



## Qualidade das águas subterrâneas da Bacia Sedimentar de Campos dos Goytacazes-RJ, Brasil

Nogueira Costa, Aline ✉ - Alves, Maria da Glória - Polivanov, Helena  
Cardoso da Silva, Gérson Jr. - Oliveira da Costa, Mirian Cristina

Recibido: 04 de junio de 2009 • Aceptado: 10 de marzo de 2011

### Resumo

*Este estudo visou investigar a qualidade das águas subterrâneas no Município de Campos dos Goytacazes - RJ, que faz parte da Bacia Sedimentar, a qual representa o maior potencial hídrico subterrâneo do Estado do Rio de Janeiro. Para esta finalidade, foram realizadas análises físico-químicas (aquíferos rasos e profundos) e bacteriológicas (aquíferos profundos). Os resultados apresentaram elementos fora dos padrões para água potável, tanto no aquífero raso (pH, condutividade, Fe, Pb), como no profundo (condutividade, turbidez, cloreto e nitrito). No aquífero raso o resultado mais preocupante está relacionado ao chumbo, pois das 16 amostras, 14 deram fora do padrão. Ainda no mesmo aquífero encontra-se o Fe, que ocorre de forma natural na região. No aquífero profundo, o que chamou atenção foi o nitrito ocorrer em concentrações altas. Este é fator de risco para região, pois as águas desses poços são distribuídas para a população que não reside no centro de Campos. Quanto a análise bacteriológica, em aquíferos rasos, trabalhos anteriores identificaram este tipo de contaminação, causada pela vulnerabilidade dos aquíferos. Já para os poços profundos não foi detectado este tipo de contaminação. De acordo com os resultados obtidos neste levantamento, conclui-se que as águas subterrâneas do município apresentam problemas de potabilidade para consumo humano.*

**Palavras-chave:** *Qualidade da água; águas subterrâneas; potabilidade; contaminação.*

### Abstract

*This study aimed to investigate the groundwater quality in the Municipality of Campos dos Goytacazes - RJ, part of the sedimentary basin, which represents the largest underground water potential of the State of Rio de Janeiro. For this purpose, we carried out physical and chemical analysis (shallow and deep aquifers) and bacteriological (deep aquifer). The results showed elements outside the standard for drinking water, both in the shallow aquifer (pH, conductivity, Fe, Pb), as in deep (conductivity, turbidity, chloride and nitrate). The most worrying in the shallow aquifer is related to the element lead because of the 16 samples, 14 occur outside of the standard. At the same aquifer the element iron is out of the default host, but this occurs naturally in the region. In the deep aquifer, which drew attention was the nitrite occur in high concentrations. This is a risk factor for the region, because the waters of these wells are distributed to people who do not live in downtown Campos. As for bacteriological analysis in shallow aquifers, previous studies have identified this type of contamination caused by the vulnerability of aquifers. As for the deep wells has not been detected this type of contamination. According to the results of this survey, it appears that groundwater in the city have drinking problems for human consumption.*

**Keywords:** *Water quality; groundwater; potability; contamination.*

Instituto de Geociências Universidade Federal do Rio do Janeiro

✉ alinenog@ig.com.br

## INTRODUÇÃO

Uso de águas subterrâneas tem aumentado significativamente nas últimas décadas. Particularmente nas áreas rurais dos países em desenvolvimento, em regiões áridas e semi-áridas e nas ilhas. Em algumas mega-cidades (por exemplo, a Cidade do México, São Paulo, Bangkok) é a principal fonte de abastecimento de água e fornece quase 70% do abastecimento de água nos países da União Européia. A agricultura e sistemas de irrigação em particular, em muitas partes do mundo, dependem fortemente dos recursos hídricos subterrâneos (UNESCO 2007).

No entanto, o controle gerencial sobre o desenvolvimento dos recursos e da sua proteção é muitas vezes deficiente, o que leva à exploração descontrolada e contaminação dos aquíferos. A solução está intimamente ligada ao planejamento e a gestão da água sendo que o principal objetivo deste processo é assegurar a quantidade, qualidade, segurança e sustentabilidade das águas subterrâneas (Freeze & Cherry 1979).

Os modelos da U.S Environmental Protection Agency (USEPA 1975), World Health Organization European Standard (OMS 1970) recomendam concentrações limites aceitáveis para consumo humano. Freeze & Cherry (1979) e Fetter (2002) falam dos constituintes químicos das águas subterrâneas, contaminação e sua qualidade, mostrando que o modelo principal de uso é para o consumo humano; Santos (1997) apresenta valores permitidos para águas, dentro do padrão do uso estabelecido. No Brasil, alguns parâmetros físico-químicos são adotados para avaliação da qualidade da água para consumo humano e estão relacionados na Portaria nº 518/2004 (Brasil 2004), além de serem recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS 2004), no que tange à potabilidade da água.

Do ponto de vista hidrogeológico a qualidade é tão importante quanto a quantidade, a disponibilidade dos recursos

hídricos para determinados usos depende fundamentalmente da qualidade físico-química, biológica e radiológica das águas (Santos 1997).

O Município de Campos faz parte da Bacia Sedimentar de Campos, que representa o maior potencial hídrico subterrâneo do Estado do Rio de Janeiro, mas necessita de estudos para que esses recursos sejam bem gerenciados, auxiliando na orientação das políticas habitacionais, de agricultura e industriais da região, como também garantindo a sua preservação.

Este trabalho tem como objetivo contribuir para um melhor conhecimento das características hidrogeoquímicas dos aquíferos rasos e profundos e a vulnerabilidade dos aquíferos rasos, de modo a subsidiar o gerenciamento adequado dos aquíferos da Bacia Sedimentar de Campos, a maior reserva de água subterrânea do Estado do Rio de Janeiro.

## OBJETIVO

Analisar a qualidade das águas do aquífero raso de todo o Município de Campos e o do aquífero profundo da Baixada Campista e caracterizar o grau de potabilidade dessas águas, vulnerabilidade dos aquíferos livres e os problemas resultantes do consumo de água sem prévio conhecimento da sua qualidade.

## LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O Município de Campos dos Goytacazes (Figura 1) está localizado na região Norte do Estado do Rio de Janeiro, aproximadamente a 279 km da capital estadual, Rio de Janeiro, com uma área de 4.037 km<sup>2</sup>, sendo o maior município do Estado e possuindo uma população de 434.008 habitantes (IBGE 2007).

Apresenta um relevo predominantemente suave, um clima ameno, uma hidrografia variada, com o Rio Paraíba do Sul atravessando todo o município e algumas lagoas, com destaque para a Lagoa Feia e a Lagoa de Cima.

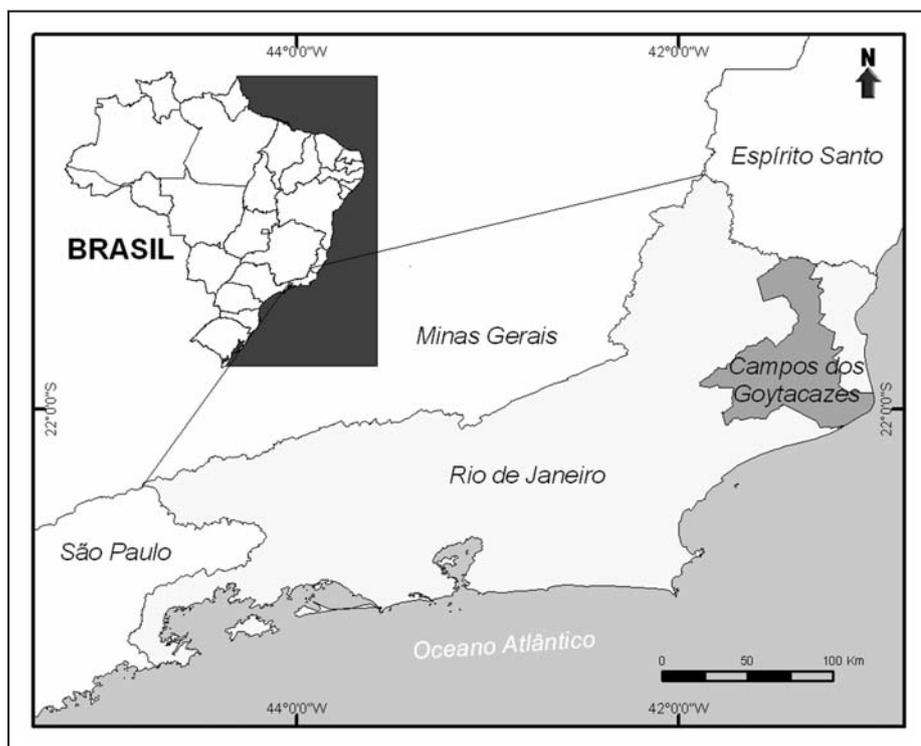


Figura 1. Localização da área, Município de Campos dos Goytacazes-RJ.

## Geologia

A descrição da geologia do Município foi elaborada utilizando dados de *Ferrari et al. (1981)* do Projeto Carta Geológica do DRM-RJ (Bloco Campos), escala de 1:50.000 e de *Fonseca et al. (1998)* do Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro do DNPM, escala 1:400.000. A partir destes mapas compilaram-se as informações referentes ao Município de Campos.

A geologia de Campos pode ser dividida, resumidamente, em duas partes: Formação das Rochas do Embasamento Cristalino (Pré-Cambriano) e a Formação da Bacia Sedimentar (Fanerozóico). Formando o embasamento cristalino do Município de Campos são encontradas as rochas gnáissicas e os migmatitos sendo as de maior distribuição e extensão, entre todas as outras unidades pré-cambrianas. Em menor proporção são encontrados os charnockitos e os granitos. No Fanerozóico são encontrados os sedimentos Terciários e Quaternários abaixo descritos, com maior nível de detalhamento, pois o trabalho foi realizado na Bacia de Campos, parte emersa.

