



Diagnóstico Hidrogeoquímico na Bacia do Guapimirim-Macacu (RJ)
Hydrogeochemical Diagnosis in Guapimirim - Macacu Basin (RJ)

Victor Cesar Ribeiro Pereira¹, Cícera Neysi Almeida² e Telma Mendes da Silva³

¹ Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências,
UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

² Departamento de Geologia, Instituto de Geociências,
UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

³ Departamento de Geografia, Instituto de Geociências,
UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

E-mails: victor.cesar.pereira@gmail.com; neysi@geologia.ufrj.br & telmendes@globo.com

Recebido em: 12/09/2017 Aprovado em: 12/10/2017

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2017_3_82_93

Resumo

Com as perspectivas atuais relacionadas à poluição da água no Brasil e no mundo, pesquisas sobre a qualidade da água têm sido frequentemente realizadas, sobretudo para o abastecimento da população. Este trabalho tem por objetivo apresentar um diagnóstico sobre a bacia do Guapimirim-Macacu, situada na área de influência da região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro, no qual as informações sobre a qualidade hidrogeoquímica das águas constituem dados que auxiliam o gerenciamento dos recursos hídricos locais. Os dados brutos, analíticos e os valores máximos permissíveis obtidos, foram organizados em um banco de dados e representados em ambiente de geoprocessamento que permitiu analisar com maior detalhe a bacia. As análises químicas referentes aos cátions (Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Pb, Cu e Zn) nos permitiram identificar que apenas o Fe e o Mn ultrapassaram os limites da legislação vigente em todos os pontos de amostragem, e que esses elementos são de ocorrência natural decorrente da oxidação dos minerais de ferro. Os teores referentes aos ânions (F^- , Cl^- , Br^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} e HCO_3^-) permitiram classificar as águas da bacia estudada principalmente como bicarbonatadas. Os valores de Índice de Qualidade de Água para a bacia Guapimirim-Macacu variaram entre 36 - 64 (razoável a péssima) o que torna o uso da água dessa bacia para abastecimento humano uma atividade onerosa.

Palavras-chave: Índice de Qualidade da Água, Hidrogeologia, Recurso Hídrico, Sistema de Informação Geográfica.

Abstract

With current perspectives on water issues in Brazil and worldwide, research on water quality has often been carried out, mainly to supply the population. This study aims to present a diagnosis about the Guapimirim-Macacu basin, located in the area of influence of the metropolitan area of the Rio de Janeiro city. The information on the hydrogeochemical quality of the waters help to manage the local water resources. The analytical raw and maximum permissible values obtained were organized in a database and represented in a geoprocessing environment that allowed a more detailed analysis of the basin. Chemical analysis relating to cations (Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Pb, Cu and Zn) allowed to identify that only Fe and Mn exceeded the limits of current legislation in all sampling points, and that these elements are naturally occurring due to the oxidation of iron minerals. The contents related to anions (F^- , Cl^- , Br^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} e HCO_3^-) allowed to classify the waters of the basin studied mainly as bicarbonated. The Water Quality Index values for the Macacu-Guapimirim basin ranged from 36 to 64 (reasonable to bad) which makes the exploitation of this basin water for human consumption a costly activity.

Keywords: Water Quality Index, Hydrogeology, Water Resources, Geography Information System.

1 Introdução

A oferta da água na forma líquida é um dos fatores mais importantes a moldar os ecossistemas, e a qualidade da mesma depende da sua capacidade de diluir e transportar substâncias benéficas e malélicas à vida. A alteração ou variação da qualidade da água agrava o problema da escassez desse recurso, já que apesar de abundante, sua distribuição se dá de forma irregular no planeta. Além disso, outro problema a ser considerado é o das doenças de veiculação hídrica, responsável por 25 milhões de mortes por ano no mundo segundo a Organização Mundial de Saúde (Braga *et al.*, 2002).

Por outro lado, a poluição das águas superficiais por cargas pontuais ocorre intensamente no país. Segundo o Plano Nacional de Saneamento Básico (Brasil/MC/SNSA, 2013), considerando o atendimento adequado, 59,4% da população possui atendimento por abastecimento de água, 39,7% por esgotamento sanitário e 58,6% por manejo de resíduos sólidos. Entretanto o déficit é ainda bastante significativo, de forma que a população com atendimento precário atinge valores médios de 37,2% e a população sem nenhum atendimento atinge valores médios de 10,2%.

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2008) revelou que apenas 55,6% dos municípios brasileiros têm serviço de coleta de esgoto, dos quais apenas 28,5% tratam o esgoto.

No Brasil, o tratamento das águas residuais é realizado através de tratamentos primário e secundário (biológico), removendo apenas sedimentos e matéria orgânica do efluente. A remoção de determinados nutrientes (nitrogênio e fósforo) requer um tratamento terciário, como a desnitrificação ou a remoção de fósforo por precipitação química, porém esta etapa do tratamento possui um custo bastante elevado, o que dificulta sua implantação nas estações de tratamento de efluentes (Chernicharo *et al.*, 2001).

A qualidade da água, na visão de Sperling (2005), é resultante de fenômenos naturais e da atuação do homem. De maneira geral, pode-se dizer que a qualidade da água é função das condições naturais e do uso da ocupação do solo na bacia hidrográfica.

Norris & Hawkins (2000) consideram que a integridade ambiental de uma bacia hidrográfica está

relacionada com perturbações físicas, químicas e biológicas, que, por sua vez, responderiam e impactariam elementos de natureza social e econômica, criando um movimento de natureza circular.

A Lei nº 9.433, conhecida como a Lei das Águas (Brasil/MMA, 1997) tem como parte de sua ementa instituir a Política Nacional de Recursos Hídricos e criar o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Define como uma de suas diretrizes gerais de ação para implementação da política, a integração da gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental. São explicitados através desta lei, os princípios do desenvolvimento sustentável dos Recursos Hídricos. Assim, são objetivos da Política Nacional de Recursos Hídrico (PNRH): “Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos e a utilização racional e integrados dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável”.

As transformações que ocorrem no ambiente de uma bacia hidrográfica podem ser avaliadas em escala espacial e temporal e os impactos provenientes de ações naturais e antropogênicas, determinadas em micro, meso e macro escala, assim pode-se identificar a complexidade dos problemas ambientais. Trabalhos que apresentem metodologia de controle da poluição são necessários, assim o presente trabalho objetiva apresentar um diagnóstico sobre a integridade da Bacia Guapimirim-Macacu, no sentido da aplicação do Índice de Qualidade da Água, por meio de dados primários que contemplam os rios Guapimirim, Guapi-Açu e Macacu, corpos hídricos de grande relevância regional e estratégica para o abastecimento da parte leste da região metropolitana do Rio de Janeiro de forma a auxiliar a gestão dos recursos hídricos da referida bacia.

2 Índice de Qualidade das Águas

O Índice de Qualidade das Águas (IQA), de acordo com Stambuk-Giljanovic (1999), é um instrumento matemático utilizado para transformar grandes quantidades de dados de qualidade da água em um único valor, o qual representa o nível de qualidade da água, enquanto elimina avaliações subjetivas e influências individuais de especialistas em qualidade da água.

