrumento orientador para fins de ordenamento de questões ambientais. Para tal ação aplica-se o programa Vicon/Saga, que é um sistema integrador e interativo, multimídia (gravações, vídeos e fotos) e multivariado (bases de dados georreferenciados, imagens orbitais, documentos cartográficos, textos e relatórios, tabelas, blocos-diagramas, gráficos etc.), podendo, assim, operar em diferentes escalas. Vale lembrar que as tomadas de decisão oriundas do Poder Público precisam ser geradas a partir de uma eficiente varredura analítica do ambiente, facilitada pelo uso da tecnologia de geoprocessamento.

2.2 O uso da tecnologia de geoprocessamento

O conhecimento ambiental é notoriamente baseado em dados, que são registros de ocorrências de fenômenos, e informações, que, por sua vez, são incrementos (ou seja, ganhos) daquele conhecimento [6]. Esse conhecimento pode ser voltado para a integração de dados ou conjuntos de dados de diferentes origens, a serem colocados em contexto (geoinclusão), transformando-se, assim, em elementos relevantes de apoio à decisão [7]. Esse procedimento implica, ainda hoje, nas clássicas tarefas de identificação e classificação de fenômenos, que são alterações perceptíveis da realidade. Apesar dos progressos no reconhecimento de padrões e no uso de outros métodos de obtenção de classificações automáticas de fenômenos ambientais, a IPG ainda é majoritariamente usada em estudos ambientais, os quais demandam interpretação de mapas e imagens e, muitas vezes, trabalhos de campo e respectivas amostragens, nas quais a identificação e interpretação de fenômenos ambientais exigem a capacidade humana para tomar decisões em situações de incerteza e ambiguidade, muito comuns em problemas ambientais [6].

Situação notavelmente diferente ocorre quando se torna necessário reproduzir as condições de convergência espacial e temporal de fatores causadores de fenômenos ambientais. Nos estudos ambientais são requeridas inspeções setoriais detalhadas nos mapas temáticos e a correspondente integração espacial de ocorrências conjugadas incidentes em suas áreas geográficas. Em outras palavras, busca-se o conhecimento sistemático das numerosas ocorrências convergentes de tipos de fenômenos (as classes de vários mapas temáticos, por exemplo). Esse tratamento visa reproduzir, certamente de maneira incompleta, a axiomática ocorrência conjugada de entidades e eventos ambientais.

É também palmar que a mente humana é limitada quanto a comparações de formas e cores em grande quantidade, por questões de percepção e cansaço. Em contraste, buscas exaustivas de ocorrências coincidentes, acompanhadas da respectiva identificação de suas expressões espaciais, é tarefa de processamento de dados que pode ser executada, praticamente, por qualquer equipamento de computação eletrônica, atualmente. Em outras tantas palavras, o computador excede, por ordens de magnitude, a capacidade humana de executar o rastreamento sistemático de fenômenos registrados em mapas digitais.

Evidentemente, cumpre aproveitar essa capacidade, sabendo, entretanto, que novas regras de relacionamento com os dados serão geradas, tais como procedimentos e sinais especiais, que terminam por construir uma nova semiótica. Nela, mapas digitais não são feitos para serem primordial e diretamente analisados apenas pela mente humana. Os mapas passaram a ser parte integrante de modelos digitais do ambiente, nos quais estão armazenados dados e informações que permitem a análise geotopológica e a investigação das entidades e eventos ambientais existentes e de suas relações [8]. Ficam assim identificadas as condições ambientais ocorrentes em uma ocasião, em uma determinada área geográfica. Varreduras exaustivas de possíveis ocorrências especificadas de fenômenos e as correspondentes identificações de suas áreas de ocorrência podem ser efetuadas com relativa facilidade. Esse procedimento metodológico já foi, acima, denominado Vail [5]. Sua utilização, que aparentemente se restringe a buscas de conjuntos de características ambientais coincidentes em área, pode ser expandida consideravelmente, tornando-se um método generalizado de investigação de ocorrências, proximidades, decorrências, precedências e outras coincidências temporais e causais presentes no arcabouço geotopológico da área geográfica sob estudo.

Cabe aos pesquisadores da área ambiental acompanhar e contribuir para o incremento dos dados ambientais, principalmente através de redes, procurando visualizar e concretizar estruturas lógicas e físicas de análise e integração de dados, bem como a decorrente geração de informações ambientais a serem produzidas e disseminadas em tempo útil para fins de planejamento e gestão de ambientes. Um desses caminhos é a criação e desenvolvimento de sistemas de informação ambiental, preferencialmente de baixo custo para as instituições e fácil utilização pelos pesquisadores, tarefa a que alguns têm se dedicado por muitos anos. Como pesquisadores, temos concentrado nossa atenção na caracterização e entendimento de problemas ambientais, desenvolvendo técnicas de análise e integração de dados através do uso maciço do geoprocessamento. Tivemos o cuidado de inserir essas técnicas dentro de um contexto metodológico adequado, com o devido acompanhamento conceitual.

3. PROJETO MESTRE: “UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOAMBIENTAL PARA A BACIA DO RIO GUANDU/BAIXADA DE SEPETIBA A PARTIR DOS CENÁRIOS ORIGINAL, PRETÉRITO, ATUAL E PERSPECTIVO”

O contexto estrutural sobre o desenvolvimento e consolidação de um sistema de geoinformação aplicado à área da bacia do Guandu e suas entidades associadas é traduzido pelo tripé, de cunho conceitual e técnico-metodológico, composto por três projetos integrados e interativos. Como ponto de partida foram usados os mapeamentos originais do projeto Radar na Amazônia (RadamBrasil) para a elaboração da base de dados georreferenciada (BDG) da região de estudo.

3.1 Modelo digital para o ambiente de superfície

Esse projeto é representado pela definição da BDG/Guandu, constituída por 32 mapas temáticos básicos [9], e também por um conjunto de mapas classificatórios [9] sobre as questões ambientais mais estratégicas da área da referida bacia. São as proliferativas áreas de riscos, as benéficas áreas potenciais, cujos recursos naturais tornam-se disponíveis à sua exploração sustentável, e outras áreas diagnosticáveis associadas, como as de impacto ambiental, as que apresentam incongruências de uso, ou outras, com potenciais conflitantes.

3.2 Levantamento cronoinformativo para o ambiente de subsuperfície

Esse levantamento gerou os produtos que retratam a retrospectiva geológica/geomorfológica, em âmbito regional, definindo os modelos morfoestratigráfico e paleogeomorfológico [9]. No ambiente de subsuperfície, ressalta-se, na bacia sedimentar do Guandu, a definida Formação Piranema [10].

3.3 Armazenamento e tratamento das informações do acervo documental pelo programa Vicon/Saga

O Vicon/Saga foi desenvolvido pelo Lageop da UFRJ, em parceria com LGA da UFRRJ. Trata-se de um programa de uso livre, protegido por registro segundo as leis autorais de proteção industrial do Instituto Nacional de Proteção Industrial (Inpi). Congrega as tecnologias de banco de dados convencionais com estruturas bidimensionais de mapeamento temático. Permite que sejam armazenadas e atualizadas grandes massas de dados sobre eventos e entidades ambientais, registrando a localização geográfica e a extensão territorial dos fenômenos ambientais ocorrentes, juntamente com os registros de outras características evolutivas e correlativas a eles associadas. Cria-se assim uma estrutura de armazenamento de conteúdo multimídia georreferenciado, composta por nomes, números, mapas, textos, fotografias, imagens digitais, filmes e arquivos em qualquer formato. Permite ao usuário a extração seletiva e combinada dessas informações, seja por suas correlações, seja pela sua incidência conjugada em um determinado local geográfico.

4. UMA SÍNTESE DA REALIDADE AMBIENTAL

Hoje, a bacia do Rio Guandu, por ser uma unidade territorial bastante visada, não somente por questões político-geográficas estratégicas, mas também por sua rica geodiversidade [11], expõe um elenco de áreas negativas e positivas. Alvo de questões político-geográficas estratégicas, a bacia do Rio Guandu apresenta áreas com realidades ambientais distintas. De um lado, proliferam as áreas problemáticas ou de riscos ambientais (inundações, por exemplo); do outro, as áreas positivas, expondo, através de seus recursos naturais, as potencialidades exploradas e aproveitadas irracionalmente (mananciais, por exemplo). É conveniente lembrar que toda a Baixada de Sepetiba, componente da bacia do Rio Guandu, já foi alvo de ações públicas voltadas a um planejamento territorial, base para as ações e intervenções administrativas (gestão territorial). Existiram e ainda existem inúmeros marcos antrópicos positivos, como as obras relativas ao saneamento geral da Baixada de Sepetiba, e negativos implantados sem um

prévio planejamento sustentável. Mais recentemente surgiram os marcos antrópicos imediatistas, como empreendimentos industriais e imobiliários.

O posicionamento geográfico estratégico da área somado à geodiversidade, tanto do ambiente de superfície como de profundidade, facilitam e impulsionam as ações e intervenções. As primeiras ações foram iniciadas com as obras de controle das enchentes, efetivadas pelos jesuítas em 1616, seguidas pelo auge do desenvolvimento da vocação agrícola na extensa área da baixada [10]. Nessa fase desenvolvimentista, duas obras de engenharia marcantes são exemplos de investimento sustentável: o primeiro saneamento básico da Baixada de Sepetiba, na década de 1940 [12], e o complexo da represa de Lages. Posteriormente, a região sofreu outras intervenções e mudanças significativas, como a implantação do Polo Industrial de Santa Cruz, o crescimento da expansão urbano-comercial e viária, a exploração desordenada do extrativismo de areia, a involução da agricultura, a criação das instituições de ensino e pesquisa da UFRRJ e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agrícola (Embrapa), além da construção do porto de Sepetiba.

Mais recentemente, vieram os empreendimentos industriais, imobiliários e viários, em certa medida associados ao posicionamento do porto de Sepetiba e ao aproveitamento dos “vazios espaciais”, antes usados pela agricultura tradicional. Cabe ressaltar a presença do complexo industrial da Baía de Sepetiba, da Central de Tratamento de Resíduos (CTR) e da rede ferroviária MRS Logística.

É fato notório que os gestores político-administrativos (prefeituras, empresas, ONGs, comitê hidrográfico etc.) pautam sua atuação e gerenciam planos de ação e intervenção, de maneira segura e objetiva, com base no geoprocessamento. Ou seja, utilizam um modelo digital do ambiente, contendo um acervo documental específico, constituído por base de dados georreferenciados e respectivos relatórios. São cada vez mais frequentes questões ambientais que exigem um gerenciamento eficaz e seguro através de instrumentos como plano diretor, Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (Rima) e programas voltados a temas como inclusão social.