*Sedimentos Terciários (Tb)*: Os sedimentos Terciários ocorrem alongados segundo uma faixa diagonal que atravessa a área de estudo na direção NE-SW, interpondo-se, a grosso modo, entre o domínio das rochas Pré-Cambrianas e os sedimentos Quaternários.

Esta unidade é constituída por sedimentos continentais e representada por níveis descontínuos e alternados de material friável e mal selecionado, desde arenoso, areno-argiloso a argiloso, constituído principalmente de grãos de quartzo subangular abundante, grãos de feldspato caulinizado, aparecendo também níveis conglomeráticos com seixos arredondados de canal fluvial e horizontes de concreções lateríticas.

*Sedimentos Quaternários Litorâneos (Qc)*: formam os cordões litorâneos com corpos sedimentares individualmente estreitos e alongados, alturas individuais entre 1 a 3 m, paralelos entre si, separados por vales e apresentando como estrutura uma

estratificação plano-paralela. Estes sedimentos são constituídos de areias quartzosas litorâneas, de coloração esbranquiçada, por vezes amarelada e acastanhada.

*Sedimentos Quaternários Fluviais (Qp)*: Os sedimentos fluviais que compõem esta unidade ocupam a planície costeira de Campos, também denominada Baixada Campista, com cota máxima da ordem de 13 m e acompanham principalmente os baixos cursos dos rios Paraíba do Sul, Ururaí, Muriaé e Macabu. A sequência sedimentar desta unidade é composta por argilas, argilas-silticas e siltes, de planície de inundação, geralmente micáceos, boa compactação e apresentam tonalidades que vão desde castanho-amarelo até cinza-escuro.

## Hidrogeologia

Vários autores vêm realizando estudos sobre os aquíferos e o potencial hídrico subterrâneo do município de Campos. O aquífero livre é representado pelos sedimentos da Formação Barreiras e os Sedimentos Quaternários. Quanto aos aquíferos profundos, existem diferentes definições (*Caetano 2000, CPRM/RJ 2001, Capucci 2003, Martins et al. 2006*). De acordo com *Caetano (2000) e CPRM/RJ (2001)*, Campos dos Goytacazes dispõe de um grande sistema aquífero Sedimentar Quaternário e Terciário composto de: Aquífero Flúvio-deltaico, Aquífero Emborê, Aquífero São Tomé I, São Tomé II e Aquífero Barreiras (Figura 2). Apesar dos aquíferos sedimentares da porção emersa da Bacia Campos terem sido alvo de vários estudos, ainda existem dúvidas quanto à sua divisão e compartimentação, devido à falta de consenso de sua estratigrafia.

A água desses aquíferos é de fundamental importância para a população do Norte Fluminense, uma vez que o sistema de abastecimento desses municípios, proveniente da ETA do Rio Paraíba em Campos, pode ser desativado por força da contaminação dos rios, como já ocorreu em 2003, e a população foi abastecida pela água proveniente de poços perfurados nos aquíferos profundos e por poços rasos do aquífero livre.

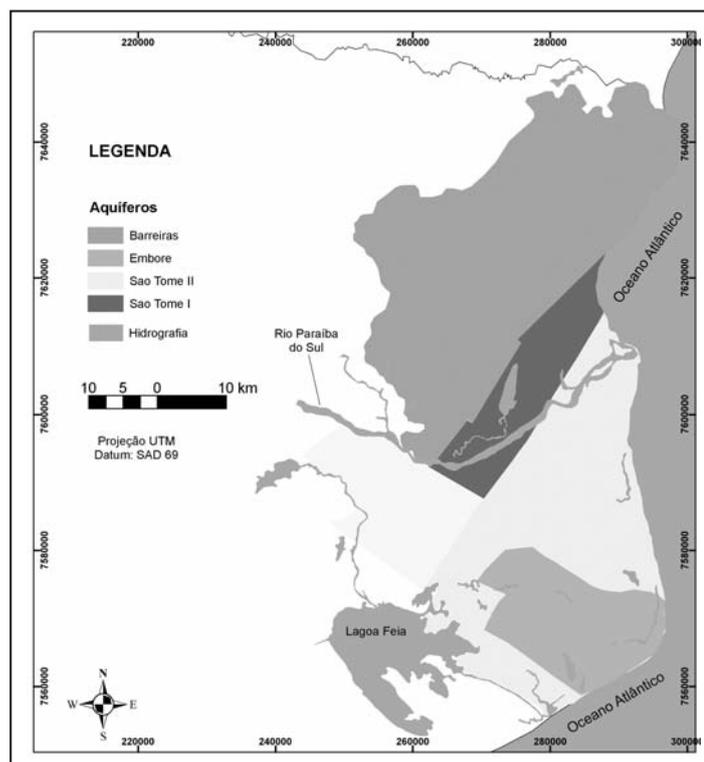


Figura 2. Mapa Hidrogeológico da Bacia da Campos/RJ (modificado de CPRM/RJ 2001).

### Potencial Hídrico Subterrâneo

De acordo com *Caetano (2000)* e *CPRM/RJ (2001)*, o Município de Campos dos Goytacazes dispõe de dois grandes sistemas aquíferos: o Sistema Fraturado e o Sedimentar.

- Sistema *Aquífero Fraturado* - está associado às zonas de fraqueza e ruptura das rochas do embasamento cristalino, e apresenta baixo potencial, com capacidade específica variando de 0,021 a 1,53 m<sup>3</sup>/h/m e valores médios de vazão de 5,73 m<sup>3</sup>/h (*Freitas 2003*). É considerado como aquífero descontínuo, de porosidade secundária (fissuras) e caráter livre a semiconfinado.

- Sistema Aquífero Sedimentar -se divide em:

O *Aquífero Barreiras* se faz presente em toda extensão da bacia, desde seu limite oeste até o litoral, apresentando parte desta aflorante e outra parte recoberta pelos sedimentos Quaternários. Situa-se a oeste da Bacia Sedimentar de Campos dos Goytacazes, tendo contato lateral com o embasamento cristalino, ocorrendo em uma área de aproximadamente 1.630 km<sup>2</sup>. Em sua constituição temos os sedimentos Terciários, aflorantes, compostos por argilas lateríticas e areias com óxido de ferro, sobrepostos ao embasamento cristalino, sendo o aquífero livre e pouco produtivo.

O *Aquífero Flúvio-deltaico* situa-se na margem direita do Rio Paraíba do Sul, a SW da cidade de Campos, ocorrendo em uma área de aproximadamente 304 km<sup>2</sup>. Compreende sedimentos Quaternários, aflorantes, compostos por areias e arenitos, finos a médios com matriz silteosa e bandas argilosas, o que resulta em águas de boa qualidade.

O *Aquífero Emborê*, presente nos arredores da localidade Farol de São Tomé, apresenta também boa qualidade de água, compreende sedimentos não aflorantes, tidos como Terciários, compostos por arenitos conchíferos variados, com feldspato, argilitos impuros e argilas orgânicas, ocorrendo em uma área de aproximadamente 350 km<sup>2</sup>. O aquífero é confinado ou semiconfinado, e encontra-se totalmente coberto por sedimentos Quaternários.

Em poços de Santa Clara, Grussaí e outros, encontrou-se a presença de feições características de sedimentação marinha, correspondentes à formação Terciária (*CPRM/RJ 2001*), indicando que esses sedimentos não eram correlacionáveis com a Formação Barreiras, recebendo este a designação de *Aquífero São Tomé*, que, mesmo apresentando homogeneidade litológica, foi dividido em *Aquífero São Tomé I* e *Aquífero São Tomé II*, em função da diferença de espessuras e de algumas variações das características hidrodinâmicas da região.

O *Aquífero São Tomé I* compreende a um eixo alongado no sentido NE-SW, ocorrendo em uma área de aproximadamente 380 km<sup>2</sup>. Trata-se de sedimentos Terciários, não-aflorantes, totalmente recobertos por sedimentos Quaternários, composto por arenitos avermelhados, lateríticos com argilas cálcicas, sobre arenitos consolidados argilosos.

O *Aquífero São Tomé II* ocorre em quase toda região, uma área de aproximadamente 910 km<sup>2</sup>, constituindo-se por sedimentos não-aflorantes, Terciários, com-

postos por arenitos avermelhados, lateríticos, com argilas cálcicas, sobre arenitos consolidados argilosos. O aquífero é um sistema confinado, totalmente coberto por sedimentos Quaternários, com águas geralmente de boa qualidade, podendo apresentar-se ferruginosas.

### Análise da Vulnerabilidade do aquífero livre

O Município de Campos apresenta certa fragilidade em termos de abastecimento, pois é feita pela captação no Rio Paraíba do Sul, que pode ser contaminado a qualquer momento, como já aconteceu durante o desastre, em 29 de março de 2003, quando o derrame de um grande volume de substâncias tóxicas (poluição aguda) deixou a população sem água, provocando um aumento na exploração dos recursos hídricos subterrâneos através de uma visão imediatista, colocando em risco a saúde dos usuários, pois não se tinha estudo sobre a qualidade das águas que estavam sendo consumidas.

Esse fato chamou a atenção sobre a necessidade de implementar estudos sobre vulnerabilidade dos aquíferos e da qualidade das águas subterrâneas, o que já vem sendo feito pela Universidade Estadual do Norte Fluminense/UENF em conjunto com a Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ, o Departamento de Recursos Minerais/DRM entre outros (*Curty 2003, Rocha et al. 2003a, Rocha et al. 2003b, Rocha 2004, Rosa et al. 2004, Fonseca 2005, Coridola et al. 2005a, Coridola et al. 2005b, Coridola 2006, Costa 2009*). Nesses estudos foram observados problemas de contaminação e comprometimento na qualidade das águas subterrâneas, devido a vulnerabilidade dos aquíferos diante do uso do solo sem planejamento (Figura 3).

