

A PROBLEMÁTICA DA INTRUSÃO MARINHA NOS AQUÍFEROS COSTEIROS DO LESTE FLUMINENSE: UM ESTUDO DE CASO - A REGIÃO OCEÂNICA DE NITERÓI

**Gerson Cardoso da Silva Júnior^{*1}, Michael G. Lowsby^{*2}, Maria da Gloria Alves^{*3},
Paula L. Ferrucio^{*4}, Alexandre César Monteiro^{**5} e Rodrigo Raposo de Almeida^{***6}.**

Resumo - O processo de ocupação desordenada, associado à falta de um sistema de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, está levando a região Leste Fluminense – Estado do Rio de Janeiro - à degradação dos seus recursos hídricos subterrâneos, tanto pela contaminação por efluentes domésticos, quanto pela salinização causada pela intrusão salina. Preocupados com este problema ambiental e com a grande exploração dos aquíferos devido à expansão imobiliária, pesquisadores de várias instituições se uniram para organizar e executar um projeto de estudo dos aquíferos da região (Projeto ACOST-RIO, financiado pelo PADCTIII/FINEP), com a finalidade de criar subsídios para um gerenciamento adequado dos seus recursos hídricos.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar os resultados preliminares alcançados pelo projeto ACOST-RIO na área piloto da Região Oceânica de Niterói, baseando-se nos dados obtidos durante os levantamentos hidrogeológico e geofísico.

Embora preliminares os resultados indicam que, para o caso da intrusão salina, a concentração de sal na água varia não somente com a proximidade do litoral, mas também com a profundidade, os condicionantes estratigráficos, geomorfológicos e estruturais e com a intensidade da ocupação humana. Quanto a contaminação bacteriológica, a maioria dos poços da região registra a presença de alguma contaminação por coliformes.

Palavras-chave – aquífero costeiro, intrusão salina

¹ 1- gerson@acd.ufrj.br ,2- michael@itaipu.psi.br ,3- gloria@igeo.ufrj.br ,4- ferrucio@acd.ufrj.br, 5- acm@crystal.cprm.gov.br // * UFRJ -Av. Brigadeiro Trompowski s/n^o Bloco G- Dep Geologia/IGEO-CCMN Ilha do Fundão Cidade Universitária – Rio de Janeiro-Brasil Cep- 21949-900, Tel/Fax- 5908091

** CPRM- Comp de Pesq de Recursos Minerais Av. Pasteur, 404 – Urca CEP 22.290-040

*** UFF – Universidade Federal Fluminense - Rua Passo da Pátria , 156 – sala 465 São Domingos- Niterói –RJ CEP – 24210-240.

1 - INTRODUÇÃO E OBJETIVO

O crescimento imobiliário muito rápido e desordenado nos últimos anos - causado principalmente pela grande expansão da indústria do turismo na área costeira do leste Fluminense - exige uma maior demanda de água potável subterrânea e, por conseguinte, exerce uma maior pressão sobre os aquíferos costeiros, uma vez que as fontes alternativas para o abastecimento de água potável ou não existem, ou estão em processo de instalação pelos consórcios particulares de fornecimento de água. Estes aquíferos são alvo de elevadas explorações, principalmente no verão, quando ocorre um aumento da população devido ao fluxo de veranistas. Ao mesmo tempo, recebem uma elevada carga de efluentes domésticos, já que estas regiões são desprovidas de sistemas de tratamento de esgotos. A união destes dois fatores contribui diretamente para a degradação da qualidade da água subterrânea das regiões costeiras, na área em estudo, pelo aumento da salinização e pela quantidade de nitratos e fosfatos dos efluentes, além da contaminação bacteriológica, revelada pelas altas taxas de coliformes fecais e totais presentes. (Lowsby & Alves, 2000).

Sabe-se que as áreas costeiras são ambientes frágeis, nos quais os recursos hídricos subterrâneos podem ser facilmente contaminados, inclusive pela salinidade marinha, gerando um problema ambiental que pode vir a ser irreversível. A situação descrita acima, na área Leste Fluminense, exige portanto um plano de ação, naturalmente baseado em estudos que forneçam também subsídios para um gerenciamento adequado dos seus recursos hídricos. O Projeto ACOST-RIO, financiado pelo PADCTIII/FINEP, tem como meta desenvolver uma metodologia integrada para realização de estudos hidrogeológicos em aquíferos costeiros entre os Municípios de Niterói e Rio das Ostras – RJ (Fig. 1). Este projeto tem como instituição executora a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e a coparticipação da Universidade Federal Fluminense (UFF), do Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ) e da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM). Estão envolvidos também na execução alunos de graduação e pós-graduação da UFF e, principalmente, da UFRJ.

Neste trabalho apresentam-se os resultados preliminares dos estudos realizados na área piloto da Região Oceânica do Município de Niterói (Fig. 2), escolhida pela sua importância sócio-econômica e pela gravidade dos impactos observados sobre os recursos hídricos subterrâneos. Tem como objetivo discutir, ainda que de forma

preliminar, os resultados alcançados até o presente momento. No Projeto ACOST-RIO inicialmente fez-se um reconhecimento geral da área de estudo, tendo sido realizadas visitas técnicas a todos os municípios da área costeira entre Niterói e Rio das Ostras (Fig. 1). Nesta etapa foram delimitadas zonas mais críticas com a finalidade de selecionar áreas - piloto onde seriam realizados estudos aprofundados. O levantamento geral da área do Projeto consistiu no Cadastramento de dezenas de poços nos quais foram realizadas medidas de nível estático, profundidade dos poços, pH, condutividade e



Figura 1 - Localização da área do Projeto ACOST-RIO

temperatura. Também foram realizadas, nestes poços, coletas de água para posterior análise de cloreto e condutividade em laboratório. A escolha dos poços foi feita de tal modo que estes se encontrassem alinhados em perfis perpendiculares aos arcos praias e fundos lagunares. Nas áreas-piloto, além do levantamento dos dados hidrogeológicos, também foram realizados levantamentos topográficos, para nivelamento da área, e sondagens geofísicas com GPR e eletrorresistividade.