5. O PROJETO GUANDU DO LGA/UFRRJ - MÓDULOS OPERACIONAIS

O Projeto Guandu, desenvolvido pelo LGA do Departamento de Geociências da UFRRJ, tem como meta fundamental contribuir para a definição de um sistema de informação geoambiental para toda a área da bacia do Guandu. Devido à significativa extensão territorial da bacia, foi segmentado em duas unidades territoriais (UTs): a UT-1, correspondente à bacia natural, ou seja, onde a drenagem, apesar de retificada na área da Baixada, conservou suas condições de fluxo original; e a UT-2, do setor oeste, correspondente ao conjunto territorial associado ao complexo da represa de Lages. A área estudada está localizada na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Estende-se entre as coordenadas UTM 7420000:6400000 extremo NW e 7483500:6880000 extremo SE (Fuso 23 Sul).

São esperadas e alcançadas duas metas fundamentais dirigidas aos ambientes de superfície e de subsuperfície:

5.1 Para o ambiente de superfície

Uma varredura analítica por geoprocessamento do cenário físico/antrópico de toda a área de abrangência da bacia do Guandu. Esse escaneamento diagnóstico apresenta, como resultado:

- ≡ O inventário ambiental do ambiente de superfície, representado por um conjunto de 32 mapas temáticos básicos;
- ≡ As consequentes avaliações das questões ou situações ambientais/territoriais mais estratégicas aí registradas, expostas em mapas classificatórios;
- ≡ O acervo ambiental armazenado no Vicon. Isso possibilita aos gestores administrativos decisões quanto a ações e intervenções, no que tange ao uso de logísticas de cunho emergencial, preventivo e conservativo [13].

5.2 Para o ambiente de subsuperfície

Uma retrospectiva geológica e paleogeomorfológica sobre o cenário original da área da bacia do Guandu e do seu entorno regional, obtendo-se quatro produtos de cunhos conceitual, científico e técnico/metodológico:

- ≡ A matriz cronoinformativa sobre a evolução geológica/paleogeomorfológica;
- ≡ Os modelos morfoestratigráfico e paleogeomorfológico;
- ≡ As sete fases evolutivas da bacia sedimentar da bacia do Guandu;
- ≡ A Formação Piranema – litofácies e associações.

6. A VARREDURA ANALÍTICA POR GEOPROCESSAMENTO PARA O AMBIENTE DE SUPERFÍCIE

Através de uma varredura analítica por geoprocessamento, é definido um modelo digital [14] para o ambiente, representado pela BDG/Guandu – constituída por 32 mapas temáticos básicos e por um conjunto de mapas classificatórios representativos das questões ambientais mais estratégicas da área da referida bacia hidrográfica. Trata-se do inventário ambiental e das consequentes avaliações das questões ambientais mais estratégicas [1].

O resultado de uma varredura analítica por geoprocessamento de qualquer ambiente em investigação é a geração de um conjunto de registros que, corretamente interpretado, pode se constituir em elementos de apoio à gestão das áreas analisadas, dando embasamento técnico-científico às ações planejadas e intervenções político-administrativas que se fizerem necessárias no andamento da gestão territorial. Atualmente atua como um instrumento orientador para fins de ordenamento de questões ambientais.

Módulo 1 - Inventário ambiental - A BDG/Guandu

Esse submódulo iniciante corresponde ao processamento de uma varredura dos cenários físico e antrópico, resultando em um conjunto de 32 mapas temáticos, considerados básicos para o desenvolvimento das demais operações

metodológicas. Trata-se da apresentação da BDG/Guandu e, também, da análise ambiental de cada mapa temático, através do método Assinatura Ambiental, constituinte do projeto Saga/UFRJ.

A. Apresentação do perfil da BDG/Guandu

Produtos: Definição e consolidação da BDG e a sua análise ambiental pelo programa Assinatura Ambiental do Saga/UFRJ, apresentando-se a geodiversidade para cada parâmetro da BDG.

Escala cartográfica: 1:50.000 a 1:10.000; *Resolução espacial:* 10 a 25 metros.

Tipos de Base de Dados Georreferenciados (BDGs): bases de dados georreferenciados em caráter multinível.

- ≡ em nível regional: BDGs/Guandu, Baixada de Sepetiba, Reserva Biológica do Tinguá e Restinga da Marambaia;
- ≡ em nível municipal: BDGs dos municípios de Seropédica e Itaguaí;
- ≡ em nível local: BDGs da UFRRJ e da Fazendinha (Embrapa);

Quantidade: 32 mapas temáticos básicos.

B. Apresentação da Base de Dados Georreferenciados/Guandu - BDG/Guandu

Subdivididos em dois grupos de mapas temáticos básicos:

- ≡ *Primários* – são derivados do processamento do fluxo metodológico convencional, que varia em função da especificidade temática do mapeamento, culminando com sua entrada de dados via geoprocessamento.

Oito mapas temáticos primários:

- ≡ Mapas básicos (sistemas urbano, industrial, viário, institucional e drenagem), geomorfologia, litologia, densidade de lineamentos estruturais, expedito de solos, cobertura vegetal/uso da terra, altitude e declividade.
- ≡ *Proximidades* - trata-se de um elenco de parâmetros correspondentes aos principais referenciais geográficos: sistemas urbano, industrial, viário, institucional etc., produzidos automaticamente em função do mapa básico do primeiro grupo.

24 mapas de proximidades de referenciais geográficos:

- ≡ Proximidades da rede de drenagem: Rio Guandu-drenagens-aqueduto;
- ≡ Proximidades da rede viária: Autoestrada BR-116, Rodovia Presidente Dutra, Rodovia BR-101, Rio-Santos, Rodovia BR-065, antiga Rio-São Paulo, rodovia pavimentada, rodovia não pavimentada, caminhos e trilhas, ferrovia, ferrovia desativada, linha de transmissão da Light, gasoduto;
- ≡ Proximidades do sistema urbano: cidades, sedes, povoados e vilas;
- ≡ Proximidades do sistema industrial: hidroelétrica, termoelétrica, polo industrial, indústrias pontuais, proximidades do sistema portuário de Sepetiba;
- ≡ Proximidade do sistema de aeroportos: aeroporto de Santa Cruz, campo de pouso de emergência;
- ≡ Proximidades do sistema institucional: UFRRJ e Embrapa;
- ≡ Proximidade de patrimônios histórico-culturais: Ponte dos Jesuítas.

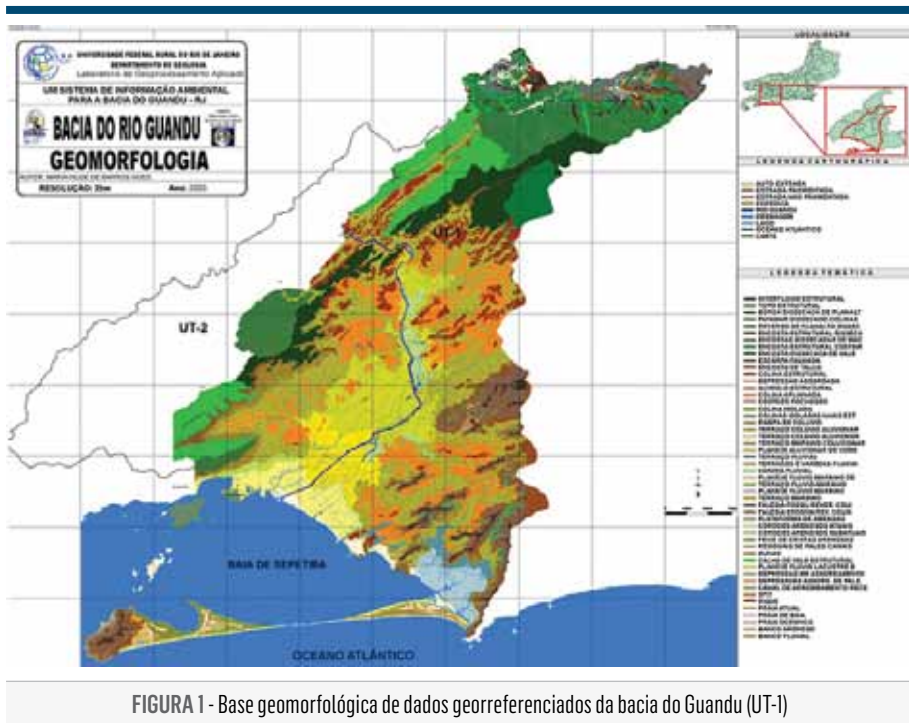


FIGURA 1 - Base geomorfológica de dados georreferenciados da bacia do Guandu (UT-1)

C. Análise temática da BDG/Guandu pelo método Assinatura Ambiental

– Saga/UFRJ

É considerado o primeiro procedimento analítico da estrutura metodológica aplicada. Consiste em uma análise ambiental de cada mapa temático da BDG/Guandu, posteriormente exibida em relatórios. Trata-se de um dos métodos aplicados à caracterização natural e antrópica da área, definindo a geodiversidade de cada parâmetro ambiental da referida BDG. A geodiversidade ambiental é fator primordial para o planejamento de um espaço territorial sustentável (organizado e controlado) sob a ótica perspectiva, uma vez que traduz toda a gama de ofertas positivas e negativas que compõem os meios físico, biótico e antrópico da área territorial da bacia do Guandu.

É conveniente lembrar que a referida bacia hidrográfica apresenta um singular perfil natural e antrópico derivado de sua inclusão na área da “visada” Baixada de Sepetiba. Esse fato geográfico dá à extensa área territorial um significativo elenco de elementos naturais e antrópicos que, vistos de modo integrado e interativo, definem a considerada geodiversidade de seu ambiente.

Para realizar a análise temática utilizou-se o módulo de assinatura ambiental do software Vista Saga/UFRJ, que produz um relatório de assinatura das categorias existentes nos mapas e mostra a quantidade de pixels e hectares (ha), a porcentagem da categoria que foi assinada e a porcentagem da categoria existente no mapa analisado. As assinaturas ambientais são procedimentos que permitem identificar a ocorrência conjunta de variáveis (geodiversidade) através de planimetrias dirigidas.

Módulo 2 - Avaliação das questões ambientais

A. Informações fundamentais

Definida, consolidada e analisada a BDG/Guandu, os 32 mapas temáticos básicos são integrados pela aplicação da técnica de Apoio à Decisão do Saga, através do módulo Avaliação Ambiental do Saga/UFRJ. Para tal procedimento é necessário selecionar os parâmetros ambientais da BDG/Guandu mais influentes na questão ambiental a ser analisada e aplicar o método da Árvore de Decisão [6]. Esse apresenta uma arquitetura da sequência metodológica da distribuição dos

níveis hierárquicos dos parâmetros ambientais com os seus valores fornecidos (Figura 2), usando-se o Processo Delphi. Como produto, é gerado um conjunto de mapas aplicados ou classificatórios, representativos das questões ambientais mais estratégicas e pertinentes, como desastres naturais (enchentes e deslizamentos/desmoronamentos), áreas degradadas, mananciais hídricos, ecoturismo, geodiversidade, reflorestamento e extrativismo de areia, e de questões em desenvolvimento, como desastres ambientais (enchentes e deslizamentos/desmoronamentos) e aterro sanitário.