A vulnerabilidade associada à susceptibilidade de um determinado aquífero ou manancial subterrâneo em ser poluído por uma atividade antrópica é visto como uma das formas mais adequadas de se encarar a preservação da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos (*Hirata 2000*). A idéia é adequar a atividade humana em função da capacidade de suporte do meio, fazendo uma parceria com as características naturais do terreno para uma ocupação ambientalmente responsável.

O termo vulnerabilidade de aquíferos foi inicialmente utilizado por *Le Grand (1964)*, nos EUA, e *Albinet & Margat (1970)*, na França, e mais amplamente na década de 80 por vários outros autores (*Aller et al. 1985, Bachmat & Collin 1987, Foster 1987, Foster & Hirata 1988*). Em função das condições hidrogeológicas descreve-se o grau de vulnerabilidade e através de mapas informam-se os perigos de contaminação de água subterrânea (*Hirata 2000*).

Dentre os métodos de vulnerabilidade existentes, alguns poucos como o DRASTIC, GOD, PLA, AVI, SI e SINTACX, servem para caracterizar uma cartografia geral de vulnerabilidade para qualquer tipo de atividade contaminante. Utilizando-se da metodologia GOD proposta por *Foster & Hirata (1991)*, *Rocha (2004)* elaborou o mapa de vulnerabilidade dos aquíferos livres da Baixada Campista. *Coridola (2006)* ampliou o estudo para todo o Município de Campos dos Goytacazes comparando os resultados da metodologia GOD, que utiliza apenas três parâmetros durante o processo de obtenção dos dados (tipo de aquíferos, litologia da zona não saturada e profundidade do nível freático), com a metodologia DRASTIC que determina a vulnerabilidade de um aquífero, utilizando a área de recarga, o tipo de solo, a topografia e a condutividade hidráulica, além dos dados utilizados na metodologia GOD, obtendo-se como resultados percentuais: vulnerabilidade crítica (10%)

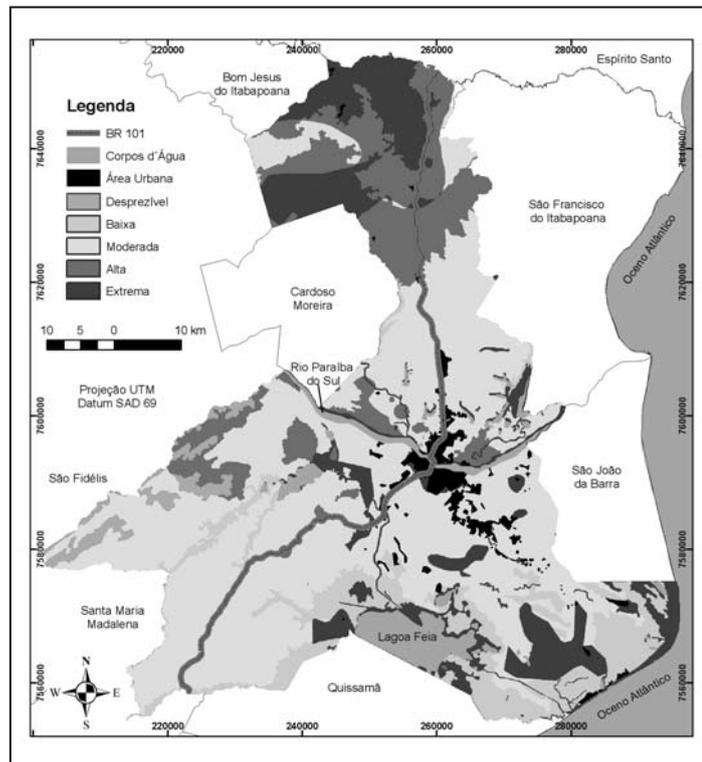


Figura 3. Carta de Vulnerabilidade dos aquíferos livres pela metodologia GOD (Costa 2009).

vulnerabilidade alta (40%) vulnerabilidade moderada (45%) e vulnerabilidade baixa (5%). Essas áreas se distribuem no município nas regiões urbanas e rurais. A área urbana de Campos está praticamente na sua totalidade distribuída em área de extrema e alta vulnerabilidade. Especificamente na Baixada Campista temos vulnerabilidade alta a extrema, o que é extremamente preocupante. Este cenário justifica que esforços sejam feitos para desenvolver trabalhos visando estabelecer parâmetros que possam orientar o poder público e comunidades carentes na ocupação racional e responsável do solo.

Segundo *Coridola (2006)*, ao utilizar o método DRASTIC e também o método GOD em seu trabalho, este último mesmo utilizando apenas três parâmetros ofereceu uma satisfatória integração dos dados, proporcionando simplicidade na elaboração do documento cartográfico final, se mostrando muito satisfatório para municípios com poucos dados existentes.

Dos trabalhos desenvolvidos na região ligados a área de saúde podemos citar o de *Bahia de Oliveira et al. (2003)*, que realizou um levantamento epidemiológico sobre a prevalência de toxoplasmose em 1436 indivíduos escolhidos aleatoriamente na cidade de Campos dos Goytacazes, constatando que 84% da população de classe sócio-econômica baixa, foi positiva para toxoplasmose, enquanto nas classes média e alta, essa porcentagem foi de 62% e 23%, respectivamente. Neste trabalho foi detectado que a ingestão de água não filtrada pareceu aumentar o risco de positividade para as classes mais baixas. Assim, é muito provável que a qualidade da água consumida pela população tenha um papel preponderante nesse quadro. Este quadro gerou uma pesquisa que levou em consideração a doença com a vulnerabilidade de aquíferos, o que vem dando resultados muito interessantes e preocupantes.

De acordo com os dados obtidos de *Fonseca (2005)*, relacionando não apenas a qualidade da água, mas também as condições de higiene e saneamento apresentados na comunidade de

Parque Santuário, em Travessão (Distrito de Campos dos Goytacazes-RJ) e de *Rosa et al. (2004)*, no Município de Campos, encontrou-se nas amostras analisadas a presença de coliformes fecais, sendo mais evidente após o período de chuvas, evidenciando a contribuição dos resíduos orgânicos e a vulnerabilidade da rede de esgoto local.

A água constitui fator de risco relevante para toda a sociedade, pois pode apresentar uma qualidade deficiente por questões naturais intrínsecas ao meio ambiente, sendo influenciada pelo material geológico no qual se insere, ou estar contaminada pela atividade humana. As características químicas das águas subterrâneas são diretamente influenciadas pela qualidade original da água de infiltração, pelo tipo de solos, litologias atravessadas e pela ação antrópica, gerando fontes de contaminação diretamente associadas à agricultura e pecuária, a despejos domésticos, industriais, ao chorume oriundo de aterros de lixo, esgotos, etc., que contaminam os aquíferos, além de promoverem a mobilização de metais naturalmente contidos no solo, como alumínio, ferro e manganês, entre outros.

Como o abastecimento de água tratada não atende a todas as comunidades, a população busca alternativas, onde a maneira mais econômica e prática encontrada tem sido a captação de água por meio de poços, quer seja de aquíferos rasos (a enorme maioria) ou dos aquíferos profundos. Infelizmente, a resolução de um problema, que é do abastecimento, acaba gerando outro, que é o da Saúde Pública, pois a maioria dessas águas de poços tem potencial de estar fora dos padrões de potabilidade, pelos parâmetros organolépticos, físicos, químicos, bacteriológicos ou radioativos.

## METODOLOGIA

A metodologia aplicada foi dividida nas seguintes etapas:

- Coleta de dados básicos e inventário dos pontos de captação de água: banco de dados elaborado a partir dos documentos disponíveis em empresas ou organismos públicos;
- Coleta de amostras de água dos poços rasos e profundos para análise físico-química e bacteriológica;
- Compilação de dados pré-existentes (análises físico-químicas e bacteriológicas);
- Análise dos resultados das amostras no software Qualigraf;
- Georreferenciamento dos pontos de coleta das amostras;
- Produção de mapas no software ArcGis 9.1.

## RESULTADOS

### Inventários dos Poços Rasos (R) e Profundos (P)

Foi realizado um levantamento dos dados existentes, referentes aos poços rasos e profundos, no banco de dados da OFIGEO/UENF, e em trabalhos anteriores do Projeto Prioridade Rio (2008 2009). Após esta fase, ocorreram visitas de campo para o cadastro de poços rasos e profundos, que foram realizadas em núcleos urbanos e em algumas áreas rurais. Foi elaborada uma ficha identificando: dados dos usuários (nome, endereço e telefone) e do poço (ano de construção, profundidade, nível d'água e localização geográfica). Estes dados dos poços foram digitados em planilha do Excel (dbf) e inseridos no ambiente GIS, para serem espacializados, podendo ser vistos na Figura 4 (Poços Rasos e Poços Profundos).

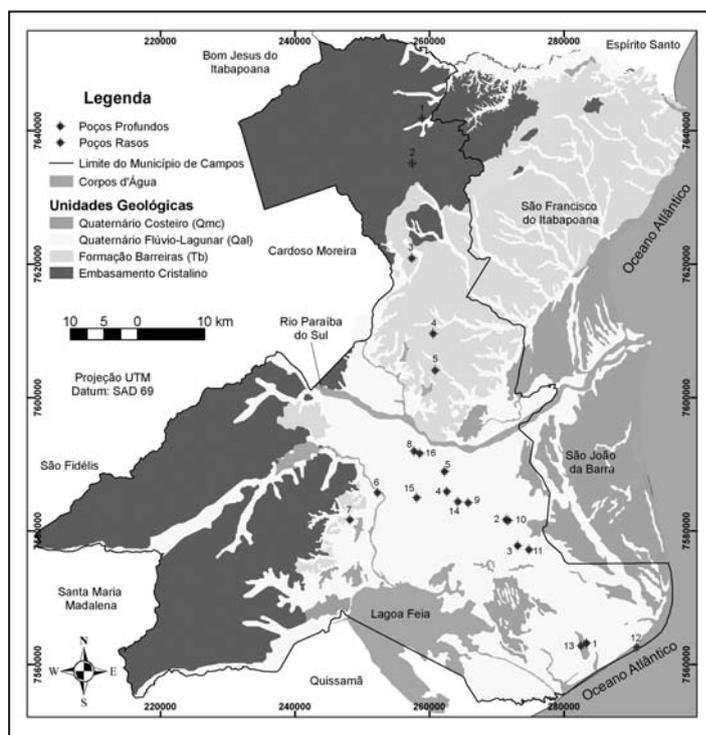


Figura 4. Cadastro e localização dos poços rasos(1-16) e profundos(1-5) no Município de Campos dos Goytacazes RJ.