2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

Com a finalidade de melhor entender a área de estudo, segue-se abaixo uma breve resumo do estado da bibliografia disponível sobre a área oceânica de Niterói.

LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO OCEÂNICA DE NITERÓI - RJ



Figura de Localização de Niterói

Composição colorida RGB (543) de imagens TM-LANDSAT

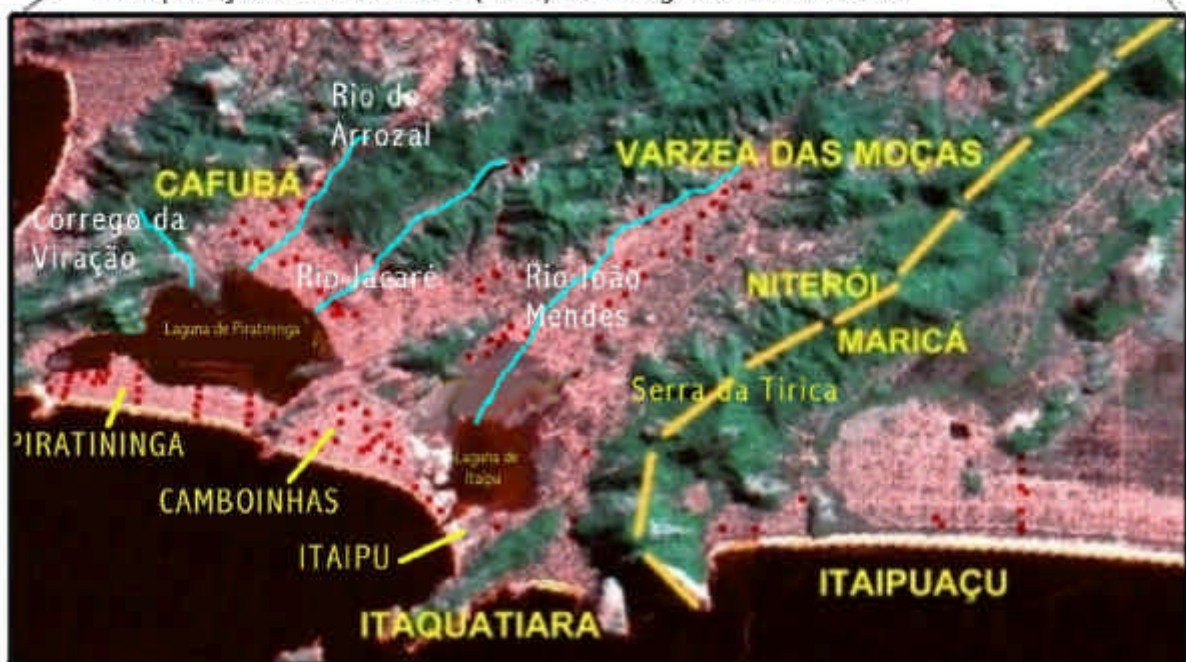


Figura 2: Localização da Região Oceânica em Niterói - RJ

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DESTE TRABALHO E HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO

A área de estudo, delimitada na Fig. 2, é composta pela Macrobacia da Região Oceânica de Niterói, sendo constituída por nove cursos de água, muitos dos quais, já se encontram retificados e/ou canalizados, a saber: o córrego da Viração, o valão do Cafubá, os rios Arrozal e Jacaré e o valão de Santo Antônio, que deságuam na laguna de Piratininga; além dos rios João Mendes, da Vala, córrego da Tiririca e valão de Itacoatiara, que contribuem para a laguna de Itaipu.

No início da ocupação moderna a região tinha como atividade básica a agricultura e a pesca. Alves et al. (1997), utilizando sensoriamento remoto, avaliaram a maneira pela qual a especulação imobiliária foi sendo paulatinamente instalada após a inauguração da ponte Rio-Niterói, época em que os agentes imobiliários passaram a atuar na orla local, devido à existência de uma grande extensão de praias com belezas naturais muito atrativas ao veraneio e ao lazer. Atualmente a região está em processo acelerado e desordenado de ocupação das encostas já que as áreas de baixada foram quase inteiramente ocupadas. (Alves & Barroso, 1999).

CLIMA E VEGETAÇÃO

Segundo Barbieri (1975), o clima da região é classificado como do tipo Aw (Köppen), caracterizado como quente e úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A temperatura média anual é de 24°C, sendo freqüentes valores acima de 30°C. A precipitação anual oscila em torno de 1300 mm. Atualmente, na região, pode ser observada nos maciços (morros e serras) a vegetação do tipo floresta aberta e do tipo gramínea. A floresta original só pode ser observada nas encostas mais íngremes das serras. Um exemplo importante é o Parque Estadual da Serra da Tiririca que ainda apresenta uma cobertura florestal de Mata Atlântica (Grael, et al. 1996). Alves (2000) constatou que as áreas de baixada, devido ao processo de ocupação desordenada e acelerada apresenta uma grande redução da cobertura vegetal característica destes ambientes, denominada de “Vegetação Litorânea”: vegetação das praias; vegetação das dunas; vegetação das restingas e vegetação dos manguezais.

Foi possível obter-se dados de temperatura média compensada de Niterói, durante o intervalo de 1931-1960 do INAMET (Instituto Nacional de Meteorologia), dados de precipitação da estação climatológica da Ilha do Modesto em Piratininga-Niterói, dos anos de 1979 até 1993, fornecidos pela SERLA (Superintendência Estadual de Rios e Lagunas do Estado do Rio de Janeiro). Esses dados também foram usados por Martins (1998)

para caracterizar o aquífero de Camboinhas em Niterói.

GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

A geologia da área estudada é constituída por: unidades litológicas Pré-Cambrianas, compostas essencialmente por gnaisses do tipo facoidal; sedimentos quaternários fluviais e litorâneos. Os sedimentos litorâneos são representados principalmente por feições do tipo praias, restingas e dunas. Estes sedimentos são constituídos essencialmente por areias quartzosas, englobando também sedimentos paludiais (DRM,1981).O mapeamento geológico/estrutural da área do projeto ACOST-RIO foi realizado pela equipe técnica do DRM, que é o parceiro responsável por esta atividade, baseando-se no Bloco Baía de Guanabara, que engloba as seguintes cartas topográficas: Baía de Guanabara, Itaboraí, Maricá e Saquarema, na escala 1:50.000.

Através da imagem de satélite TM/LANDSAT (Fig. 1), observa-se na área a ocorrência de duas unidades geomofológicas distintas: maciço costeiro (principalmente gnaisses do tipo facoidal) e a planície litorânea (sedimentos quaternários aluviais, fluvio-marinhos e marinhos). O maciço costeiro, na área de estudo, é mapeável de forma contínua ao longo costa e apresenta-se como escarpas voltadas para o oceano. O condicionamento estrutural tem direção NE-SW, marcado pelas seqüências de serras e morros incluindo as Serras da Tiririca (altitude de 371 e 357m), e os seguintes morros: Cantagalo (406m); Viração (319m); Elefante (412m), entre outros. São observados vales encaixados tendo como partes componentes a planície fluvial e a planície fluvio-marinha.

SISTEMAS LAGUNARES E BACIAS HIDROGRÁFICAS DA REGIÃO

Como as lagunas costeiras contribuem de maneira direta para a manutenção do lençol freático, objeto deste estudo, é importante que se conheça a qualidade das suas águas, incluindo o seu grau de contaminação. A bacia de drenagem de Piratininga tem uma área de 23,2 Km², sendo o Rio Jacaré seu principal tributário. Já para Itaipu, o principal contribuinte é o Rio São Mendes, cuja área é de 16 Km², sendo a área total da bacia hidrográfica da laguna de 22,5 Km² (FEEMA, 1988 ; ECP 1979 *in*: Prefeitura Municipal de Niterói - P.M.N., 1996). Outros rios de menor vazão da bacia apresentam-se atualmente degradados por aterros, assoreamento e lançamento de esgotos, sendo que a maioria desapareceu em meio à urbanização, P.M.N. (1996).

As lagunas costeiras são acumuladoras de matéria, apresentando, muitas vezes, um

alto tempo de residência das massas d'água. Nestes ambientes, a entrada externa de material biogênico supera o teor exportado, promovendo a eutrofização natural do meio. Entretanto, nas últimas décadas a eutrofização natural tem sido acelerada pela eutrofização cultural, decorrente do lançamento, nos corpos d'água, de dejetos domésticos ou águas servidas, que apresentam altos teores de nitrogênio e fósforo. A entrada excessiva de nutrientes tem como resposta o crescimento das populações de algas e macrófitas que encadeia uma série de reações de causa e efeito, tendo como resultado final a quebra do equilíbrio ecológico, P.M.N. (1996).

A vida média, ou seja, o tempo necessário para renovar 50% do volume de água nas lagunas, está sujeita a uma variabilidade temporal. Nota-se claramente uma diferença entre as duas lagunas de Niterói, com valores de vida média em redor de 1 dia para Itaipu e 15 a 20 dias para Piratininga. A renovação das águas de Itaipu é fortemente controlada pela maré. Em Piratininga a variabilidade é maior, sendo controlada pela entrada de água doce no período de alta pluviosidade e pela influência marinha nos períodos de estiagem (Knoppers et al, 1991).

Segundo Carneiro et al (*in*: P.M.N.,1996) nos principais rios da região Oceânica de Niterói, foram detectados teores elevadíssimos de Nitrogênio Inorgânico (N-NIT), Ortofosfato (P-PO₄) e Carbono Orgânico Particulado (COP). O componente principal do N-NIT em todos os rios é a amônia, indicador de processos de degradação de matéria orgânica e efluentes domésticos.

ASPECTOS SANITÁRIOS E INFRA-ESTRUTURA

A área de estudo, a região oceânica de Niterói, não dispõe de abastecimento de água tratada, ficando a critério de cada morador o suprimento de água para a sua habitação. A grande maioria das habitações (cerca de 95%) utiliza a água subterrânea com um tratamento individual; o restante (5%) utiliza pipas d'água, recolhimento fluvial e pequenas nascentes (P.M.N., 1996). A região de Camboinhas é uma exceção, pois existe uma rede de tratamento coletiva para a água utilizada pela população.

Basicamente são observados dois tipos de soluções para o abastecimento de água na região: a solução individual - predominante, e a solução coletiva - adotada principalmente em condomínios de classe alta. As soluções individuais mais comuns são: a captação através de poços escavados (poço de manilha); poços escavados com trado e nascentes. Como solução coletiva, adota-se a perfuração de poços tubulares profundos.

A Prefeitura Municipal de Niterói - P.M.N. (1995) realizou uma campanha de

perfuração de poços tubulares profundos, voltada principalmente para captação de água dos aquíferos fissurais, com a finalidade de atender a comunidade da região. Nesta campanha foram realizadas prospecções geofísicas, utilizando o método da eletrorresistividade e estudos hidrogeológicos para locação dos poços, chegando-se a bons resultados. Os poços perfurados foram revestidos, isolando-se toda a água proveniente dos sedimentos, solo e rocha alterada, aproveitando-se somente a água do aquífero fissural, que se mostrou de boa qualidade e livre de contaminantes bacteriológicos. Está prevista, a implementação de rede de adução de água potável para a região, segundo informações da CEDAE.