Segundo a National Sanitation Foundation – NSF, conforme destacou (Brown *et al.*, 1972), o IQA foi desenvolvido baseado em uma consulta de opinião de 142 especialistas em gestão de qualidade da água, através do método Delphi, onde foram selecionados, dentre vários parâmetros, aqueles mais significativos, sendo atribuídos pesos de acordo com sua relevância. No Brasil, a partir de 1975 começou a ser utilizado pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2015). Nas décadas seguintes, outros estados brasileiros adotaram o IQA, que hoje é o principal índice de qualidade da água utilizado no país.

O IQA foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta visando seu uso para o abastecimento público, após tratamento. Os parâmetros utilizados no cálculo do IQA são em sua maioria indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos.

O IQA é composto por nove parâmetros, com seus respectivos pesos (*w*), que foram fixados em função da sua importância para a conformação global da qualidade da água, conforme mostra a tabela 1.

Parâmetro de Qualidade da Água	Sigla	Peso (<i>w</i>)
Oxigênio dissolvido	OD	0,17
Coliformes termotolerantes	CT	0,15
Potencial hidrogeniônico	pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio	DBO _{5,20}	0,10
Temperatura da água	T	0,10
Nitrogênio total	NT	0,10
Fósforo total	PT	0,10
Turbidez	Tu	0,08
Sólidos Totais Dissolvidos	STD	0,08

Tabela 1. Parâmetros de Qualidade da Água do IQA e respectivo peso (NSF, 2013).

O IQA, portanto, consiste numa técnica aplicada sob algumas particularidades de uso, com o intuito de diagnosticar perturbações nos recursos hídricos segundo óticas de ecossistemas lóticos e lênticos. No estado do Rio de Janeiro essa metodologia foi aplicada por Egler (2012) que fez um inventário das águas fluviais de todo o seu território.

O processo de gestão de recursos hídricos do estado do Rio de Janeiro deve considerar todos os ambientes que integram o território, incluindo ilhas, baías, terras e corpos hídricos interiores que compõem os principais ambientes das bacias hidrográficas. Assim, o estado do Rio de Janeiro, de acordo com a Resolução CERHI-RJ nº 107, de 22 de maio de 2013, para fins da gestão dos seus recursos hídricos, encontra-se atualmente dividido em regiões hidrográficas, as quais, conforme a CNRH (Brasil, 2003) são os espaços territoriais brasileiros compreendidos por uma bacia, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas com características naturais, sociais e econômicas homogêneas ou similares, com vistas a orientar o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. De tal modo, o Rio de Janeiro possui ao todo, nove regiões hidrográficas, que são:

1. RH I: Região Hidrográfica Baía da Ilha Grande;
2. RH II: Região Hidrográfica Guandu;
3. RH III: Região Hidrográfica Médio Paraíba do Sul;
4. RH IV: Região Hidrográfica Piabanha;
5. RH V: Região Hidrográfica Baía de Guanabara;
6. RH VI: Região Hidrográfica Lagos São João;
7. RH VII: Região Hidrográfica Rio Dois Rios;
8. RH VIII: Região Hidrográfica Macaé e das Ostras;
9. RH IX: Região Hidrográfica Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana.

A divisão territorial em Regiões Hidrográficas torna-se uma importante ferramenta para a gestão dos recursos hídricos, bem como do ponto de vista ambiental.

Considerando a urbanização crescente, o aumento populacional e a demanda cada vez maior por recursos hídricos para fins de abastecimento humano e industrial, entre outros usos, este processo tem provocado uma série de desequilíbrios

ambientais, transformando a realidade e o panorama das regiões hidrográficas, conforme identificado por Pereira (2015) que ressaltou a queda de qualidade da água na RH V, onde está situada a Bacia do Guapimirim-Macacu.

3 Área de Estudo

A Bacia do Guapimirim-Macacu está inserida na Região Hidrográfica da Baía de Guanabara com uma área de contribuição de 1.250km² e corta quatro municípios: Cachoeiras de Macacu, Magé, Guapimirim e Itaboraí.

O rio Macacu drena parte das escarpas da Serra do Mar, assim como seus principais afluentes: pela margem direita, os rios Guapi-Açu e Guapimirim e pela margem esquerda, os rios Bengala, Soarinho, Imbuí e outros menores que drenam o Maciço Alcalino de Soarinho e adjacências, no terço médio do rio Macacu. O rio Guapi-Açu recebe diversos rios pela margem direita, destacando-se os rios Orindiaçu e Iconha e pela margem esquerda o rio Rabelo, todos drenando contrafortes e espigões da Serra do Mar.

A bacia do Guapimirim-Macacu (Figura 1) ocupa a parte central do Graben da Guanabara, limitada a leste pela Baía de Guanabara e a oeste pelos maciços alcalinos de Soarinho, Tanguá e Rio Bonito, a norte pela Serra do Mar e a sul pelo maciço litorâneo. O clima é predominantemente tropical com períodos chuvosos bem marcados. Esta bacia

tem uma baixa densidade demográfica e áreas de mata ainda preservadas, muitas das quais localizadas em unidades de conservação, fazendo com que a água proveniente delas seja a de melhor qualidade em relação à água das bacias da região Oeste da Baía de Guanabara. A bacia do Guapimirim-Macacu é responsável pelo abastecimento de cerca de 2,5 milhões de habitantes dos municípios de Cachoeira de Macacu, Guapimirim, Itaboraí, São Gonçalo e Niterói, sendo também utilizado para a irrigação e piscicultura. A captação para o abastecimento de água é efetuada no canal de Imunana, no município de Guapimirim. Essa captação situa-se no trecho inferior da bacia, que recebe contribuição das sub-bacias dos rios Macacu e Guapi-açu, ficando, porém à jusante das tomadas de água para diversas finalidades (Helder, 1999).

Segundo Dantas *et al.* (2007) as águas da Bacia do Guapi-Macacu conjuntamente ao Canal de Imunana correspondem à quarta parte de toda área contribuinte da Baía da Guanabara e constitui-se o mais importante manancial da região em quantidade de água. Resultados obtidos no balanço nos sistemas de abastecimento urbano indicaram que, mantidas as condições atuais de oferta de água, com o crescimento da população, ocorrerão déficits hídricos no ano de 2020 de 6,491 m³/s, no sistema Imunana (ECOLOGUS-AGRAR, 2003), o que corresponde ao não atendimento de 1.777.000 habitantes. Para assegurar, sobretudo o abastecimento humano, está prevista pela Secretaria de Ambiente e Estado do

