



Figura 1 – Localização da área de estudo: situada a aproximadamente 1,5 km da borda noroeste da Baía de Guanabara. A área está localizada dentro da Petroflex Ind. e Com. S/A, em Duque de Caxias, RJ.

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada seguiu os passos usuais em estudos dessa natureza, conforme sistematizado por Lecomte & Mariotti (1997). Em um primeiro estágio foi realizada a investigação geológica do sítio, através de análise de dados históricos e estudos de campo. Num segundo estágio foi realizada a investigação hidrogeológica, com instalação de rede de poços de monitoramento da água subterrânea, ensaios e monitoramento de níveis d'água, amostragem de água subterrânea e estudo da influência do efeito-maré.

Os procedimentos adotados durante o estudo (instalação de poços de monitoramento, ensaios, amostragem), foram executados conforme normas técnicas específicas (NBR 13895 em ABNT, 1997) que, quando necessário, foram adaptadas às necessidades e disponibilidades do local de estudo. As adaptações observaram condições do local, equipamentos e mão-de-obra disponíveis.

3.1. INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICA

A investigação geológica se baseou na análise de dados históricos e em estudos de campo. Primeiramente, com o intuito de conhecer as condições geológicas iniciais anteriores à instalação da fábrica, bem como conhecer o histórico de suas atividades, no que se refere às ações de disposição de resíduos, foi feita uma pesquisa para reunir todas as informações disponíveis em forma de mapas topográficos, fotos aéreas e perfis de sondagens. Esses dados foram analisados com o objetivo de localizar áreas-alvo para a locação de sondagens. Também se buscou identificar características significativas do ponto de vista hidrogeológico, como a existência de barreiras ao fluxo de água subterrâneo formadas, por exemplo, por afloramentos rochosos ou irregularidades do topo do embasamento. Os perfis de sondagens forneceram dados para a construção de seções geológicas, resultando em um modelo preliminar do arranjo estratigráfico da área estudada.

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DE UMA ÁREA DE MANGUEZAL EM INDÚSTRIA PETROQUÍMICA

Ingrid de Carvalho Lage ¹; Carlos Eduardo Braga ^{1,2}

RESUMO

Os manguezais constituem ecossistemas complexos, ocorrendo em condições especiais de latitude e conforme delicadas interações entre organismos e meio físico. Apesar de sua fragilidade, são importantes filtros de sedimentos e contaminantes na transição mar-continente. Esse trabalho apresenta um estudo realizado na área da Petroflex S/A, localizada no Pólo Petroquímico de Duque de Caxias, visando compreender as características geológicas e hidrogeológicas de uma área de manguezal fortemente modificada pela ocupação industrial. A pesquisa enfocou um estudo detalhado da estratigrafia da área e do histórico das intervenções no meio físico, fornecendo valiosos parâmetros para a investigação hidrogeológica. Nessa etapa foi instalada uma rede de poços de monitoramento, permitindo a realização de ensaios *in situ*, monitoramento e amostragem da água subterrânea. Os resultados apontaram para uma forte influência da maré no fluxo e hidroquímica subterrâneos. O aquífero da área é constituído por um pacote argilo-arenoso recoberto por uma camada semiconfinante a confinante de argila orgânica. A principal área de recarga é o Morro do Mosquito, única elevação da área, e o fluxo tem as direções principais para a Baía de Guanabara e para o canal que margeia a área industrial.

PALAVRAS-CHAVE

hidrologia de manguezal, aquífero costeiro, geologia ambiental.

1. INTRODUÇÃO

O ecossistema manguezal possui características peculiares e sua manutenção depende de um frágil equilíbrio entre fatores como vegetação, fauna e flutuações de maré. Depende também de interações entre água subterrânea e água superficial, e de interações químicas entre o solo, água e organismos, o que torna importante a realização de estudos sobre o seu comportamento hidrogeológico como parte de investigações de contaminação.

Os manguezais da Baía de Guanabara se desenvolveram sobre um intrincado arranjo estratigráfico que envolve interdigitação de camadas com granulometria variando entre argila e areia

1) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Brigadeiro Trompovsky, s/no. Setor de Geologia de Engenharia e Ambiental, Bloco J, sala J0-005, Departamento de Geologia, CCMN, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ. - Tel-fax: +55 (21) 2590-8091, e-mail: ingridlage@yahoo.com.

