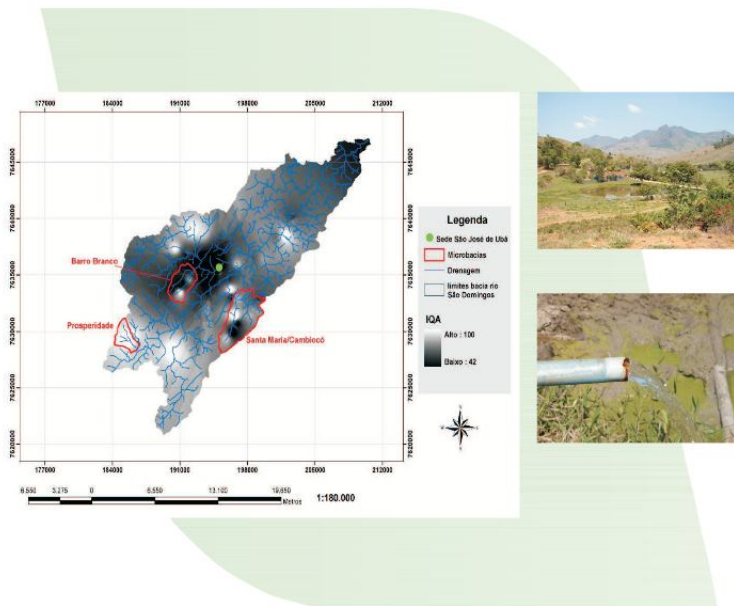


Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

Boletim de Pesquisa 125 e Desenvolvimento

ISSN 1678-0892
Dezembro, 2007

Estudo de Índices de Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos - RJ



Embrapa
Solos



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Solos
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

ISSN 1678-0892

Dezembro, 2007

***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* 125**

Estudo de índices de qualidade da água na bacia hidrográfica do rio São Domingos - RJ

Rachel Bardy Prado

Letícia Briones Di Lullo

Rio de Janeiro, RJ
2007

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, 1.024 Jardim Botânico. Rio de Janeiro, RJ
Fone: (21) 2179-4500
Fax: (21) 2274.5291
Home page: www.cnps.embrapa.br
E-mail (sac): sac@cnps.embrapa.br

Comitê Local de Publicações

Presidente: Aluísio Granato de Andrade

Secretário-Executivo: Antônio Ramalho Filho

Membros: Marcelo Machado de Moraes, Jacqueline S. Rezende Mattos,
Marie Elisabeth C. Claessen, José Coelho de A. Filho, Paulo Emílio
F. da Motta, Vinícius de Melo Benites, Rachel Bardy Prado, Maria
de Lourdes Mendonça Santos Brefin, Pedro Luiz de Freitas.

Supervisor editorial: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Revisor de Português: *André Luiz da Silva Lopes*

Normalização bibliográfica: *Marcelo Machado Moraes*

Editoração eletrônica: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

1ª edição

1ª impressão (2007): online

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

P896e Prado, Rachel Bardy.

Estudo de índices de qualidade da água na bacia hidrográfica do rio São Domingos - RJ / Rachel Bardy Prado e Leticia Briones Di Lullo. — Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2007.

64 p.: il. — (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Solos, ISSN 1678-0892 ; 125).

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: <<http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/publicacao.html>>

Título da página da Web (acesso em 20 dez. 2007).

1. IQA. 2. Geoprocessamento. 3. Bacia hidrográfica. 4. Rio São Domingos. I. Di Lullo, Leticia Briones. II. Título. III. Série.

CDD (21.ed.) 631.7

© Embrapa 2007

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
1. Introdução	9
2. Objetivos	10
2.1. Objetivo geral	10
2.2. Objetivos específicos	10
3. Fundamentação teórica	11
3.1. Índices de Qualidade da Água (IQA)	11
3.2. Geoprocessamento aplicado a estudos de qualidade da água	16
3.3. Política brasileira relacionada aos recursos hídricos	17
3.4. Parâmetros analisados	21
4. Material e métodos	27
4.1. Área de estudo	27
4.2. Coleta e análise de amostras de água	30
4.3. Organização de bases de dados georreferenciados	30
4.4. Adaptação e aplicação do IQA para BHRSD	31
4.5. Mapeamento dos resultados advindos da aplicação do IQA na BHRSD e nas microbacias de enfoque	34
4.6. Análise dos parâmetros de qualidade da água utilizados no IQA com relação aos limites estabelecidos pela Resolução 357/05 para Classe 2 34	

5. Resultados e discussão	35
5.1. Variação espacial do IQA na BHRSD	35
5.2. Variação temporal do IQA em microbacias da BHRSD	38
5.3. Resultados relativos à comparação dos parâmetros utilizados no IQA com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 para classe 2	41
6. Conclusões	50
7. Referências Bibliográficas	51

Estudo de índices de qualidade da água na bacia hidrográfica do rio São Domingos - RJ

*Rachel Bardy Prado
Letícia Briones Di Lullo*

Resumo

O monitoramento é um importante instrumento para avaliar o processo de degradação da qualidade da água em bacias hidrográficas e subsidiar ações de mitigação dos problemas advindos da poluição. Porém muitos são os parâmetros que precisam ser analisados para o diagnóstico da qualidade da água. Para compilar estes resultados e apresentá-los de forma mais simples aos tomadores de decisão, aplicam-se os denominados Índices de Qualidade da Água (IQA). Como a bacia hidrográfica do rio São Domingos encontra-se inserida no contexto de degradação dos recursos hídricos, o presente estudo foi proposto. Este teve como objetivos a aplicação e o mapeamento do IQA a partir do monitoramento da qualidade de águas superficiais e subterrâneas realizado em 58 pontos, quanto aos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, nos anos de 2004 e 2005, bem como uma comparação dos resultados com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357. Os resultados de IQA obtidos foram mapeados e a distribuição espacial analisada pela ferramenta *Spatial Analyst* do ARCGIS 9.1 da ESRI, com utilização de método de interpolação. Uma análise multitemporal também foi realizada

¹ Pesquisadora A, Embrapa Solos. E-mail: rachel@cnps.embrapa.br

² Bolsista, Graduada em Ciências Biológicas – Universidade Santa Úrsula – Rio de Janeiro – RJ.

para as microbacias de Santa Maria/Cambiocó, Barro Branco e Prosperidade. Os resultados mostraram que as áreas mais urbanizadas são as que apresentam pior IQA, merecendo cuidados específicos.

Palavras-chave: IQA, geoprocessamento, bacia hidrográfica, rio São Domingos.

Water Quality Indexes Application in São Domingos River Basin - Rio de Janeiro - Brazil

Abstract

It is important to use tools to evaluate the water quality deterioration at the basin level and to support decisions on how to solve this kind of problem. Monitoring is adequate, but requires the analysis of many parameters to diagnose water quality along the time. In order to simplify the results presented to society it is useful to apply an index called WQI (Water quality Index). The São Domingos river basin presents problems related to water quality. Thus, the present study was proposed aiming to map WQI spatial and temporal (2004 and 2005) distribution in this basin and its microbasins microbasins (Santa Maria/Cambiocó, Barro Branco e Prosperidade) by using ARCGIS tools. The water quality results were also compared with CONAMA 357, Brazilian rule for water quality assessment. The results showed that the urban areas are the most affected by point source pollution, presenting the lowest value of WQI. Therefore, to remedy this situation it is necessary to reduce pollutant input in water systems.

Key words: WQI, geoprocessing, watershed, São Domingos river.

1. Introdução

As águas superficiais e subterrâneas vêm sendo deterioradas, de forma drástica, tanto em bacias hidrográficas rurais como urbanas, devido ao uso e ocupação inadequados da terra e emissão de poluentes nos corpos d'água.

A poluição ocorre gradativamente e, sendo assim, é preciso fazer uso de instrumentos como o monitoramento. Este se presta a identificar o nível da degradação ao longo do tempo, por meio de parâmetros que podem ser de natureza física, química e biológica. No entanto, muitos são os parâmetros utilizados, cujos resultados são de difícil interpretação por pessoas não especialistas no tema. Desta forma, é preciso compilar estes resultados a fim de se obter uma única resposta que possa ser de fácil compreensão pela população afetada, bem como pelos tomadores de decisão da bacia hidrográfica. Uma forma de fazer isto é aplicar Índices de Qualidade da Água (IQA) que vêm sendo desenvolvidos nas últimas décadas mundialmente.

Na bacia hidrográfica do rio São Domingos (BHRSD), localizada no Noroeste do Estado do Rio de Janeiro (predominantemente rural), a situação de degradação e escassez das águas vem ocorrendo devido aos diversos ciclos econômicos de exploração da terra, isentos de preservação ambiental. O mau uso da terra ao longo do tempo resultou em: supressão de grande parte da vegetação natural, processos erosivos intensos, entupimento das calhas dos rios, contaminação das águas superficiais e subterrâneas por esgotos domésticos e resíduos provindos da agricultura, dentre outros danos ambientais. Reduzindo a quantidade e qualidade dos recursos naturais disponíveis, os sistemas de produção agrícola também ficam comprometidos, o que contribui para que a população da bacia hidrográfica em questão, majoritariamente rural, apresente um IDH comparável a municípios do nordeste brasileiro, onde a pobreza vigora.

Perante esta situação, fez-se necessário um amplo estudo sobre as fontes de poluição difusa e pontual, caracterização da situação de degradação das terras e das águas desta região, a fim de subsidiar ações que venham

a mitigar os problemas relacionados aos recursos hídricos. Neste sentido, alguns projetos coordenados pela Embrapa Solos, com atuação de diversos parceiros, vêm sendo desenvolvidos na BHRSD como o projeto “Gestão Participativa da bacia do rio São Domingos”, edital CT-Hidro 02/2002 (finalizado em 2005) e o projeto “Planejamento Conservacionista das Terras e Modelagem Preditiva de Sistemas Aquíferos do Cristalino para a Recarga Hídrica em Bacias Hidrográficas de Relevô Acidentado” – PRODETAB 087-02/01/Embrapa, ao qual este trabalho se encontra relacionado.

Nestes projetos foram feitas diversas amostragens para o monitoramento de qualidade da água, sendo analisados parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Também foi elaborada uma base de dados georreferenciados de qualidade da água. No entanto, para apresentar estes resultados numéricos para as comunidades estudadas, tornou-se necessário uma compilação dos mesmos, traduzindo-os em uma linguagem de fácil entendimento e possibilitando a comparação entre a qualidade da água dos diversos pontos amostrados.

2. Objetivos

2.1 Objetivo geral

Aplicar e mapear Índice de Qualidade de Água (IQA) na Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos (RJ), com base nos resultados obtidos no monitoramento da qualidade da água superficial e subterrânea realizado no âmbito do projeto “Planejamento Conservacionista das Terras e Modelagem Preditiva de Sistemas Aquíferos do Cristalino para a Recarga Hídrica em Bacias Hidrográficas de Relevô Acidentado”.

2.2 Objetivos específicos

- Organizar banco de dados georreferenciados referente aos parâmetros de qualidade de água estudados na BHRSD.
- Levantar estudos prévios realizados em outras áreas que utilizaram IQA, a fim de se identificar qual o melhor índice a ser aplicado no presente estudo.