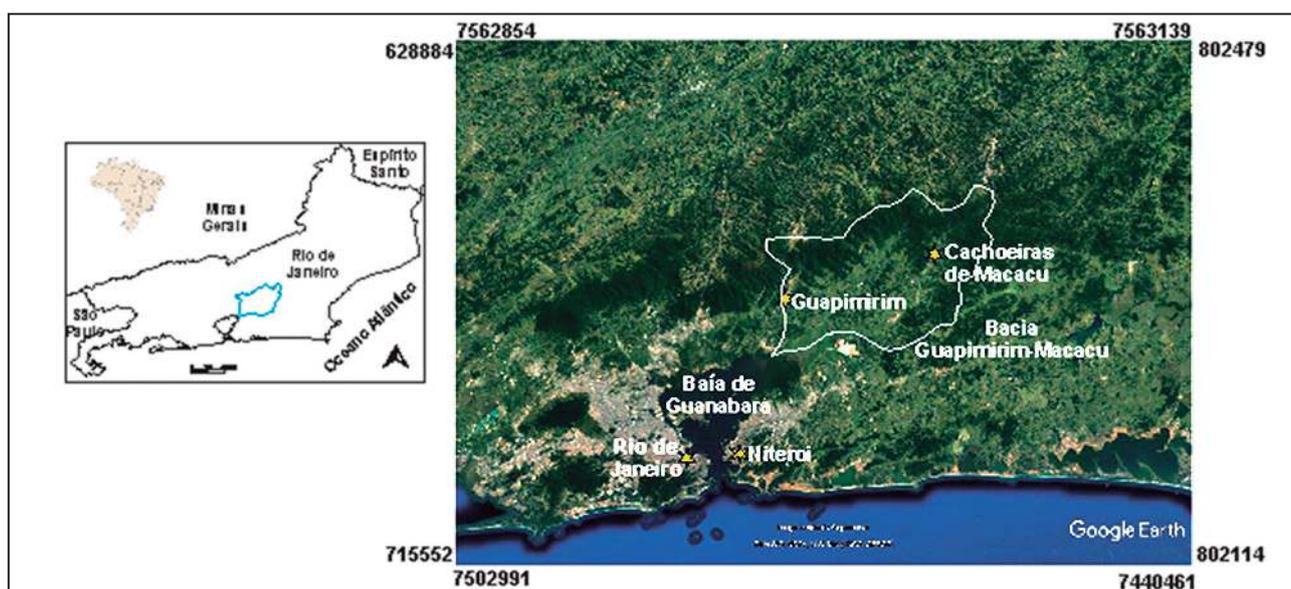


Figura 1. Mapa de localização da Bacia do Guapimirim – Macacu.

Rio de Janeiro a construção de uma barragem no rio Guapiaçu, localizada no distrito de Suboro do município de Cachoeiras de Macacu (AMBIENTAL ENGENHARIA E CONSULTORIA, 2013).

4 Material e Métodos

A metodologia empregada utilizou quatro etapas de análise. Inicialmente foi feito um levantamento e sistematização da literatura acerca da temática abordada, de forma a construir um panorama do conhecimento sobre os elementos que interagem e orientam o funcionamento natural das bacias hidrográficas, além de um levantamento histórico das abordagens sobre seu gerenciamento.

A segunda etapa resultou na elaboração do Índice de Qualidade da Água (IQA) conforme definido no item 2. Foram selecionados, dentre vários parâmetros, os mais significativos e para eles atribuídos pesos de acordo com sua relevância (Brown *et al.*, 1972).

Os nove parâmetros considerados para este cálculo são: Oxigênio Dissolvido (OD), Potencial Hidrogeniônico (pH), Temperatura da água (T), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5,20}), Coliformes termotolerantes (CT), Nitrogênio Total (NT), Fósforo Total (PT), Turbidez (Tu), Resíduo Total / Sólidos Totais Dissolvidos (STD).

Segundo a CETESB (1975), o cálculo do IQA é feito por meio do produtório ponderado dos nove parâmetros, segundo a seguinte fórmula:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

em que:

IQA = Índice de Qualidade das Águas. Um número entre 0 e 100;

q_i = qualidade do i-ésimo parâmetro. Um número entre 0 e 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise);

w_i = peso correspondente ao i-ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1, de forma que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

sendo n o número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

A terceira etapa consistiu no levantamento detalhado de campo na Bacia do Guapimirim-Macacu (BGM), no qual os pontos de amostragem foram orientados pelo resultado obtido dos locais com maior fragilidade em relação à qualidade da água diagnosticada por Pereira (2015). Incluiu-se também na coleta pontos antes e depois dos locais de captação pela CEDAE (Companhia de Águas e Esgotos do Estado do Rio de Janeiro). As coletas de campo foram realizadas utilizando o *kit* de coleta fornecido pelo LABAGUAS – Laboratório de Caracterização de Águas da PUC-RJ, uma corda e um balde. O *kit* utilizado para coleta de uma amostra era composto de: 02 garrafas plásticas de 250mL (01 ácido e 01 in natura), 01 frasco de vidro contendo ácido nítrico e 01 ficha de cadastro de amostra. A coleta seguiu os seguintes recomendados pelo LABAGUAS (Laboratório de Caracterização de Águas – PUC/RJ):

A quarta etapa resultou na elaboração do Índice de Qualidade da Água (IQA) para a Bacia do Guapimirim-Macacu (BGM) e utilizando técnicas de geoprocessamento para identificar os locais com os piores índices qualidade de água.

Por fim, foi gerado um banco de dados geográficos, que permite consulta de dados para análise de qualidade da água do estado do Rio de Janeiro, bem como o desdobramento sobre a disponibilização à sociedade.

5 Resultados

Os principais resultados alcançados foram qualificados pelo Índice de Qualidade da Água (IQA) e pelo Diagnóstico Hidrogeoquímico de Qualidade da Água da Bacia Guapimirim-Macacu, os quais incluem, principalmente, as áreas de maior fragilidade quanto à qualidade da água, bem como o banco de dados geográficos sobre a qualidade da água na área de interesse.

5.1 Índice de Qualidade da Água (IQA) da Bacia Guapimirim-Macacu

Os dados dos parâmetros Físico-Químicos pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, coliformes termotolerantes, dureza, alcalinidade, carbonato, bicarbonato, Fósforo total, Nitrogênio total, demanda química de oxigênio e turbidez de IQA foram calculados segundo o método adaptado da CETESB (2015) e variaram de 36 a 64, sendo constatado que para a data da coleta as águas dos rios estavam com níveis de qualidade das classes de razoáveis a ruins, conforme demonstrado pela tabela 2, e o que indica que a bacia vem sofrendo distúrbios constantes que necessitam de maiores identificações.

Amostra	Local	IQA
PFQ-01	Rio Macacu – Itaboraí	36
PFQ-02	Rio Guapi-Açu - Guapimirim	45
PFQ-04	Rio Bananal – Guapimirim	51
PFQ-05	Rio Iconha – Guapimirim	48
PFQ-06	Rio Guapi-Açu - Guapimirim	44
PFQ-07	Rio Macacu – Papucaia	63
PFQ-08	Rio Macacu – Japuiba	58
PFQ-09	Rio Rabelo – Itaboraí	43
PFQ-10	Rio Macacu – COMPERJ	60
PFQ-11	Rio Macacu - Cachoeiras de Macacu	64

Ótima	Boa	Razoável	Ruim	Péssima
-------	-----	----------	------	---------

Tabela 2. Classificação do IQA aplicado nos pontos de coleta.

A qualidade do recurso hídrico na bacia Guapimirim–Macacu pode ser comparada com a de toda a região hidrográfica da Baía de Guanabara que se apresenta quase totalmente imprópria para o consumo humano. Os dados de IQA para essa região hidrográfica foram obtidos por Pereira (2015) utilizando dados disponibilizados pelo INEA e indicaram uma variação média de qualidade entre 31 a 33, classificando-a em média de ruim a péssima.