2) atualmente em: ENSR International, Brasil Ltda, R. Voluntarios da Patria 301, sala 401, Botafogo, Rio de Janeiro, RJ. - Tel: +55 (21) 2539-3938, +55 (21) 2537-5667 (FAX), e-mail: cbraga@ensrbr.com.br.

grossa (Amador, 1999). O comportamento hidroquímico e hidrodinâmico das águas subterrâneas num aquífero costeiro nestas condições é bastante complexo e tem, indiscutivelmente, grande influência do efeito das oscilações de maré (Jiao & Tang, 1999; Braga et al 2002b). Na maior parte das áreas costeiras, a água subterrânea proveniente do continente e a água do mar apresentam um equilíbrio característico que, dentre outros efeitos, provoca oscilações no nível d'água dos sistemas aquíferos em função das variações no nível do mar (efeito-maré) e a formação de cunhas salinas ao longo da interface água doce-água salgada (Braga et al, 2002b).

Esse estudo foi realizado na área da Petroflex Indústria e Comércio S/A. Esta é uma indústria produtora de borracha sintética localizada no Pólo Petroquímico de Duque de Caxias, que foi implantado sobre uma das áreas remanescentes de manguezal da Baía de Guanabara. Durante aproximadamente 40 anos a empresa utilizou sua área de manguezal para dispor grande parte do resíduo orgânico tóxico oriundo de seu processo produtivo. Desde a implantação do seu Sistema de Gestão Ambiental e da certificação ISO 14000, em 1997, a empresa precisou remover e destinar seus resíduos e promover estudos sobre as condições do solo e da água subterrânea. O trabalho apresenta os resultados da caracterização geológica e hidrogeológica realizada como primeira etapa da investigação de contaminação.

1.2. OBJETIVOS

O principal objetivo deste estudo é caracterizar o comportamento hidroquímico e hidrodinâmico das águas subterrâneas em um ecossistema de manguezal, através de investigação de seus aspectos geológicos e hidrogeológicos. A pesquisa tem também o propósito de realizar uma análise das interações entre as oscilações de maré e os seus efeitos no aquífero em questão. A importância fundamental do estudo reside na geração de dados confiáveis para a utilização em ações de remediação de possíveis contaminações do solo ou da água subterrânea da área.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Compreendendo aproximadamente 1 km² do terreno da empresa, a área de estudo corresponde à chamada área de passivo ambiental da Petroflex S/A (Figura 1). Atualmente, parte do local está coberta por manguezal, outra parte coberta por aterro, onde a vegetação original foi substituída principalmente por eucaliptos e casuarinas, e uma terceira parte engloba uma planta industrial em descomissionamento.

A área da Petroflex está situada na transição entre a Baía de Guanabara e o continente. Predomina, dessa forma, um ambiente de sedimentação flúvio-marinho, constituído por uma interdigitação de depósitos fluviais e marinhos regressivos holocênicos, que serve como substrato para o desenvolvimento do ecossistema de manguezais, que tem um substrato de sedimentos finos, silto-argilosos ou argilo-siltosos, ricos em matéria orgânica, com presença de horizontes com fragmentos de conchas e restos vegetais. O embasamento da área é constituído por gnaisses anfibolíticos de granulometria média e coloração cinza escura (Falcão, 1999), que afloram no Morro do Mosquito, no centro da área da fábrica.

Considerando-se os dados históricos, foi executada uma campanha de sondagens. A técnica de sondagem escolhida foi de *direct push* (cravação direta), devido à rapidez e praticidade, e também pela obtenção de amostras pouco deformadas, praticamente sem gerar resíduo. Através dessa técnica, foram **obtidas 14 sondagens que possibilitaram a descrição de perfis do solo em profundidade**. A localização das sondagens está na Figura 2.