- Adaptar e aplicar IQA considerando os parâmetros analisados.
- Espacializar os resultados do IQA para a BHRSD, utilizando software ARCGIS 9.1. da ESRI.
- Analisar os resultados dos parâmetros utilizados na aplicação do IQA comparando-os com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 357 de 17 março de 2005 para a classe 2.

3. Fundamentação teórica

3.1 Índices de Qualidade da Água (IQA)

3.1.1 Importância da aplicação de IQA

Para uma interpretação ecológica da qualidade das águas superficiais e/ou para estabelecer um sistema de monitoramento, é necessário a utilização de métodos simples que forneçam informações objetivas e de fácil interpretação pelo usuário final. Neste aspecto, o uso de índices de qualidade de água é uma ferramenta prevista pelos programas de monitoramento de águas como forma de acompanhar, através de informações resumidas, a possível deterioração dos recursos hídricos ao longo da bacia hidrográfica ou ao longo do tempo (TOLEDO; NICOLELLA, 2002).

As principais vantagens dos índices de qualidade de águas são a facilidade de comunicação com o público não técnico e o fato de representar uma média de diversas variáveis em um único número, combinando unidades de medidas diferentes em uma única unidade. Podemos citar ainda, de acordo com Leite e Fonseca (1994), outras relevâncias da aplicação do IQA, como a redução de uma grande quantidade de dados atuando como ferramenta para o estudo de fenômenos ambientais; a identificação de problemas de qualidade de água que demandem estudos especiais em trechos de rios; servir de instrumento para gestão de recursos hídricos, entre outros.

3.1.2 Estado da arte da utilização de IQA no Brasil

Índices de qualidade da água são propostos visando resumir as variáveis analisadas em um único número, que possibilite analisar a evolução da

qualidade da água no tempo e no espaço e facilitar a interpretação de extensas listas de variáveis ou indicadores (GASTALDINI; SOUZA, 1994).

Em geral, um índice de qualidade de água é um número adimensional que exprime a qualidade da água para os diversos fins. Esse número é obtido a partir da agregação de dados físicos, químicos e bacteriológicos por meio de metodologias específicas. Segundo Derísio (1992), de acordo com os diversos usos da água, surgiram índices específicos que os complementam, tais como: índice de qualidade de água em geral, índices para uso específico, índices para planejamento ambiental, entre outros.

No Brasil, o interesse por tais índices cresceu a partir de 1972, quando o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) manifestou em seu relatório anual a necessidade da utilização de índices para monitorar o meio ambiente. Horton, pesquisador alemão, foi quem fez a primeira apresentação formal de um IQA em 1965, referindo-se aos índices como ferramentas para a avaliação dos programas de redução da poluição e para informação pública (DERÍSIO, 1992).

O IQA proposto por Horton selecionou oito parâmetros de qualidade, cada um com um peso relativo correspondente. Os parâmetros eram: Oxigênio Dissolvido (OD), pH, coliformes fecais ou termotolerantes, alcalinidade, cloreto, condutividade, tratamento de esgoto, Carbono Cloriforme Extraído (CCE), sendo que os pesos variavam de 1 a 4. Ainda segundo este mesmo autor, em 1970, Brown, McClelland, Deininger e Tozer apresentaram um índice de qualidade da água bastante similar em sua estrutura ao índice de Horton e o estudo foi financiado pela National Sanitation Foundation.

Este índice, IQA-NSF, baseou-se em pesquisa de opinião feita a 142 especialistas em qualidade de águas, que indicaram os parâmetros a serem analisados, os pesos relativos dos mesmos e a condição com que se apresenta cada parâmetro, segundo uma escala de valores. Dos 35 parâmetros indicadores de qualidade da água inicialmente propostos, somente 9 foram selecionados. Para estes foram estabelecidas curvas de variação de qualidade das águas de acordo com o estado ou a condição de cada variável. Os parâmetros selecionados na ocasião foram: temperatura, OD, Demanda Bio-

química de Oxigênio (DBO), pH, turbidez, sólidos totais, coliformes fecais, fosfato total e nitrato. O IQA varia de 0 a 100, sendo que quanto maior o valor do IQA, melhor é a qualidade da água.

Este índice obteve grande aceitação, passando a ser o mais utilizado em diversas regiões do mundo, inclusive no Brasil. A Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) juntamente com o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC), que realizam o monitoramento da qualidade das águas superficiais de seu respectivo Estado, utilizam o IQA-NSF.

Já no Estado de São Paulo, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), utilizou de 1975 a 2001, o IQA-NSF, mas adotando a seguinte modificação: ao invés de nitrato, foi monitorado o parâmetro nitrogênio total. Segundo técnicos, essa substituição foi feita com o intuito de adaptar o índice às realidades do Estado, que possuíam seus rios comprometidos por esgotos domésticos, que são ricos em outras formas de nitrogênio, tais como o nitrogênio orgânico e amoniacal.

A partir de 2002, tendo em vista a limitação do IQA frente à ocorrência de elementos tóxicos, a CETESB passou a utilizar índices específicos para os principais usos do recurso hídrico: águas destinadas para fins de abastecimento público (IAP), águas destinadas para proteção da vida aquática (IVA) e águas destinadas para o banho (Classificação da praia).

O IQA - CETESB tem sido o índice mais utilizado em sistemas de monitoramento da qualidade da água por instituições estaduais e inclusive federais, como é o caso do monitoramento da bacia do rio da Prata, em território brasileiro. Além destes, diversos trabalhos foram encontrados na literatura acerca de análise comparativa relativa a aplicações de diferentes índices de qualidade da água, sendo reconhecido o IQA como o mais representativo da realidade. Entre outros, pode-se citar Deus et al. (1999) que compararam o IQA da NSF, Horton e Prati nas bacias hidrográficas dos rios Taquari, Antas e Caí no Rio Grande do Sul. Ferreira e Ide (2001) aplicaram o IQA - NSF, SMITH e HORTON no rio Miranda (MS) e observaram que IQA-NSF e Smith foram os que representaram melhor a qualidade da água.

Enquanto são muitos os índices utilizados para exprimir a qualidade das águas superficiais, são poucas as referências encontradas na literatura no que se refere aos índices de qualidade para águas subterrâneas. Por outro lado, tradicionalmente, a classificação da qualidade química das águas subterrâneas é feita através de diagramas. Dentre os vários diagramas de qualidade da água subterrânea propostos na literatura, destacam-se os colunares, radiais e triangulares (OLIVEIRA et al. 2006). Ainda, segundo este autor, esses diagramas apresentam forte limitação para a visualização em mapas temáticos, por serem representações pontuais de cada poço, ou de um conjunto de poços.

Atualmente está em discussão no CONAMA a proposta de uma Resolução de classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento de águas subterrâneas. Esta classificação proporcionará aos Comitês de Bacias Hidrográficas e Conselhos de Recursos Hídricos a possibilidade de enquadramento dos corpos hídricos subterrâneos, estabelecendo metas de manutenção e melhoria da sua qualidade (CETESB, 2007). Enquanto não se desenvolvem e fixam padrões e índices específicos para águas subterrâneas, comumente os métodos de análise utilizados para águas superficiais também são aplicados às subterrâneas, como no caso do presente estudo.

3.1.3 O IQA desenvolvido pela National Sanitation Foundation

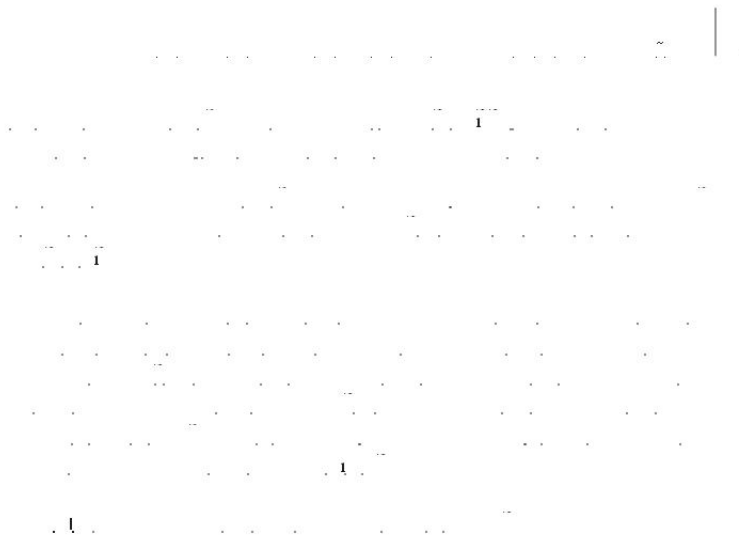
O IQA originário da NSF, adotado e modificado pela CETESB, é calculado pelo produto ponderado das notas atribuídas aos seguintes parâmetros de qualidade de água: temperatura, pH, OD, DBO, coliformes fecais, nitrogênio total, fosfato total, sólidos totais e turbidez, conforme equação 1:

$$IQA = \pi \cdot q_i \cdot w_i \quad (1)$$

Onde:

IQA = índice de qualidade da água (varia de 0 a 100);

π = número "pi" (3,14...);



Classificação NSF	Valor IQA	Cor de referência
Excelente	$90 < IQA \leq 100$	Azul
Bom	$70 < IQA \leq 90$	Verde
Médio	$50 < IQA \leq 70$	Amarelo
Ruim	$25 < IQA \leq 50$	Laranja
Muito Ruim	$0 \leq IQA \leq 25$	Laranja

Classificação CETESB	Valor IQA	Cor de referência
Ótimo	80-100	Azul
Bom	52-79	Verde
Acceptável	37-51	Amarelo
Ruim	20-36	Laranja
Péssimo	0-19	Preto

3.2 Geoprocessamento aplicado a estudos de qualidade da água

A integração do desenvolvimento tecnológico da informática e do monitoramento remoto à cartografia convencional gerou o surgimento das técnicas de geoprocessamento, representando hoje um conjunto de ferramentas especialmente adequado à tarefa de gestão dos recursos hídricos (ÁVILA et al. 1999).

Essas ferramentas se encontram geralmente integradas em Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Para Burrough e McDonnel (1998), o SIG é mais que um simples automatizador de tarefas existentes, ele propicia ambos, um arquivo de dados espaciais na forma original e a exploração de interações entre processos e modelos em fenômenos espaciais e temporais. Diversos são os trabalhos encontrados na literatura especializada que utilizam as ferramentas de geoprocessamento em estudos da qualidade da água. Cada trabalho destes apresenta seu objetivo e metodologia específicos, mas todos concordando que se trata de método inovador, útil e indispensável.

A forma de apresentação dos dados gerados permite a visualização, embora de forma qualitativa, das variações mais significativas na qualidade dos cursos d'água, identificando imediatamente áreas prioritárias a ações mitigadoras dos impactos ambientais constatados (STRECK et al. 1999). Conforme Raya-Rodriguez et al. (1998), a apresentação de dados na forma espacializada, facilita o intercâmbio de informações entre a comunidade técnico-científica, uma vez que os mapas temáticos podem sintetizar uma carga significativa de informações, tornando-as mais facilmente assimiláveis.