No caso da disposição do esgoto doméstico, a solução adotada é sempre individual, utilizando-se fossa séptica, fossa seca ou lançando os dejetos diretamente nas drenagens. A fossa séptica, largamente utilizada, pode apresentar uma ou mais câmaras e dificilmente ultrapassa dois metros de profundidade.

A Prefeitura de Niterói condiciona a execução de obras civis à existência de fossas sépticas segundo normas da ABNT. Esta exigência envolve a necessidade de uma espessura de no mínimo 1,5m (com solo de boa drenabilidade) entre o fundo da fossa e o lençol freático (P.M.N.,1992). Esta norma, no entanto, é de difícil aplicabilidade na área uma vez que o lençol freático apresenta profundidades entre 1,5 a 2,0 metros em grande parte da área, principalmente às margens das lagunas.

A Região Oceânica de Niterói não dispõe de sistema de coleta, tratamento e disposição de esgotos sanitários, e só a partir da Lei Municipal N.º 909/90, passou a ser exigido o sistema de fossa séptica, filtro anaeróbio e sumidouro. (P.M.N., 1996). Entretanto, constatou-se que, além das ocupações informais, casas de porte médio e até mesmo condomínios lançam seus esgotos nos cursos d'água através de valas negras. O maior problema consiste na falta de informação e boa orientação que faz com que a maioria das habitações apresente condições irregulares nas construções das fossas ou sumidouros, que normalmente se encontram à montante dos pontos de captação de água e a distâncias muito pequenas destes, contribuindo para a contaminação do aquífero livre.

Em 1991, a Fundação Municipal de Saúde (FMS) de Niterói, realizou uma pesquisa na Região Oceânica e bairros adjacentes, mostrando que para 19 pontos coletados nestas áreas, somente um apresentava "ausência" para o "número mais provável" (NMP) de coliformes totais para 100ml de amostra. Do restante, 10 pontos mostraram até 100 coliformes totais para 100ml de material e 8 apresentaram entre 120 e 2400 coliformes por 100ml de amostra (Prefeitura de Niterói 1992). Barroso et al 1996 confirmam a

contaminação da água do aquífero livre, através de análise bacteriológica de 12 poços amostrados na região.

Já existe a coleta de lixo no Município de Niterói, abrangendo parte da região em questão; no entanto, a ausência de educação ambiental efetiva faz com que muitos moradores joguem lixo nas drenagens, terrenos baldios, encostas ou incinerem os resíduos nos quintais ou na margem dos rios, sem que haja qualquer controle

3 – METODOLOGIA

As etapas metodológicas empregadas na realização deste trabalho foram:

a) Levantamento básico - os dados deste trabalho foram levantados a partir da revisão bibliográfica de documentos disponíveis em bibliotecas, empresas, entidades governamentais e privadas e Internet. Com isto pôde ser criado um banco de dados com: mapas digitais das áreas de interesse; fotos aéreas e imagens de satélite; dados químicos e fichas cadastrais de poços já perfurados.

b) Levantamento hidrogeológico - reconhecimento geral da área do projeto e escolha das áreas-piloto. Nesta fase foram cadastrados cerca de oitenta poços através de perfis perpendiculares à praia em direção ao continente. O levantamento dos dados procurava relacionar a variação da salinidade com a profundidade e com a distância ao litoral através da coleta e análise química da água dos poços cadastrados a partir dos parâmetros: condutividade elétrica; concentração de cloretos; pH e temperatura. Atualmente, vem sendo realizado o monitoramento dos poços cadastrados e o cadastramento de novos poços, para atender às necessidades para a realização do estudo. As análises químicas completas estão sendo feitas pelo Laboratório de Análises Mineraias da Companhia de Pesquisas e Recursos Mineraias (LAMIN/CPRM), e os parâmetros condutividade elétrica e concentração de cloretos no Laboratório de Via Úmida do Setor de Geologia de Engenharia da UFRJ.

c) Levantamento estratigráfico - esta atividade consistiu no levantamento de dados de campo, envolvendo o estudo sistemático de seções expostas e perfis de poços, quanto a suas características faciológicas (litologia, geometria das camadas, espessura, estruturas sedimentares primárias e secundárias e relações de contato), e de elementos estruturais, tais como falhas e juntas afetando as rochas sedimentares e as rochas do embasamento.

d) Levantamento Topográfico – foi realizado com o objetivo de estabelecer o *datum* para o modelo hidrogeológico na área de Piratininga e para permitir as estimativas da extensão da cunha salina com base em modelos analíticos conhecidos. Participou desta etapa a equipe técnica do Setor de Cartografia do Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ). Os perfis de coleta química e os levantamentos Geométrico (eletroresistividade) e eletromagnéticos (GPR - Radar de Penetração no Solo) foram realizados exatamente na área previamente nivelada. A partir destes resultados, pretende-se construir modelos cada vez mais acurados, integrando as informações obtidas dos levantamentos geofísicos, dos perfis químicos e da topografia do terreno.

e) Levantamentos Geofísicos - com o objetivo de auxiliar em um modelo regional do aquífero costeiro da área do Projeto ACOST-RIO foram realizadas sondagens geofísicas com os métodos eletromagnético e elétrico, respectivamente: GPR (Radar de Penetração no Solo) e eletroresistividade com o arranjo de Schlumberger, na área de Piratininga em Niterói. A escolha dos métodos elétrico e eletromagnético foi determinada pela aplicabilidade destes para a determinação da interface água doce/água salgada e a profundidade do nível freático. Sabe-se, além disto, que estes métodos podem fornecer com boa margem de segurança a espessura dos sedimentos e profundidade do embasamento cristalino. Este levantamento foi realizado pela equipe técnica da Divisão de Geofísica da Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais (Digeof-CPRM). Nesta etapa foram realizadas 13 SEV's utilizando o arranjo Schlumberger que possibilita o conhecimento tanto da intrusão salina como da contaminação do aquífero. A interpretação quantitativa das SEV's foi realizada com base no algoritmo proposto por Porsani et al (1998), implementado por Monteiro (1999) e Monteiro e Porsani (1999) que utiliza a técnica de inversão linearizada com norma L_p variante usando como base o método dos mínimos quadrados.