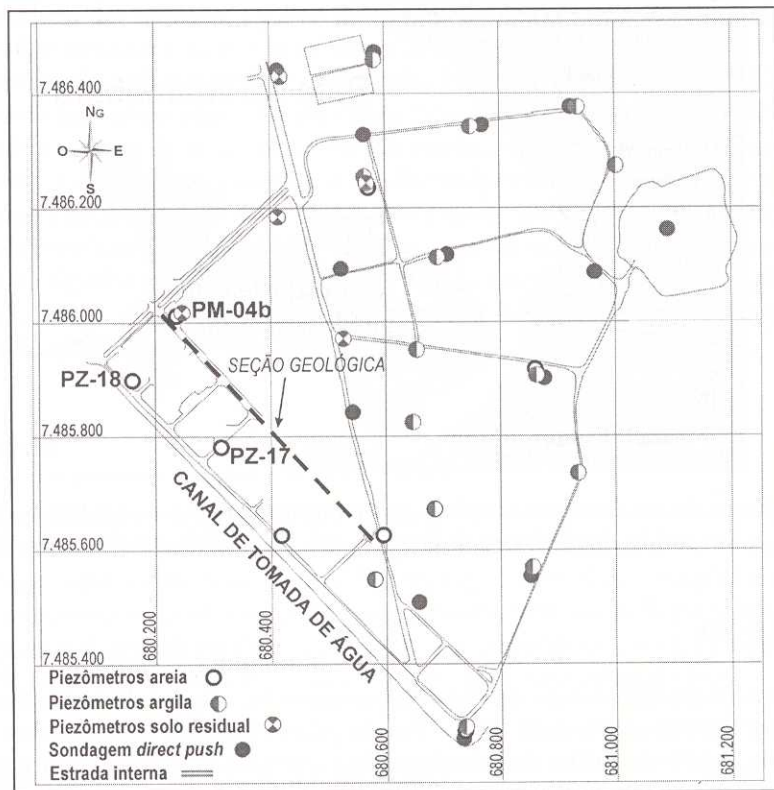


Figura 2 – Localização das sondagens e poços de monitoramento na área de estudo. A linha tracejada localiza a seção geológica representativa da área. O estudo do efeito-maré foi realizado nos poços identificados.

3.2. INVESTIGAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

A investigação hidrogeológica consistiu de duas etapas. Na primeira delas foi realizada a instalação de uma rede de poços de monitoramento e na segunda foram executados os ensaios nos poços, o monitoramento de níveis d'água e amostragem de água subterrânea. A locação dos poços levou em conta o modelo conceitual da geologia local, resultado da investigação geológica, a provável presença de fontes de contaminação e objetivou uma ampla distribuição pela área. A profundidade dos poços foi definida conforme os horizontes de interesse para a investigação.

A Figura 2 traz a localização dos poços de monitoramento e as sondagens por cravação direta. Dois métodos de perfuração foram utilizados para a instalação da rede de monitoramento dividindo a perfuração dos poços em duas fases: na primeira delas foram instalados poços multiníveis com o *hollow stem auger* (trado mecânico de hastes ocas) e na segunda, poços simples foram perfurados com trado manual.

Foram realizados ensaios de permeabilidade (*slug tests*) em boa parte dos poços de monitoramento para medir em campo os valores das condutividades hidráulicas dos horizontes investigados. Para o rebaixamento dos poços foram utilizados amostradores descartáveis (*bailers*) e

para as medidas de nível optou-se por medidores automáticos. O cálculo da condutividade hidráulica foi realizado através do software *Aquifer Test* versão 2.57, da Waterloo Hydrogeologic Inc, utilizando o método de Hvorslev.

Objetivando a definição do comportamento potenciométrico da água subterrânea, os níveis d'água foram monitorados. Os dados obtidos foram utilizados na confecção de mapas potenciométricos, e gráficos de variação de nível d'água para cada camada investigada, possibilitando assim a definição para as direções de fluxo da água subterrânea.

Uma campanha de amostragem de água subterrânea foi efetuada a fim de uma caracterização hidroquímica do aquífero local. Os poços foram amostrados utilizando-se uma bomba de baixa vazão, técnica escolhida por evitar a remobilização de partículas imóveis, que resultaria em sobre estimativa nas análises de parâmetros (Puls & Barcelona, 1996).

A metodologia para amostragem a baixa vazão recomenda que vários parâmetros indicadores da qualidade da água sejam monitorados para determinação do momento em que a água da formação é acessada (idem). Esses parâmetros são: pH, condutividade específica, oxigênio dissolvido, potencial de óxido-redução, temperatura e turbidez. Neste estudo foram monitorados apenas o pH e a temperatura devido à indisponibilidade dos equipamentos necessários para a medição dos demais parâmetros. Como estes são os primeiros indicadores a se estabilizar durante a purga, utilizou-se o monitoramento do rebaiamento do nível d'água e da taxa de bombeamento para determinar a estabilização.

Serão discutidos no presente estudo os dados de condutividade elétrica medidos no laboratório da Estação de Tratamento de Resíduos Industriais da empresa, logo após a amostragem, uma vez que, ao término desta pesquisa, os resultados de análises químicas realizadas em laboratório externo não estavam disponíveis.

3.2.1. Influência do efeito-maré

Hidrogeologicamente, a área de estudo está localizada num aquífero costeiro, no qual é indiscutível a influência das flutuações de maré. Essas flutuações podem gerar, além das variações dos níveis d'água nos aquíferos, alterações na composição química das águas subterrâneas. O alcance desta influência está condicionado a fatores como condutividade hidráulica dos aquíferos e amplitude local de oscilações das marés (Jiao e Tang, 1999). Desta forma, durante o presente estudo, foi realizado um monitoramento para a verificação e qualificação da influência do efeito-maré na área.