Esse mapa, denominado “classificatório”, apresenta dez categorias ordinais, distribuídas de 0 a 10. A categoria nota 10, obviamente, corresponde às áreas com altíssimo ou muito forte potencial para deslizamentos/desmoronamentos. No entanto, para fins demonstrativos ou mesmo didáticos, as mesmas poderão ser agrupadas em sete categorias: altíssimo, alto, alto-médio, médio, médio-baixo, baixo e nulo (ausência de inspeção).

B. Etapas operacionais

- ≡ Elaborar a Árvore de Decisão relativa às questões ambientais diagnosticáveis, fornecendo os valores aos planos de informação da BDG/Guandu aí distribuídos;
- ≡ Montar a planilha dos pesos e notas pela aplicação do método Processo Delphi;
- ≡ Proceder a avaliação ambiental pelo programa Vista Saga;
- ≡ Gerar os três mapas classificatórios (fatores naturais, fatores antrópicos e mapa final) da questão ambiental em análise;
- ≡ Fazer a análise ambiental das classes seguindo critérios preestabelecidos.

C. Produtos

São cinco produtos de caráter técnico-científico e também educacional, sintetizados a seguir:

- ≡ Relatório temático (pelo método Assinatura Ambiental) dos mapas selecionados da BDG/Guandu;

- ≡ Apresentação dos mapas classificatórios e a sua análise ambiental, tendo-se como base a elaboração da Árvore de Decisão (Figura 2). Nos mapas são registradas as dez classes ordinais prontas para serem analisadas. A análise ambiental apresenta: a) a localização e expressão territorial; b) as condições ambientais (entidades naturais e antrópicas aí registradas pela BDG, geomorfologia, litologia, ocupação do solo etc.); e c) a situação atual dessas áreas de risco;
- ≡ Correlações espaciais entre as categorias mais relevantes;
- ≡ Recomendações para fins de ações e intervenções político-administrativas;
- ≡ O acervo documental armazenado, tratado, monitorado e atualizado pelo programa Vicon, onde as informações são gerenciadas. Serve de apoio aos procedimentos em campo, via multimídia, cuja finalidade é integrar-se ao registro das entidades e eventos aí registrados, compondo os resultados que serão aplicados à gestão da ocupação do solo de modo planejado.

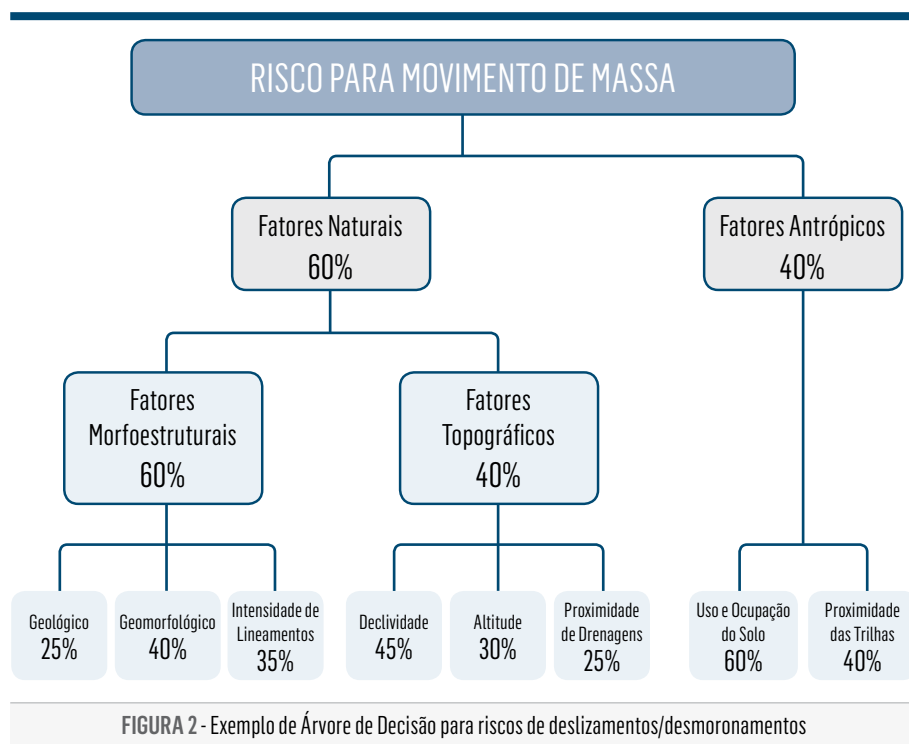


FIGURA 2 - Exemplo de Árvore de Decisão para riscos de deslizamentos/desmoronamentos

Os pesos e notas foram atribuídos com base no conhecimento da área estudada por profissionais em um contexto interdisciplinar, apoiados nas assinaturas ambientais previamente executadas em cada plano de informação envolvido na avaliação. Para o processamento do módulo Avaliação Ambiental do software Saga/UFRJ utiliza-se o algoritmo aplicável à estrutura de matrizes, em que cada célula corresponde a uma unidade territorial.

$$A_{i,j} = \sum_{k=1}^n P_{ij(k)} \times N_{ij(k)}$$

onde:

n - número de parâmetros (mapas) utilizados;

$A_{i,j}$ - possibilidade de ocorrência do evento analisado no elemento (pixel) i,j da matriz (mapa) resultante;

$P_{ij(k)}$ - peso (percentual) da contribuição do parâmetro “ k ”, em relação aos demais, para a ocorrência do evento analisado;

$N_{ij(k)}$ - nota, segundo o(s) avaliador(es), dentro da escala de 0 a 10, da ocorrência do evento analisado, na presença da classe encontrada na linha i , coluna j do mapa k .

A partir dessa formulação de Avaliação Ambiental podem ser feitas as seguintes proposições, também segundo Goes [10]:

- ≡ $A_{i,j}$ exprime a possibilidade resultante do produto da formulação ambiental, numa escala de 0 a 10, para a ocorrência de um evento, ou entidade ambiental, que seja causado, em princípio, pela atuação convergente dos parâmetros ambientais nela considerados;
- ≡ Os dados envolvidos na avaliação podem ser lançados em uma escala ordinal que varie entre 0 e 10 ou entre 0 e 100, para que seja gerada uma amplitude de variação suficiente a permitir maior percepção da variabilidade das estimativas;

- ≡ A normalização dos pesos, restritos entre os valores 0 e 1, resulta na definição do valor do peso atribuído a um mapa como o valor máximo que qualquer das classes daquele mapa pode assumir. Por exemplo: atribuir numa análise um peso de 40% ao parâmetro “declividades” significa que o máximo que uma determinada classe desse mapa pode contribuir na determinação da probabilidade de ocorrência do evento analisado é de 4, numa escala de 0 a 10.

D. Grupos de questões ambientais

Grupo das áreas problemáticas ou riscos ambientais: desastres naturais (enchentes e deslizamentos/desmoronamentos), degradação do solo, incêndios, contaminação da água, agravos pessoais etc.

Grupo das áreas potenciais: agricultura (tradicional e alternativa), mananciais hídricos, pecuária, ecoturismo e geoturismo (turismo científico), mananciais hídricos, aquífero e água subterrânea, aterro sanitário, expansão urbana, aplicações industriais e imobiliárias, extrativismo de areia, reflorestamento.

Grupo das áreas de impactos prováveis (áreas de riscos x áreas potenciais): inundações x agricultura, deslizamentos/desmoronamentos x ecoturismo, agravos pessoais x ecoturismo.

Grupo das áreas de potenciais conflitantes (áreas potenciais x áreas potenciais): agricultura x pecuária, expansão urbana x aterro sanitário, ecoturismo x expansão urbana.

Grupo de áreas críticas (áreas de riscos x uso da terra): inundações x uso, incêndios x uso.

Grupo de áreas com incongruências de uso (áreas potenciais x uso da terra): mananciais hídricos x uso da terra, agricultura x uso da terra, expansão residencial x uso da terra.

E. Questões ambientais desenvolvidas no LGA/UFRRJ

- ≡ Concluídas:
 - ≡ Áreas de potencial ambiental: reflorestamento, extrativismo de areia, turismo científico, mananciais hídricos.
 - ≡ Áreas de risco ambiental: degradação do solo, deslizamentos/desmoroamentos e enchentes (para os municípios de Itaguaí e Seropédica).
- ≡ Em desenvolvimento:
 - ≡ Áreas de potencial ambiental: aterro sanitário.
 - ≡ Áreas de riscos ambiental: deslizamentos/desmoroamentos, enchentes.

Módulo 3 - Gerenciamento das informações geoambientais – Vicon/Saga

A. Considerações iniciais

Diante do número cada vez maior de dados coletados e apresentados sob diferentes formas numéricas, textuais e figurativas (incluindo mapas rudimentares e fotos), inseridos no sistema por diferentes mídias, é necessário transformá-los em informação geoincluída, ou seja, criar os meios para organizá-los, tratá-los e apresentá-los em seus contextos taxonômico e territorial.

Concebido há mais de uma década, o Vicon, uma iniciativa 100% nacional e livre de custos, vem sendo desenvolvido e aprimorado constantemente pelo Laboratório de Geoprocessamento da UFRJ, em parceria com o Laboratório de Geoprocessamento Aplicado da UFRRJ.

No ano 2000 o sistema é criado, em sua primeira versão *standalone* (opera em estações de trabalho, independente de internet), com a finalidade de retratar quaisquer eventos e entidades de um ambiente em uma base de dados georreferenciada. Diferenciava-se das demais aplicações existentes por sua flexibilidade na elaboração de formulários, o que também o tornava personalizável a qualquer grupo de trabalho. O sistema também contemplava a inserção de conteúdo multimídia, como fotos e vídeos, e quaisquer arquivos digitais relacionados ao fenômeno retratado.

Logo passou a ser aplicado das mais diferentes formas, desde a espacialização de recursos hídricos pelo Corpo de Bombeiros do Estado do Rio de Janeiro até a análise espacial dos casos de dengue, além de apoiar a gestão de informações em ambientes de desastres, tendo, nesse último caso, sido aplicado em dezenas de missões de apoio a desastres ocorridos no país e também de âmbito internacional (detalhados a seguir). O programa Vigilância e Controle, quando aplicado em área já previamente diagnosticada, torna-se mais ágil e prático; é o caso da área da bacia do Guandu.

B. Características do sistema

Trata-se de uma plataforma web que utiliza o Google Maps API (*Application Programming Interface*) como base de dados, o que o torna um sistema multiplataforma (opera através de navegador, independente do sistema operacional) e com abrangência planetária (base de dados Google Maps). O sistema também contempla um esquema de segurança, com políticas de senhas e níveis de permissões aos usuários, emite relatórios em forma de PDF, Excel, KML – Google Earth, HTML, mapas e formato Raster/TIFF e SHP (em implantação).