E ainda, segundo Barros e Rocha (2000), a complexidade dos processos na gestão de recursos hídricos, aliada à necessidade de trabalhar-se com muitos dados, faz do SIG uma ferramenta essencial no gerenciamento dos recursos hídricos, área que requer uma integração perfeita entre dados de diversos tipos (físicos, cartográficos, hidrológicos, econômicos, dentre outros).

Neste contexto, o mapeamento e localização das águas superficiais e subterrâneas e a identificação em meio cartográfico da qualidade e quantida-

de da água, dos pontos de vulnerabilidade da integração água x atividade humana ou origem do fator de influência, são ações fundamentais na gerência eficiente dos recursos hídricos (SOUZA JUNIOR et al. 2003).

Pôde-se observar anteriormente estudos de qualidade da água por meio de espacialização geográfica de dados, em ambientes urbanos e rurais, em águas superficiais e subterrâneas, análises de redução de IQA, variabilidade espaço-temporal, relações do uso e cobertura da terra com a qualidade da água em bacias e microbacias, dentre muitos outros, justificando a aplicação das mesmas técnicas no presente trabalho.

3.3 Política brasileira relacionada aos recursos hídricos

3.3.1 Histórico

A crise econômica de fins do século XIX e início do século XX, centrada na troca do modelo econômico - de agrário para industrial, exigiu uma maior utilização da energia elétrica para a geração de riquezas. Neste contexto socioeconômico foi publicado o Decreto 24.643 em 10 de julho de 1934, que aprovou o Código de Águas Brasileiro (CETESB, 2007).

O Código de Águas de 34, como ficou conhecido, foi o primeiro documento legal ambiental brasileiro. Nele foi definido o direito de propriedade e exploração dos recursos hídricos para abastecimento, irrigação, navegação, usos industriais e geração de energia. O enfoque principal na época era a produção de energia elétrica, como é possível perceber pelo número de deliberações sobre o tema contidas no Código, enquanto as deliberações referentes à preservação, conservação e recuperação dos recursos hídricos não foram regulamentadas. Não obstante, o Código de Águas foi um importante marco jurídico para o país, inclusive tendo permitido a notável expansão do sistema hidrelétrico brasileiro.

Em 1940, ocorreu a dissociação do direito de propriedade do direito de exploração por meio do Código das Minas (Decreto nº 1.985), no qual o proprietário tinha o dever de explorar sua propriedade sem causar dano ao próximo, evitando a poluição do meio e conservando o mesmo.

Em 1981 entrou em vigor a Lei n° 6.938, de 31 de agosto, que estabeleceu a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) e criou o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA). A partir disso, a avaliação de impactos ambientais tomou proporções federais e dentro do PNMA, criou-se o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Segundo Henkes (2002), a PNMA objetivava compatibilizar o desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade do meio ambiente; estabelecer critérios e padrões da qualidade ambiental; e ainda, definir normas relativas ao uso e manejo sustentável dos recursos naturais. Especificamente em relação ao setor hídrico, delegou ao CONAMA estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente com vistas ao uso racional dos recursos naturais, principalmente os hídricos de acordo com o artigo 8º, VII.

Criada em julho de 2000, a Agência Nacional de Águas (ANA) tem como missão principal a implantação do Sistema Nacional de Recursos Hídricos. A ANA possui participação na execução da Política Nacional de Recursos Hídricos, apoiando os Conselhos Nacional e Estaduais de Recursos Hídricos, bem como os respectivos Comitês de Bacias Hidrográficas, no sentido de fornecer subsídio técnico na implantação desta política (CETESB, 2007).

Enfim, sua missão é regular o uso das águas garantindo o seu uso sustentável, evitando a poluição e o desperdício e assegurando, para o desenvolvimento do país, água de boa qualidade e em quantidade suficiente para as gerações atuais e futuras.

Uma interessante lei criada foi a Lei 9.993, de 24/07/2000. Esta dispõe sobre a compensação financeira decorrente da exploração dos recursos hídricos para geração de energia elétrica e ainda, sobre a criação do Fundo Setorial de Recursos Hídricos. Segundo a lei, 4% dos recursos arrecadados com a compensação serão destinados ao setor de ciência e tecnologia. O objetivo é desenvolver e preservar os recursos hídricos, por meio do financiamento de projetos e da capacitação científica e tecnológica. Atualmente,

diversos projetos de pesquisa, inclusive vinculados a programas de mestrado e doutorado, recebem financiamento da CAPES e do CNPq, com recursos provenientes desta compensação. No entanto, o foco das políticas de recursos hídricos no país ainda tem sido em relação à quantidade de água para atender os diversos fins da sociedade, sendo que as questões voltadas à qualidade das águas se restringem ao tratamento de esgotos sanitários e industriais, que nem sempre é realizado por indústrias e municípios. É preciso, pois, reduzir as fontes de poluição, sejam elas pontuais ou difusas.

3.3.2 Resolução CONAMA n° 357 de março de 2005

Até o final do século passado, a água era caracterizada qualitativamente apenas por adjetivos, sem que valores específicos de controle fossem a ela associados. Com a grande preocupação de se controlar as doenças de veiculação hídrica no início deste século, a busca de critérios e padrões de qualidade das águas, de cunho numérico e/ou descritivo, foi fortemente impulsionada (PRADO et al. 2004).

Atualmente a caracterização e monitoramento da qualidade da água são realizados por meio da análise de parâmetros. Estes parâmetros representam as características físicas, químicas e biológicas mais relevantes, sendo utilizados como indicadores da qualidade da água.

Para possibilitar a avaliação da qualidade da água a partir dos parâmetros, é preciso estabelecer padrões e limites para a qualidade da água dos corpos hídricos. Ainda é importante ressaltar, conforme Prado et al. (2005), que a vinculação da qualidade da água com o uso que se pretende fazer dela é fundamental. Desta forma, um determinado nível de qualidade pode atender a um uso menos restritivo (por exemplo, navegação, geração de energia), mas não se presta para finalidades mais exigentes (por exemplo, abastecimento de água para consumo).

Assim, foram estabelecidos padrões e limites referentes aos diversos usos da água. Segundo Menezes (2005), atualmente existem duas regulamentações federais vigentes no país que fazem referência à água para consumo humano: Portaria 518 do MS de março de 2004 e Resolução CONAMA n° 357 de março de 2005.

Ainda segundo a mesma autora, a primeira dispõe sobre procedimentos e responsabilidades inerentes ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano, e estabelece seu padrão de potabilidade. Estabelece, ainda, que toda a água destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade e estar sujeita à vigilância da qualidade da água. Essa norma não se aplica às águas envasadas e a outras, cujos usos e padrões de qualidade são estabelecidos em legislação específica. Essa portaria substitui a Portaria n° 1469 do Ministério da Saúde de 2000. De acordo com essa portaria, água potável é a água para consumo humano que deve estar de acordo com os parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos e atender ao padrão de potabilidade para que não ofereça riscos à saúde.

A Resolução CONAMA n° 357 de março de 2005 é a resolução mais recente e revoga a Resolução CONAMA n° 020, de 18 de junho de 1986. Foi implementada tornando os padrões chumbo, cobre e cromo total mais restritivos. Nela encontramos a classificação dos corpos de águas superficiais, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em treze classes de qualidade. Também estabelece as diretrizes ambientais para o seu enquadramento e as condições e padrões de lançamento de efluentes. Adota as seguintes definições: águas doces (águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰), águas salobras (com salinidade superior a 0,5 ‰ e inferior a 30 ‰) e águas salinas (com salinidade igual ou superior a 30 ‰).

Neste estudo, optou-se por confrontar os resultados com os limites estabelecidos para a classe 2, apropriada para as atividades abaixo descritas, que são equivalentes aos usos preponderantes da água na bacia hidrográfica em questão:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n° 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
- e) à aqüicultura e à atividade de pesca.

Como as águas subterrâneas, no caso da BHRSD, são usadas para as mesmas finalidades das águas superficiais, e devido à inexistência de limites específicos para águas subterrâneas, os limites da Resolução CONAMA para classe 2 foram utilizados como referência para todas as amostras deste trabalho, tanto coletadas em pontos superficiais e nascentes como em poços rasos e profundos.

3.4 Parâmetros analisados

3.4.1 Temperatura

A temperatura é um parâmetro físico de importância na avaliação da qualidade das águas, pois variação está relacionada à transferência de calor por condução, convecção e radiação entre a água, a atmosfera e o solo, provocando alterações no ambiente aquático, como o aumento da taxa das reações químicas e biológicas, além da diminuição da solubilidade dos gases (PRADO et al. 2004).

3.4.2 pH

O termo pH (potencial hidrogênionico) representa a concentração de íons hidrogênio (H^+) presentes em uma solução, dando uma indicação sobre as condições de acidez (quando há H^+ em excesso), alcalinidade (OH^- em excesso, a água é dita básica) ou neutralidade (os dois íons estão em proporções iguais) da água.

A escala usada para medir o pH é logarítmica e vai de 0 a 14, sendo 7 o valor da água neutra. Os valores inferiores a 7 são ácidos e os superiores alcalinos. Naturalmente, relaciona-se à dissolução de rochas, à absorção de gases da atmosfera, à oxidação da matéria orgânica e à fotossíntese. Como origens antrópicas, podemos citar os despejos de efluentes domésticos e industriais, ou ainda os resíduos agrícolas, como é o caso de corretivos, fertilizantes e pesticidas.

Segundo Sperling (1998), o pH é um parâmetro deveras importante na caracterização de águas brutas e tratadas. Quando seu valor se afasta da neutralidade afeta a vida aquática do corpo aquático e/ou microrganismos responsáveis pelo tratamento biológico dos esgotos.

A maioria das águas subterrâneas tem pH entre 5,5 e 8,5. Em casos excepcionais pode variar entre 3 e 11 (SANTOS, 2000). A legislação brasileira estabelece como valores ideais de pH entre 6 e 9, para todas as classes de águas doce.

3.4.3 Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

O material sólido presente nas águas, corresponde a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura preestabelecida, durante um tempo fixado. De uma forma geral, estas operações definem a distribuição das diversas frações de sólidos presentes na água, com relação ao tamanho (sólidos totais, em suspensão e dissolvidos) e com relação à natureza (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos). Os sólidos dissolvidos estão diretamente relacionados à condutividade elétrica, pois representam a concentração de sais dissolvidos na água (PRADO et al. 2004). Em águas enquadradas na classe 2 pela Resolução CONAMA 357/05, a quantidade de STD na água não pode ultrapassar 500mg/L.

3.4.4 Condutividade Elétrica (CE)

Um sistema aquoso, contendo íons, apresenta como uma de suas principais propriedades a condutividade elétrica, ou seja, a capacidade de conduzir corrente elétrica. A concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas na água, a mobilidade, a valência e as concentrações reais e relativas de cada íon e também a temperatura são os principais fatores que influenciam a variação de condutividade de um sistema aquoso. A condutividade é um parâmetro muito empregado no monitoramento da qualidade das águas residuárias, por que pode ser relacionada com o teor de sólidos totais dissolvidos. Em laboratório, é utilizada como critério para a verificação da pureza da água destilada (PRADO et al. 2004). Em geral, níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados. Altos valores também podem indicar características corrosivas (CETESB, 2007).