### Avaliação da Qualidade das Águas

A avaliação da qualidade da água subterrânea, bem como suas características hidrogeoquímicas, constitui uma informação de grande importância para sua gestão e sua adequabilidade ao uso, seja consumo humano, industrial, irrigação ou dessedentação animal.

#### Poços Rasos

Os poços rasos de R1-R5 encontram-se em profundidade de 5 a 10 m, enquanto que os poços de R6-R16 estão todos localizados na Baixada Campista apresentando uma profundidade de até 5 m.

Foram realizadas coletas de amostras de água para análises físico-químicas buscando classificar as águas conforme sua tipologia hidrogeoquímica e sua possibilidade de uso.

As amostras foram coletadas nos poços, sem prévio tratamento, no mês de setembro de 2008 e levadas, em seguida,

a Fundenor - Fundação Norte Fluminense de Desenvolvimento Regional (Campos dos Goytacazes), onde foram realizados os procedimentos necessários para os ensaios de qualidade físico-química. Os resultados podem ser observados na Tabela 1.

As amostras foram coletadas em águas não tratadas, não cloradas. As técnicas de coleta e de transporte foram fornecidas pelo laboratório.

Os dados foram colocados em ambiente GIS, como mostra a Figura 4.

Esses resultados foram analisados no software Qualigraf e são mostrados a seguir.

#### pH

O termo pH (potencial hidrogeniônico) é usado universalmente para expressar o grau de acidez ou basicidade de uma solução, ou seja, é o modo de expressar a concentração de íons de hidrogênio nessa solução.

Tabela 1. Qualidade das águas subterrâneas dos poços rasos do Município de Campos dos Goytacazes RJ.

| Poços visitados | Parâmetro |                                    |                                |                     |                  |                   |
|-----------------|-----------|------------------------------------|--------------------------------|---------------------|------------------|-------------------|
|                 | pH        | $\mu\text{S/cm}$<br>Cond. Elétrica | mg/L $\text{CaCO}_3$<br>Dureza | mg/L Cl<br>Cloretos | mg/L Fe<br>Ferro | mg/L Pb<br>Chumbo |
| R1              | 6,70      | 540                                | 55,3                           | 107,00              | 0,01             | 0,03              |
| R 2             | 5,90      | 90                                 | 9,77                           | 4,80                | 0,00             | 0,03              |
| R 3             | 4,60      | 360                                | 9,47                           | 56,80               | 0,02             | 0,02              |
| R 4             | 4,10      | 280                                | 7,49                           | 18,40               | 0,00             | 0,04              |
| R 5             | 4,80      | 110                                | 5,87                           | 5,20                | 0,00             | 0,03              |
| R 6             | 6,20      | 330                                | 59,35                          | 23,20               | 0,37             | 0,03              |
| R 7             | 4,50      | 290                                | 4,54                           | 33,00               | 0,01             | 0,03              |
| R 8             | 6,20      | 380                                | 76,42                          | 20,80               | 0,01             | 0,03              |
| R 9             | 7,00      | 990                                | 104,03                         | 153,00              | 0,06             | 0,03              |
| R 10            | 6,50      | 1490                               | 175,87                         | 233,00              | 0,21             | 0,04              |
| R 11            | 5,90      | 1380                               | 143,23                         | 161,80              | 0,03             | 0,04              |
| R 12            | 7,80      | 480                                | 171,53                         | 24,00               | 0,07             | 0,02              |
| R 13            | 7,30      | 750                                | 231,21                         | 55,20               | 3,05             | 0,02              |
| R 14            | 6,90      | 950                                | 155,77                         | 130,00              | 0,03             | 0,02              |
| R 15            | 6,10      | 570                                | 60,8                           | 78,60               | 13,60            | 0,01              |
| R 16            | 6,40      | 410                                | 92,05                          | 29,20               | 0,03             | 0,01              |
| VMP             | 6,0-9,5   | -                                  | 500                            | 250,00              | 0,3              | 0,01              |

(Port. n° 518)

\*VMP = Valores Máximos Permitidos (Portaria n° 518)

A escala de pH é constituída de uma série de números variando de 0 a 14, os quais denotam vários graus de acidez ou alcalinidade. Valores abaixo de 7 e próximos de zero indicam aumento de acidez, enquanto valores de 7 a 14 indicam aumento da basicidade.

Para o consumo humano é recomendável a faixa entre 6 a 9,5, segundo a Portaria n° 518 do Ministério da Saúde. De acordo com estes dados, verificou-se que: das 16 amostras obtidas nos poços rasos visitados, seis encontram-se fora do padrão exigido pelo Ministério da Saúde para consumo humano.

#### Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica é a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Este parâmetro está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente, e à alcalinidade, que tem relação direta com a presença e/ou ausência de carbonatos e bicarbonatos (Santos 1997).

Quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da água. Em águas continentais, os íons diretamente responsáveis pelos valores da condutividade são, entre outros, o cálcio, o magnésio, o potássio, o sódio, carbonatos, carbonetos, sulfatos e cloretos. O parâmetro condutividade elétrica não determina, especificamente, quais os íons que estão presentes em determinada amostra de água, mas pode contribuir para possíveis reconhecimentos de impactos ambientais que ocorram na bacia de drenagem, ocasionados por lançamentos de resíduos industriais, mineração, esgotos, etc. (Ambiente Brasil 2008).

De acordo com os resultados encontrados pode-se notar duas amostras com valores maiores que 1000  $\mu\text{S/cm}$ , indicando maior presença de sais. Nota-se também que essas amostras estão concentradas em determinada região, e pode estar relacionado com o avanço e recuo do mar nessa área. Como também é uma área de camadas de argila, intercaladas por areia, pode ser que a camada de argila está servindo como um impedimento para que os sais sejam drenados.

#### Dureza (Mg, Ca)

Dureza é um parâmetro característico da qualidade de águas de abastecimento industrial e doméstico, sendo que, do ponto de vista da potabilização, são admitidos valores máximos relativamente altos, típicos de águas duras ou muito duras. Quase toda a dureza da água é provocada pela presença de sais de cálcio e de magnésio (bicarbonatos, sulfatos, cloretos e nitratos) encontrados em solução.

A dureza total da água compõe-se de duas partes: dureza temporária e dureza permanente. A dureza é dita temporária quando desaparece com o calor, e permanente, quando não desaparece com o calor, ou seja, a dureza permanente é aquela que não é removível com a fervura da água. A dureza temporária é a resultante da combinação de íons de cálcio e magnésio, que podem se combinar com bicarbonatos e carbonatos presentes.

Para efeito de potabilidade, são admitidos valores relativamente altos de dureza. No Brasil, a Portaria N.º 518 de 2004 estabelece o limite máximo de 500 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  para que a água seja admitida como potável. A objeção fica por conta do gosto, que eventualmente pode se considerado uma característica

desagradável de águas muito duras. Há, no entanto, águas naturais duras consideradas satisfatórias para consumo humano (Valores Máximos Permitidos = 500 mg/L).

Para um número vasto de aplicações, como combate a incêndio, regar o jardim, lavagem das ruas ou manter o barco a flutuar, a água teria de ser muito dura para causar problemas. Para outros usos tanto domésticos como industriais, no entanto, a água dura pode causar alguns inconvenientes. Um deles refere-se à menor capacidade de precipitar sabão da água dura.

Teores de dureza inferiores a 50 ppm não implicam em que a água seja considerada dura. Teores de 50 a 150 não incomodam para efeitos de ingestão, mas acima de 100 ppm provocam prejuízos sensíveis em trabalhos que envolvam o uso da água com sabão e originam precipitações com incrustações antiestéticas e até potencialmente perigosas em superfícies sujeitas a aquecimentos. Em geral a redução da dureza para concentrações inferiores a 100 ppm só é economicamente viável para

fins industriais, onde o produto final ou os equipamentos dependem de água de melhor grau de pureza.

Em termos de dureza em  $\text{CaCO}_3$ , a água pode ser classificada como (UFV 2008):

- Menor que 50 mg/L  $\text{CaCO}_3$  - água mole
- Entre 50 e 150 mg/L  $\text{CaCO}_3$  - água com dureza moderada
- Entre 150 e 300 mg/L  $\text{CaCO}_3$  - água dura
- Maior que 300 mg/L  $\text{CaCO}_3$  - água muito dura

A despeito do sabor desagradável que referidos níveis podem suscitar, elas não causam problemas fisiológicos.

Das 16 amostras obtidas nos poços rasos visitados, cinco são consideradas água mole, sete são consideradas água com dureza moderada e quatro são consideradas água dura.

A Figura 5 mostra a dureza da água em relação a  $\text{CaCO}_3$  dos poços rasos visitados.