Permite anexar arquivos de quaisquer formatos aos registros de ocorrências, possibilitando a um aluno, por exemplo, postar a gravação de um vídeo com entrevista realizada, imagens do local, cópias de documentos, depoimentos específicos de testemunhas etc.

Consultas com filtro podem ser aplicadas, como, por exemplo, “Todas as residências cobertas por água encanada no município de Seropédica”.

A seguir são elencadas algumas características desse sistema:

- ≡ Multiusuários - usuários podem trabalhar simultaneamente de diferentes localidades. Registros criados por um usuário são instantaneamente visualizados pelos demais.
- ≡ Multiplataforma - possibilidade de acesso a partir de qualquer dispositivo: desktops, notebooks, tablets, celulares. O sistema opera através de navegadores web.
- ≡ Multi-idiomas - disponibilidade para acesso em português e inglês.

- ≡ Importador de dados CSV/KML - importação de arquivos no formato popular CSV (*Comma Separated Values*) ou KML (Google Earth). Para a importação CSV dos registros é necessário que o arquivo possua os campos latitude e longitude no formato grau decimal, para que o sistema possa identificar a localidade do registro. Dica: utilize a ferramenta de geocodificação *batch* para transformar endereços de localidades em coordenadas geográficas.
- ≡ Inclusão de multimídia - possibilidade de anexar conteúdo multimídia a cada registro criado, bem como qualquer outro formato de arquivo. O usuário pode retratar um evento ou entidade, agregando registros fotográficos com legendas descritivas.
- ≡ Quatro níveis de acesso - diferentes tipos de acesso para diferentes padrões de usuários. Desde o usuário nível 1 (apenas visualização de registros) até o administrador do sistema (visualiza, cria, edita, remove registros, gerenciamento de formulários e usuários, além de administração das configurações do sistema).
- ≡ Geocodificador em *batch* - ferramenta para transformação de coordenadas UTM em coordenadas geográficas (e vice versa), através da carga de arquivos CSV. Mais detalhes sobre geocodificação.
- ≡ Espacialização Google Maps - todos os registros criados são espacializados sobre a base cartográfica Google Maps.
- ≡ Formulários customizáveis - para cada projeto, administradores modelam formulários de declaração de registros de acordo com as necessidades do projeto. Ex.: para um projeto de espacialização dos recursos hídricos do Corpo de Bombeiros foram criados formulários do tipo “Hidrante de Coluna”, “Áreas Críticas” etc.
- ≡ Relatórios XLS, PDF, KML, HTML - todos os registros armazenados na base Vicon web podem ser exportados em forma de relatórios, nos formatos PDF, HTML, KML e Excel.
- ≡ Consulta por raio - consultar por raio de distância. Exemplo: “Todos os registros num raio de 500 metros da Avenida Atlântica, 3000 - Copacabana”.
- ≡ Exportar Mapas SHP, KML, RS2 - registros da base podem ser exportados para mapas em formatos ArcGIS (SHP) (em desenvolvimento), Raster/Saga (RS2)

(em desenvolvimento), Raster PNG ou Google Earth (KML), a fim de serem analisados nestes aplicativos.

- ≡ Controle de Alterações - logs de registros são gravados a cada alteração, a fim de controlar atualizações realizadas pelos usuários do sistema.

C. Parcerias, convênios e aplicações

Desde a sua concepção no Laboratório de Geoprocessamento da UFRJ (Departamento de Geografia/Instituto de Geociências) como um módulo aplicativo vinculado ao software Vista Saga, o programa Vicon tem sido requisitado como um gerenciador de informações por instituições públicas municipais e estaduais. Sua primeira parceria foi com a UFRRJ, através do Laboratório de Geoprocessamento Aplicado, contribuindo ao Plano Diretor Participativo da universidade [15]. Posteriormente, foi estendido à Universidade Federal do Paraná (UFPR), pelo Centro de Desastres Naturais (Cenacid) [2], atuando em escala estadual, nacional e internacional. Acresce, ainda, a aplicação do sistema pelo Corpo de Bombeiro do município do Rio de Janeiro no gerenciamento dos recursos hídricos disponíveis para a corporação em atendimentos emergenciais (hidrantes de coluna, cisternas, lagos, áreas críticas, viaturas etc.). Em síntese, são aqui apresentadas algumas de suas aplicações, por meio de parcerias ou convênios:

Plano Diretor da UFRRJ

Foi implantado no LGA/UFRRJ desde a sua concepção. Primeiramente foi utilizado por graduandos do curso de Geografia, tendo-se como área-objeto unidades administrativas da reitoria. Atualmente, está sendo usado para o plano diretor da UFRRJ e pelo Projeto Guandu.

Vicon Desastres – Centro de Desastres Naturais (Cenacid/UFPR)

Aplicando o sistema para a gestão de informações em ambientes de desastres. O sistema foi adotado pelo centro há dez anos, tendo atuado em desastres como: Furacão Ivan – Ilha de Granada (2004), explosão do Navio Vicuña – porto de Paranaguá (2004), deslizamentos em Angra dos Reis, Paraty e São Luís do Paraitinga (2010), enchentes – Blumenau (2008), deslizamentos e enchentes – Teresópolis (2011), terremoto de escala 7.2 – Haiti 2010, enchentes no município

de Rio do Sul (SC) (2011), terremotos no Chile e no Peru, dentre outros. O Cenacid tem reconhecidos méritos técnicos e humanitários e foi agraciado pela ONU com o *Green Star Award* (mais detalhes em www.cenacid.ufrpr.br e www.unep.org/greenstar/laureates/2009/).

Plano de Gerenciamento Operacional de Recursos Hídricos (PGORH) - Corpo de Bombeiros do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ)

O Vicon/Saga direcionado ao Plano de Gerenciamento Operacional de Recursos Hídricos foi aplicado experimentalmente à área-piloto da jurisdição do batalhão de Copacabana (19° OBM), tendo sido utilizado para informar os recursos hídricos disponíveis para qualquer emergência nos *réveillons* de 2010 e 2011, festividades que envolveram, cada uma, pelo menos 1.500.000 espectadores de shows pirotécnicos. Atualmente está em processo de difusão entre os demais grupamentos da corporação.

Mapeamento da dengue – Secretaria de Saúde do Rio de Janeiro

O sistema também tem sido aplicado pela Secretaria de Saúde do Estado do Rio de Janeiro. A secretaria espacializou mais de 100 mil casos de dengue registrados no estado no ano de 2011, a partir da geocodificação de endereços de pacientes atendidos pela rede pública de saúde. Consultas com parâmetros podem ser realizadas para a análise de locais com maior incidência de casos, segmentados por bairros, sexo do paciente, faixa etária etc.

MEC - Projeto Santarém (PA)

Como parte do Projeto Agenda Cidadã [7], uma equipe do LGA/UFRRJ, em parceria com a equipe do Lageop/UFRJ, treinou, na cidade de Santarém (PA), 18 alunos do ensino médio e dois professores/monitores na operacionalização do conceito de inclusão geográfica ou geoinclusão. Com esse treinamento, os alunos estão aptos a gerar dados ambientais que serão utilizados pelo Programa Vicon/Saga e, ao mesmo tempo, estarão fazendo sua inclusão digital, social e ambiental.

No caso da área da bacia do Rio Guandu, já está pronto o Atlas Municipal de Seropédica, fragmentado objetivamente para os meios pedagógico, acadêmico e político-administrativo. Essa divisão facilita sua aplicação ao treinamento pedagógico, pelo método de geoinclusão.

7. LEVANTAMENTO CRONOINFORMATIVO DO AMBIENTE DE SUPERFÍCIE - CENÁRIO ORIGINAL

7.1 Considerações iniciais

Esse módulo aplicado ao ambiente natural da área da bacia do Rio Guandu e seu entorno expõe uma síntese sobre a retrospectiva espaço-temporal do denominado Cenário Original. Nesse contexto, são definidos os Modelos Conceituais para a bacia sedimentar e respectiva Formação Piranema (morfoestratigráfico e paleogeomorfológico), as definições da Formação Piranema da bacia sedimentar do Guandu, os ciclos deltaicos e os paleocordões arenosos [10]. Pela sua abrangência territorial e levando em consideração o contexto integrador geológico/geomorfológico, a evolução ou retrospectiva geológica/geomorfológica do referido sistema ambiental é investigada segundo os seguintes critérios estabelecidos:

A. O sistema é analisado em duas escalas espaço-temporais:

≡ A mais global - bacia do Rio Guandu/Baixada de Sepetiba;

≡ A mais pontual, destacando-se uma das entidades territoriais componentes do referido sistema, a bacia sedimentar e sua formação geológica - a Formação Piranema;

B. A amplitude temporal se estende desde o final do Mesozóico até a definição do cenário ou paisagem natural, antes de sua primeira antropização pelas ações dos Jesuítas em 1616 [12];

C. O arcabouço conceitual é baseado essencialmente na tríade composta por eventos controladores (tectônicos, climáticos e glácio-eustáticos), geodinâmica subatual associada (processos intempéricos, pedogenéticos e morfogenéticos) e entidades geológicas/geomorfológicas produzidas;

D. A gradativa evolução dos cenários paleoambientais, desde o original até a definição da paisagem atual, é apresentada em três fases sequências: a concepção, o desenvolvimento e a definição. São analisados sob a ótica integrada e interativa dos eventos e processos tectônicos e climáticos, até a real definição no Holoceno Subatual, com a paisagem natural;

E. O objeto a ser tratado é a área do complexo Serra do Mar-Baixada de Sepetiba sob a ótica geológica/geomorfológica, com destaque para a bacia sedimentar e a sua formação geológica - a Formação Piranema.

F. A linha de investigação a ser tratada é a história geológica e evolução geomorfológica, vista fundamentalmente pela integração dos eventos tectônicos com os climato-eustáticos, processos associados e entidades ou feições produzidas.

7.2 Uma síntese sobre a amplitude espaço-temporal – Cretáceo ao Holoceno

Para se resgatar o Cenário Original do conjunto territorial integrado – bacia do Rio Guandu/Baixada de Sepetiba, bacia sedimentar do Rio Guandu e Formação Piranema –, em âmbito regional, é necessário uma investigação de seu passado geológico, considerado somente a partir do Cretáceo, tendo-se como marca tectônica a Reativação Wealdiana [16], até o Holoceno Subatual, antes da presença antrópica, com a chegada dos jesuítas à Baixada de Sepetiba, em 1616. A escolha por essa amplitude temporal justifica-se pelo fato de a origem, evolução e definição do atual complexo Baixada-Serra, de um setor da faixa costeira do Estado do Rio de Janeiro, estar vinculado à dinâmica *Rift* Continental do Sudeste Brasileiro (RCSB) [17], sistema rifteano instalado no final do Mesozóico, com suas entidades geológicas formadoras.