3.4.5 Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio (O_2) é um dos gases dissolvidos presentes na água. Sua disponibilidade na água varia com temperatura e pressão atmosféricas. Este, quando proveniente da atmosfera, se dissolve nas águas naturais devido à diferença da pressão parcial, outra fonte importante é a produção de oxigênio pelos organismos fotossintéticos, como as algas.

O OD é de essencial importância para os organismos aeróbios. Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução da sua concentração no meio. Este processo se denomina eutrofização e dependendo da quantidade de nutrientes que entra no corpo hídrico, principalmente P e N, poderá ocasionar a morte diversos seres aquáticos.

Sendo assim, nas águas poluídas por fontes orgânicas de poluição encontra-se baixa concentração de OD, enquanto que as águas limpas apresentam concentrações de oxigênio dissolvido elevadas, atingindo níveis próximos à saturação (9,2 mg/L). No entanto, a água pode apresentar valores de OD bem superiores à saturação, caracterizando uma situação de supersaturação e indicando, provavelmente a presença de algas.

Sperling (1998) afirma que em águas com teores de oxigênio dissolvido em torno de 4-5 mg/L ocorre a mortalidade de algumas espécies de peixes mais exigentes. Outras, como a tilápia e a carpa, são bastante resistentes às baixas concentrações de OD, variando entre 3,2 mg/L e 1,2 mg/L. Abaixo desses valores os peixes podem morrer.

Porém, conforme Santos (2000), em águas subterrâneas o O_2 pode estar dissolvido em pequenas quantidades, sendo a maioria das concentrações encontradas em torno de 0 e 5 mg/L.

Segundo a Resolução CONAMA 357/05 para classe 2, os valores de OD não podem ser inferiores a 5 mg/L de O_2 .

3.4.6 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Este parâmetro avalia a quantidade de OD, em mg/L de O_2 , que será consumida pelos organismos aeróbios ao degradarem uma quantidade de matéria orgânica presente em um determinado corpo d'água. O teste é realizado à temperatura de incubação de 20°C , por cinco dias, por isso seu valor é expresso em $DBO_{5,20}$. Segundo a Resolução CONAMA 357/05 para classe 2, a DBO pode atingir até 5 mg/L O_2 .

3.4.7 Nitrato

O nitrogênio pode ser encontrado na água nas formas de nitrogênio orgânico (N), amônia (NH_3), nitrito (NO_2) e nitrato (NO_3). As duas primeiras são formas reduzidas e as duas últimas, formas oxidadas. Pode-se associar a idade da poluição com a relação entre as formas de nitrogênio. Ou seja, se for coletada uma amostra de água de um rio poluído e as análises demonstrarem predominância das formas reduzidas significa que o foco de poluição se encontra próximo. Se prevalecer nitrito e nitrato, ao contrário, significa que as descargas de esgotos se encontram distantes (CETESB, 2007).

De acordo com Santos (2000), as águas subterrâneas e superficiais, geralmente apresentam teores de nitrato entre 0,1 e 10 mg/L, porém em águas poluídas os teores podem chegar a 1.000 mg/L.

O nitrogênio existente nas águas superficiais e subterrâneas na forma de nitrato, pode originar-se da atmosfera, porém, ele é fortemente influenciado por atividades antrópicas, como por exemplo, a aplicação de fertilizantes orgânicos (esterco) e inorgânicos (a base de nitratos, fosfato e potássio) em atividades agrícolas, a disposição de esgotos no solo e os efluentes domésticos e industriais. Essas duas últimas fontes de contaminação são fontes ditas pontuais, enquanto os resíduos da agricultura, por exemplo, são fontes ditas difusas.

Segundo Nóbrega et al. (2006), a matéria orgânica existente nos processos citados acima (como por exemplo, os esgotos) produz amoníaco ou o íon amônio através do processo de decomposição e mediante a participação

de bactérias especializadas. O composto liberado pode ser adsorvido pelo solo e usado pela planta como nutriente, ou pode ser oxidado biologicamente por bactérias para formar nitrito e posteriormente nitrato, os quais chegam às águas subterrâneas. A formação de nitrito é mediada pelas bactérias do gênero *Nitrosomonas* e a formação de nitrato requer a participação de bactérias do gênero *Nitrobacter*.

Estes processos bioquímicos de conversão de amônia a nitrito e deste a nitrato, implicam no consumo de oxigênio dissolvido do meio, o que pode afetar a vida aquática. A forma de amônia é diretamente prejudicial aos peixes.

Em relação aos problemas de saúde, o aumento nos níveis de nitrato na água potável ocorre uma vez que o excesso deste íon pode resultar em uma doença chamada metahemoglobinemia infantil (letal para crianças), podendo ocorrer tanto em bebês recém-nascidos, como em adultos com uma determinada deficiência enzimática. O processo patológico, de acordo com Nóbrega et al. (2006), ocorre devido à presença de bactérias localizadas na região do estômago do bebê, que reduzem parte do nitrato para nitrito. O nitrito combina-se com a hemoglobina do sangue e promove sua oxidação, impedindo a absorção e o transporte adequados do oxigênio para as células. O bebê torna-se azul e sofre de insuficiência respiratória. A partir dos seis meses de idade a concentração de ácido hidrolórico aumenta no estômago, matando as bactérias redutoras de nitrato. É importante ressaltar que a grande maioria dos casos registrados de metahemoglobinemia possuem relação com a água consumida e que esta continha mais de 10 mg/L de nitrato.

Além disso, alguns cientistas têm advertido que o excesso de íons nitrato na água potável e nos alimentos pode levar a um aumento na incidência de câncer de estômago e do esôfago em seres humanos, tendo em vista que parte desses íons é convertida em íon nitrito no estômago e esses poderiam reagir com aminas para produzir N-nitrosaminas, compostos conhecidos por sua ação carcinogênica em animais (NÓBREGA et al. 2006).

Desta forma, o nitrato é um importante parâmetro utilizado para

potabilidade da água e seu valor máximo permitido pela legislação vigente é de 10 mg/L. Este também é o teor máximo permitido pelo CONAMA 357 para a classe 2.

3.4.8 Fosfato

Na maioria das águas continentais, o fósforo é o principal fator limitante de sua produtividade. Por causa disso, tem sido apontado como o principal responsável pela eutrofização artificial destes ecossistemas.

Toda forma de fósforo presente em águas naturais, quer na forma iônica, quer na forma complexada, encontra-se sob a forma de fosfato.

O fosfato presente nas águas continentais encontra-se em diferentes formas, cujas nomenclaturas variam de autor para autor. Atualmente, a maioria dos pesquisadores tem se utilizado de uma classificação mais sumária, que agrupa as várias formas em apenas cinco: fosfato particulado (P-particulado), fosfato orgânico (forma encontrada nos detergentes, por exemplo), fosfato inorgânico ou ortofosfato (principal forma assimilada pelos vegetais aquáticos e liberados no meio pelas bactérias decompositoras de matéria orgânica), fosfato total e fosfato total dissolvido.

O fosfato presente em ecossistemas aquáticos continentais tem origem de fontes naturais e artificiais. Dentre as fontes naturais, as rochas da bacia de drenagem constituem a fonte básica de fosfato para os ecossistemas aquáticos continentais. Outros fatores naturais que permitem o aporte de fosfato podem ser apontados, como: material particulado presente na atmosfera e o fosfato resultante da decomposição de organismos.

As fontes artificiais de fosfato mais importantes são: esgotos domésticos e industriais, fertilizantes agrícolas e material particulado de origem industrial contido na atmosfera (ESTEVES, 1988).

De acordo com Santos (2000), em águas naturais, devido à ação de microorganismos, a concentração de fosfato deve ser baixa ($< 0,5 \text{ mg/L}$). Valores acima de $1,0 \text{ mg/L}$ geralmente são indicativos de águas poluídas por efluentes domésticos, agrícolas e industriais.

3.4.9 Coliformes fecais

As bactérias do grupo coliforme são consideradas os principais indicadores de contaminação fecal. O grupo coliforme é formado por um número de bactérias que inclui os gêneros *Klebsiella*, *Escherichia*, *Serratia*, *Erwenia* e *Enterobactéria*. Todas as bactérias coliformes são gran-negativas manchadas, de hastes não esporuladas que estão associadas com as fezes de animais de sangue quente e com o solo.

As bactérias coliformes termotolerantes (coliformes fecais) reproduzem-se ativamente a 44,5°C e são capazes de fermentar o açúcar. O uso das bactérias coliformes termotolerantes para indicar poluição sanitária mostra-se mais significativo que o uso do parâmetro total de bactérias coliformes, porque as bactérias fecais estão restritas ao trato intestinal de animais de sangue quente.

A determinação da concentração dos coliformes assume importância como parâmetro indicador da possibilidade da existência de microorganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como febre tifóide, febre paratifóide, desintéria bacilar e cólera (CETESB, 2007).

Sendo assim, as fezes humanas e dejetos animais devem ter destinos adequados para fermentação, caso contrário acabam sendo carregados para os rios, poços ou ainda penetram no solo contaminando o lençol freático. A presença deste componente nas águas não pode ultrapassar 1000 NMP em 100 ml, segundo a Resolução CONAMA 357 para a classe 2.

4. Material e métodos

4.1 Área de estudo

A área de estudo refere-se à bacia hidrográfica do rio São Domingos (BHRSD), situada entre as coordenadas geográficas 21°15'00" e 21°30'00" Sul e 41°45'50" e 42°04'50" Oeste. Esta bacia possui aproximadamente 280 km² e localiza-se no Noroeste do Estado do Rio de Janeiro, sendo 90% do seu território compreendido pelo município de São José de Ubá e 10% pelo

município de Itaperuna. O rio São Domingos é afluente do rio Muriaé, fazendo parte do Complexo Hidrográfico do rio Paraíba do Sul, um dos mais importantes do Estado do Rio de Janeiro. A Figura 1 apresenta a localização da bacia no Estado do Rio de Janeiro, destacando as 3 microbacias estudadas, Santa Maria/Cambiocó, Barro Branco e Prosperidade. Estas microbacias foram selecionadas porque possuem diferenças em suas características, como por exemplo, o uso e ocupação que é mais intensivo em Santa Maria/Cambiocó e Barro Branco, devido ao maior número populacional e plantio de tomate, e menos intensivo em Prosperidade, cujas terras correspondem em sua maioria a um único proprietário, que preservou o maior fragmento florestal da bacia e pratica a pecuária no restante da área. A altitude também é diferenciada, sendo menos elevada em Santa Maria/Cambiocó e Barro Branco e mais elevada em Prosperidade, que está localizada próximo às nascentes principais da bacia. A geologia e pedologia também possuem aspectos diferenciados.

A BHRSD é uma das regiões mais secas e degradadas do Noroeste do Estado do Rio de Janeiro, cuja população vem enfrentando problemas relacionados à escassez de água. Esta escassez se deve ao regime de chuvas, mas também à degradação ambiental, que exerceu influência no ciclo hidrológico, sendo este alterado e a reposição dos aquíferos se encontra prejudicada, provocando a escassez de água.