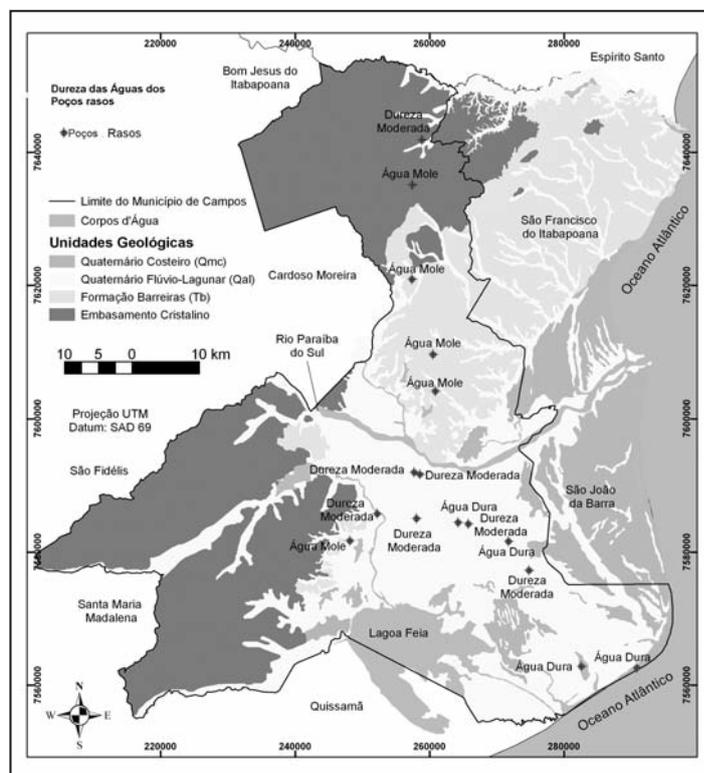


Figura 5. Dureza das águas dos poços rasos analisados de Campos dos Goytacazes-RJ.

### Cloretos

O cloreto é o ânion  $\text{Cl}^-$ , que se apresenta nas águas subterrâneas através de solos e rochas. Nas regiões costeiras, através da chamada intrusão da cunha salina, são encontradas águas com níveis altos de cloreto. Nas águas tratadas, a adição de cloro puro ou em solução leva a uma elevação do nível de cloreto, resultante das reações de dissociação do cloro na água (Cetesb 2001).

De acordo com a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde, é recomendável uma taxa de até 250 mg/L para consumo humano. Todas as amostras ficaram dentro do padrão exigido.

### Ferro

O ferro aparece principalmente em águas subterrâneas devido à dissolução do minério pelo gás carbônico da água. Apesar de não se constituir em um tóxico, o ferro traz diversos problemas para o abastecimento público de água. Confere cor e sabor à água, provocando manchas em roupas e utensílios sanitários. Também traz o problema do desenvolvimento de depósitos em canalizações e de ferro-bactérias, provocando a contaminação biológica da água na própria rede de distribuição. Por estes motivos, o ferro constitui-se em padrão de potabilidade (Cetesb 2001).

De acordo com a Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde, é recomendável uma taxa de até 0,3 mg/L para o consumo humano. Conforme pode ser observado na Tabela 1, três amostras ficaram fora do padrão exigido.

### Chumbo

O chumbo está presente no ar, no tabaco, nas bebidas e nos alimentos, nestes últimos, naturalmente, por contaminação e na embalagem. Está presente na água devido às descargas de efluentes industriais como, por exemplo, os efluentes das indústrias de acumuladores (baterias), bem como devido ao uso indevido de tintas e tubulações e acessórios a base de chumbo (materiais de construção). O chumbo e seus compostos também são utilizados em eletrodeposição e metalurgia. Constitui veneno cumulativo, provocando um envenenamento crônico denominado saturnismo, que consiste em efeito sobre o sistema nervoso central com consequências bastante sérias. Outros sintomas de uma exposição crônica ao chumbo, quando o efeito ocorre no sistema nervoso central, são: tontura, irritabilidade, dor de cabeça, perda de memória, entre outros. Quando o efeito ocorre no sistema periférico, o sintoma é a deficiência dos músculos extensores. A toxicidade do chumbo, quando aguda, é caracterizada pela sede intensa, sabor metálico, inflamação gastrointestinal, vômitos e diarreias (Cetesb 2001).

De acordo com a Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde, é recomendável uma taxa de até 0,01 mg/L para o consumo humano. Conforme pode ser observado na Tabela 1, das 16 amostras coletadas nos poços rasos visitados, apenas duas ficaram dentro do padrão exigido.

### Bacteriológica

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 generos

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 (Cetesb 2001).

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 paratífóide, desintéria bacilar e cólera (Cetesb 2001).

De acordo com a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde, é recomendável ausência de coliformes na água para o consumo humano. Nos resultados de Rosa *et al.* (2004) foram encontradas 55 amostras fora do padrão microbiológico e 25 amostras dentro do padrão.

### Classificação da Água

A resolução CONAMA n.º 357 de 17 de março de 2005 (CONAMA 2005), do Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, estabelece a seguinte classificação:

- Águas Doces - com salinidade inferior a 0,5‰;
- Águas Salobras - com salinidade variando entre 0,5 e 30‰;
- Águas Salgadas - com salinidade superior a 30‰.

Os dados físico-químicos foram inseridos no Software Qualigraf, o que gerou os seguintes resultados:

Nos poços rasos visitados, 75% das amostras foram consideradas doce e 25% salobra, como pode ser visto na Figura 6.

De acordo com o diagrama de Piper, as águas coletadas nos poços rasos do Município de Campos dos Goytacazes são consideradas, em 56% das amostras, como Sulfatadas ou Clorretadas Cálcicas ou Magnesianas e consideradas Sulfatadas ou Clorretadas Sódicas em 44%, como pode ser visto na Figura 7.

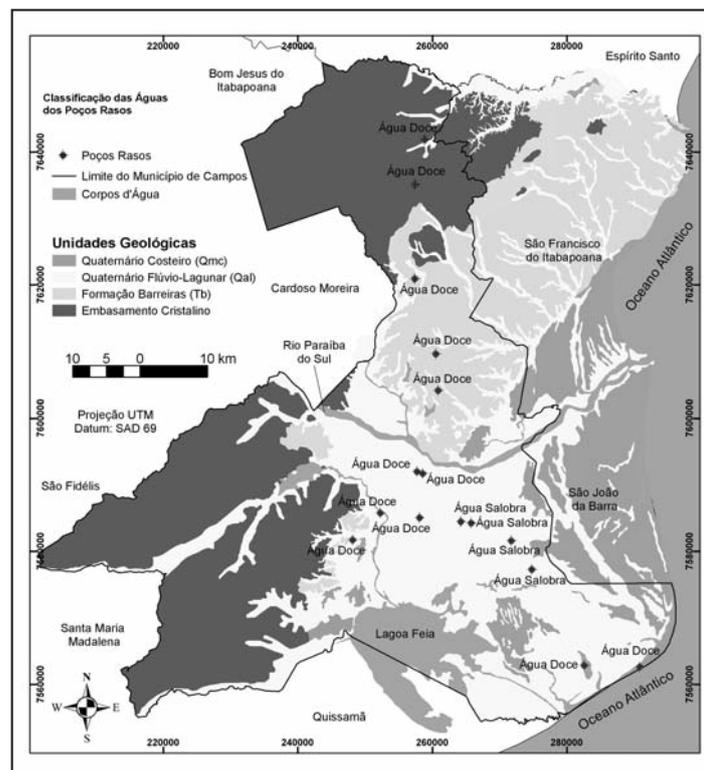


Figura 6. Classificação das águas dos poços rasos analisados de Campos dos Goytacazes-RJ.

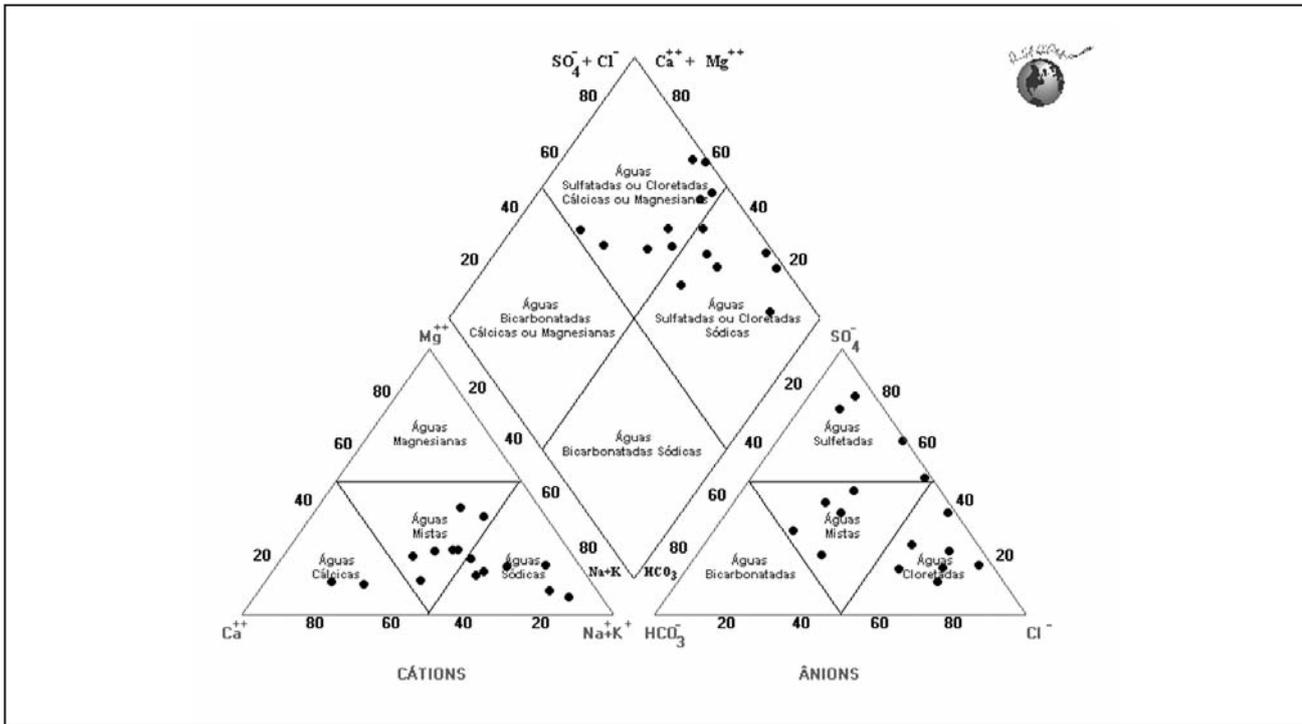


Figura 7. Diagrama de Piper das amostras de água analisadas dos poços rasos de Campos dos Goytacazes-RJ.