Isso leva a afirmar que o recurso hídrico da bacia Guapimirim–Macacu necessita de um controle elevado de purificação da água, o que torna o uso de suas águas para abastecimento uma atividade onerosa. Pela figura 2, observa-se que, na sub-bacia do rio Guapiaçu, os índices obtidos nos pontos PFQ-02, 05, 06 e 09 a classifica com qualidade ruim; nas sub-bacias dos rios Macacu e Guapimirim as amostras indicaram qualidade da água razoável, sendo que no ponto PFQ-11 obteve-se índice bem próximo à boa. A amostra coletada no ponto PFQ-01 também apresentou qualidade ruim, devido principalmente à influência marinha da Baía de Guanabara, entretanto, essa característica não representa o comportamento geral da bacia, haja vista a sua influência por fatores externos.

5.2 Diagnóstico Hidrogeoquímico de Qualidade da Água da Bacia Guapimirim-Macacu

A composição química das águas superficiais é controlada por muitos fatores que

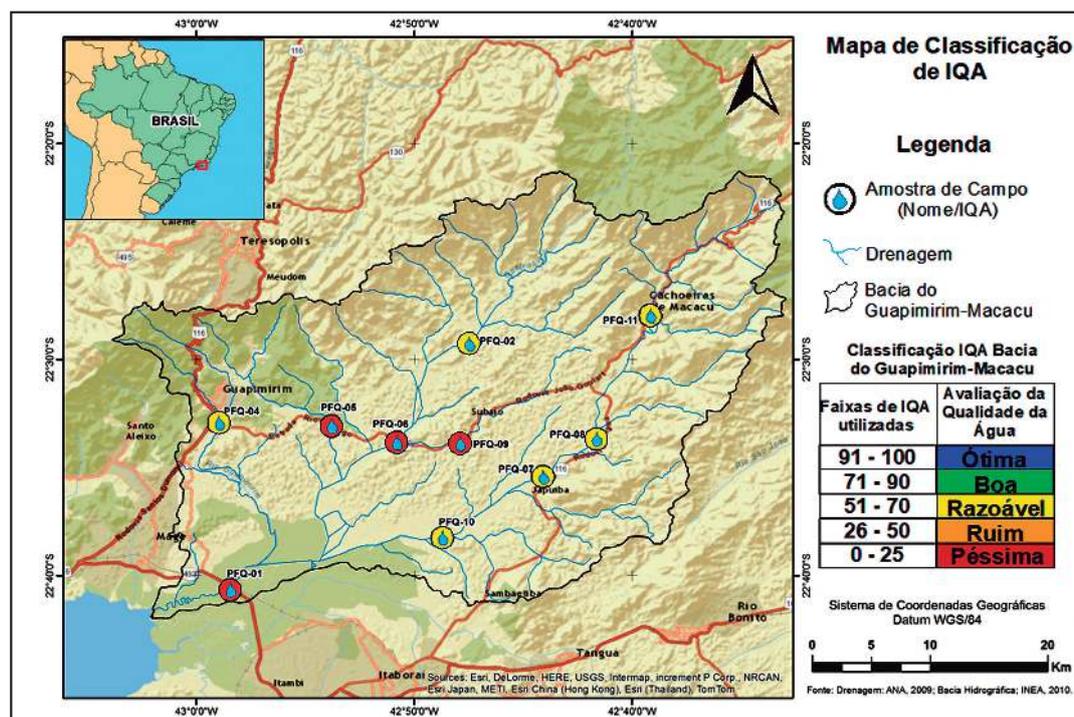


Figura 2. Mapa da Bacia do Guapimirim – Macacu com os dados de IQA.

incluem principalmente a composição química de precipitação, mineralogia da bacia hidrográfica, clima e topografia. Esses fatores, combinados, podem conduzir a padrões diferenciados de qualidade da água que, por sua vez, mudam ao longo da bacia e, também, ao longo do tempo.

Os resultados alcançados das análises químicas referentes aos ânions F^- , Cl^- , Br^- , $(PO_4)^{2-}$, $(PO_4)^{3-}$,

$(NO_3)^-$ e aos cátions Na, K, Ca, Mg e metais pesados (Pb, Cu, Zn, Fe e Mn) foram analisados com base na resolução CONAMA 357/05 (Brasil, 2005) para águas doces de Classe 2 para abastecimento humano, condizentes com o enquadramento proposto para o manancial em questão. Os resultados obtidos nos dez pontos de monitoramento estão apresentados na tabela 3.

Descrição	PFQ01	PFQ02	PFQ04	PFQ05	PFQ06	PFQ07	PFQ08	PFQ09	PFQ10	PFQ11	VMP		
Latitude	-22,6772	-22,4874	-22,5486	-22,5511	-22,5636	-22,5895	-22,5609	-22,5645	-22,6373	-22,4651	Port. MS 2194	CONAMA 357/05	
Longitude	-42,9745	-42,7917	-42,9829	-42,8972	-42,8473	-42,7350	-42,6946	-42,7985	-42,8121	-42,6534			
Parâmetros Físico-Químicos													
Turbidez (uT)	6	3	4	3	3	6	1	2	2	2	5 uT	-	
Temperatura (°C)	21	21	19	20	21	22	22	21	20	21	N.A.	-	
pH	6,71	6,90	6,90	6,80	6,89	6,60	6,97	7,09	6,93	7,10	-	-	
Condutividade	1665,00	45,20	119,00	57,10	49,70	65,70	66,00	69,70	79,50	45,70	-	-	
OD	1,70	1,50	4,40	2,30	1,50	9,20	9,80	2,10	8,00	8,90	-	<5,0	
DBO(5)	5,00	3,23	4,70	3,18	5,03	2,87	4,00	1,25	3,20	4,72	N.A.	<5,0	
Coliformes Termotolerantes	1700	700	500	2300	1800	2100	2200	1650	2100	2500	-	1000/ml	
STD (mg L ⁻¹)	1064,00	40,30	86,00	46,50	41,90	52,00	52,20	54,50	60,70	39,30	1000 (mg L ⁻¹)	1000 (mg L ⁻¹)	
Dureza (mg L ⁻¹)	175,00	11,80	21,70	11,90	12,10	19,00	11,90	12,30	13,50	9,79	500 (mg L ⁻¹)	-	
Alcalinidade (mg L ⁻¹)	30,10	16,70	35,10	20,10	17,70	25,30	22,20	22,50	25,90	14,00	-	-	
Carbonato (mg L ⁻¹)	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	-	-	
Bicarbonato (mg L ⁻¹)	36,70	20,50	42,80	24,50	21,50	30,90	27,10	27,40	31,60	17,00	-	-	
Ânions por Cromatografia de Íons												VMP (mg L⁻¹)	
Fluoreto (mg L ⁻¹)	0,02	0,05	0,06	0,04	0,06	0,10	0,03	0,04	0,04	0,04	1,5	1,5	
Cloreto (mg L ⁻¹)	439,00	2,26	8,89	3,24	2,76	3,96	3,48	3,74	4,78	2,70	250	250	
Brometo (mg L ⁻¹)	1,31	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-	
Nitrato (mg L ⁻¹)	0,88	0,41	1,92	1,16	0,53	0,01	1,92	2,31	3,30	1,34	10*	10*	
Fosfato (mg L ⁻¹)	0,77	0,01	0,25	0,02	0,02	0,01	0,30	0,28	0,19	0,03	-	-	
Sulfato (mg L ⁻¹)	65,00	1,10	4,23	2,02	1,57	1,45	2,34	2,63	2,75	1,44	250	250	
Cátions por Cromatografia de Íons												VMP (mg L⁻¹)	
Sódio (mg L ⁻¹)	282,00	5,46	13,00	5,38	5,82	6,09	8,97	9,67	11,00	5,09	200	200	
Potássio (mg L ⁻¹)	11,20	1,48	2,38	1,37	1,62	2,51	1,70	1,70	2,07	1,31	-	-	
Cálcio (mg L ⁻¹)	18,30	2,98	6,98	3,54	3,31	4,42	3,55	3,66	3,88	2,91	-	-	
Magnésio (mg L ⁻¹)	31,50	0,84	1,05	0,75	0,93	1,93	0,74	0,76	0,93	0,61	-	-	
Metais												VMP (mg L⁻¹)	
Chumbo (mg L ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	
Cobre (mg L ⁻¹)	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	2	2	
Ferro (mg L ⁻¹)	1,15	1,03	1,23	1,54	1,18	2,64	0,73	0,89	1,10	0,11	0,3	0,3	
Manganês (mg L ⁻¹)	0,31	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,01	0,1	0,1	
Zinco (mg L ⁻¹)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,04	0,42	0,02	5	5	