Sob essa ótica, quatro macrogeoindicadores tectônicos-climáticos são consequências:

- ≡ A reestruturação das formações paleoserras precambriânicas em desníveis morfotopográficos (superfícies de erosão);
- ≡ O surgimento e a gradativa abertura da calha oceânica;
- ≡ O embrião, desenvolvimento e a definição do sistema Serra do Mar-Baixada de Sepetiba;
- ≡ A formação de bacias marginais, como a expressiva de Santos, e a continental, da bacia sedimentar do Guandu, um dos objetos-alvo.

O Cenário Original ou Natural das paisagens geomorfológicas da área da bacia do Rio Guandu é caracterizado por geoindicadores morfoestruturais e morfoclimáticos, produtos da ação de eventos tectônicos, climáticos e eustáticos,

somados ainda à constante ação de processos intempéricos, pedogenéticos e morfogenéticos, associados, por sua vez, àqueles acontecimentos naturais. Os eventos foram traduzidos pela intensificação tectônica no final do Mesozóico, e a sua gradativa atenuação, ao iniciar o Pleistoceno, o que foi compensado pelas ações cíclicas glácio-climáticas.

Os tectônicos contribuíram e contribuem como alicerce estrutural das feições geomorfológicas, que iam se organizando e se definindo, com destaque para o compartimento horstiano da Serra do Mar e o conjunto riftiano abatido do assoalho da atual Baixada de Sepetiba. Nesse compartimento rebaixado, foi se acomodando a sequência sedimentar da bacia sedimentar do Rio Guandu e a sua respectiva formação geológica - a Formação Piranema. Quanto à ação dos eventos glácio-climáticos, mais dominantes no Pleistoceno, são os “escultores” do relevo, ora aplainando, ora dissecando as morfoestruturas pré-definidas, em função da alternância climática, fases mais seca e mais úmida.

Como destaque, tem-se o exemplo, as (paleo) feições geológicas/geomorfológicas associadas ou deles derivados: os terraços e leques aluviais da bacia sedimentar e o nivelamento das morfoestruturas, definindo as secundárias superfícies de erosão, correlatas a original Superfície de Japi ou Sul-Americana [18]. Somente no Holoceno Subatual, os sistemas geomorfológicos, com suas respectivas feições, foram realmente se definindo, representando a paisagem natural. A singularidade desse período pós-flandriânico foi a definição da drenagem primitiva da bacia do Rio Guandu na paisagem natural, moldada e esculpida pelas curtas variações climático-eustáticas (+ 3 m.a. – 3m) até ajustar-se ao nível atual. Como era de se esperar, o palco dessa geodinâmica e consequentes produtos hidromorfológicos foi a faixa costeira, com o fechamento real da Baía de Sepetiba pelo posicionamento da definida Restinga da Marambaia.

As feições geomorfológicas foram se moldando e se definindo, operadas pelos processos fluviais e marinhos de modo integrado. Enquanto isso, no interior da Baixada de Sepetiba e no ambiente colinoso e planáltico, essas curtas variações climáticas impuseram um ajuste final, na paisagem hidromorfológica, definindo-se as entidades geomorfológicas e os seus elementos inclusos, responsáveis pela sua geometria, com destaque a dinâmica fluvial. Nas bordas serrana/reverso planáltico alto e alto-médio cursos são definidos em padrão

retilinizados, possivelmente reajustados por efeitos de uma neotectônica regional/local, um exemplo do conjunto morfoestrutural que abriga o Vale/Graben do Rio Santana [19]. Ao largo da definida Baixada de Sepetiba são elencados: os topos coluviais das Colinas Estruturais e Aplainadas, as Rampas de Colúvio no sopé das encostas, os Alvéolos, os terraceamentos e várzeas originais, as Calhas Fluviais da Borda Dissecada da Serra do Mar, a Planície Fluvial de Cobertura da Formação Piranema e outras feições.

Por fim, o levantamento cronoinformativo relativo ao Cenário Natural ou não antropizado é analisado em três fases cronológicas: a concepção, o desenvolvimento e a definição da paisagem natural. Para tal classificação, foram adotados critérios baseados em indicadores geológicos e, sobretudo, geomorfológicos, que irão caracterizar a amplitude espaço-temporal de cada fase.

- ≡ Concepção - apresenta a morfoestrutura embrionária controlada pelos intensos eventos tectônicos. Considera-se a investigação a partir do final do Mesozóico, com um rápido recuo na arquitetura pré-reativação Wealdiana, até o Terciário, com o marco da Superfície de Japi.
- ≡ Desenvolvimento - apresenta a morfoestrutura geologicamente já formada, sendo esculpida e afeiçoada pela ação da ciclicidade climática dominante no Pleistoceno
- ≡ Definição - as entidades geomorfológicas que representam o Cenário Natural são definidas a partir dos últimos seis mil anos, até a chegada dos jesuítas, em 1616.

7.3 Módulos operacionais

As cinco questões a seguir resumem claramente o contexto cronoinformativo da evolução e definição da área. Como se apresenta a realidade ambiental de hoje diante dos inúmeros referenciais ou fatos geográfico-ambientais implantados “abruptamente” nos espaços vazios da Baixada de Sepetiba? Que fatores histórico-culturais marcaram a antropização gradativa da paisagem natural, afetando direta ou indiretamente a área? Como se originou, desenvolveu e foi definido o Cenário Natural (antes da antropização)? Existem recursos potenciais em seu subsolo que poderão beneficiar o crescimento econômico sustentável?

Todos os módulos abaixo listados também já foram concluídos, porém, estão sujeitos a reavaliações:

- A. Retrospectiva geológica/geomorfológica;
- B. Modelos conceituais: morfoestratigráfico e paleogeomorfológico da bacia sedimentar do Guandu;
- C. Sistemas deposicionais da bacia sedimentar e os sete cenários paleoambientais;
- D. Ciclos deltaicos do Rio Guandu;
- E. Formação Piranema e as litofácies.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O acervo documental referente ao Projeto Guandu é de domínio público e está disponível a todos os interessados. O que se pretende é integrar as pesquisas básicas e aplicadas desenvolvidas nesse laboratório aos inúmeros trabalhos já realizados por outros pesquisadores.

Vale lembrar que o Poder Público precisa tomar decisões a partir de diagnósticos (inventários e avaliações) e prognósticos (cenários, tendências e zoneamentos ambientais) unidos e sequencialmente executados. Não é aconselhável tentar gerir sem conhecer e planejar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] UFRJ. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. *Laboratório de geoprocessamento*. Disponível em: www.lageop.ufrj.br/saga.php
- [2] _____. *Vicon web*. Disponível em: www.viconsaga.com.br
- [3] GOES, M. H. B. Sobre a formação Piranema da bacia sedimentar do Guandu (RJ): um estudo paleoambiental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Santa Catarina. *Resumos expandidos...* Camboriu,SC: SBG, 1994.
- [4] GOES, M. H. B. Atlas digital da Baixada de Sepetiba (RJ) e seu entorno: inventário ambiental. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 1., 2001, Aracajú. *Anais...* Aracajú: [s.n.], 2001.
- [5] _____. *Geoprocessamento e meio ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 328 p.
- [6] XAVIER-DA-SILVA, J. *Geoprocessamento para análise ambiental*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 227 p.
- [7] XAVIER-DA-SILVA, J; MARINO, T. B. Citizenship through data sharing in the Amazon Region. In: INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION ON COMPUTING FOR GEOSPATIAL RESEARCH & APPLICATION, 2., 2011, Washington, D.C. *Proceedings...* Washington, D.C, 2011.
- [8] XAVIER-DA-SILVA, J.; ZAIDAN, R. T. *Geoprocessamento para análise ambiental: aplicações*. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 363 p.
- [9] UFRRJ. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO. *Laboratório de geoprocessamento aplicado: perfil acadêmico*. Disponível em: www.ufrjr.br/lga
- [10] GOES, M. H. B. *Diagnóstico ambiental por geoprocessamento do município de Itaguaí*. 1994. 529 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, São Paulo, 1994.

- [11] GARAY, I.; DIAS, B. *Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais*. Rio de Janeiro: Vozes, 2001.
- [12] GOES, M. H. B. Baixada de Sepetiba. In: DNOS. DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS E SANEAMENTO. *Relatório*. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1942. 378 p.
- [13] XAVIER-DA-SILVA, J; MARINO, T. B. A geografia no apoio à decisão em situações de emergência. In: ENCUESTRO DE GEOGRÁFOS DE AMÉRICA LATINA, 13., 25- 29 jul. 2011, San Jose, Costa Rica. [Anais...]. *Revista Geografia de Costa Rica*, San Jose, v. 2, n. 47E, 2011.
- [14] CARVALHO, T. M; LATRUBESSE, E. M. Aplicação de modelos digitais de terreno (MDT) em análises macrogeomorfológicas: o caso da bacia hidrográfica do Araguaia. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.1. p. 85-93, 2004.
- [15] UFRRJ. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO. *Plano diretor participativo da UFRRJ*. Disponível em: www.ufrj.br/portal/modulo/home/ge-tJornal.php?arquivo=913.pdf
- [16] ALMEIDA, F. M. Origem e evolução da plataforma Brasileira. In: SEMANA DE ESTUDOS GEOLÓGICOS, 2., 1966, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: SBI, 1966. p. 25-128.
- [17] ZALÁN, P. V.; OLIVEIRA, J. A. B. Origem e evolução do sistema de Riftes Cenozóico do Sudeste do Brasil. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, v. 13, n. 2, p. 269-300, 2005.
- [18] MACEDO, J. M.; BACOCOLI, G. GAMBOA, L. A. P. O tectonismo Mesoceno-zóico da região sudeste. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2., 1991, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ATLAS, 1991. p. 429-437.

AUTORES

Maria Hilde de Barros Goes | Doutora em Geociências e Meio Ambiente pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Professora associada da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Coordenadora do Laboratório de Geoprocessamento Aplicado (LGA/UFRRJ). | mhgoes@uol.com.br

Jorge Xavier da Silva | Doutor em Geografia pela Louisiana State University (LSU). Professor emérito da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e assessor da reitoria da UFRRJ. Pesquisador visitante nacional senior da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes). Coordenador do Laboratório de Geoprocessamento (Lageop/UFRJ). | xavier.lageop@gmail.com

Tiago Badre Marino | Mestre em Engenharia de Transportes pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). Especialista em Engenharia de Redes e Sistemas de Comunicações pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel). Professor assistente do Departamento de Geociências da UFRRJ. Membro do LGA/UFRRJ. | tiagomarin@ufrj.br

RESUMO | Neste trabalho é apresentado um estudo do transporte de sedimentos num trecho do Rio Guandu, Rio de Janeiro, entre a Usina Pereira Passos e a captação da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (Cedae). Esse rio, formado artificialmente pela transposição das águas do Rio Paraíba do Sul, apresenta variações diárias de turbidez na estação de tratamento. Diferentes hipóteses foram formuladas para explicar essas variações em relação às fontes desse sedimento, sendo as principais as carregadas desde o reservatório da usina ou provenientes das dragagens logo a montante da captação da Cedae. Essas hipóteses foram testadas qualitativamente utilizando modelagem numérica. Os resultados indicam que há necessidade de quantificar a carga de sedimentos para cada hipótese considerada para obter resultados conclusivos.