Atualmente, esta bacia é caracterizada essencialmente por pequenas propriedades rurais, formando várias comunidades, que juntas compõem a maior parte da população da bacia. Suas principais atividades econômicas são basicamente a pecuária leiteira e de corte, olericultura e fruticultura. Quanto à olericultura, o cultivo do tomate merece destaque por ser a atividade predominante e que vem aumentando bastante na região nos últimos anos (PRADO et al. 2005).

A degradação da água na região encontra-se bastante relacionada ao cultivo de tomate, que requer grandes quantidades de fertilizantes e pesticidas, que usados de forma indiscriminada e em excesso, ficam retidos no solo, podendo seus resíduos ser transportados até os corpos d'água na época das chuvas, causando sua contaminação.

19/3/2013 10:52

4.2 Coleta e análise de amostras de água

Foram identificados e georreferenciados 58 pontos de amostragem distribuídos criteriosamente ao longo da BHRSD. Estes pontos foram georreferenciados com o auxílio de um *Global Positioning System* (GPS), sendo 34 pontos relacionados às águas subterrâneas, sendo poços rasos (R) e profundos (P) e 24 pontos relacionados à água superficial, sendo córregos, rio, reservatórios (S) e nascentes (N).

Na primeira coleta que ocorreu em outubro de 2004 todos os 58 pontos alocados na BHRSD foram amostrados a fim de caracterizar as águas da bacia. A partir daí apenas as 3 microbacias de enfoque do projeto já mencionado (Santa Maria/Cambiocó, Barro Branco e Prosperidade) foram amostradas ao longo do monitoramento, somando um total de 23 pontos, reduzindo o tempo de amostragem, análise e processamento dos dados, além de reduzir os custos. Sendo assim, as coletas subsequentes ocorreram em abril, agosto e dezembro de 2005. Os parâmetros temperatura, pH e condutividade elétrica (CE) foram analisados *in situ* com o auxílio de um medidor de qualidade da água da marca Horiba U-10. Para a análise dos demais parâmetros, foram coletadas amostras em recipientes adequados, acondicionadas e transportadas refrigeradas até o laboratório. Os parâmetros: Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e coliformes fecais foram analisados na Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEEMA). Os valores de concentração para os ânions nitrato e fosfato foram obtidos utilizando um cromatógrafo de íons Dionex-DX120, no laboratório da Embrapa Solos. A metodologia aplicada baseou-se em APHA (1995).

4.3 Organização de bases de dados georreferenciados

Uma vez obtidos os resultados das análises, foi elaborada e organizada uma base de dados contendo as coordenadas geográficas dos pontos amostrados, em planilha eletrônica do programa Excel (formato .dbf), com todas as informações do cadastro dos pontos de amostragem d'água e dos resultados referentes aos parâmetros de qualidade de água analisados.

4.4 Adaptação e aplicação do IQA para BHRSD

Neste estudo, baseado na disponibilidade dos dados, utilizou-se os seguintes parâmetros para o cálculo do IQA: pH, OD, DBO, Condutividade Elétrica (CE), coliformes fecais, nitrato ao invés de nitrogênio total, fosfato e temperatura. A CE foi utilizada para o cálculo dos Sólidos Totais Dissolvidos (STD) que substituiu o parâmetro sólidos totais previsto pelo IQA. Consequentemente, os fatores de peso tiveram que ser modificados. Para tal, foi utilizado o fator de normalização, calculado a partir da soma dos pesos dos parâmetros que serão utilizados, o resultado é o fator de normalização dos parâmetros (neste caso 0.92). Cada peso original deve ser dividido pelo fator de normalização e os resultados serão os novos pesos a serem utilizados no cálculo do IQA, sendo importante ressaltar que a soma dos pesos dos parâmetros deve ser igual a 1. A ponderação preconizada pelo IQA e a utilizada encontra-se na Tabela 3.

Apesar da metodologia do IQA ser aplicada em geral para águas superficiais, optou-se neste estudo por aplicá-la também às águas subterrâneas. Como os parâmetros OD e DBO em águas subterrâneas são naturalmente reduzidos e, desta forma, poderia estar incorrendo em erros nos resultados do IQA, foi utilizado um novo fator de normalização, desconsiderando estes parâmetros como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 3 – Fatores de peso para cálculo do IQA na BHRSD.

Parâmetros	Peso relativo-NSF	Peso utilizado
Oxigênio dissolvido	0,17	0,18
Coliformes fecais	0,15	0,16
pH	0,12	0,13
DBO	0,10	0,11
Fosfato total	0,10	0,11
Nitrato	0,10	0,11
Turbidez	0,08	---
Sólidos Totais Dissolvidos	0,08	0,09
Temperatura	0,10	0,11

Tabela 4 – Fatores de peso para águas subterrâneas sem considerar OD e DBO.

Parâmetros	Peso relativo-NSF	Peso utilizado
Oxigênio dissolvido	0,17	---
Coliformes fecais	0,15	0,231
PH	0,12	0,184
DBO	0,10	---
Fosfato total	0,10	0,154
Nitrato	0,10	0,154
Turbidez	0,08	---
Sólidos Totais Dissolvidos	0,08	0,123
Temperatura	0,10	0,154

Contudo, devido aos teores de alguns dos demais parâmetros considerados, como coliformes fecais, nitrato e sólidos totais, apresentaram teores elevados, não foram observadas alterações significativas nos resultados do IQA para os pontos de água subterrânea sem considerar os parâmetros OD e DBO, pois aqueles parâmetros tiveram o seu peso aumentado no momento da redistribuição de pesos, a partir da nova normalização. A similaridade dos resultados obtidos nesta fase pode ser observada para alguns pontos de água subterrânea na Tabela 5.

Sendo assim, optou-se por espacializar os resultados de IQA quando os parâmetros OD e DBO foram considerados para as águas subterrâneas, para ficar padronizado com o IQA aplicado para as águas superficiais.

Além da classificação usada pela CETESB, também foi demonstrada a classificação do IQA segundo a FEAM/NSF. É importante ressaltar que os cálculos são iguais, a diferença baseia-se apenas na classificação, sendo a da FEAM/NSF a mais rigorosa, como podemos perceber comparando as Tabelas 1 e 2 mostradas anteriormente e a Tabela 6, que mostra alguns pontos para a BHRSD com a classificação Cetesb e FEAM respectivamente.

Como esses IQA's são equivalentes, no presente estudo optou-se por utilizar a classificação da CETESB para as demais análises.

Pontos	IQA – outubro 04 – com OD e DBO	IQA - outubro 04 – sem OD e DBO
15 R	80	88
20 R	56	58
22 R	78	78
24 R	72	73
8 P	87	81
12 P	74	75
17 P	85	90
60 P	66	64

$f f$	$f $	$ f$	$ $	$f f$	$f $	$ f$	$ $	$f f$	$f $	$ f$	$ $

4.5 Mapeamento dos resultados advindos da aplicação do IQA na BHRSD e nas microbacias de enfoque

A tabela referente à base de dados, em extensão .dbf, contendo as coordenadas dos pontos de amostragem e os resultados da aplicação do IQA (para as diferentes coletas), foi importada para o programa ARCGIS 9.1 da ESRI. A partir daí foi possível obter o arquivo em formato shapefile dos valores de IQA relacionados aos pontos de amostragem e fazer a interpolação dos mesmos para a coleta de outubro de 2004 (58 pontos), utilizando a extensão *Spatial Analyst* e aplicando o método de interpolação *Inverse Distance Weighted* (IDW). Este método considera que o peso é função do inverso da distância entre os pontos amostrais e o resultado da interpolação é obtido no formato matricial. O mapa obtido (apresentado na Figura 2) nesta etapa permitiu realizar uma análise espacial da qualidade das águas, superficiais e subterrâneas na BHRSD.

No caso das outras coletas que foram para as 3 microbacias de estudo, não foi possível aplicar o mesmo método, uma vez que o número de pontos era insuficiente para uma boa interpolação. Neste caso, optou-se por plotar apenas os resultados da aplicação do IQA, na forma de pontos distribuídos ao longo das 3 microbacias para os meses de abril, agosto e dezembro de 2005, adotando a classificação do IQA da CETESB (Tabela 2). Os mapas resultantes desta etapa permitiram realizar uma análise temporal da qualidade da água nas 3 microbacias de enfoque da BHRSD.

4.6 Análise dos parâmetros de qualidade da água utilizados no IQA com relação aos limites estabelecidos pela Resolução 357/05 para Classe 2

Os resultados dos parâmetros analisados para a aplicação do IQA, foram confrontados com os limites estabelecidos pela legislação para os usos da água em questão.

A análise foi feita para as três microbacias (Santa Maria e Cambiocó, Barro Branco e Prosperidade), em quatro períodos amostrais (outubro de 2004, abril, agosto e dezembro de 2005). Efetuou-se também uma análise dos resultados dos pontos amostrados em toda a BHRSD no mês de outubro

de 2004, considerando os diferentes tipos de corpos de água (nascentes e pontos superficiais/poços rasos e profundos).

5. Resultados e discussão

5.1 Variação espacial do IQA na BHRSD

A Figura 2 apresenta o mapa resultante da interpolação dos valores de IQA na bacia do rio São Domingos, RJ. Quanto menor for o valor do IQA na legenda, significa que pior está a qualidade da água, conforme os parâmetros utilizados. Na situação inversa, quanto mais elevado o IQA, melhor está a qualidade da água. O IQA variou neste caso, de 42 a 100, o que se relaciona às classes aceitável, bom e ótimo, de acordo com a Tabela 2. Sendo assim, o estado de degradação da qualidade desta bacia não se apresenta ainda tão acelerado.

Contudo, percebe-se neste mapa que existe uma distribuição espacial do IQA diferenciada ao longo da bacia, apontando áreas onde a degradação da qualidade é maior. Estas áreas correspondem às áreas mais urbanizadas como a sede do município de São José de Ubá e as comunidades de Santa Maria e Cambiocó que apresentam o maior contingente populacional da área rural. Também a região mais próxima do exutório da BHRSD apresentou valores de IQA baixo. Isto significa que a carga de poluição pontual, provinda dos esgotos domésticos, está contribuindo para uma redução da qualidade da água – IQA baixo, devido aos elevados teores dos parâmetros coliformes fecais, nitrato, fosfato, sólidos totais e DBO, assim como aos baixos teores de OD, que em alguns casos estiveram fora dos limites permitidos para a classe 2 do CONAMA 357. O aumento da entrada da poluição pontual nos corpos d'água acelera o processo de eutrofização, causando sérios danos ao abastecimento de água local, bem como ao ecossistema aquático, principalmente ao considerar que se trata de uma bacia que enfrenta escassez hídrica. Outro aspecto a se considerar é que os poços rasos e profundos não foram construídos de forma adequada, sendo mais facilmente contaminados por nitratos e coliformes, por exemplo.