Três poços de monitoramento foram utilizados com este intuito: PZ-18, PZ-17 e PM-04A, devido às suas localizações (Figura 2) a distâncias crescentes ao canal de tomada de água da REDUC (24m, 58m e 156m respectivamente), e por estarem instalados no mesmo horizonte estratigráfico, um pacote de areia argilosa. O canal, apesar de ter sido retificado, foi aqui considerado como um corpo hídrico natural por duas razões: seu leito é permeável e está conectado permanentemente à Baía de Guanabara, sofrendo, com retardo, as mesmas oscilações de maré do mar. O retardo foi considerado neste trabalho como desprezível.

A metodologia desta parte do estudo consistiu em medições da carga hidráulica nos poços citados e no canal, simultaneamente através de medidores de nível d'água automáticos, em intervalos de 15 min ao longo de 48 horas.

A caracterização da influência da maré na composição química da água subterrânea foi feita através do monitoramento da condutividade elétrica nos três poços e no canal. Este parâmetro permite avaliar a quantidade de íons dissolvidos na água subterrânea e na água do canal e, portanto, identificar o movimento da cunha salina. Para tanto, amostras foram coletadas em intervalos de hora em hora, durante 12 horas, o que equivale a aproximadamente um período de oscilação da maré. As condutividades elétricas foram medidas em laboratório.

As variações de maré medidas foram utilizadas para calcular os parâmetros hidráulicos do aquífero. Em um aquífero de grande extensão hidraulicamente conectado ao mar, e sem considerar as diferenças de densidade, a amplitude de oscilação da maré em um ponto, segundo Jacob (1950, *in* Custodio e Llamas, 1983) é igual a:

$$\Delta h = \Delta H \exp\left(-\sqrt{\frac{\pi x^2 S}{t_0 T}}\right) \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi t}{t_0} - \sqrt{\frac{\pi x^2 S}{t_0 T}}\right) \quad (1)$$

onde:

Δh = variação do nível d'água em relação a sua posição média;

ΔH = semi amplitude de uma oscilação da maré;

x = distância à conexão entre o aquífero e o mar;

t_0 = período da maré (12 horas e 25 minutos);

S = coeficiente de armazenamento;

T = transmissividade.

O tempo de retardo da chegada da onda a um ponto do aquífero é dado por

$$\Delta t = \frac{x}{2} \sqrt{\frac{t_0 S}{\pi T}} \quad (2)$$

Seguindo estas formulações, os parâmetros armazenamento (S) do aquífero e tempo de retardo foram calculados. A transmissividade (T) foi calculada utilizando dados dos ensaios de permeabilidade, através da fórmula $T = kb$ (Custodio e Llamas, 1983).

Foram confeccionados gráficos com os dados de variação de carga hidráulica para cada poço, comparando suas oscilações com aquela sofrida no nível d'água do canal, o que possibilitou o cálculo do retardo da resposta do aquífero graficamente. Também foram geradas curvas para os dados de condutividade elétrica, a fim de observar alguma correlação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICA

Através dos perfis das sondagens por cravação direta, foi possível construir seções geológicas da área que revelaram importantes aspectos do ponto de vista hidrogeológico, como a complexidade do arranjo estratigráfico e a existência de irregularidades no topo rochoso recoberto por sedimentos. Nestas seções observou-se que a camada de argila orgânica foi a unidade com significativa continuidade lateral, as demais estão ausentes em alguns perfis. Nota-se também a presença de muitas lentes arenosas, tanto em meio à argila orgânica, quanto em meio aos pacotes argilo-arenosos, evidenciando uma intensa interdigitação das unidades, ocasionada pelas sucessivas transgressões e regressões ocorridas durante a deposição de toda a seqüência.

A seção geológica representada na Figura 3 foi construída com base em perfis de sondagens realizadas antes da instalação da fábrica, e pode ser considerada como uma seção representativa da área a partir da comparação com os resultados obtidos com as sondagens mencionadas anteriormente. Sua localização pode ser vista na Figura 2. Segundo esta seção geológica, o embasamento, que foi considerando como englobando tanto rocha sã como solo residual, possui um topo bastante irregular, com presença de morrotes sob os sedimentos locais. Isto constitui uma informação muito valiosa para a definição dos caminhos preferenciais para a água subterrânea, na medida que podem representar barreiras hidráulicas.