Tabela 3. Metais pesados e dados físico-químicos verificados na bacia Guapimirim-Macacu em outubro de 2014.

Quanto aos valores de temperatura estes não apresentaram grandes variações, sendo a mínima de 19°C (Ponto PFQ04) e a máxima de 22°C (Pontos PFQ07 e 08). Os valores de oxigênio dissolvido (OD) variaram de 1,50 a 9,20 mg/L, onde os valores que são superiores a 5 mg/L estão dentro dos valores permitidos pela resolução CONAMA vigente para águas classe 2, nos pontos PFQ-01, 02, 04, 05, 06 e 09 os valores estão menores ao estipulado, já os demais são atendidos pela resolução.

Os valores de pH das águas variaram entre 6,71 a 7,10 ao longo dos pontos de amostragem e, portanto, se encontram dentro do intervalo 6,0–9,0 preconizado pela CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005).

Em toda a bacia apenas dois metais ultrapassaram os limites da legislação vigente em todos os pontos de amostragem: o Ferro e o Manganês, e que são metais preocupantes para águas destinadas ao consumo humano. Essa ocorrência elevada na área estudada pode ser tratada como uma ocorrência natural decorrente da oxidação dos minerais de ferro (Figura 3, ver discussão no item seguinte). Essas taxas podem vir a causar problemas como precipitação no manancial, em encanamentos de captação, em tanques e acessórios, formando

uma cobertura ou crosta de cor marrom avermelhada, difícil de ser removida.

Utilizando os dados da análise química das amostras de água coletadas em campo, foi possível carregá-las na aplicação Qualigraf (FUNCEME, 2002), que ajudou na interpretação dos dados gerando informações por meio da criação do Diagrama de Piper, possibilitando classificar as águas segundo sua composição química.

A partir da análise dos dados analíticos projetados no Diagrama de Piper (Figura 4), verifica-se que as águas da bacia Guapimirim – Macacu são predominantemente do tipo bicarbonatadas sódicas, como foi encontrado em 08 amostras e na amostra PFQ-07 como bicarbonatada mista. Uma única exceção anômala foi dada para amostra PFQ-01 que foi classificada como água sulfatada ou cloretada sódica, devido à influência marinha da Baía de Guanabara.

O padrão bicarbonático evidenciado em quase todas as amostras constitui uma característica comum das águas fluviais que tendem a ser cálcicas e bicarbonatadas (Murray, 2014) com valores de HCO_3^- não excedendo 250mg/L (Nikanorov & Brazhnikova, 2009) podendo atingir valores de 800mg/L em águas salgadas (Feitosa & Filho, 2000).

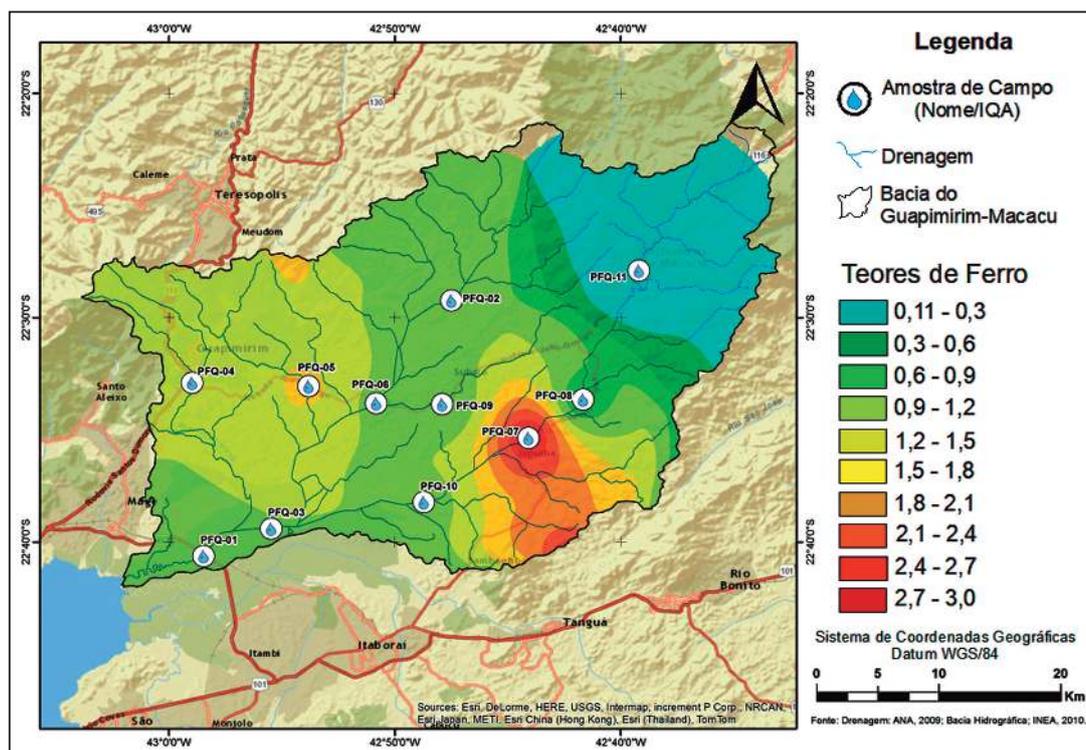


Figura 3. Mapa de concentração de Ferro na Bacia do Guapimirim – Macacu.