### Qualidade das Águas (Poços Profundos)

Foram coletadas no mês de novembro de 2008, 5 amostras em poços profundos (P1, P2, P3, P4 e P5), que foram levadas à Fundenor - Fundação Norte Fluminense de Desenvolvimento Regional (Campos dos Goytacazes) para ensaios de qualidade bacteriológica e à CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Rio de Janeiro), para ensaios de qualidade físico-química completa. Os resultados das análises físico-químicas podem ser observados na Tabela 2.

A Tabela 3 mostra a profundidade dos poços, o tipo de ocorrência e a qual aquífero pertencem.

### pH

De acordo com os resultados, verificou-se que todas as amostras encontram-se dentro do padrão exigido.

### Condutividade Elétrica

De acordo com os resultados encontrados, pode-se notar uma amostra com valores maiores que 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , indicando presença de sais.

### Turbidez

Todos somos capazes de reconhecer uma água "clara" ou "turva", características relacionadas à presença ou ausência de turbidez. Se um líquido contém substâncias sólidas não dissolvidas, a luz que atravessa o líquido fica em parte absorvida. A turbidez se deve a partículas em suspensão ou colóides: argilas, limo, terra finamente dividida, etc. Um alto valor de turbidez prejudica a condição estética da água e estudos técnicos constatam o efeito de proteção física de microrganismos pelas partículas causadoras da turbidez, diminuindo a eficiência de tratamentos.

Tabela 2. Qualidade das águas subterrâneas dos poços profundos do Município de Campos dos Goytacazes-RJ.

| Poços visitados | Parâmetro |  |                 |                     |                  |                 |                                |
|-----------------|-----------|--|-----------------|---------------------|------------------|-----------------|--------------------------------|
|                 | pH        | $\mu\text{S}/\text{m}$<br>Cond. Elétrica | UT4<br>Turbidez | mg/L Cl<br>Cloretos | mg/L Fe<br>Ferro | mg/L<br>Nitrito | mg/L $\text{CaCO}_3$<br>Dureza |
| P1              | 7,46      | 430,00                                   | 0,02            | 24,26               | 0,020            | 0,080           | 155                            |
| P 2             | 6,56      | 1598,00                                  | 133             | 407,90              | 0,003            | 0,005           | 220                            |
| P 3             | 7,35      | 415,00                                   | 2,33            | 38,15               | 0,017            | 4,00            | 125                            |
| P 4             | 6,82      | 979,00                                   | 7,6             | 226,03              | 0,006            | 5,00            | 200                            |
| P 5             | 6,57      | 246,00                                   | 17,1            | 37,01               | 0,002            | 0,005           | 50                             |
| VMP             | 6,0-9,5   |  | 5               | 250,00              | 0,3              | 1,00            | 500                            |

\*VMP = Valores Máximos Permitidos (Portaria nº 518)

Tabela 3. Poços profundos do Município de Campos dos Goytacazes.

| Poços visitados | Profundidade dos poços | Tipo de aquífero | Aquífero        |
|-----------------|------------------------|------------------|-----------------|
| 1               | 220 m                  | Confinado        | Emborê          |
| 2               | 170 m                  | Confinado        | São Tomé II     |
| 3               | 137,5 m                | Confinado        | Emborê          |
| 4               | 104 m                  | Livre            | Flúvio-Deltaico |
| 5               | 70 m                   | Livre            | Flúvio-Deltaico |

De acordo com a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde, é recomendável uma taxa de até 5 UT<sub>4</sub> para o consumo humano. Conforme pode ser observado na Tabela 2, três amostras ficaram fora do padrão exigido.

#### Dureza (Mg, Ca)

Das cinco amostras obtidas nos poços profundos visitados, uma é considerada água mole, uma é considerada água com dureza moderada e três são consideradas água dura (Figura 7).

#### Cloretos

Conforme pode ser observado na Tabela 2, uma amostra ficou fora do padrão exigido.

#### Nitrito

O nitrito é um parâmetro simples, mas de fundamental importância na verificação da qualidade da água para consumo, pois sua presença é um indicativo de contaminação recente, procedente de material orgânico vegetal ou animal. O nitrito pode ser encontrado na água como produto da decomposição biológica, devido à ação de bactérias ou outros microorganismos sobre o nitrogênio amoniacal, ou ser proveniente de

ativos inibidores de corrosão em instalações industriais (Gadelha et al. 2005).

Nitrito é um estado intermediário do nitrogênio, tanto pela oxidação da amônia a nitrato como pela redução do nitrato. Estes processos de oxidação e redução podem ocorrer em estações de tratamento de água, sistemas de distribuição de águas e em águas naturais. Raramente ele é encontrado em águas potáveis em níveis superiores a 0,1 mg/L. Seu principal efeito na água em teores maiores que o permitido é uma doença conhecida como Metahemoglobinemia ou descoloramento da pele, causada pela alteração do sangue, tanto em bebês recém-nascidos, como em adultos com determinada deficiência enzimática (Gadelha et al. 2005).

De acordo com a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde, é recomendável uma taxa de até 1 mg/L para o consumo humano. Conforme pode ser observado na Tabela 2, duas amostras ficaram fora do padrão exigido.

#### Ferro

Conforme pode ser observado na Tabela 2, todas as amostras ficaram dentro do padrão exigido.

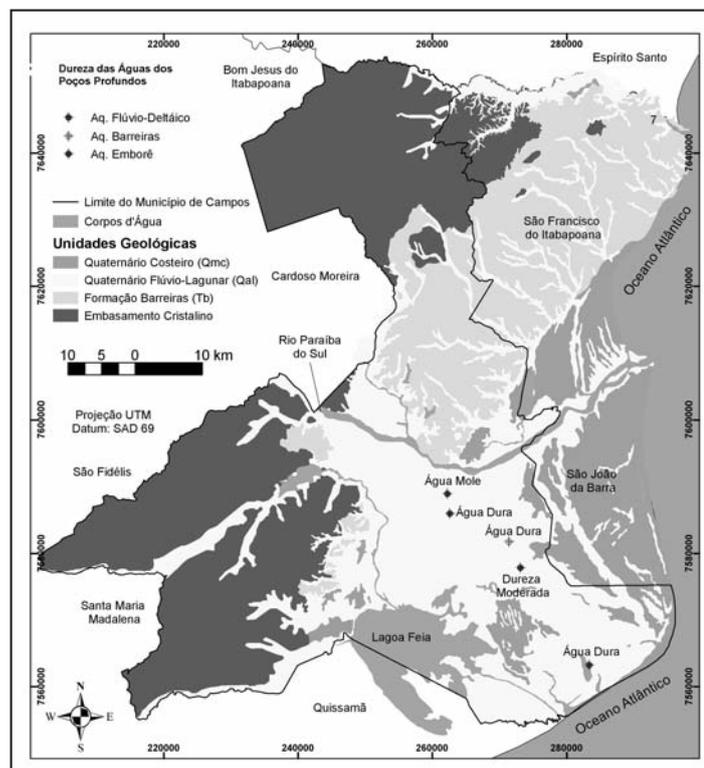


Figura 8. Dureza das águas dos poços profundos analisados de Campos dos Goytacazes-RJ.

### Chumbo

As amostras coletadas nos poços profundos visitados ficaram dentro do padrão exigido, pois apresentaram valores inferiores a 0,01 mg/L.

### Bacteriológica

As amostras coletadas nos poços profundos visitados ficaram dentro do padrão exigido.

### Classificação da Água

Os dados físico-químicos foram inseridos no Software Qualigraf, que gerou os seguintes resultados:

Nos poços profundos visitados três amostras foram consideradas doces e duas salobras, como pode ser visto na Figura 8.

De acordo com o diagrama de Piper, as águas coletadas nos poços profundos do Município de Campos dos Goytacazes são consideradas em três amostras como Sulfatadas ou Clorretadas Sódicas; como Bicarbonatada Sódica em uma amostra; e como Bicarbonatada Cálcica ou Magnésiana em uma amostra, como pode ser visto na Figura 10.

## CONCLUSÃO

O Estado do Rio apresenta grandes reservas de águas subterrâneas nas suas bacias sedimentares, sendo que a Bacia de Campos tem o maior potencial do Estado. Estudos realizados até o momento mostram que existem aquíferos com vazão de 200.000 l/h, como é o caso do Aquífero profundo Flúvio-Deltaítico que ocorre às margens do Rio Paraíba, com área 304 km e espessura de 60 a 90 m. Dessa forma, é urgente propor medidas de manejo adequado deste recurso, em que se leve em consideração a quantidade e a qualidade das águas para os diferentes usos, mas também a vulnerabilidade natural dos aquíferos rasos,

que são amplamente usados pela população para diversos usos. Os poços, do tipo cacimba, que as pessoas perfuram maciçamente na cidade de Campos dos Goytacazes, são vulneráveis a diversos tipos de poluição e/ou contaminação, como: por “fossas sépticas”, por tubulações de esgoto com fissuras, por disposição inadequada de resíduos sólidos e por muitas outras formas.

De acordo com os resultados obtidos neste levantamento, conclui-se que, de modo geral, as águas subterrâneas, dos poços rasos, no norte do município, apresentam melhor qualidade. Exceção para o elemento chumbo, que ocorre fora do padrão de potabilidade, não só nesta região, mas em todo o município, o que é muito preocupante.

O pH ocorre nas amostras R2, R3, R4, R5, R7 e R11 em limites fora do padrão. Mesmo esse elemento não sendo tóxico é importante ter certo cuidado, pois o sangue de um humano saudável tem um pH de 7,35 a 7,45 mas quando não consegue equilibrar o pH, o nosso corpo torna-se ácido e propenso à infestação por parasitas e todos os males que eles trazem. Um pH levemente alcalino do sangue aumenta a oxigenação das células e a imunidade.