RESULTADOS PRELIMINARES

Os dados obtidos até o momento no âmbito do projeto ACOST-RIO já permitem um conhecimento da problemática dos municípios que fazem parte do estudo, em termos de caracterização das águas. Entretanto, como já foi dito anteriormente, neste trabalho, serão apresentados apenas os resultados referentes à área piloto da Região Oceânica de

Niterói, em especial à área de Piratininga, onde foram realizados levantamentos hidrogeológicos, topográficos, estratigráficos e geofísicos. Esta área foi escolhida principalmente devido à utilização dos recursos hídricos de maneira indiscriminada, a um processo de urbanização totalmente desordenado, à falta de abastecimento, além da quantidade de dados existentes sobre esta região. Além disto, esta área pode ser um bom exemplo dos problemas enfrentados em toda a região costeira do Rio de Janeiro. Os resultados são apresentados a seguir:

RESULTADOS GEOFÍSICOS

O Levantamento Geométrico compreendeu até o momento 13 SEV's utilizando o arranjo Schlumberger, que possibilita a identificação tanto da intrusão salina como da contaminação do aquífero. Com as inversões das SEV's foi possível a construção das pseudo-seções de resistividade aparente. As seções geométricas e os mapas de isovalores de resistividade para as diversas profundidades foram construídos para serem utilizados no modelo hidrogeológico. A Fig. 3 representa uma seção típica de interpretação geológica para os dados geofísicos obtidos. Nesta figura podem ser visualizados o comportamento da variação da resistividade com a profundidade e a espessura média do pacote sedimentar por sobre o embasamento. A partir das diversas seções foi construído um mapa que representa a forma aproximada do topo do embasamento (Fig. 4). O Levantamento Eletromagnético tem o objetivo de melhorar o entendimento sobre o modelo hidrogeológico da região. Já foram levantados alguns perfis eletromagnéticos, perpendiculares à linha de costa, usando o GPR (Radar de Penetração no Solo). A partir da correlação dos resultados obtidos nestes perfis geofísicos as informações de nível estático, de valores de condutividade elétrica e de concentração de cloretos, identificou-se com maior detalhe a posição do lençol freático (interface água doce/água salgada) e a extensão da cunha salina. Serão realizados novos perfis eletromagnéticos nas áreas-piloto de Niterói e Maricá como contribuição à elaboração de um modelo hidrogeológico para toda a área do projeto.

Seção geolétrica longitudinal AA' de Piratininga, Niterói -RJ

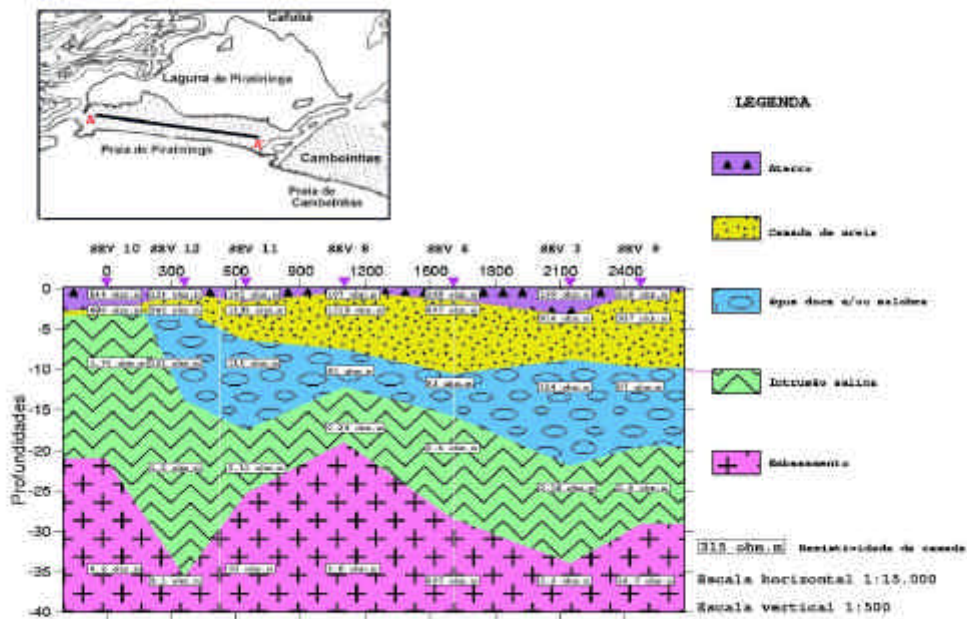


Figura 3 – Perfil Geolétrico realizado na restinga de Piratininga, R.O. Niterói.