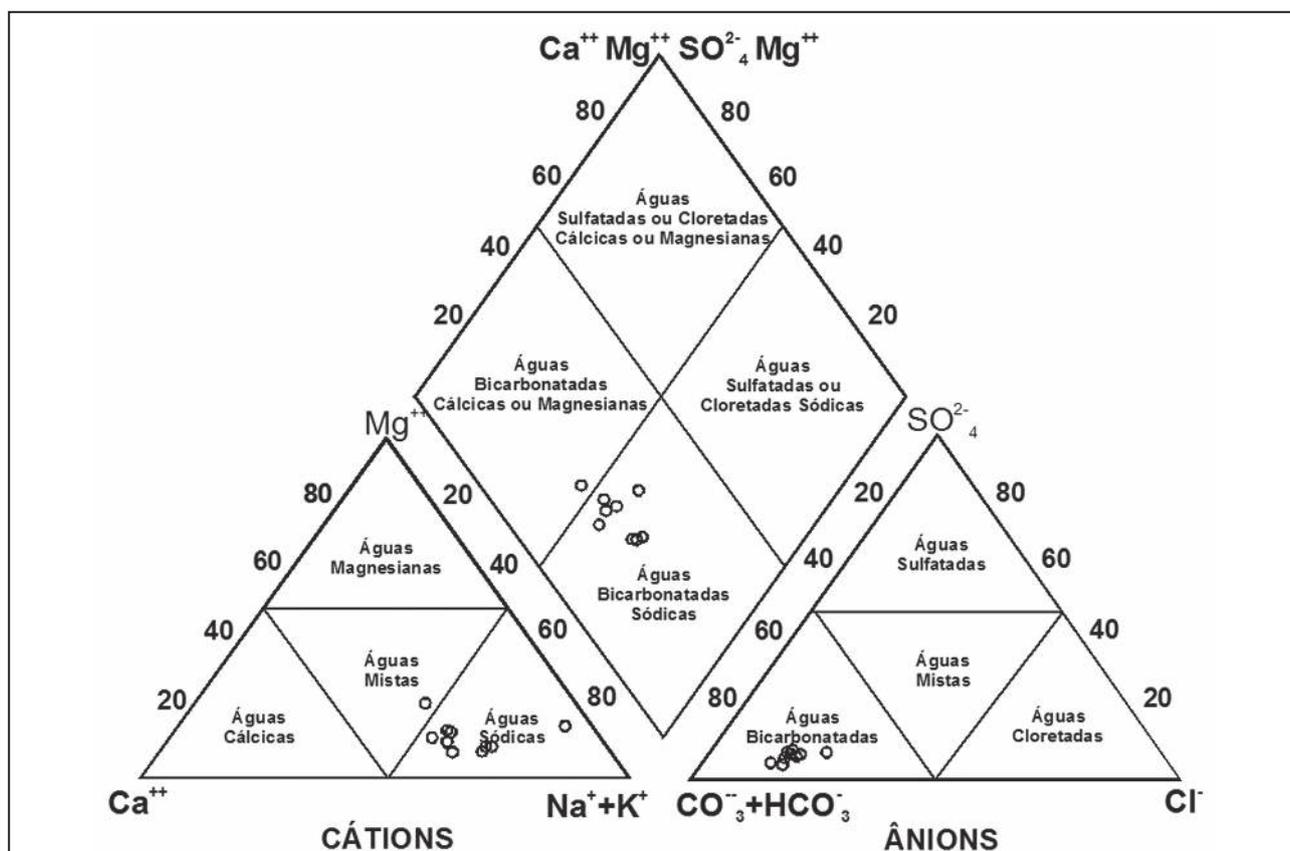


Figura 4. Diagrama de Piper com as amostras coletadas na Bacia do Guapimirim – Macacu.

6 Discussão

Os resultados analíticos das águas superficiais da bacia do Guapimirim-Macacu permitiram inferir a pouca interferência de atividades humanas, principalmente no que se refere a lançamento de efluentes nos canais de drenagem. Considerando os parâmetros físico-químicos, os valores de sólidos totais dissolvidos e dureza estão dentro dos limites permitidos pelo CONAMA e Ministério da Saúde, exceção para os sólidos totais dissolvidos no ponto PFQ-01 localizado bem próximo à Baía de Guanabara. Considerando os valores de OD obtidos para as águas da bacia estudada verifica-se que, em geral, estão abaixo dos limites determinados pelo CONAMA. Verifica-se também uma clara correlação negativa entre valores de OD e IQA (Figura 5).

Altas concentrações de oxigênio dissolvido são indicadores da presença de vegetais fotossintéticos e baixos valores indicam a presença de matéria orgânica (provavelmente originada de efluentes domésticos), ou seja, alta quantidade de biomassa

de bactérias aeróbicas decompositoras (O'Connor, 1967). De acordo com Spahr *et al.* (2000), um rio saudável, segundo os padrões de qualidade da água no estado da Carolina do Norte (EUA), tem um nível de oxigênio dissolvido de 5,0 mg/L. A Colorado River Watch Network Water Quality Data (CRWN) determina que os níveis esperados devam estar entre 4,0 – 12mg/L.

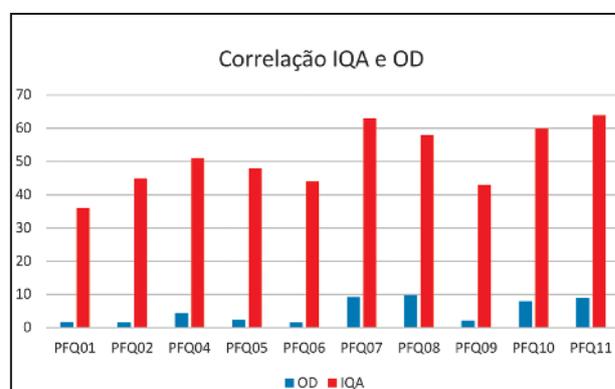


Figura 5 – Gráfico mostrando a correlação entre os valores de IQA e OD.

Dados físico-químicos apresentados por Pereira *et al.* (2012) para o alto e médio curso rio Guapiaçu (Tabela 4) são semelhantes aos obtidos no presente trabalho, indicando que no decorrer desse período as águas desse rio não tem mostrado alterações no que se refere a esses parâmetros.

Parâmetros Físico-Químicos	Valores
pH	5,9 – 7,7
Condutividade	13,1 – 58,4
OD	3,3 – 8,3
STD (mg L ⁻¹)	5,8 – 26,5
Dureza (mg L ⁻¹)	9,3 – 20,6
Alcalinidade (mg L ⁻¹)	6,0 – 21,5

Tabela 4 - Parâmetros físico-químicos para o rio Guapiaçu (Pereira *et al.* 2012).

Entretanto, os valores de (NO₃)³⁻ e (PO₄)³⁻ são muito baixos em toda a bacia hidrográfica. O nitrato representa o estágio final de oxidação da matéria orgânica e teores acima de 5mg/L podem ser indicativos de contaminação de águas continentais por atividade humana (esgotos, fossas sépticas, depósitos de lixo, cemitérios, adubos nitrogenados, resíduos de animais) (Custódio e Llamas, 1983). Segundo Matthes & Harvey (1982), devido à ação de microrganismos, a concentração de fosfato deve ser baixa (<0,5mg/L) em águas naturais. A concentração varia geralmente entre 0,01 e 1 mg/L, podendo chegar a 10mg/L (Custódio & Llamas, 1983). Valores acima de 1,0mg/L, geralmente, são indicativos de águas poluídas.