A região das nascentes principais do rio São Domingos apresentou IQA alto, correspondendo a uma qualidade melhor da água, além de outros pontos isolados, que correspondem à amostragem subterrânea da água. Destaca-se neste grupo a microbacia de Prosperidade, que apresentou cor bastante clara no mapa (IQA alto). Isto se explica pelo fato da maior porção desta microbacia ser coberta por vegetação em estágio sucessional avançado, o que permite a manutenção da boa qualidade da água.

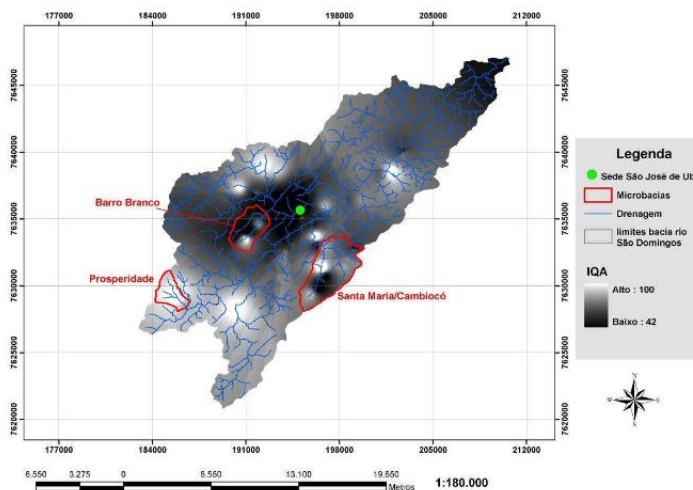


Figura 2 – Mapa da espacialização do IQA na bacia do rio São Domingos – RJ.

Os resultados da aplicação do IQA, considerando os pontos de coleta de água superficiais e subterrâneos de forma separada, mostraram que estes dois compartimentos hídricos se comportam de modo diferenciado em relação às fontes de poluição, sendo os superficiais afetados mais rapidamente. Observa-se na Figura 3 que, quanto ao mapa do IQA de águas superficiais (nascentes e córregos - NS), a área urbana (representada como sede do município na legenda do mapa) é a que apresentou teores mais baixos (portanto, pior qualidade da água classificada como aceitável – 37 a 51). Já as

regiões de nascentes apresentaram qualidade da água melhor (IQA alto – classificado como ótimo – 79 a 100). Porém, no que se refere ao mapa de IQA aplicado para as águas subterrâneas (poços rasos e profundos – RP), a classe aceitável (37 a 51) não ocorreu, mas apenas as classes bom (52 a 79) e ótimo (79 a 100). As áreas que apresentaram classe ótima estão localizadas próximas às nascentes, mas para a grande maioria da bacia a classificação do IQA foi ótimo para as águas subterrâneas. Estes resultados demonstram que é preciso considerar as particularidades de cada tipo de corpo d'água no gerenciamento de bacias hidrográficas.

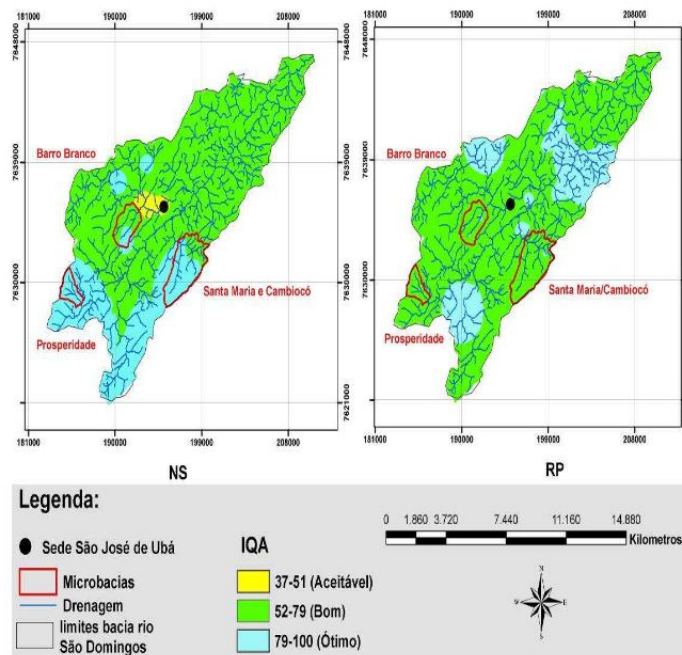


Figura 3 – Mapas da distribuição espacial do IQA aplicado separadamente para águas superficiais (NS) e águas subterrâneas (RP) da BHRSD, segundo classes da CETESB.

5.2 Variação temporal do IQA em microbacias da BHRSD

Os resultados da aplicação do IQA considerando os pontos de monitoramento da qualidade da água (superficial e subterrânea), nos meses de outubro de 2004, abril de 2005, agosto de 2005 e dezembro de 2005, referentes às microbacias de Barro Branco, Prosperidade e Santa Maria/Cambiocó podem ser observados, respectivamente nas Tabelas 7, 8 e 9 e nos mapas da Figura 4. Observa-se que na microbacia de Barro Branco o ponto 12P foi o que apresentou menor valor de IQA classe de IQA pior (classe aceitável) para todos os meses monitorados, com exceção de outubro de 2004. Este poço profundo foi construído para abastecer a população local. Porém, como não foi bem revestido, sua água está sendo contaminada por fontes externas de poluição. Na microbacia de Santa Maria/Cambiocó, os pontos 24S e 32S apresentaram menores valores de IQA (classe aceitável) nas coletas de dezembro de 2005. Este fato ocorreu porque estes pontos estão localizados próximos ao exutório da microbacia (área de baixada) para onde são levados os sedimentos e poluentes na época da chuva, por meio do escoamento superficial. Já para os pontos da microbacia de Prosperidade, a classe predominante de IQA foi ótimo por estar em regiões de nascentes com presença de mata, variando pouco ao longo do monitoramento. O ponto 1S desta microbacia apresentou IQA bom e não ótimo em dezembro de 2005 por estar localizado no seu exutório, onde os valores de turbidez e sólidos em suspensão são maiores resultantes da precipitação elevada nesta época. De modo geral, percebe-se nas Figuras 3 e 4 que tanto para a bacia como um todo, como para as microbacias de Barro Branco e Santa Maria/Cambiocó (comunidades rurais mais populosas), a classe predominante de IQA a partir do monitoramento foi bom.

Tabela 7 – Resultados da aplicação do IQA para a microbacia de Barro Branco, ao longo do tempo.

Pontos	Outubro 04	Abril 05	Agosto 05	Dezembro 05
15 R	Ótimo	Bom	Ótimo	Ótimo
18 R	Bom	Bom	Bom	Bom
19 R	Bom	Bom	Bom	Bom
20 R	Bom	Bom	Bom	Bom
21 R	Ótimo	Bom	Bom	Ótimo
23 R	Bom	Bom	Bom	Bom
12 P	Bom	Aceitável	Aceitável	Aceitável
20 N	Bom	Bom	Bom	Bom
21 S	Ótimo	Bom	Ótimo	Ótimo
37 S	Aceitável	Ótimo	Bom	Bom

Tabela 8 – Resultados da aplicação do IQA para a microbacia de Prosperidade, ao longo do tempo.

Pontos	Outubro 04	Abril 05	Agosto 05	Dezembro 05
1 S	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Bom
36 S	Ótimo	Bom	Ótimo	Ótimo

Tabela 9 – Resultados da aplicação do IQA para a microbacia de Santa Maria/Cambiocó, ao longo do tempo.

Pontos	Outubro 04	Abril 05	Agosto 05	Dezembro 05
8 R	Bom	Aceitável	Bom	Bom
11 R	Ótimo	Bom	Bom	Ótimo
12 R	Bom	Bom	Bom	Bom
13 R	Bom	Bom	Bom	Bom
4 P	Bom	Bom	Ótimo	Ótimo
7 N	Ótimo	Bom	Bom	Ótimo
25 N	Ótimo	Ótimo	Bom	Ótimo
24 S	Ótimo	Bom	Bom	Aceitável
27 S	Bom	Ótimo	Ótimo	Ótimo
29 S	Ótimo	Bom	Bom	Aceitável
32 S	Ótimo	Bom	Ótimo	Ótimo

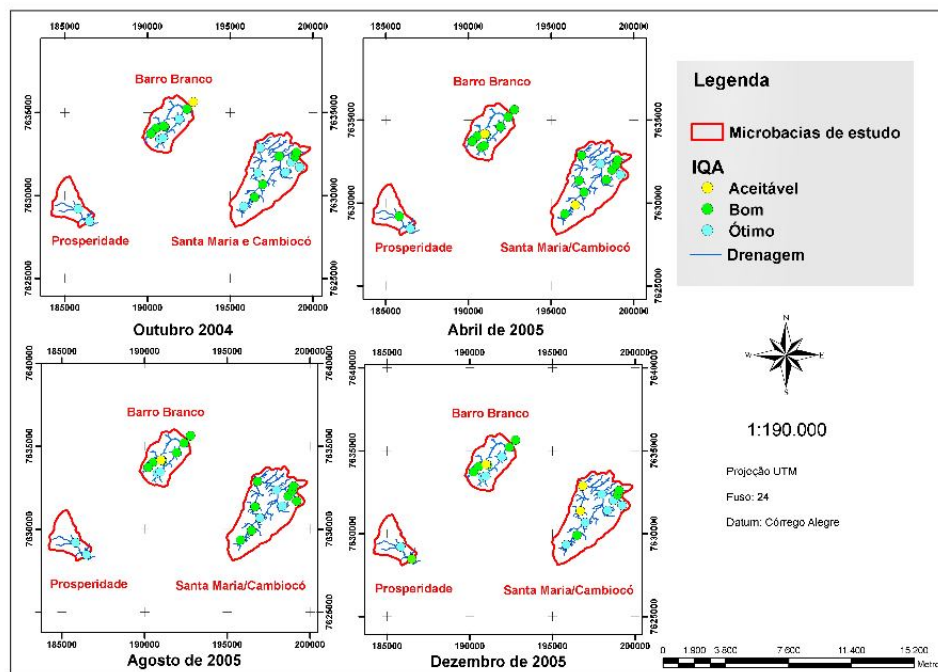


Figura 4 – Mapas dos resultados da aplicação do IQA nas microbasias, para outubro de 2004 e abril, agosto e dezembro de 2005, respectivamente.

Meses	Limites CONAMA 357/classe2	PONTOS										
		8R	11R	12R	13R	4P	24S	27S	29S	32S	7N	25N
OUT 04	Coliformes F.	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	DBO	C	C	C	C	C	I	I	C	I	C	C
	OD	I	I	C	I	I	C	C	C	C	C	C
	Nitrato	C	C	C	I	C	C	C	C	C	C	C
	STD	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
ABR 05	pH	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	Coliformes F.	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	DBO	C	C	C	C	C	I	C	C	I	C	C
	OD	I	I	I	I	I	I	C	I	C	C	C
	Nitrato	C	C	C	I	C	C	C	C	C	C	C
AGO 05	STD	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	pH	C	I	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	Coliformes F.	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	DBO	C	C	C	C	C	C	C	C	I	I	I
	OD	I	I	I	I	C	I	C	C	C	C	C
DEZ 05	Nitrato	C	C	C	I	C	C	C	C	C	C	C
	STD	C	C	C	C	I	C	C	C	C	C	C
	pH	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	Coliformes F.	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	DBO	I	C	C	I	C	I	C	I	C	C	C

Analisando os resultados, verificamos que todos os 11 pontos de coleta da microbacia de Santa Maria e Cambiocó estiveram, em ao menos um dos quatro meses de análise, fora dos limites estabelecidos pelo CONAMA, em relação a no mínimo um parâmetro estudado. Sendo assim, em todos os meses notamos um alto número de pontos em inconformidade com os limites estabelecidos em outubro de 2004 foram 63%, em abril, agosto e dezembro de 2005 foram respectivamente 72%, 81% e 54%.