Os outros parâmetros analisados foram: a condutividade, no qual as amostras R10 e R11 deram valores altos, 1490 µS/cm e 1380 µS/cm, respectivamente; a dureza das amostras se encontra dentro do padrão, sendo que a amostra R13 apresenta um valor de 231,21 mg/L CaCO<sub>3</sub>. O mesmo acontece com os clorretos, todos estão dentro do padrão, sendo que a amostra R10 apresenta um valor quase no limite de potabilidade.

Na chamada Baixada Campista ocorrem águas com maior concentração de elementos fora dos limites de potabilidade. A presença de substâncias inorgânicas como ferro, em concentrações acima dos padrões de potabilidade (amostras R6, R13 e R15), deve ocorrer de forma natural, pelo efeito do

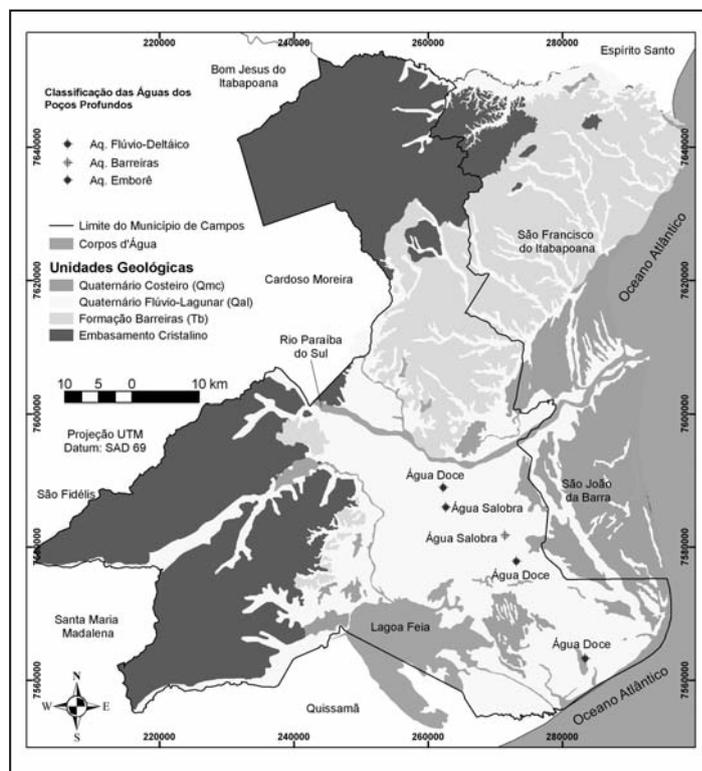


Figura 9. Classificação das águas dos poços profundos analisados de Campos dos Goytacazes RJ.

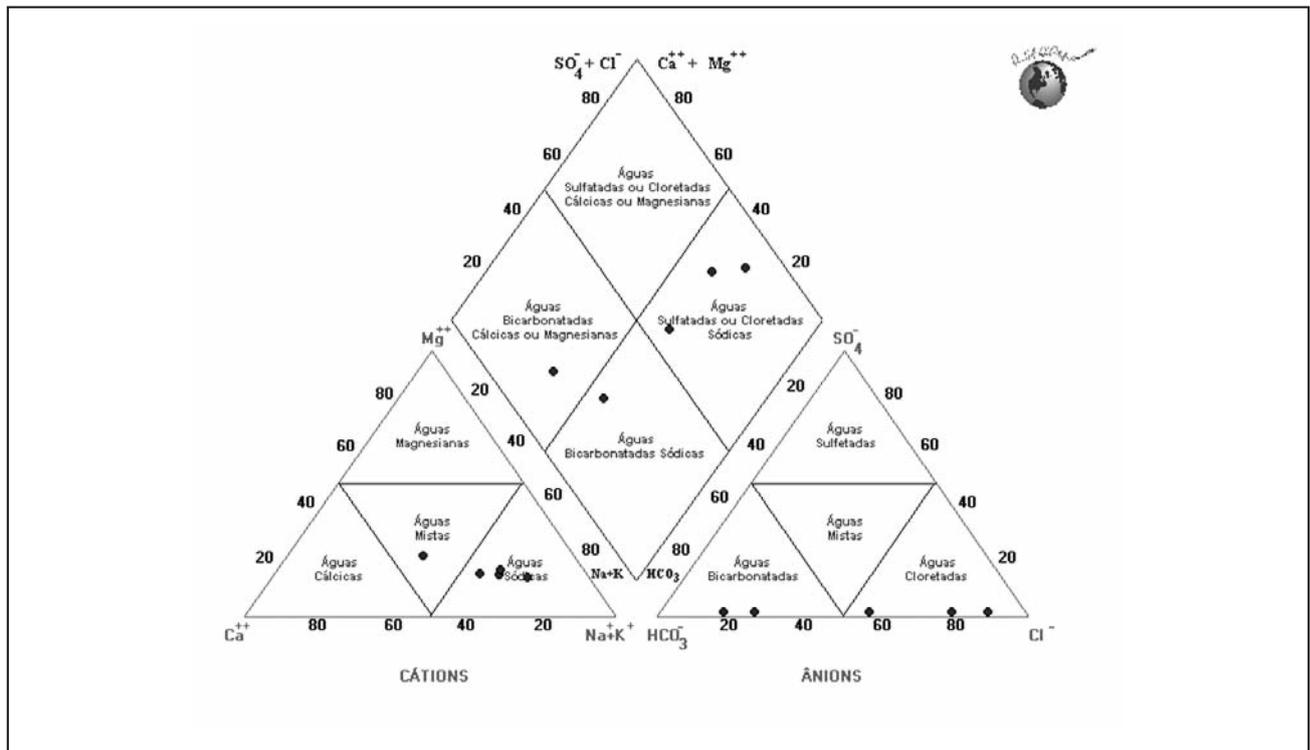


Figura 10. Diagrama de Piper das amostras de água analisadas dos poços profundos de Campos dos Goytacazes-RJ.

intemperismo sobre as rochas ricas em Fe existentes na região. De qualquer forma, deve ser feito um tratamento, para que esta água possa ser usada, pois o ferro em excesso provoca doenças intestinais graves. O poço onde foi retirada a amostra R15 deve ter uma nova avaliação, pois o valor está muito alto.

No caso do parâmetro chumbo, estima-se que a origem das contaminações observadas seja antrópica, e como das 16 amostras, 14 deram fora do padrão, uma atenção especial deve ser dada e um monitoramento deve ser realizado, pois a população usa essa água para diversos fins, inclusive para beber, o que é preocupante, pois na exposição prolongada são observados efeitos renais, cardiovasculares, neurológicos, nos músculos, ossos, entre outros. É um composto cumulativo que provoca um envenenamento crônico. Neste caso, só as amostras R14 e R15 deram valores dentro do limite aceitável.

As variações encontradas nas amostras dos aquíferos rasos estão principalmente na Baixada Campista, que é uma região com intercalações de sedimentos arenosos, argilosos e siltosos, tendo um nível freático muito alto e um uso do solo totalmente sem planejamento e ordenação, sendo uma área de alta vulnerabilidade. Outro agravante é o processo de construção e manutenção dos poços deste aquífero, muitas vezes a contaminação ocorre pela falta de um processo construtivo adequado, falta de manutenção e isolamento.

Quanto aos poços profundos, são encontrados poços perfurados no aquífero livre (amostra P4 e P5) e poços perfurados no aquífero confinado (amostras P1, P2 e P3). Estes poços encontram-se em profundidade que vai de 70 a 220 m. Em relação à potabilidade, os poços analisados deram fora dos limites para condutividade, turbidez, cloreto na amostra 2; o parâmetro nitrito deu fora do limite para as amostras 3 e 4, apresentando valores bem diferenciados das outras amostras. Esta

contaminação precisa ser melhor investigada, pois o poço 4 está perfurado a uma profundidade de 104 m em um aquífero livre e o poço 3 está perfurado a uma profundidade 137,5 m em um aquífero confinado. A esta profundidade não é esperado este tipo de contaminação, mas ela existe e é recente, mas não temos dados sobre os poços, principalmente sobre as localizações dos filtros para poder saber se está ocorrendo uma mistura das águas de diferentes aquíferos. A região é considerada Peri-urbana, pois apresenta urbanização, mas ainda tem agricultura e criação de animais.

Todos estes poços profundos pertencem a Concessionária Águas do Paraíba, que faz o abastecimento do município através do Rio Paraíba e de poços profundos. Durante o trabalho de campo, realizado juntamente com técnicos de tal concessionária, não foi observado nenhum problema de vedação dos poços, o processo construtivo teve o acompanhamento de equipe especializada; mas de qualquer forma foi realizado um relatório e entregue a concessionária mostrando o problema para que providências fossem tomadas, pois essas águas abastecem grande parte da população do município, principalmente em épocas de verão.

Como as análises dos poços rasos foram feitas na FUNDENOR (Campos dos Goytacazes) e as análises dos poços profundos foram feitas na CPRM (Rio de Janeiro), alguns parâmetros como turbidez e nitrito não foram analisados nos poços rasos, devido ao padrão do laboratório.

Deste modo, de acordo com os resultados obtidos neste levantamento, conclui-se que, de modo geral, as águas subterrâneas do município apresentam problemas de potabilidade para consumo humano e deve ser realizada uma avaliação das consequências na saúde da população e uma conscientização do poder público e da população.