Como os valores mais baixos de OD estão relacionados aos pontos mais próximos à Baía da Guanabara, onde o aporte de efluentes domésticos e industriais é mais elevado, pode-se considerar que a interferência humana pode já estar modificando os parâmetros naturais de forma localizada.

Valores elevados de Na e Cl⁻ foram registrados apenas no ponto PFQ-01. A presença desses íons em águas fluviais poderia relacionar-se ao intemperismo de depósitos de evaporitos, argilitos e ao deslocamento iônico dos solos (Nikanorov & Brazhiskaia, 2014). Entretanto, a ausência desse tipos litológicos no continente e a proximidade desse ponto à Baía da Guanabara são mais consistentes com uma influência marinha via aerossol ou chuvas.

No que tange às concentrações de Ferro (Fe), em quase totalidade da bacia foram encontrados valores que excederam a resolução CONAMA 357/05, exceto no ponto PFQ-11 que fica dentro da cidade de Cachoeiras de Macacu. Essas altas concentrações de Fe estão diretamente ligadas à geologia da bacia que se encontra na parte central do Graben da Guanabara, onde são encontradas fácies marginal do Batólito Serra dos Órgãos constituída por granada-hornblenda-biotita granodiorito, rico em xenólitos de paragneisse parcialmente fundido e assimilado (migmatito de injeção; CPRM, 2001).

Outras contribuições significativas nos teores desse elemento devem vir dos maciços alcalinos de Soarinho, Tanguá e Rio Bonito, constituídos por rochas enriquecidas nos teores de FeO_{total}. O Mn apresentou valor acima do permitido apenas no ponto PFQ-01.

Com a construção do banco de dados da bacia do Guapimirim-Macacu foi possível fazer uma análise espacial e identificar locais na bacia com maior fragilidade ambiental em relação aos recursos hídricos (Figura 6). Utilizando como referência os valores das amostras dentro e acima do Valor Máximo Permissível (VMP) para cada elemento, foi aplicado um critério que inicialmente classifica os valores em: permitido e não permitido (resolução CONAMA/357/05). Este critério também classifica as águas quanto ao seu processo de tratamento em simples e avançado, respectivamente. Os valores classificados como 'não permitidos' foram reclassificados em: Regular, Ruim e Péssimo, onde essa reclassificação equivale a percentuais acima do VMP de 50% para regular, de 50-100% para ruim e maior que 100% para péssimo. O mapa elaborado mostra que a área de maior fragilidade ambiental se encontra no entorno do ponto PFQ-01 próximo à desembocadura da Baía de Guanabara e que nas cabeceiras da bacia a água encontra-se dentro do valor permissível, corroborando o forte stress ambiental que já estão submetidos os rios ao adrentarem na baía.

7 Conclusão

A metodologia empregada para identificação de áreas com qualidade da água propícia para abastecimento humano na bacia do Guapimirim-Macacu, mostrou para sua quase totalidade, níveis de qualidade das classes de razoáveis a ruins.

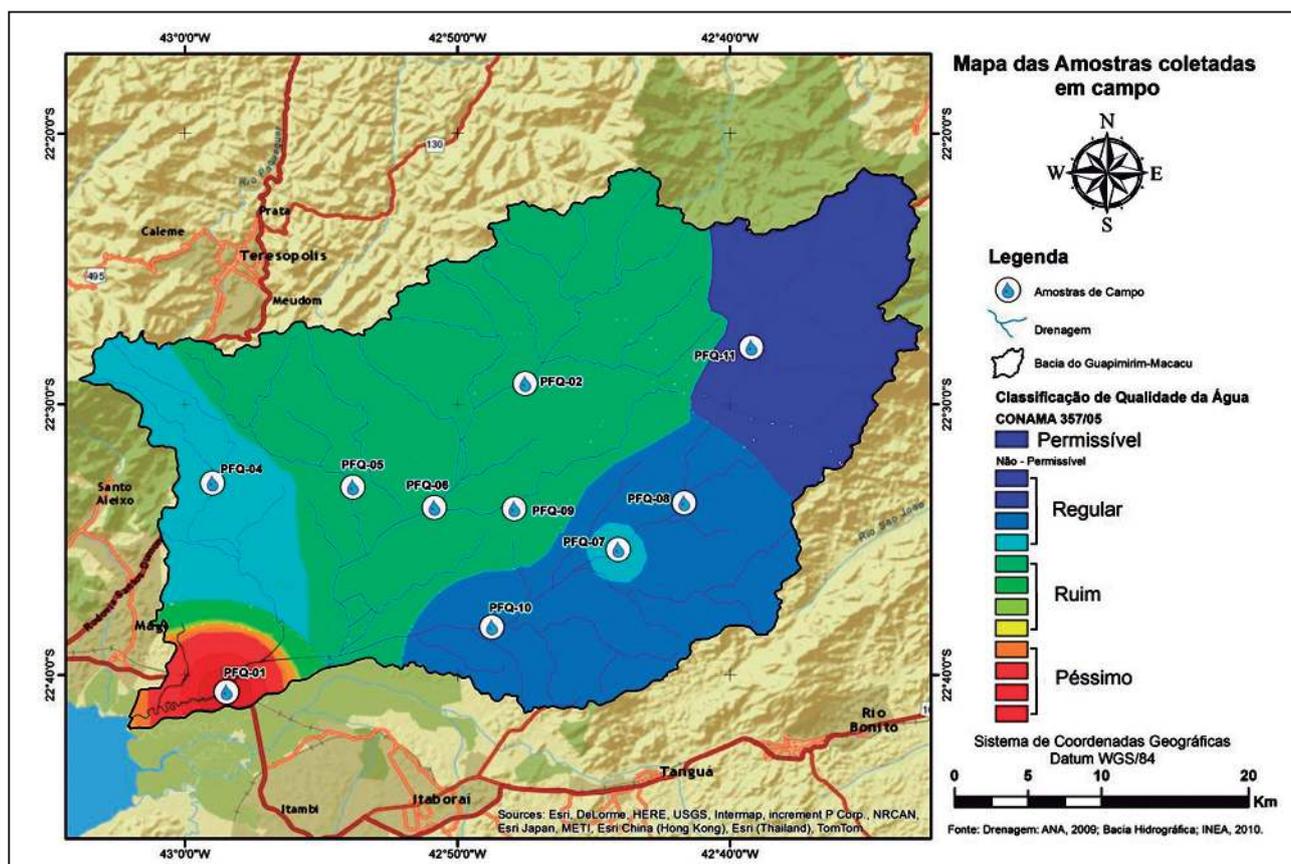


Figura 6. Mapa da fragilidade ambiental dos recursos hídricos da Bacia Guapimirim – Macacu.