O parâmetro que possui maior frequência de inconformidade é o OD. Dos 11 pontos, 7 (8R, 11R, 12R, 13R, 4P, 24S, 29S) ficaram fora dos limites estabelecidos pela CONAMA 357 em pelo menos um mês. Apenas os pontos 7N, 25N, 27S e 32S apresentaram-se em situação regular em todas as coletas em relação ao OD. Os pontos 8R e 13R apresentaram-se inconformes nos 4 meses de análise, mostrando não ser um problema relacionado à sazonalidade ou eutrofização, mas sim por se tratar de poço raso, possuindo uma água parada, onde geralmente o OD se encontra reduzido.

O parâmetro DBO apresentou-se irregular em 8 pontos, do total de 11, em pelo menos um mês. Diferentemente do que foi visto para o OD, neste parâmetro os pontos mais preocupantes são os representantes de nascentes e pontos superficiais, pois representaram 100% dos pontos inconformes em outubro, abril e agosto e 50% em dezembro (24S, 32S, 7N e 25N). Isto deve ter ocorrido porque as águas superficiais estão mais expostas à contaminação por fontes de poluição. Sendo assim, a entrada de nutrientes na água provoca eutrofização, em que a DBO aumenta, principalmente em pontos de baixada e próximos ao exutório das microbacias, onde concentram todos os resíduos delas advindos, como é o caso do ponto 24S que se localiza no exutório de Santa Maria e Cambiocó, e 32S, por ser um grande reservatório, que favorece o processo de eutrofização. Nesta microbacia o esgoto de ambas as comunidades Santa Maria e Cambiocó são lançados *in natura* nos córregos, o que facilita a eutrofização. Geralmente este processo é acelerado no verão quando as temperaturas são mais elevadas.

O parâmetro nitrato esteve acima do limite no ponto 13R nos meses de outubro, abril e agosto, e no mês de dezembro apresentou valor próximo do

limite (9,77). Além deste, o ponto 12R também apresentou valores bastante altos nos 4 meses de análise (variando de 5-9), merecendo assim um monitoramento contínuo. É comum nesta região a construção de fossas sépticas próximas aos poços rasos, que nem sempre são bem vedados, sendo assim, a contaminação destes é bastante comum e pode estar comprometendo a saúde da população que faz uso dessa água para beber. O nitrato também pode atingir os corpos d'água por meio do escoamento superficial ou infiltração no solo, onde se encontra presente em resíduos agrícolas como fertilizantes e corretivos nitrogenados aplicados às culturas.

Em agosto de 2005, o ponto 4P apresentou valor de STD (530mg/L) acima do permitido (500mg/L). Isso se deve ao fato de este poço apresentar alto valor de salinidade e, conseqüentemente, um alto valor de condutividade elétrica. De acordo com Menezes (2005), aparentemente tal salinidade se deve à percolação de água subterrânea em níveis mais profundos, ocasionando o íntimo contato com os materiais geológicos presentes, que leva ao incremento significativo do conteúdo salino.

No ponto 11R verificamos que o pH ficou fora dos limites exigidos para classe 2, que é entre 6 e 9. Neste caso, a água mostrou-se levemente ácida (abril 5,86 e dezembro 5,90).

5.3.2 Microbacia Barro Branco

Na microbacia de Barro Branco todos os 10 pontos de coleta apresentaram inconformidade em pelo menos um dos quatro meses, em no mínimo um dos seis parâmetros analisados. Em outubro de 2004 foram 80%, em abril 90%, em agosto 70% e em dezembro 80% de pontos fora dos limites estabelecidos.

Para OD, de um total de 10 pontos amostrais, 9 estiveram fora dos limites em pelo menos um dos quatro meses de análise. Os pontos 18R, 19R, 20N e 37S se mantiveram acima do limite nos quatro meses amostrais. E apenas o ponto 21S esteve regular em todos os meses analisados. Esse é um fato preocupante, visto que os pontos inconformes para esse parâmetro representaram metade ou mais do total em todos os meses. Mais especifica-

mente, 50% em outubro de 2004, 80%, 60% e 80% respectivamente nos meses amostrais seguintes.

O parâmetro DBO também atingiu alta frequência de inconformidade. Apenas o ponto 15R atingiu valores permitidos nos 4 meses de análise, enquanto o 37S apresentou valores fora dos limites estabelecidos pelo CONAMA nos meses de outubro, abril e dezembro. Em outubro de 2004 foram 30% (18R, 20N e 37S), em abril de 2005 somaram 40 % (20R, 21R, 21S e 37S) e em dezembro de 2005 70% (18R, 19R, 20R, 23R, 12P, 20N e 37S). Aqui se percebe claramente a influência da sazonalidade, uma vez que no período mais quente, dezembro a frequência praticamente duplicou com relação aos outros meses de coleta.

Quanto ao parâmetro nitrato, o ponto 18R apresentou valor acima do permitido no mês de outubro de 2004, porém, nos outros 3 meses amostrais seguintes continuou com valores altos (entre 8 e 9), quase atingindo o limite permitido, indicando possibilidade de fonte de contaminação nas proximidades do ponto.

Os parâmetros STD e pH estiveram em situação de desconformidade nos pontos 20R e 12P nos 4 meses analisados, porém não necessariamente é um fator preocupante, pois, de acordo com Santos (2000), é possível encontrar nas águas subterrâneas maiores proporções de constituintes dissolvidos do que nas águas superficiais, esse maior enriquecimento é devido ao maior contato da água com estratos geológicos e as baixas velocidades de circulação das águas subterrâneas.

Tabela 11 – Conformidade dos pontos para a microbacia Barro Branco.

Meses	Limites CONAMA 357/classe2	PONTOS									
		15R	18R	19R	20R	21R	23R	12P	20N	21S	37S
OUT 04	Coliformes F.	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	DBO	C	I	C	C	C	C	C	I	C	I
	OD	I	I	I	I	C	C	C	I	C	I
	Nitrato	C	I	C	C	C	C	C	C	C	C
	STD	C	C	C	C	C	I	I	C	C	C
	pH	C	C	C	I	C	C	C	I	C	C
ABR 05	Coliformes F.	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	DBO	C	C	C	I	I	C	C	C	I	I
	OD	I	I	I	I	I	C	I	I	C	I
	Nitrato	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	STD	C	C	C	I	C	C	I	C	C	C
	pH	C	C	C	I	C	C	I	I	C	C
AGO 05	Coliformes F.	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	DBO	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	OD	C	I	I	C	C	I	I	I	C	I
	Nitrato	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	STD	C	C	C	I	C	C	I	C	C	C
	pH	C	C	C	I	C	C	I	I	C	C
DEZ 05	Coliformes F.	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	DBO	C	I	I	I	C	I	I	I	C	I
	OD	I	I	I	I	C	I	I	I	C	I
	Nitrato	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	STD	C	C	C	I	C	C	I	C	C	C
	pH	C	C	C	I	C	C	I	C	C	C

Legenda: Coliformes F. = Coliformes Fecais, DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio, OD = Oxigênio Dissolvido, STD = Sólidos Totais Dissolvidos.

I = Pontos inconformes com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357, classe 2.

C = Pontos conformes com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357, classe 2.

5.3.3 Microbacia Prosperidade

Tabela 12 – Conformidade dos pontos para a microbacia Prosperidade.

Meses	Limites CONAMA 357/classe 2	PONTOS	
		1S	36S
OUT 04	Coliformes F.	C	C
	DBO	C	C
	OD	C	C
	Nitrato	C	C
	STD	C	C
	pH	C	C
ABR 05	Coliformes F.	C	C
	DBO	C	C
	OD	C	C
	Nitrato	C	C
	STD	C	C
	pH	C	C
AGO 05	Coliformes F.	C	C
	DBO	C	C
	OD	C	C
	Nitrato	C	C
	STD	C	C
	pH	C	C
DEZ 05	Coliformes F.	C	C
	DBO	I	C
	OD	C	C
	Nitrato	C	C
	STD	C	C
	pH	C	C

Legenda: Coliformes F. = Coliformes Fecais, DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio, OD = Oxigênio Dissolvido, STD = Sólidos Totais Dissolvidos.

I = Pontos inconformes com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357, classe 2.

C = Pontos conformes com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357, classe 2.

Nesta microbacia apenas o ponto 1S apresentou inconformidade no parâmetro DBO no mês de dezembro de 2005, pois trata-se de ponto de coleta de água superficial localizado no exutório da microbacia de Prosperidade, que no verão, apresentou valor elevado, provavelmente devido às altas temperaturas. Porém, o ponto 36S apresentou valores significativamente altos para coliformes fecais, como em abril - 500 NMP, agosto - 500 NMP e dezembro - 900 NMP. Apesar deste ponto de coleta ser de água ser próximo às nascentes, é utilizado para dessedentação de gado, o que interfere no número de coliformes obtidos.

5.3.4 Comparação dos resultados obtidos na BHRSD no mês de outubro de 2004 em relação ao tipo de água (nascente/poços superficiais e poços rasos/poços profundos).

5.3.4.1 Nascentes e Pontos Superficiais

A Tabela 13 mostra os pontos relativos às nascentes e pontos superficiais em inconformidade com os padrões estabelecidos, no mês de outubro de 2004 em toda BHRSD.

Tabela 13 – Conformidade dos pontos (nascentes e pontos superficiais) na BHRSD no mês de outubro de 2004.

	Limites CONAMA 357 / 2005 classe 2	Coliformes F. 1000 NMP em 100 ml	DBO até 5 mg/L O ₂	OD Não inferior 5 mg/L O ₂	Nitrato até 10 mg/L N	STD até 500 mg/L	pH entre 6 e 9
Pontos							
20N	C	C	I	I	C	C	I
38N	C	C	I	C	C	C	C
43N	C	C	I	C	C	C	C
6S	C	C	I	I	C	C	C
7S	C	C	I	C	C	C	C
12S	C	C	I	C	C	C	C
17S	C	C	I	C	C	C	C
19S	C	C	I	I	C	C	C
22S	C	C	I	I	C	C	C
23S	C	C	I	I	C	C	C
24S	C	C	I	C	C	C	C
27S	C	C	I	C	C	C	C
32S	C	C	I	C	C	C	C
37S	C	C	I	I	C	C	C

Legenda: Coliformes F. = Coliformes Fecais, DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio, OD = Oxigênio Dissolvido, STD = Sólidos Totais Dissolvidos.

I = Pontos inconformes com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357, classe 2.

C = Pontos conformes com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357, classe 2.