Mapa geolétrico do embasamento de Piratininga, Niterói - RJ

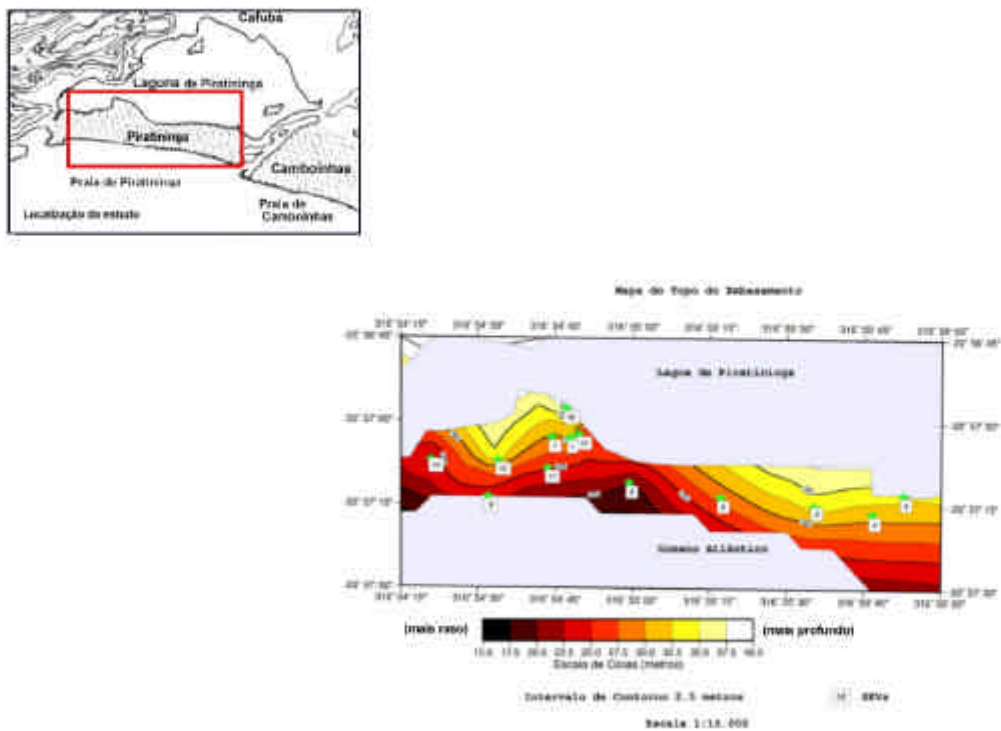


Figura 4 - Mapa do topo do embasamento em Piratininga (R.O. Niterói – RJ).

RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DA REGIÃO OCEÂNICA DE NITERÓI

Os aquíferos observados nesta área são dos tipos granular e fissural. O aquífero granular compreende depósitos aluvionares heterogêneos e as porções de solo e rocha alterada. Os sedimentos aluvionares são compostos predominantemente por areias quartzosas e, subordinadamente, siltosas e argilosas, que ocorrem nas proximidades das lagunas. O nível freático na aluvião é bastante raso, chegando a atingir menos de 1 a 2 metros de profundidade nas porções mais baixas, aflorando periodicamente à medida que se aproxima das lagunas em função da influência da oscilação das marés. O aquífero fissural é representado pelo embasamento cristalino fraturado e pode ou não estar interconectado com o aquífero livre através das fraturas. Nos depósitos de restinga, a profundidade do nível d'água nas faixas centrais é mais elevada, tornando-se bem mais raso à medida que se aproxima do oceano e principalmente das lagunas. Tais características, principalmente nos aluviões, conferem aos aquíferos livres alta susceptibilidade à contaminação bacteriológica. Os resultados das análises bacteriológicas, requeridas para os 12 poços escavados amostrados na região, vieram confirmar a contaminação da água do aquífero livre pelos dejetos domésticos não tratados. Outros fatores que predisõem o aquífero livre da área estudada à elevada vulnerabilidade à contaminação bacteriológica são: a declividade nas áreas de baixada é praticamente nula, dificultando o escoamento da água; as áreas próximas às lagunas estão sujeitas à oscilação das marés e inundações periódicas em função de chuvas intensas; na maioria das vezes, as fossas sépticas ou sumidouros, construídos sem orientação técnica adequada, encontram-se muito próximos aos poços e os resíduos oriundos destes comunicam-se diretamente com a água que circula livremente pelos interstícios dos sedimentos; a construção dos poços é feita com deficiente sistema de proteção. (Alves, 2000)

Resultados preliminares da Caracterização da Intrusão Salina: os resultados indicam que a concentração salina na água geralmente varia com a proximidade do litoral, com a profundidade e com condicionantes geológico-estruturais, estratigráficos e geomorfológicos, bem como com o grau de ocupação humana e conseqüentes extrações e impermeabilização do terreno.

Nos poços da área de Piratininga foi observada uma variação da condutividade

segundo a direção mar – laguna (Fig. 5). Os poços próximos à orla marítima apresentam uma profundidade média de 8 m e valores de condutividade elétrica média de 43,90 mS/cm, enquanto que as medidas em poços das residências próximas à laguna variam

MAPA DA DISTRIBUIÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA EM PIRATININGA