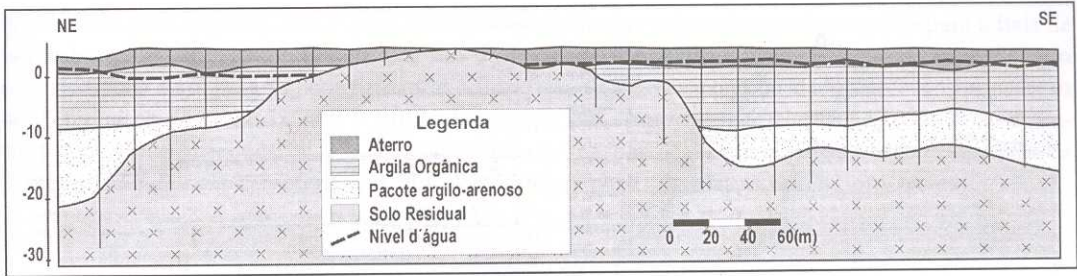


Figura 3 – Seção geológica representativa obtida através de perfis descritivos de sondagens antigas. A figura mostra um morrote vestigial e o arranjo estratigráfico da área de estudo. A linha tracejada representa a superfície do lençol freático e as linhas verticais representam os perfis de sondagens.

Sobre o embasamento, segue-se um pacote areno-argiloso de espessura variando entre 5 e 10 metros. Em seqüência, tem-se uma camada de argila orgânica com espessuras entre 3 e 5 metros, onde ocorrem lentes arenosas. Cobrindo toda a seqüência, à exceção dos locais onde as sondagens encontraram o embasamento logo abaixo da superfície do terreno, tem-se o aterro artificial, cuja espessura média é de 2,5 metros.

Confirmando as conclusões obtidas através da seção geológica da Figura 3, os perfis descritivos das sondagens *direct push* indicam que a estratigrafia da área corresponde à seqüência (da base para o topo): embasamento, solo residual, pacote areno-argiloso, argila orgânica e aterro.

4.2. INVESTIGAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

As médias dos valores de condutividade hidráulica (K) obtidos através do *slug test* foram de $1,63.10^{-4}$ cm/s para os poços localizados no solo residual, $9,61.10^{-6}$ cm/s para os localizados na argila e $8,71.10^{-6}$ cm/s para os poços na areia argilosa.

Esses valores mostram-se bastante próximos aos esperados para os horizontes ensaiados. O solo residual foi o horizonte que apresentou a maior permeabilidade, justificada pela continuidade lateral deste horizonte e pela granulometria com grande participação da fração arenosa.

Os horizontes argila e areia argilosa apresentaram condutividades hidráulicas muito semelhantes. O horizonte areia argilosa reúne um pacote com várias camadas de espessuras e granulometrias variáveis, onde predomina a fração arenosa. O valor médio de condutividade hidráulica calculado para esse pacote, desta forma, apesar de não corresponder a um valor esperado para esse material, reflete suas condições hidráulicas. Há várias lentes arenosas sem conexão em meio a um pacote argilo-arenoso que, desta forma, tem sua permeabilidade reduzida. Outro fator que influencia é a presença de argila, que mesmo em pequenas proporções, leva a uma grande diminuição da condutividade hidráulica.

A Figura 4 mostra gráficos gerados com os dados de monitoramento de nível d'água. Nos poços localizados no solo residual (Figura 4C) nota-se um comportamento mais homogêneo das curvas. Há um pico aproximadamente no dia 27 de maio de 2002, que corresponde a um período chuvoso que ocorreu entre os dias 22 e 26 do mesmo mês. Isso demonstra que esse horizonte, apesar de ser o mais profundo dos estudados, tem uma boa conexão hidráulica com a principal área de recarga e que sua resposta é bem rápida, graças à alta condutividade hidráulica desse material.