De um total de 24 pontos amostrais (nascentes e pontos superficiais), apenas 10 enquadraram-se nos limites permitidos para classe 2. Os outros 14 pontos, que representam 58% do total, apresentaram inconformidade em pelo menos 1 parâmetro dos 6 analisados. Mais especificamente, nos parâmetro DBO (14 pontos, equivalentes a 58%) e OD (6 pontos, equivalentes a 25%).

As amostras que mais apresentaram inconformidade em DBO foram relativas a pontos superficiais. Este resultado já era esperado, uma vez que, conforme Menezes (2005), tais pontos estão mais expostos a aporte de matéria orgânica e, conseqüente diminuição de oxigênio, já que este é consumido pelas bactérias no processo digestivo, processo já mencionado anteriormente.

5.3.4.2 Poços Rasos e Profundos

A Tabela 14 mostra os pontos relativos aos poços rasos e profundos em inconformidade com os padrões estabelecidos pelo CONAMA 357, no mês de outubro de 2004, em toda BHRSD.

De um total de 34 pontos amostrais (poços rasos e profundos), apenas 10 enquadram-se nos limites CONAMA para classe 2. Como podemos observar na Tabela 14, os outros 24 pontos apresentaram inconformidade em pelo menos 1 parâmetro analisado, valor que corresponde à 75% do total analisado.

Destacamos os parâmetros OD, Nitrato e DBO que apresentaram 56%, 26% e 11% respectivamente, de pontos acima dos valores permitidos. Com relação ao OD, estes resultados eram esperados, uma vez que se trata de águas subterrâneas, porém, quanto à DBO, valores inconformes indicam que está havendo entrada de nutrientes e poluentes nos corpos hídricos subterrâneos. Realmente obteve-se informação em campo de que os poços são na maioria das vezes mal impermeabilizados, permitindo a sua contaminação por poluentes tanto de fontes pontuais como difusas. As águas subterrâneas na BHRSD possuem alto teor de sais dissolvidos, o que influencia nos parâmetros condutividade, salinidade, alcalinidade e TDS.

Tabela 14 – Conformidade dos pontos de poços R e P na BHRSD para o mês de outubro de 2004.

Pontos	Limites CONAMA 357 / 2005 classe 2	Coliformes F. 1000 NMP em 100 ml	DBO até 5 mg/L O ₂	OD Não inferir 5 mg/L O ₂	Nitrato até 10 mg/L N	STD até 500 mg/L	pH entre 6 e 9
8R	C	C	C	I	C	C	C
11R	C	C	C	I	C	C	C
13R	C	C	C	I	I	C	C
15R	C	C	C	I	C	C	C
16R	C	C	C	I	I	C	C
18R	C	C	I	I	I	C	C
19R	C	C	C	I	C	C	C
20R	C	C	C	I	C	C	I
22R	C	C	C	I	I	C	C
23R	C	C	C	C	C	I	C
24R	C	C	C	I	I	C	C
25R	C	C	C	I	C	C	I
26R	C	C	C	I	I	C	C
27R	C	C	C	I	I	C	C
29R	C	C	I	C	C	C	C
31R	C	C	I	I	C	C	I
36R	C	C	C	C	I	C	C
52R	C	C	C	I	C	C	C
53R	C	C	C	I	I	C	C
4P	C	C	C	I	C	C	C
12P	C	C	C	C	C	I	C
19P	C	C	C	I	C	C	C
21P	C	C	I	C	C	C	C
60P	C	C	C	I	C	C	C

Legenda: Coliformes F. = Coliformes Fecais, DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio, OD = Oxigênio Dissolvido, STD = Sólidos Totais Dissolvidos.

I = Pontos inconformes com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357, classe 2.

C = Pontos conformes com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357, classe 2.

6. Conclusões

A interpolação do IQA permitiu melhor visualização espacial da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio São Domingos, RJ. Entretanto, é possível aplicar outros métodos de interpolação capazes de estimar o erro, mas para tal seria necessário aumentar o número de amostragem e melhorar a distribuição espacial dos pontos ao longo da bacia, o que nem sempre é possível, devido aos altos custos e muito trabalho e tempo despendido na coleta e análise das amostras. A análise multitemporal da qualidade da água das microbacias foi importante, uma vez que foi capaz de detectar oscilações nos valores de IQA, que ocorrem devido à sazonalidade, dentre outros fatores naturais ou antrópicos. É importante ressaltar que apesar do IQA aplicado não considerar parâmetros como os pesticidas, estes precisam ser monitorados na bacia em questão, visto que predomina o cultivo de tomate, que requer altas doses destes compostos, podendo afetar a qualidade da água e a saúde humana.

Ao se aplicar o mesmo IQA (CETESB) para águas superficiais e subterrâneas, percebeu-se a necessidade de desenvolvimento de novos IQA específicos para águas subterrâneas, uma vez que estes corpos d'água se comportam de maneira diferenciada e que estes IQA são escassos.

Quando se comparou os resultados dos parâmetros considerados no IQA, separadamente, com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357 de 2005, foi possível observar que a grande maioria deles apresenta inconformidades, pelo menos em determinada época do ano. As inconformidades mais comuns tanto em nível da BHRSD quanto das microbacias de enfoque foram quanto aos parâmetros OD, DBO e nitrato, que estão relacionados geralmente com fontes pontuais de poluição como os esgotos domésticos.

Sobretudo, os resultados obtidos indicam que medidas mitigadoras e de preservação devem ser consideradas no gerenciamento dos recursos hídricos da bacia e das microbacias em questão, para evitar que em curto espaço de tempo o IQA, atualmente classificado como bom (na maioria dos

pontos amostrados), não seja classificado como aceitável, como ocorreu para alguns pontos e, em uma situação de maior degradação, como ruim e posteriormente péssimo, similar ao que ocorre nos grandes centros urbanos, onde os esgotos não são tratados.

7. Referências Bibliográficas

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19th ed. Washington: APHA, 1995. 1.134 p.

ÁVILA, C. J. C. P.; ASSAD, E. D.; VERDESIO, J. J.; EID, N. J.; SOARES, W.; FREITAS, M. A. V. de. **Geoprocessamento da informação hidrológica**. In: ANEEL. O Estado das águas no Brasil. Brasília, DF, 1999. 1 CD-ROM.

BARROS, E.; ROCHA, G. A. Geoprocessamento: instrumento decisivo na gestão de recursos hídricos. **SEI - Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia**, Salvador, v. 10, n. 2, p. 57-59, 2000.

BURROUGH, P. A.; MCDONNEL, R. A. **Principles of geographical information systems: spacial information systems and geostatistics**. New York: Oxford University, 1998. 333 p.

CETESB. **Bem-vindo à CETESB**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em 05 jun. 2007.

DERÍSIO, J.C. **Introdução ao controle da poluição ambiental**. São Paulo: CETESB, 1992. 210 p.

DEUS, A. B. S.; RIBEIRO, M. L.; LUCA, S. J. Bacia hidrográfica do Rio Cai / RS: índices podem mascarar avaliação da qualidade da água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 2373 – 2379.

ESTEVES, F. de. A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: FINEP: Interciência, 1988. 575 p.

FERREIRA, L. M.; IDE, C. N. Avaliação comparativa da sensibilidade do IQA-NSF, IQA-Smith e IQA-Horton, aplicados ao Rio Miranda, MS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2001. p. 1-16.

GASTALDINI, M.C.C.; SOUZA, M.D.S. Diagnóstico do Reservatório do Vacacaí-Mirim, Santa Maria - RS, através de índices de qualidade de água. In: SEMINÁRIO SOBRE QUALIDADE DE ÁGUAS CONTINENTAIS NO MERCOSUL, 1., 1993, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1994, v. 1, p. 279-294.

HENKES, J. L. **Gestão dos recursos hídricos: acertos e erros na bacia hidrográfica do Rio Itajaí**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

LEITE, F.P.N.; FONSECA, O.J.M. Aplicação de índices de qualidade das águas na Lagoa Caconde, Osório, RS. In: SEMINÁRIO SOBRE QUALIDADE DE ÁGUAS CONTINENTAIS NO MERCOSUL, 1., 1993, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1994, p. 249-260.

MENEZES, J. M. **Hidrogeoquímica da bacia hidrográfica do rio São Domingos – São José de Ubá/RJ**. 2005. 195 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-Graduação em Geologia, UFRJ, Rio de Janeiro.

NÓBREGA, M. M. S. da; SANTOS, J. P.dos; ARAÚJO, A. L. C. Qualidade das águas subterrâneas na Grande Natal: o alcance da contaminação por nitrato nas águas minerais. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 1., 2006, Natal. **Anais...**Natal: O2 Editora, 2006. v. 1. p. 1 - 8.

OLIVEIRA, I. B.; NEGRÃO, F. I.; SILVA, A. G. L. S. Aplicação do Índice de Qualidade Natural da Água Subterrânea (IQNAS) para os domínios hidrogeológicos do Estado da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 14., 2006, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABAS, 2006.

PRADO, R. B.; MENEZES, J. M.; MANSUR, K. L.; MARTINS, A. M.; FREITAS, P. L. DE; SILVA JUNIOR, G. C. das; CARVALHO, L. G.; PIMENTA, T. S.; LIMA, L. A. de. Parâmetros de qualidade da água e sua relação espacial com as fontes de contaminação antrópicas e naturais: bacia hidrográfica do Rio São Domingos – São José de Ubá, RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **Anais...** São Paulo: Acqua Consultoria, 2005.

PRADO, R. B.; TAVARES, S. R. de L.; BEZERRA F. B.; RIOS, L. da C.; ESCALEIRA, V. **Manual técnico de coleta e acondicionamento, preservação e análises laboratoriais de amostras de água para fins agrícolas e ambientais.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 81 p. (Embrapa Solos. Documentos, 65).

RODRIGUEZ, M. T.; HASENACK, H.; PUNDT, H.; NOELLE, O. Tratamento de dados químicos em sistemas de informações geográficas. GIS BRASIL. In: CONGRESSO DE GEOPROCESSAMENTO DA AMÉRICA LATINA, 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sagres Editora Ltda., 1998. p. 1-4.

SANTOS, A. C. Noções de Hidroquímica In. FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** 2. ed. Fortaleza: CPRM: LABHID-UFPE, 2000. cap. 5, p. 81-108.

SOUZA JÚNIOR, J. L.; ALMEIDA, F. T.; ALVES, M. G. O uso do geoprocessamento na análise da qualidade da água subterrânea para uso agrícola na região de São Francisco do Itabapoana – RJ, versus formação geológica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2617 – 2624.

SPERLING, M.V. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: UFMG, 1998. 243 p.

STRECK, C. D.; IGLESIAS, C.; MIGLIAVACA, D. M.; ZOCHE, J. J.; HASENACK, H. Avaliação da qualidade das águas superficiais da bacia do Arroio Candiota – RS utilizando sistemas de informação geográfica. In: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO, 5., 1999, Salvador. **Anais...** Salvador. 1999. 1 CD-ROM.

TOLEDO, L.G.; NICOLELLA, G. 2002. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agrícola**, v.59, n. 1, p.181-186, jan./mar. 2002.