PALAVRAS-CHAVE | Sedimentos; Turbidez; Rio Guandu.

ABSTRACT | This work presents a study of the sediment transport in a reach of the Guandu River, in Rio de Janeiro, between the hydroelectric dam of Pereira Passos and the water intake of the Companhia Estadual de Águas e Esgotos (Cedae) – Cedae station. This river, artificially formed by the water bypass from Paraíba do Sul River, shows diary variation in turbidity at the treatment station. Several hypothesis were formulated in order to explain these variations, such as the sediment being delivered from the last reservoir or being produced from the sand mining just upstream the water treatment plant. These hypotheses have been tested qualitatively using a numerical modeling approach. The results are not conclusive, indicating the need of quantifying the different sources of sediment.

KEYWORDS | Sediments; Turbidity; Guandu River.

Variabilidade das concentrações de sedimentos em suspensão no Rio Guandu

Marcos N. Gallo

Susana B. Vinzon

Marcelo Di Lello Jordão

Monique Kim

Adriana Dantas Medeiros

1. INTRODUÇÃO

O Rio Guandu é responsável pelo suprimento de água para várias localidades, sendo o principal manancial de abastecimento da cidade do Rio de Janeiro (80% da população) e de vários municípios da Baixada Fluminense, como também de atividades industriais ao longo de seu curso.

A maior parte da vazão do Rio Guandu é proveniente da transposição das águas da bacia do Rio Paraíba do Sul, sendo assim considerado um rio artificial. Suas nascentes localizam-se na Serra do Mar, onde alguns riachos se unem na represa de Ribeirão das Lajes. Depois de passar pela represa, recebe as águas do Rio Paraíba do Sul através de transposição em Pirai pela estação elevatória de Santa Cecília e, depois de receber as águas do Rio Santana, passa finalmente a denominar-se Rio Guandu.

O sistema de transposição Light/Cedae – Ribeirão das Lajes/Guandu/Canal de São Francisco iniciou suas atividades em 1962, com a conclusão da Usina Pereira Passos. Essa usina dá início ao trecho em estudo (Figura 1), que termina na Estação de Tratamento de Água (ETA) da Cedae, aproximadamente 40 km depois.

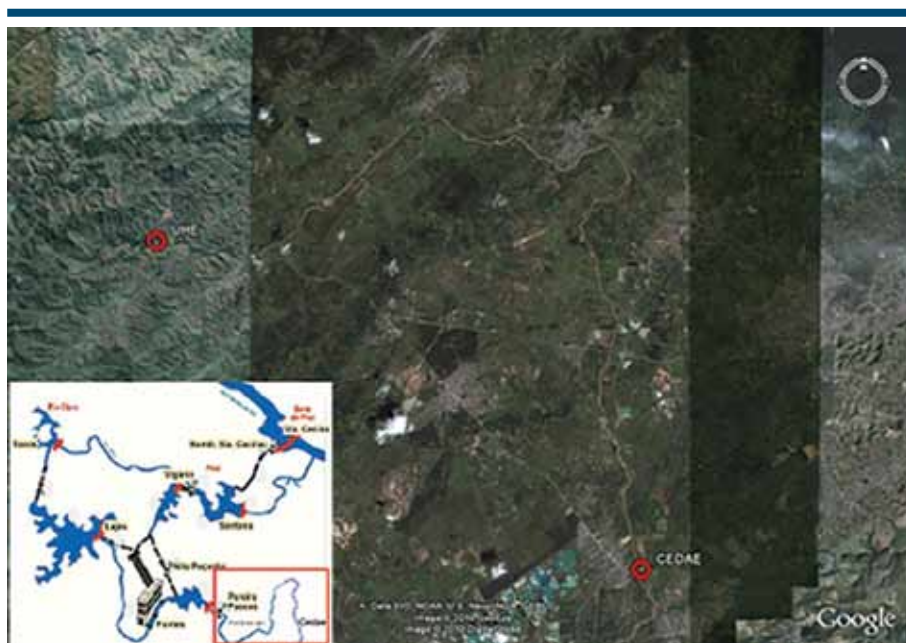


FIGURA 1 - Trecho superior do Rio Guandu entre a Usina Pereira Passos (UHE) e a estação da Cedae. No canto inferior esquerdo é mostrada a localização no sistema do trecho em estudo

Fonte: Google Earth

Do Rio Guandu são captados aproximadamente $42 \text{ m}^3/\text{s}$ pela Cedae (Cedae, 2010). O sedimento em suspensão transportado pelo rio afeta a captação de água na ETA, exigindo elevados custos para o tratamento da água. Na etapa de floculação dos sedimentos são gastos, diariamente, uma média de 100 toneladas

de sulfato de alumínio e cloreto férrico e 200 quilos de polieletrólito (Cedae, 2011). Observando-se registros de turbidez na ETA-Cedae, verificam-se variações tanto sazonais, com valores máximos de 350 UNT (unidade de turbidez), quanto diárias, como ilustrado na Figura 2. Essa variabilidade na turbidez da água captada representa uma dificuldade para o próprio processo de tratamento, devido ao aumento do consumo de produtos químicos, aumento do gasto de água de operação e elevação dos custos de tratamento da água.

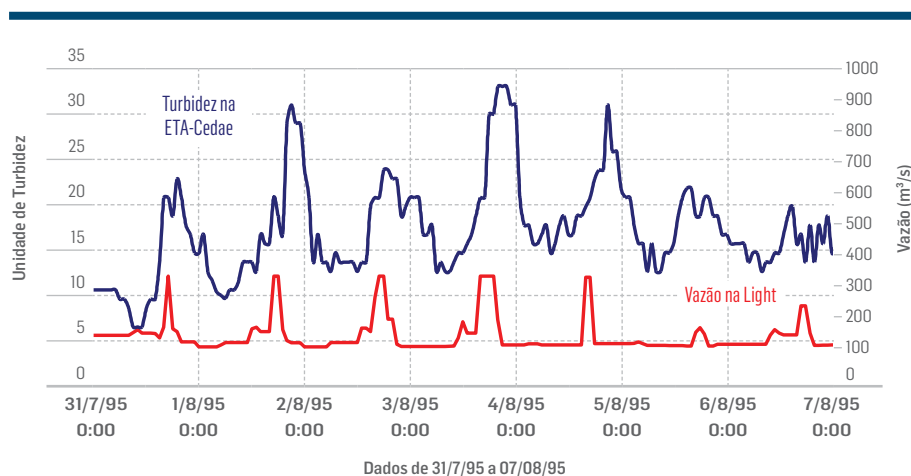


FIGURA 2 - Registros de turbidez obtidos pela Cedae (1996) durante uma semana do mês de agosto de 1995

As principais fontes de sedimentos finos no Rio Guandu estariam associadas:

- ≡ Ao Rio Paraíba do Sul, como decorrência da transposição de águas, que chegam ao sistema Guandu carregadas de sedimentos, mesmo após passar pelo conjunto de reservatórios da Light, a montante da UHE Pereira Passos.
- ≡ À possível ressuspensão dos sedimentos presentes na calha do rio, devido a condições naturais (variabilidade diária das vazões) ou a operações de dragagem para a exploração comercial de areia, como há décadas vem ocorrendo no leito e nas margens do Rio Guandu (Cedae, 1996).

Este trabalho visa avaliar as possíveis causas da variabilidade observada nos índices de turbidez do Rio Guandu junto à ETA-Cedae. Para isso foi realizado um estudo hidrosedimentológico qualitativo do trecho do rio, em função da variabilidade das vazões, favorecendo o aumento da capacidade de transporte (maiores vazões), da extração de areia e da transposição de sedimentos provenientes do Paraíba do Sul. Para isso, foram utilizados um modelo hidrodinâmico unidimensional e um modelo de transporte de sedimentos.

2. METODOLOGIA

A avaliação do escoamento hidráulico do Rio Guandu (Kim, 2011) foi feita utilizando-se um modelo hidrodinâmico unidimensional HEC-RAS 4.1 - *River Analysis System* (US Army Corps of Engineers, 2011). Primeiro foi empregado o módulo permanente (vazão constante), para a calibração, e, a seguir, o módulo quase estacionário, para simular o trânsito das vazões turbinadas, devido ao regime de operação da Usina Pereira Passos ao longo do trecho em estudo. A modelagem visou à obtenção de níveis d'água e velocidades médias na seção transversal para o conhecimento do regime hidrodinâmico do rio e fornecer as condições de transporte para o modelo de sedimentos.

A batimetria utilizada foi obtida por levantamentos de seções transversais empregando nível topográfico e GPS, com espaçamentos que variam entre 500 e 2000 m, realizados em 1997 pela Fundação Secretaria Estadual de Rios e Lagoas (Serla) (Vinzon e Cassar, 1998). Para fins de modelagem foi feita uma interpolação onde as seções são igualmente espaçadas a cada 250 metros, resultando em 164 seções trapezoidais (Figura 3). Para cada seção foram determinadas as características geométricas fundamentais: largura da base, inclinação dos taludes e cota de fundo.



FIGURA 3 - Distribuição das seções transversais ao longo do trecho em estudo
Fonte: Google Earth

As condições de contorno consideradas no modelo hidrodinâmico foram:

- ≡ Na última seção de jusante (seção 1), onde está localizada a captação d'água da Cedae, foi especificada uma condição de contorno de nível, correspondente ao valor constante de cota IBGE 11,895 m (Vinzon e Cassar, 1998), mantido na barragem, para facilitar a tomada d'água;
- ≡ Na primeira seção de montante (seção 164) foram especificadas as vazões liberadas pela Usina Pereira Passos, representativas do regime de operação ao longo de vários dias.

Para avaliar o comportamento sedimentológico do trecho foi utilizado um modelo de transporte de partículas lagrangeano desenvolvido previamente (Vinzon *et al.*, 2005).

Os cenários adotados visaram à reprodução das hipóteses levantadas, onde o pico de turbidez observado na ETA seria proveniente:

- ≡ da carga de sedimentos lançada da Usina Pereira Passos juntamente com a liberação das vazões;
- ≡ da ressuspensão de sedimentos devido à extração de areia;
- ≡ da ressuspensão de sedimentos ao longo do percurso, em função do aumento da capacidade de transporte do escoamento.

Foi definido o intervalo de 31/07/95 a 07/08/95 para a realização das simulações, período no qual se dispunha de dados limnográficos e de turbidez (Vinzon e Cassar, 1998). Nos cenários simulados, os valores de concentração foram arbitrários, já que o objetivo foi de representar apenas a forma da variação dessas concentrações e em particular o horário em que ocorrem os picos de turbidez.