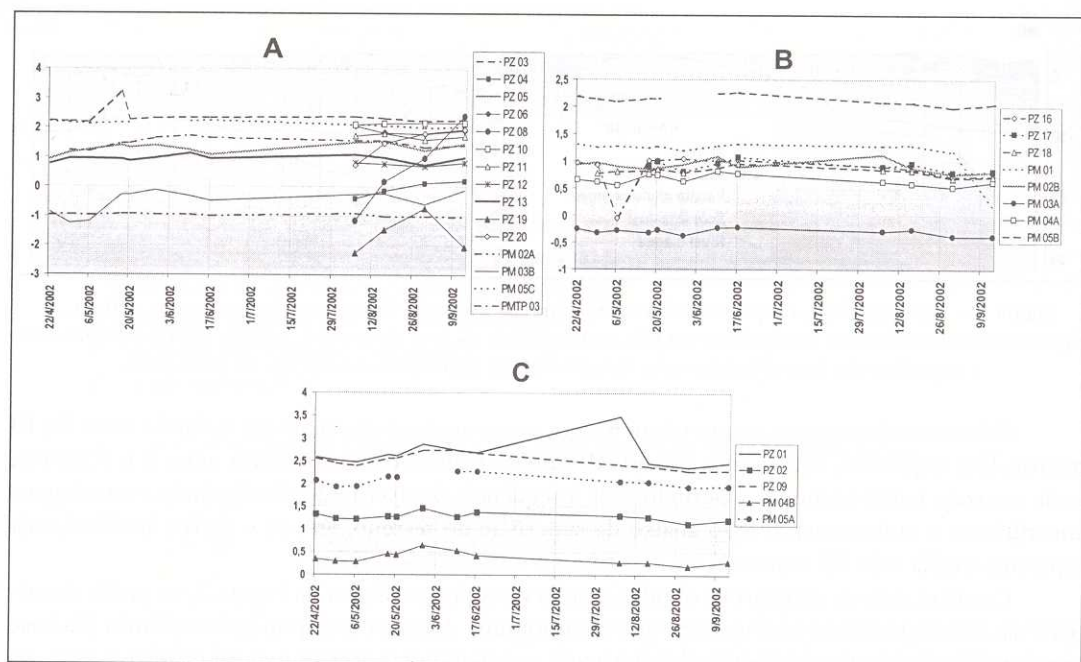


Figura 4 – Variações do nível d'água estático para os poços de monitoramento: A - poços locados na argila, B - poços locados no pacote de areia argilosa e C - poços locados no solo residual.

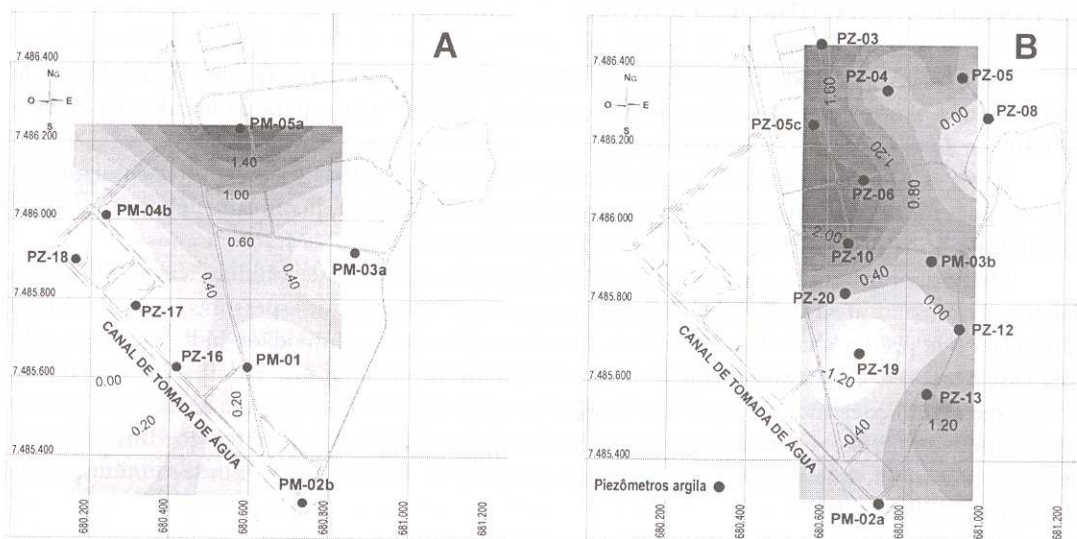


Figura 5 – Mapas potenciométricos confeccionados a partir de níveis d'água medidos no dia 06/08/2002: A - horizonte areia argilosa, B - argila. As unidades das cotas de nível d'água estão em metros tem como referência o nível do mar.

Fazendo a mesma comparação para os gráficos dos dados de nível d'água medidos para os poços na argila (Figura 4A) e areia argilosa (Figura 4B), observa-se que ambos não tem uma boa resposta à recarga do aquífero. Isso já era esperado dado que seus valores de condutividade hidráulica são muito semelhantes, e relativamente baixos.

A Figura 5 mostra, como exemplo, os mapas potenciométricos construídos com base em medições de nível d'água do dia 06/08/2002, para os horizontes areia argilosa (Figura 5A) e argila (Figura 5B). O comportamento observado nos dois casos é constante ao longo do período monitorado.