## TRABALHOS MENCIONADOS NO TEXTO

- ALBINET, M.; MARGAT, J. 1970.  
Cartographie de la Vulnérabilité à la Pollution des Nappes d'eau Souterraine, Bull. BRGM 2me Series 3 (4).
- ALLER, L.; BENNET, T.; LEHR, J.H.; PETTY, R.J. 1985.  
Drastic: A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. U.S. EPA Report 600/2-85/018.
- AMBIENTE BRASIL. 2008.  
Avanço da Qualidade da Água.  
Disponível em:  
<<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=/agua/doce/index.html&conteudo=/agua/doce/artigos/qualidade.html>>. Acesso em: 10 setembro 2008.
- BACHMAT, Y.; COLLIN, M. 1987.  
Mapping to assess groundwater vulnerability to pollution.  
In: *Vulnerability of soil and groundwater to pollutants* (W. van Duijvenbooden and H.G. van Waegeningh, eds.), TNO Committee on Hydrological Research, The Hague, Proceeding and Information No. 38, p. 297-307.
- BAHIA DE OLIVEIRA, L. M. G.; JONES, J.; SILVA, J. A.; CRESPO, C.; ORÉFICE, F.; ADDISS, D. 2003.  
Highly endemic waterborne toxoplasmosis in north Rio de Janeiro State, Brazil.  
*Emerging Infectious Diseases*, v. 9, n. 1, p. 55-62.
- Brasil 2004.  
Ministério da Saúde. Portaria nº 518.  
*Dispõe sobre o padrão de qualidade das águas*. Brasília (DF).
- CAETANO, L. C. 2000.  
Água Subterrânea em Campos dos Goytacazes - RJ: uma opção para o abastecimento.  
*Dissertação (Mestrado em Geociências)*. Programa de Pós-Graduação em Administração e Política em Recursos Minerais. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências - Campinas, SP. 112p.
- CAPUCCI, E. B. 2003.  
Água Subterrânea na Baixada Campista.  
*I Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste*. Petrópolis, RJ. Anais. ABAS.
- CETESB 2001.  
Variáveis de qualidade das Águas. Companhia Estadual de Tecnologia e Saneamento Ambiental. São Paulo; Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/>> Acesso em: 15 janeiro 2009.
- CONAMA 2005.  
Resolução nº 357 de 17 de março de 2005.  
*Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em <[www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf)> Acesso em: 15 janeiro 2009.
- CORIDOLA, R.; ALVES, M. G.; ALMEIDA, F. T.; VIEIRA, E. M. 2005a  
Uso das Técnicas de Geoprocessamento na Elaboração de Mapa Preliminar de Vulnerabilidade dos Aquíferos do Município de Campos dos Goytacazes - RJ.  
In: *XII Simpósio de Sensoriamento Remoto, 2005, Anais do XII Simpósio de Sensoriamento Remoto*. São José dos Campos: INPE.
- CORIDOLA, R.; ALVES, M. G.; VIEIRA, E. M.; RODRIGUES, V. G.; ALMEIDA, F. T. 2005b.  
Diagnóstico das Atividades Potencialmente Contaminantes com Base na Vulnerabilidade dos Aquíferos Livres do Município de Campos dos Goytacazes-RJ.  
In: *XII Congresso Brasileiro de Cartografia, 2005, Macaé/RJ. Anais do XII Congresso Brasileiro de Cartografia*.
- CORIDOLA, R. 2006.  
Análise da vulnerabilidade de aquíferos livres em Campos dos Goytacazes-RJ utilizando a metodologia God e Drastic através de técnicas de Geoprocessamento.  
*Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)*. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ. (no prelo).
- COSTA, A. N. 2009.  
Estudos Geológico-ambientais para o planejamento territorial do Município de Campos dos Goytacazes-RJ.  
*Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia, 239p*.
- CPRM/RJ 2001.  
Projeto Rio de Janeiro. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Ministério das Minas e Energia. Secretaria de Minas e Metalurgia / Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. CD-ROM. Brasília.

- CURTY, L. A. 2003.  
Criação de Banco de dados para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Município de Campos dos Goytacazes/RJ.  
*Projeto de Extensão. Campos dos Goytacazes - Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.*
- FERRARI, A. L.; MELO, E. F.; VAZ, M. A. A.; DALCOMO, M.T.; BRENNER, T. L.; SILVA, V. P.; NASSAR, W. M. 1981.  
Projeto Carta Geológica do Rio de Janeiro - Bloco Campos -  
*Relatórios Técnicos, volume I 1981 - DRM - Geomitec, Geologia e Mineração Trabalhos Técnicos Ltda. 172p.*
- FETTER, C. W. 2002.  
Applied hydrogeology.  
*New Jersey, Prentice Hall. 691p.*
- FONSECA, M. J. G. ET AL. 1998,  
Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro.  
*Rio de Janeiro: DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. 141p.*
- FONSECA, J. G. 2005.  
Novos conceitos sobre o problema da água. Dissertação (Mestrado em Biociências).  
*Programa de Pós-Graduação em Biociências e Biotecnologia, Laboratório de Biociências, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ. 1v. 80p.*
- FOSTER, S. S. D. 1987.  
"Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability, Pollution Risk and Protection Strategy"  
*In: W. Van Duijvanbooden and H.G. van Waegeningh (eds.), Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollution, Proceedings and Information. N° 38 of the International Conference held in the Netherlands.*
- FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. 1988.  
Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data.  
*CEPIS-PAHO/WHO. Lima, 78p.*
- FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. 1991.  
Determinación del Riesgo de Contaminación de Aguas Subterráneas - una metodología basada en datos existentes.  
*2ª Edición. Lima, Peru: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente / Organización Mundial de la Salud, 81p.*
- FREITAS, D. M. 2003.  
Águas Subterrâneas na Baixada Campista: Geometria, Qualidade e Dinâmica do Aquífero Quaternário Deltaico.  
*Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP. 197p.*
- FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. 1979.  
Groundwater. Prentice Hall, Inc.  
*Engewood Cliffs. 604p.*
- GADELHA, F. J. S.; DOMINGOS, M. S. C.; NOGUEIRA, M. F. L.; SILVA, M. L. L.; MACEDO, R. E. F.; SOUZA, G. C.; NESS, R. L. L. 2005.  
Verificação da Presença de Nitrito em Águas de Consumo Humano da Comunidade de Várzea do Cobra em Limoeiro do Norte-CE.  
*In: Anais da 57ª Reunião Anual da SBPC - Fortaleza, CE - Julho/2005.*
- HIRATA, R. C. A. 2000.  
Recursos Hídricos.  
*In: Teixeira, W., Toledo, M. C. M., Fairchild, T. R., Taioli, F., Decifrando a Terra.*
- IBGE 2007.  
Contagem da População - Dados digitais, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.  
*Disponível em: <<http://www.ibge.com.br/>> Acesso em: 07/08/2008.*
- LE GRAND, H. 1964.  
System for evaluating contamination potential for some waste sites.  
*American Water Work Association Journal. V.56 (8):959-974.*
- MARTINS, A. M.; CAPUCCI, E.; CAETANO, L. C.; CARDOSO, G.; BARRETO, A. B. C.; MONSORES, A. L. M.; LEAL, A. S.; VIANA, P. 2006.  
Hidrogeologia do Estado do Rio de Janeiro - Síntese e estágio atual do conhecimento.  
*In: XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Curitiba. Anais. Paraná. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2006. p.1-17.*
- OMS 1970.  
Índices de Calidad de Água e Salud.  
*Organizacion Mundial de la Salud Disponível em <[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/monitoring/2000globs6.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/2000globs6.pdf)> Acesso em: 10 abril 2010.*

- OMS 2004.  
Guidelines for Drinking-water Quality -  
Vol. 1, 3ª ed. *Organização Mundial de Saúde. Disponível em:*  
<[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3/en](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3/en)>. Acesso em: 23 outubro 2006.
- ROCHA, S. F.; ALVES, M. G.; ROSA, C. C. B.; ALMEIDA, F. T.; SANTOS, E. L. 2003a.  
Vulnerabilidade e Diagnostico da Potabilidade das águas dos Poços localizados na área urbana de Campos dos Goytacazes.  
*In: I Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste, 2003, Petrópolis. I Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste XIII Encontro de Perfuradores de Poços.*
- ROCHA, S. F.; ALVES, M. G.; ALMEIDA, F. T. 2003b.  
Estudo preliminar da vulnerabilidade dos aquíferos subterrâneos em Campos dos Goytacazes-RJ.  
*In: XI Simpósio de Sensoriamento Remoto, 2003, Belo Horizonte. XI Simpósio de Sensoriamento Remoto. São Paulo: INPE.*
- ROCHA, S. F. 2004.  
Análise da vulnerabilidade dos aquíferos livres com finalidade de investigação preliminar do risco de contaminação por saneamento in situ  
*Estudo de caso: Baixada Campista - Campos dos Goytacazes – RJ. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ. 73p.*
- ROSA, C. C. B.; ALMEIDA, F. T.; SANTOS JÚNIOR, E. L.; ALVES, M. G.; MARTINS, M. L. L. 2004.  
Qualidade Microbiológica de Água de Poços Provenientes de Áreas Urbanas e Rurais de Campos dos Goytacazes (RJ).  
*In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Cuiabá.*
- SANTOS, A. C. 1997.  
Noções de Hidroquímica.  
*In: Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. Coordenadores: Fernando Antônio Carneiro Feitosa / João Manoel Filho. Fortaleza. CPRM / LABHID - UFPE. 1ª Ed. p. 81-108.*
- UFV 2008.  
Qualidade da água. Universidade Federal de Viçosa.  
*Disponível em: <<http://www.ufv.br/dea/lqa/qualidade.htm>> Acesso em: 10 setembro 2008.*
- UNESCO. 2007.  
A Groundwater Resources Sustainability Indicators IHP -  
*VI Series on Groundwater N° 14 Published in 2007 by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization 7, Place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP (France) Composed by Marina Rubio, 93200 Saint-Denis.*
- USEPA 1975. U.S.  
Environmental Protection Agency  
*Disponível em <[www.epa.gov/history/index.htm](http://www.epa.gov/history/index.htm)> Acesso em 10 abril 2010.*