3. RESULTADOS

O perfil longitudinal do nível d'água medido durante o levantamento batimétrico e o obtido através da modelagem pode ser observado na Figura 4, considerando-se vazões médias constante de 120 e 150 m³/s e um coeficiente de atrito variável (Figura 5). Algumas pequenas diferenças ocorrem entre ambos os perfis, mas o resultado foi considerado bastante satisfatório, tendo em vista que as vazões do Rio Guandu são altamente variáveis ao longo do dia e os dados de nível d'água obtidos durante as medições batimétricas não correspondem a uma vazão única, sendo, portanto, uma comparação apenas qualitativa.

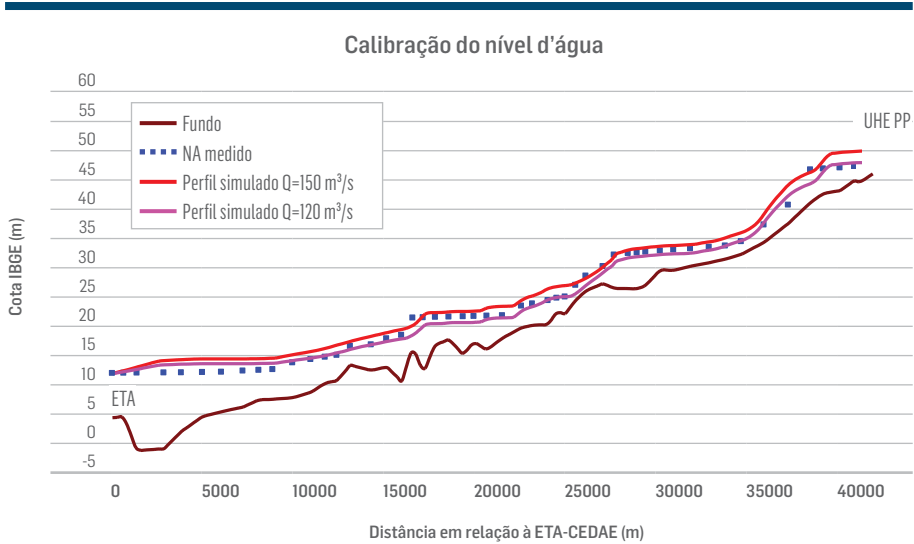


FIGURA 4 - Perfil longitudinal do nível d'água medido e dos níveis d'água calculados para vazões de 120 e 150 m³/s

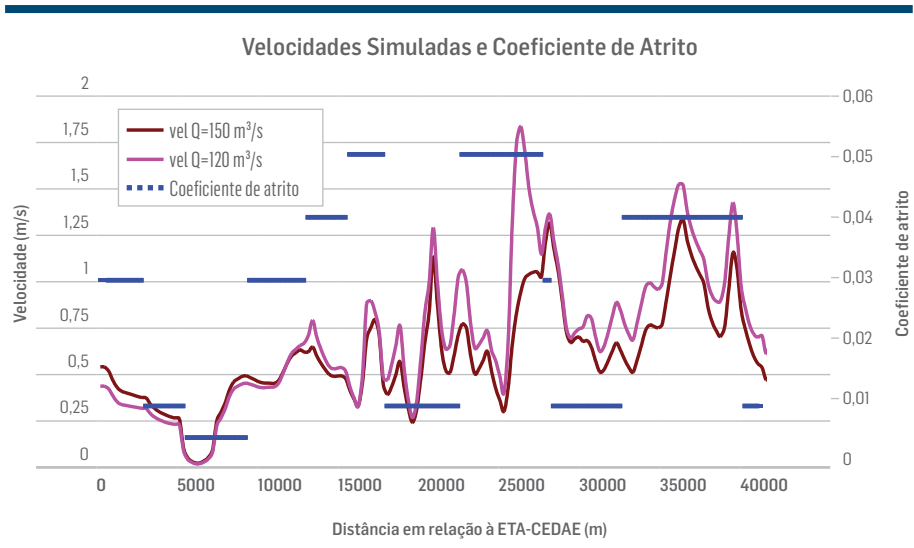


FIGURA 5 - Perfil longitudinal de velocidades simuladas e variação do coeficiente de atrito ao longo do trecho em estudo

Uma vez calibrado o modelo hidrodinâmico, foram propostos cenários sedimentológicos, representados da seguinte maneira:

- ≡ Cenário 1: Carga de sedimentos na seção da UHE-Pereira Passos lançada proporcionalmente às vazões liberadas, sendo considerado no modelo como uma condição de contorno, desconsiderando fluxos do leito (erosão ou deposição);
- ≡ Cenário 2: Extração de areia a 6 km da ETA (seção 25) com funcionamento de segunda a sexta, de 8 às 17 horas (correspondente aos dias e horários de funcionamento das dragas), sendo tratado no modelo como uma fonte pontual, durante o período de trabalho das dragas;
- ≡ Cenário 3: Ressuspensão de sedimentos no leito provocado pelo aumento da capacidade de transporte (maiores vazões), sendo considerado no modelo a erosão e deposição de sedimentos.

Cada cenário foi simulado com um Dx de 250 m e de 275 m, considerando um erro de 10% nos levantamentos.

Nas figuras 6, 7 e 8 são mostradas as curvas de turbidez (medidas e simuladas) na ETA para cada cenário simulado. Os resultados preliminares das simulações indicam que:

- ≡ a variabilidade diária das vazões turbinadas mostrou-se um dos fatores principais na ocorrência dos picos de turbidez observados na ETA. Quando o pico de vazões tem uma duração maior, observam-se valores de turbidez superiores (Figura 6);
- ≡ os menores valores de turbidez observados no fim de semana estão associados às menores vazões turbinadas pela Light (Figura 6), dada a ausência de extração de areia (Figura 7);
- ≡ os efeitos de erosão e deposição simulados conseguiram representar a variabilidade observada, mas não a representação temporal, uma vez que os picos de turbidez diários medidos na ETA-Cedae e os simulados apresentam uma defasagem de aproximadamente 12 horas (Figura 8).

Condição de contorno sedimentológica: carga de sedimentos a montante

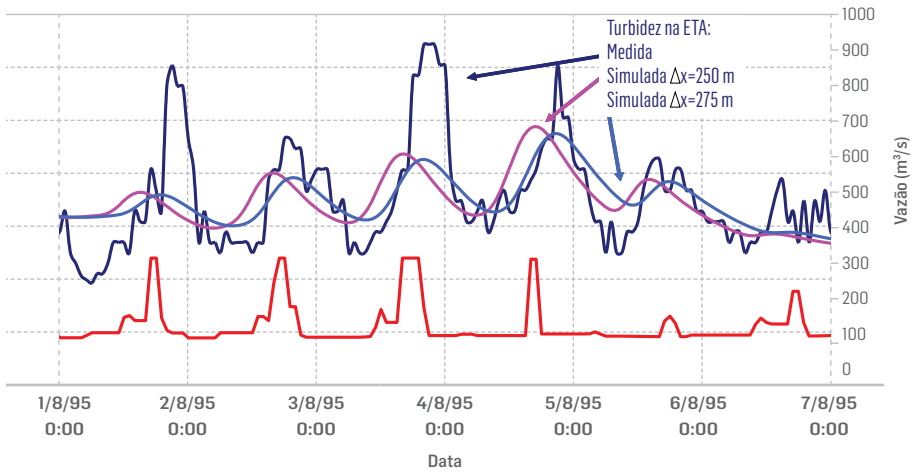


FIGURA 6 - Turbidez medida e simulada para o Cenário 1: carga de sedimento liberada pela Usina Pereira Passos, junto com o aumento de vazões turbinadas

Condição de contorno sedimentológica: draga no km 35

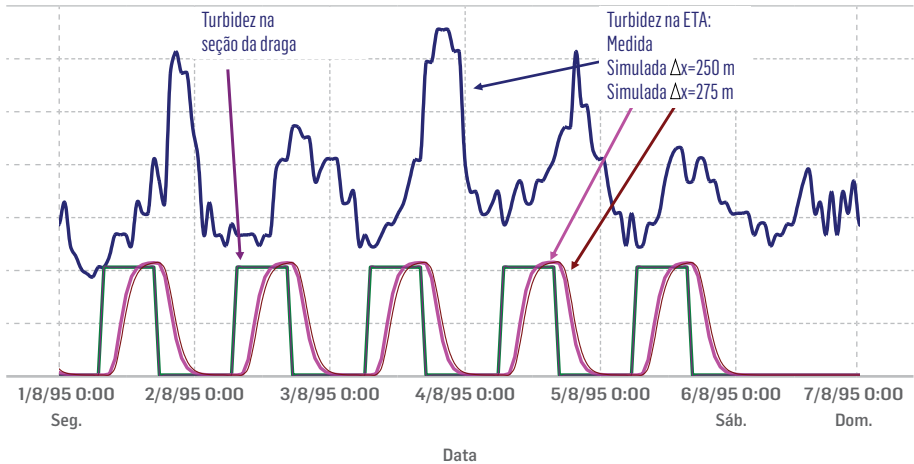


FIGURA 7 - Turbidez medida e simulada para o Cenário 2: turbidez gerada pela operação das dragas, de segunda a sexta-feira, de 8h às 17h

Condição de contorno sedimentológica: erosão + deposição

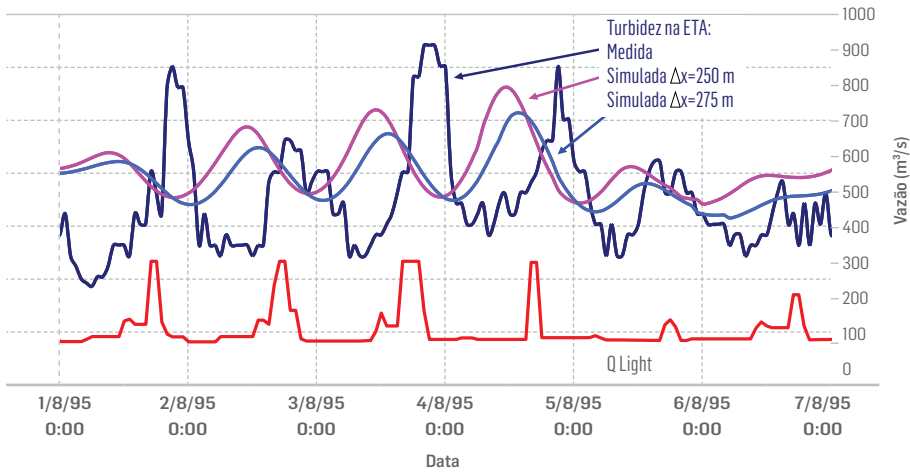


FIGURA 8 - Turbidez medida e simulada para o Cenário 3: ressuspensão de sedimentos ao longo da calha fluvial do Rio Guandu

Combinações dos três cenários considerados, sedimentos provenientes da calha do rio e da extração de areia, com a onda diária de vazões liberada pela usina, possibilitariam um resultado mais próximo da realidade. Assim, nas figuras 9 e 10 são mostrados os resultados para a turbidez resultante da combinação do Cenário 1 com os Cenários 2 e 3, respectivamente. Os experimentos numéricos com DX de 275 m representaram melhor a defasagem entre os picos de turbidez. A onda de turbidez simulada com esse espaçamento apresenta uma defasagem (adiantamento) em relação à medida de: 1 h para o Cenário 1; 2 h para o Cenário 1 + 2 e 4 h para o Cenário 1 + 3, como pode ser visto na Figura 11.