No caso da areia argilosa, as direções de fluxo são definidas e apontam para o canal e para a Baía de Guanabara. Os altos potenciométricos são o Morro do Mosquito e uma elevação da superfície do embasamento a sul da área, confirmando a importância dessas irregularidades no comportamento hidrodinâmico deste horizonte. A argila demonstra um comportamento caótico, com fluxo apontando em várias direções, resultante da sua baixíssima permeabilidade, o que torna impossível a compreensão de suas características hidrodinâmicas a partir de mapas potenciométricos.

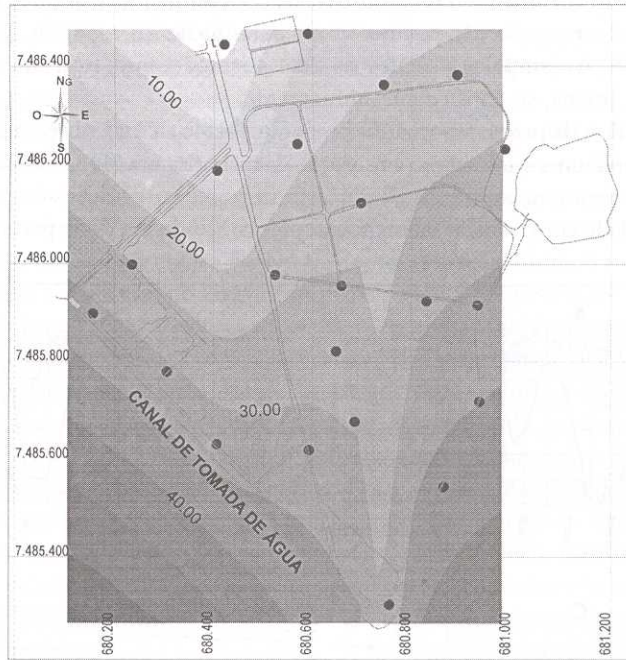


Figura 6 – Mapa de condutividade elétrica para a área de estudo. Os valores estão em mS/cm e os pontos representam a localização dos poços medidos.

Com os dados de condutividade elétrica medidos em laboratório após a amostragem foi possível elaborar um mapa de condutividade, que mostra curvas de isovalores para esse parâmetro (Figura 6). Sua observação demonstra que as áreas com maiores condutividades são o canal de tomada de água que limita a sudoeste a área de estudo, e o manguezal na porção sudeste. Como a condutividade elétrica reflete a quantidade de íons dissolvidos na água, esse resultado aponta as áreas mais salinas, sendo esse comportamento esperado, visto que o canal está ligado à Baía de Guanabara, e o manguezal é inundado periodicamente pela maré. A área com menor condutividade coincide com o Morro do Mosquito, onde a água subterrânea tem maior influência da água da chuva.

4.2.1. Influência do efeito-maré

O monitoramento da influência do efeito-maré mostrou que suas oscilações puderam ser sentidas até aproximadamente 100 metros de distância a partir do canal artificial monitorado (Braga et al, 2002). As Figuras 7A, 7B, 7C mostram os gráficos de oscilação do nível d'água para os poços PM-04A, PZ-17 e PZ-18. Nos dois últimos casos há oscilação nos poços em resposta ao efeito da maré. No poço PM-04A, porém, esta resposta não se manifesta devido possivelmente à atenuação da influência com a distância, já que este é o poço mais distante do canal.

Utilizando-se os valores obtidos para a condutividade hidráulica e convertendo-os para a transmissividade correspondente à espessura do aquífero em questão, obtém-se uma média de $6,1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{dia}$ para o aquífero.

Com os valores de transmissividade, as distâncias (x) entre os pontos de observação e o canal, as semi-amplitudes de oscilação medidas nos poços (ΔH_p) e no canal (ΔH_c), e o período de maré (t_p), obtiveram-se os coeficientes de armazenamento (S) para cada poço através da equação (1). Os valores obtidos para os poços PZ-17 e PZ-18 foram de $9,1 \times 10^{-6}$ e $3,2 \times 10^{-5}$, respectivamente. Não foi possível calcular o armazenamento para o poço PM-04A, pois este não manifestou uma resposta à oscilação da maré.

Calculando-se graficamente o tempo de retardo, obtém-se 4h e 30min para os poços PZ-17 e PZ-18. Utilizando-se a equação (2), obteve-se um retardo de 4h e 38min, para o PZ-17, e 5 h e 42min, para o PZ-18. A comparação entre os dois resultados mostrou uma grande proximidade entre eles que, desta forma, se confirmam mutuamente.