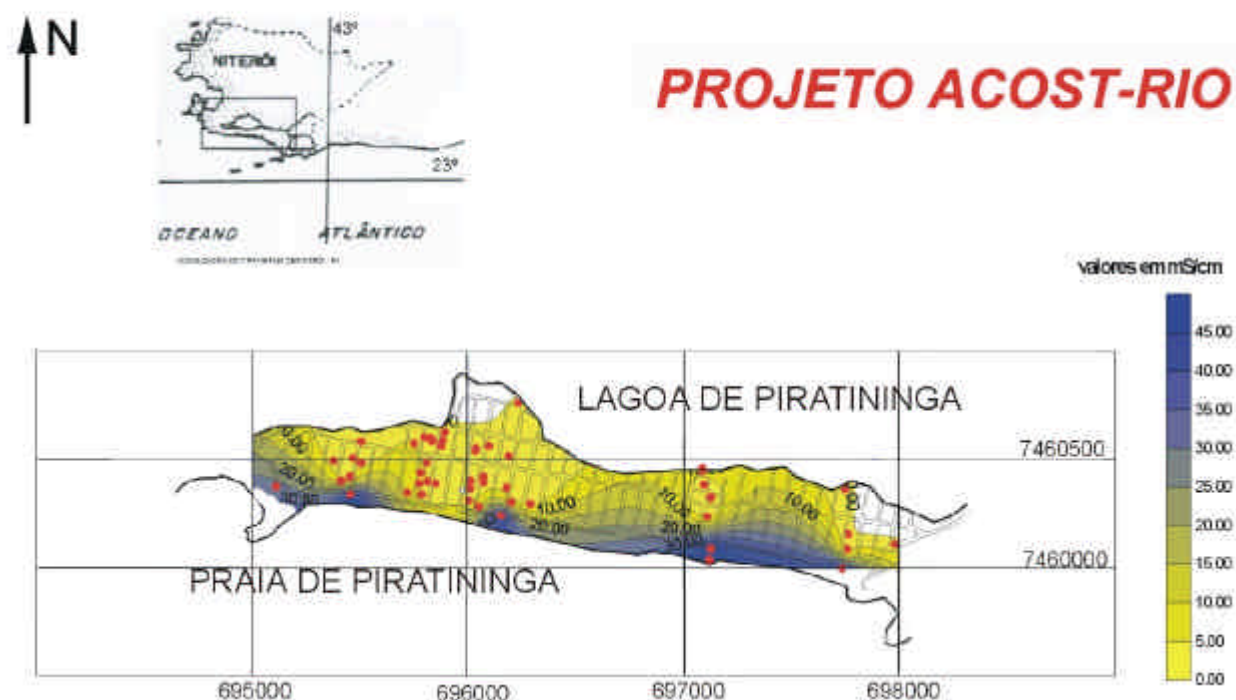


Figura 5 – Mapa de isocondutividades elétricas na restinga de Piratininga-Niterói.

de 0,5 mS/cm a 1,8 mS/cm, apresentando, o nível freático, uma profundidade que varia de 2,50 m a 3,90 m, respectivamente. Na parte central dos perfis realizados na região notam-se os valores mais baixos para condutividade, chegando a 0,42 mS/cm em poço com profundidade de 11m. No mar, a medida da condutividade apresentou valores de 48 mS/cm, enquanto que na laguna foi obtido o valor de 19,8 mS/cm. O bombeamento contínuo e concomitante avanço da urbanização tem levado a um avanço da salinização, embora ainda esteja em andamento a elaboração do estudo visando quantificar o fenômeno.

Na praia de Camboinhas, mais a leste, a condutividade elétrica é baixa, decrescendo na proporção em que se afasta do mar para a faixa interior. O mesmo pode ser dito em relação à proximidade da laguna de Itaipu. Este resultado é confirmado pelos dados apresentados por Martins (1998).

No perfil realizado na área de Itacoatiara, saindo da rua da praia em direção ao continente, foram encontrados, respectivamente, a uma profundidade de 11,20m uma condutividade 0,40 mS/cm e a uma profundidade de 5m a 6m, uma condutividade de 0,6 mS/cm, o que indica que nesta região há ocorrência de uma razoável lâmina de água doce, mesmo nas residências localizadas na rua da praia, local em que não ocorre a intrusão salina devido as características geomofológicas da região.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS

Com a análise dos resultados pôde-se constatar, principalmente com base nos dados geofísicos levantados até o momento, que na Região Oceânica de Niterói realmente existem problemas relacionados aos aquíferos, tais como: contaminação do lençol freático, tanto por salinização quanto por efluentes domésticos, além de indícios de sobre-exploração pois, embora ainda preliminares, os resultados indicam que podem existir problemas quanto ao fornecimento de água potável do aquífero em questão. A exploração do grande potencial urbanístico da área estudada sobrecarrega o aquífero, por ser este a única fonte de abastecimento da área.

Os mapas de isovalores de resistividade revelam um gradiente de salinização que flui do oeste para leste na área do levantamento. Estes dados, quando cotejados com as informações estratigráficas da área e principalmente com os dados referentes ao nível estático, medido de forma direta durante o cadastramento dos poços, podem vir a trazer à luz muitas informações relevantes.

Na etapa de complementação todas as demais informações geofísicas serão sintetizadas para fornecer um modelo o mais realista possível do comportamento hidrogeológico da região. De uma maneira geral pode-se dizer que na área de Piratininga, Região Oceânica de Niterói, ocorrem os maiores níveis de salinização, com o íon cloreto variando de 35 g/l a 22 g/l à beira da praia, passando por valores próximos a 0,2 g/l na parte central do perfil e chegando a valores de 0,8 g/l na ciclovia que beira a laguna de Piratininga. As análises executadas nas amostras coletadas após período de ressaca ocorrida no dia 15 de agosto de 1999 mostraram que a maioria das águas da área teve seus valores de concentração de cloretos e condutividade elétrica aumentados, possivelmente em função da elevação brusca da maré e pelo elevado aporte do *spray* marinho. Estes dados serão trabalhados na elaboração do modelo de funcionamento, em andamento.

Na praia de Itacoatiara (Fig. 2) o quadro é diferente do de Piratininga. No perfil

analisado, os valores de concentração de cloreto são baixos. Em Camboinhas o quadro é parecido ao de Itacoatiara. Os quiosques na beira da praia apresentam água de boa qualidade com valores de concentração de cloreto de cerca de 0,1 g/l, podendo ocorrer variações pontuais.

Através dos dados obtidos pela análise dos levantamentos geofísicos realizados na área de Piratininga, conclui-se que o modelo (Fig. 3) mostra uma concordância com os dados referentes às medidas de análise química realizadas nas águas dos poços da região. A etapa de modelagem hidrogeológica, a ser iniciada proximamente, permitirá uma melhor definição dos processos que comandam a intrusão marinha e a qualidade dos aquíferos costeiros da região.

Sabe-se que medidas simples de gestão podem ser tomadas pela administração pública, quando respaldadas por estudos técnicos adequados, garantindo o uso seguro e otimizado dos recursos hídricos subterrâneos.