Condição de contorno sedimentológica: carga de sedimento a montante e draga no km 35

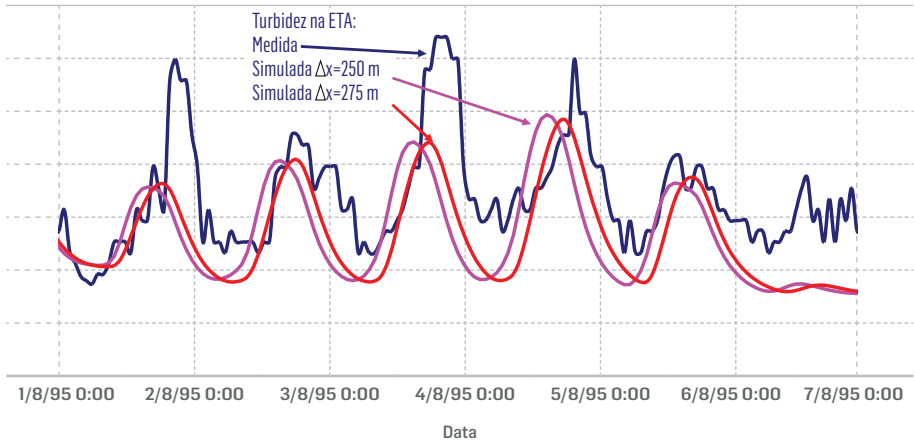


FIGURA 9 - Turbidez medida e simulada para a combinação de cenários 1 e 2

Condição de contorno sedimentológica: carga a montante e erosão + deposição

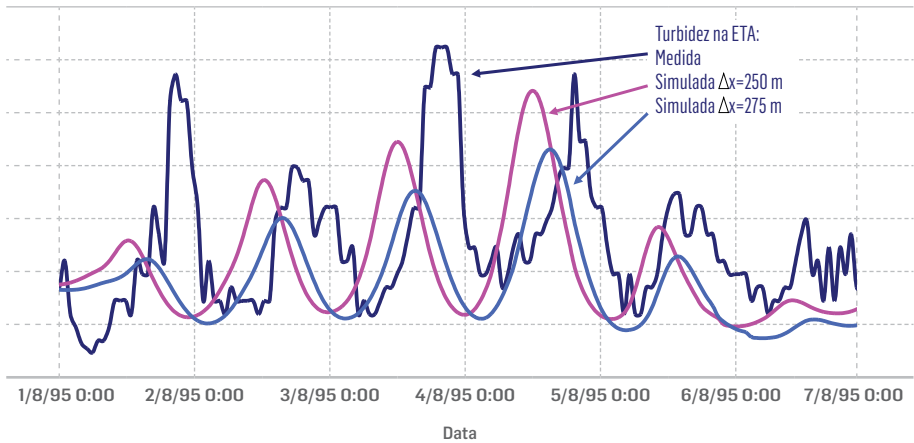


FIGURA 10 - Turbidez medida e simulada para a combinação de cenários 1 e 3

Comparação entre cenários com DX = 275 m

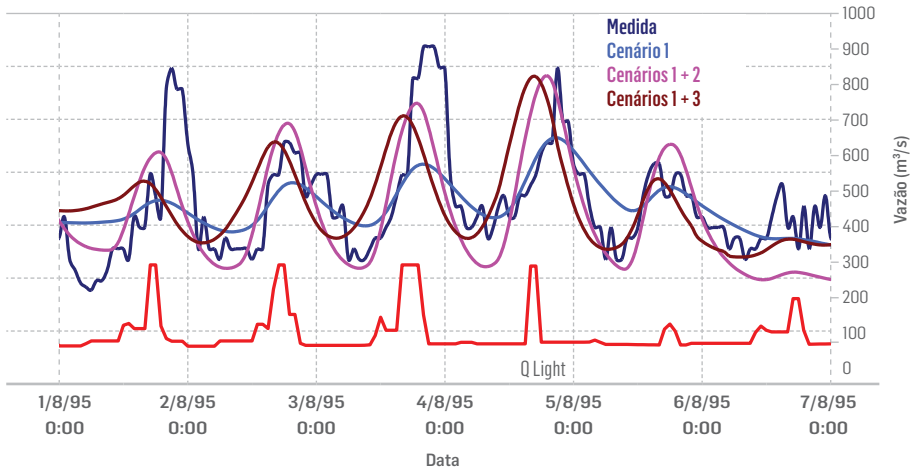


FIGURA 11 - Turbidez medida e simulada para o cenário 1, e a combinação com os cenários 2 e 3

4. CONCLUSÕES

As variações temporais na quantidade de sedimentos, medidas através da turbidez da água, podem ser associadas a diferentes fontes do sedimento, sendo a transposição das águas do Rio Paraíba do Sul relacionada principalmente à variação sazonal anual. Por outro lado, as vazões turbinadas variam diariamente entre 150 e 300 m³/s, devido ao regime de operação de ponta da Usina Pereira Passos, com maiores vazões sendo liberadas nos horários de maior demanda energética, e de segunda à sexta-feira. Esse fato pode levar a variações diárias de turbidez, uma vez que a capacidade de transporte de sedimentos finos do Rio Guandu seria muito maior que a existente em suas condições naturais. A extração de areia pode também ser associada às variações diárias de turbidez observadas.

Os resultados correspondentes aos diferentes cenários de modelagem não deram respostas conclusivas. Foram observadas defasagens nos resultados modelados e medidos do pico de turbidez para todas as hipóteses levantadas, sendo a que representou o melhor ajuste o trânsito dos sedimentos desde a Usina Pereira Passos. Esse exercício de simulação permitiu ilustrar a representação das diferentes alternativas, indicando a possibilidade de haver uma combinação de causas.

Uma calibração mais acurada do modelo, em relação ao coeficiente de atrito do fundo e às parametrizações das condições de contorno do modelo de partículas, permitiria um aprimoramento nos modelos. Porém, a maior limitação dessa modelagem é a falta de informação com relação às quantidades dos sedimentos descarregados na Usina Pereira Passos e pela atividade de dragagem, assim como o intercâmbio de sedimentos finos no leito do rio. Medições de turbidez atuais e distribuídas ao longo do sistema permitiriam um conhecimento maior sobre as causas da variabilidade do índice de turbidez.

REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CEDAE. COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS. *Relatório sobre exploração de areais no rio Guandu*. Rio de Janeiro, 1996.

ESTADOS UNIDOS. Army Corps of Engineers. *Hec-ras river analysis system version 4.1: hydraulic reference manual and user's manual*. Davis, 201.

INFORMATIVO anual sobre a qualidade da água distribuída para a população do estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, CEDAE, jan. /dez. de 2010, 2011.

KIM, M. *Estudo da variabilidade de turbidez no trecho superior do rio Guandu*. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

VINZON, S. B.; CASSAR, J. C. M. Estudo hidrossedimentológico do rio Guandu. In: SERLA. FUNDAÇÃO SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DE RIOS E LAGOAS. *Relatório final*. Rio de Janeiro, 1998.

_____; GALLO, M. N.; MEDEIROS, A. D. Estudo das causas da variabilidade dos índices de turbidez no trecho superior do Rio Guandu. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 6., 2004, Vitória. *Anais...* Vitória, 2004.

AUTORES

Marcos N. Gallo | Doutor em Engenharia Oceânica, área de concentração Engenharia Costeira, pelo Instituto Luiz Coimbra de Pesquisa de Engenharia (Coppe) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Professor adjunto da área de Engenharia Costeira & Oceanográfica (Programa de Engenharia Oceânica) do Coppe/UFRJ. | marcosgallo@peno.coppe.ufrj.br

Susana B. Vinzon | Doutora em Engenharia Oceânica, área de concentração Engenharia Costeira, pelo Coppe/UFRJ. Professora adjunta da área de Engenharia Costeira & Oceanográfica (Programa de Engenharia Oceânica) e do Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente (Drhima) da UFRJ. | susana@peno.coppe.ufrj.br

Marcelo Di Lello Jordão | Mestre em Geologia pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro (Uerj). Doutorando em Engenharia Costeira & Oceanográfica pelo Coppe/UFRJ. | marcelo_dilello@yahoo.com.br

Monique Kim | Engenheira Civil (Recursos Hídricos e Meio Ambiente-DRHIMA) pela UFRJ. | mya_gen@yahoo.com.br

Adriana Dantas Medeiros | Mestre em Engenharia Oceânica, área de concentração Engenharia Costeira, pelo Coppe/UFRJ. | dricamed@globo.com

Em comemoração aos 10 anos de atuação do Comitê Guandu, esta publicação apresenta múltiplas ações desenvolvidas nas bacias da Região Hidrográfica, notadamente aquelas voltadas ao saneamento ambiental e à recuperação da cobertura vegetal em mananciais estratégicos. Muitas dessas ações foram possibilitadas pela atuação do Comitê Guandu, a partir da cobrança pelo uso da água, do plano de bacia hidrográfica e do apoio de sua agência delegatária (Agevap), em parceria com municípios, órgãos estaduais, usuários e associações civis.

Os textos apresentados aprofundam questões fundamentais para a gestão integrada dos recursos hídricos, contribuindo para o conhecimento das bacias hidrográficas dos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim.

Diretoria Colegiada do Comitê Guandu
Biênio 2011/2012



1 0 • A N O S

Adriana Dantas Medeiros
Alcides W.S.Guarino
Alexandro Pereira da Silva
Christina W. Castelo Branco
Décio Tubbs Filho
Edes Fernandes de Oliveira
Eduardo Duarte Marques
Emmanoel Vieira Silva-Filho
Fernando Machado de Melo
Francisco Gerson Araújo
Frederico Menezes Coelho
Friedrich Wilhelm Herms
Handerson Agnaldo de A. Lanzillotta
Isaac Volschan Júnior
Janaina Silva Vettorazzi
Jorge Xavier da Silva
José Paulo Soares de Azevedo
Juliana Bustamante
Julio Cesar Oliveira Antunes
Marcelo Di Lello Jordão
Marcos Antônio Ferreira Consoli
Marcos N. Gallo
Maria Hilde de Barros Goes
Mariana Barbosa Vilar
Mariana da Costa Facioli
Maurício Ruiz
Monique Kim
Olga Venimar O. Gomes
Patrícia Ney de Montezuma
Rinaldo Rocha
Sandra M. G. Thomé
Susana B. Vinzon
Tiago Badre Marino