Apenas no alto curso da do rio Macacu as análises apontaram que a qualidade da água necessita de pouco tratamento e, portanto, é mais fácil, rápida e menos onerosa sua entrega à população. Na captação do sistema Imununa-Laranjal, a água necessita de tratamentos avançados para que seja disponibilizada a consumo.

No baixo curso da bacia e, principalmente no ponto logo posterior ao local de captação, o sistema Imunana-Laranjal, que abastece o município de Niterói, parte dos municípios da Baixada Fluminense e a ilha de Paquetá, verificou-se os piores índices de qualidade, marcado pelos elevados teores em Na, Cl, Fe, Mn, OD, STD, os quais se devem à interferência de águas marinhas da Baía de Guanabara adentrando ao canal do rio Macacu, além de outros fatores como interferência de atividades humanas e despejos industriais potencializando negativamente a qualidade da água na bacia.

No que diz respeito ao abastecimento público para parte da Região Metropolitana do estado do Rio

de Janeiro e a integridade ambiental dos recursos hídricos da bacia Guapimirim – Macacu os resultados aqui apresentados podem contribuir relevantemente para ações que devem ser implementadas para recarga dos mananciais e elevação nos níveis de qualidade da água da bacia.

8 Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da UFRJ, pela concessão do recurso financeiro necessário para as análises químicas das águas e aos revisores do artigo cujas observações contribuíram de forma relevante para a qualidade final apresentada.

9 Referências

Consórcio Ambiental Engenharia e Consultoria. 2013. Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Obras para Implantação da Barragem do Rio Guapi-Açu com vistas à implantação da oferta de água para a região do CONLESTE Fluminense, localizado no município de

- Cachoeiras de Macacu/ RJ. Rio de Janeiro, Fundação Bio-Rio/Secretaria do Ambiente, 116p.
- Agência Nacional das Águas – ANA. 2002. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Brasília. 204p.
- Agência Nacional das Águas – ANA. 2005. Bacia do Rio Paraíba do Sul. In: Cadernos de Recursos Hídricos. Brasília, Agência Nacional de Águas, ANA. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/planejamento/estudos/cadernoderecursos.aspx>
- Braga, B.; Hespanhol, I.; Conejo, J. G.; Barros, M. T. L. D.; Veras Junior, M. S.; Porto, M. F.; Eiger, S. 2002. Introdução à engenharia ambiental. São Paulo, Pince Hall, 336p.
- Brasil. Ministério das Cidades/Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. 2013. Plano Nacional de Saneamento Básico. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/AECBF8E2/Plansab_Versao_Conselhos_Nacionais_020520131.pdf.
- Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). 2005. Resolução nº 357/2005. Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama.
- Brasil. Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). 2003. Resolução nº 32/2003. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/sitio/index.php?option>.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente (MMA). 1997. Lei nº 9.433/1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil03/LEIS/19433.htm>.
- Brown, R.M, McClelland, N.J., Deiniger, R.A. and O'Connor, M.F.A. 1972. Water quality index – crossing the physical barrier. In: Jenkis, S.H. (ed.). Proceedings in International Conference on water pollution Research Jerusalem, 6, pp:787-797.
- CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. 2015. Variáveis de Qualidade da água. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/variaveis-de-qualidade-das-variaveis-superficiais/109-Variaveis-de-Qualidade-das-variaveis-superficiais>.
- Chernicharo, C.; Cota, R.S.; Zerbini, A.M.; Sperling, M.; Brito, L.H. 2001. Post-treatment of anaerobic effluents in an overland flow system. Water Science and Technology, 44(4):229-236.
- Custódio, E. & Llamas, M. R. 1983. Hidrologia Subterrânea. Barcelona, , 2359p.
- Dantas, J. R., Almeida, J. R., Lins, G. A. 2007. Impactos ambientais na bacia hidrográfica de Guapi/Macacu e suas consequências para o abastecimento de água nos municípios do leste da Baía de Guanabara. Coleção Artigos Técnicos nº 7, CETEM/MCT. Série gestão e planejamento ambiental. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br>.
- ECOLOGUS-AGRAR. 2003. Plano diretor de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica da Baía da Guanabara. Rio de Janeiro, 387p.
- Egler, M. 2012. Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos no Estado do Rio Janeiro: Ensaio de Indicador para o Estabelecimento da Avaliação das Relações entre Qualidade da Água e Cobertura Vegetal. Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Tese de Doutorado, 315p.
- FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. 2002. Qualigraf. Disponível em: <http://www3.funceme.br/projetos/qualigraf>.
- Feitosa, F.A.C & Filho, J.M. 2000. Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações. CPRM, Fortaleza, 391p.
- Helder, C. 1999. Subsídios para Gestão dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos rios Macacu, São João, Macaé e Macabu. SEMA, Rio de Janeiro.
- IBGE. 2008. Pesquisa nacional de saneamento básico 2008. Rio de Janeiro, 219p.
- INEA, 2014 - Plano Estadual de Recursos Hídricos teve início em 05/09/2011 com base no Contrato 33/2011 - Processo Nº E-07/502.786/10, firmado entre a Fundação COPPETEC e o Instituto Estadual do Ambiente (INEA). Disponível em: <http://www.hidro.ufrj.br/perhi>.
- Matthess, G. & Harvey, J. C. 1982. The Properties of Groundwater. Nova York, John Wiley & Sons. 405p.
- Murray, J. W. 2014. What Controls the Composition of River water and Seawater: Equilibrium versus Kinetic Ocean. In: Khublaryan, M.G. (ed). Types and Properties of water. EOLSS Publications, 2, 382p.
- Nikanorov, A. M. & Brazhnikova, L. V. 2014. In: Khublaryan, M.G. (ed). Types and Properties of water. EOLSS Publications, 2, 382p.
- O'Connor, D. J. 1967. The temporal and spatial distribution of dissolved oxygen in streams. Water Resources, 3:65-79.
- Spahr, N.; E. S.; Apodaca, L. E.; Deacon, J. R.; Bails, J. B.; Bauch, N. J.; C. Smith, M.; Driver, N. E. 2000. Water Quality in the Upper Colorado River Basin, Colorado, 1996-98. USGS, Circular 1214, 33p. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/circ/circ1214/pdf/circ1214.pdf>.
- Norris, R.H.; Hawkins, C. P. 2000. Monitoring river health. Hydrobiologia, 435:5-17.
- NSF. National Sanitation Foundation. 2013. Water Quality Index (WQI). Disponível em: http://www.nsf.org/consumer/earth_day/wqi.asp.
- Pereira, P. S.; Fernandes, L. A. C.; Oliveira, J. L. M.; Baptista, D. F. 2012. Avaliação da integridade ecológica de rios em áreas do zoneamento ecológico econômico do complexo hidrográfico Guapiaçu-Macacu, RJ. Brasil. Ambi-Agua, Taubaté, 7(1):157-168, Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.762>.
- Pereira, V. C. R. 2015. Panorama da Qualidade das Águas Fluviais no Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, 82p.
- Rio de Janeiro. Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERHI). 2006. Resolução nº 18/2006. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/cerhi/resolucoes.asp>.
- Sperling, M. VON. 2005. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 452p.
- Stambuk-Giljanovic, N. 1999. Water Quality evaluation by index in Dalmatia. Water Research, 33(162):3423-3440.