Um dos produtos finais que no projeto ACOST-RIO pretende-se apresentar é um modelo hidrogeológico regional. Sabe-se que para a elaboração deste modelo são necessários estudos que permitam a identificação das áreas de recarga, as direções de fluxo, as áreas de armazenamento e toda a dinâmica de funcionamento dos aquíferos. Com os dados obtidos até o momento, no projeto ACOST-RIO, é possível visualizar um modelo, ainda que preliminar, do ciclo hidrogeológico de Piratininga e Cafubá. Os dados indicam que, de um modo geral, as águas subterrâneas ocorrem tanto em aquíferos fraturados - Cafubá - como em meios porosos - Piratininga - sendo ambos de ocorrência livre. Na área do Cafubá, observa-se que o condicionamento dos rios e dos sistemas de fratura, presentes no embasamento gnáissico da região, influencia o fluxo de água subterrânea das planícies aluviais do Cafubá para laguna de Piratininga. No caso do cordão litorâneo, o fluxo deve ocorrer ao mesmo tempo do cordão para a laguna e do cordão para o mar. A laguna apresenta o seu nível naturalmente mais elevado, cerca de 10 a 50 cm, que o do mar (P.M.N., 1991). Dessa forma o gradiente deve ser maior da laguna para o cordão, que do mar para o cordão. A intensificação dos estudos, já em curso, levará a um aperfeiçoamento e refinamento destas considerações.

AGRADECIMENTOS

Os atores desejam expressar seu agradecimento ao Programa de Auxílio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT III - MCT) e à FINEP o apoio financeiro para a realização do projeto ACOST-RIO. Também agradecem à CAPES pela

concessão de bolsa de mestrado ao autor Michael George Lowsby.

BIBLIOGRAFIA

- Alves, M.G.; Guimarães, R.F. & Barroso, J. A.,1997. A Utilização do Sensoriamento Remoto e da Geotecnia na Análise Ambiental da Região Litorânea e Maciços Circunvizinhos de Niterói. In: V Simpósio de Geologia do Sudeste, Dezembro - Itatiaia -Rio de Janeiro pg. 198-200.
- Alves, M.G. & Barroso, J.A, 1999. Técnicas de geoprocessamento aplicadas ao diagnóstico de impactos ambientais e ao uso e ocupação do solo. In; 9o CBGE, Novembro de 1999. São Pedro (SP). Pg.
- Alves, M.G., 2000 – Diagnóstico Ambiental da Região Oceânica de Niterói e Distrito de Inoã - Maricá (RJ) Uma visão por Geoprocessamento e Mapeamento Geológico-Geotécnico Tese de Doutorado – Departamento de geologia – UFRJ - (Inédito).
- Barbieri, E.B. ,1975. Ritmo Climático e Extração de Sal em Cabo Frio, Rev. Bras. Geografia, 3(4): 23-109.
- Barroso, J.A.; Alves, M.G.; Guimarães,R.F.: Martins, A.M.; Zulian, M.T.C.; Duarte.M.L,1996. Diagnóstico ambiental preliminar a partir de mapeamento Geológico-Geotécnico- Estudo de caso: Região Oceânica de Niterói. In: 20 Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e I Encontro Regional de Geotenia e Meio Ambiente. Anais..., São Carlos - SP 24-27 de novembro 1996 29-40.p.
- DRM-RJ ,1981 - Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro Projeto Carta Geológica - Bloco Baía de Guanabara, Volume1, Niterói, (Relatório Final).
- Grael, A. S, Macedo, L.C.T.: Nunes, R.H.V.; Resende, C.N.; Pontes, J.A.. 1995. Plano de Conservação e Interpretação Ambiental da trilha do Alto Mourão, Parque Estadual da Serra da Tiririca. In: Anais do IV congresso Brasileiro de Defesa do Meio Ambiente v.1 p.218-231.
- Knoppers, B., Kjerfve, B. & Carmouze, J.P., 1991. Trophic State and Water Turn-Over Time in Six Choked Coastal Lagoons in Brazil. Biogeochemistry, 14: 149-166.
- Lowsby, M.G 1999 – Estudo da Intrusão salina nos Aquíferos Costeiros Localizados no Leste Fluminense o Exemplo da Região Oceânica de Niterói e Rio das Ostras- RJ, Seminário de Mestrado UFRJ / IGEO, 8p, Rio de Janeiro. Relatório Técnico
- Lowsby, M.G & Alves M.G. 2000 - Characterization of Coastal Aquifers of the Oceanic

Area of Niterói- RJ, Brazil. 32º Congresso Internacional de Geologia, agosto, Rio de Janeiro- *in press*.

Martins, A.. M. 1998 Hidrogeologia de Aquíferos Costeiros da região Oceânica de Niterói – RJ : Dissertação de Mestrado – IGEO/ UFRJ Rio de Janeiro - RJ 78 p.

Monteiro A. C., 1999, Eletroresistividade Aplicada na Avaliação do Potencial Aquífero da Região de Porto Seguro – BA : Dissertação de Mestrado, CPGG-UFBA- Salvador, Bahia.

Monteiro A. C. & Porsani, M.J. 1999, Inversão de sondagens elétricas verticais da região de Porto Seguro – BA utilizando norma Lp – variante: sixth Congress of the Brazilian Geophysical Society, CDROM.

P.M.N. ,1992 - Prefeitura Municipal de Niterói: Secretaria de Urbanismo e Meio Ambiente. Plano Diretor de Niterói. Niterói, 1992.

P.M.N., 1995. Empresa Municipal de Moradia, urbanização e saneamento. levantamento Geofísico na área Oceânica e Pendotiba –Serviço de Geologia de Engenharia Consultiva e Ingeo – Investigações Geológico-Geotécnicas.

P.M.N., 1996 – Caracterização da Região Oceânica de Niterói- Secretaria de Urbanismo e Meio Ambiente. Niterói-RJ.

Tubbs, D., Silva, F. E.V., Mariani, R.L.N. , Maddock, J.E.L.,1993. Hidrogeoquímica da águas Subterrâneas da Região de Niterói (RJ) 10º Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos / 1º Simpósio de Recursos Hídricos do Cone Sul, Gramado, Anais, p. 529-537.