Através da análise da pequena variação da condutividade elétrica observada nos três poços não é possível estabelecer nenhuma relação com a oscilação da maré (Figura 7D). Contudo, os valores observados para o canal mostram uma influência da descarga do aquífero, evidenciada por um decréscimo dos valores de condutividade com o início da maré vazante, às 12h do dia do experimento.

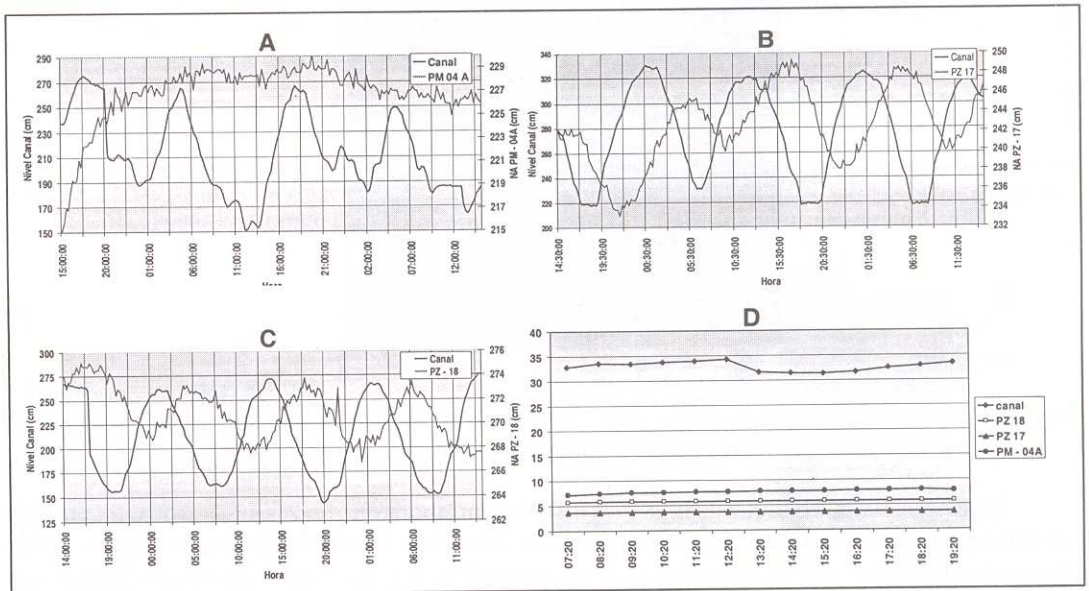


Figura 7 – Gráficos de oscilação do nível d'água para os poços PM-04A (A), PZ-17 (B), PZ-18 (C) e para o canal. D -Variações da condutividade elétrica para os poços PZ-17, PZ-18 e PM-04A e para o canal durante o experimento.

As variações da condutividade elétrica no canal artificial ocorreram num intervalo entre 30 e 35 mS/cm, ao passo que a água do mar tem uma média de aproximadamente 50 mS/cm. Já nos poços este intervalo fica entre 4 e 8 mS/cm.

5. CONCLUSÕES

A investigação geológica permitiu concluir que a estratigrafia da área é bastante complexa, característica de áreas de manguezal. O arranjo estratigráfico é caracterizado por uma seqüência de pacotes areno-argilosos, composto por camadas areno-argilas interdigitadas por lentes arenosas, sob uma camada contínua de argila orgânica. Essa seqüência foi depositada sobre um embasamento de superfície bastante irregular. Cobrindo toda a área, exceto na elevação constituída pelo Morro do Mosquito, há um aterro artificial. As camadas apresentam, de um modo geral, uma maior continui-

dade lateral na direção da Baía de Guanabara, por conta das transgressões e regressões marinhas que deram origem ao pacote sedimentar.

As condutividades hidráulicas obtidas para os três horizontes de interesse foram condizentes com os materiais constituintes, mostrando que o planejamento e instalação dos poços, bem como a execução dos ensaios de permeabilidade foram realizados de maneira satisfatória.

O monitoramento do nível d'água possibilitou a caracterização do comportamento hidráulico dos horizontes investigados. O solo residual mostrou uma boa conexão com a principal área de recarga, o Morro do Mosquito, evidenciada por sua rápida resposta às chuvas durante o monitoramento. Já a areia argilosa e a argila, não tem uma resposta clara, devido às suas baixas condutividades hidráulicas.

As direções principais do fluxo da água subterrânea são para a Baía de Guanabara e para o canal de tomada de água. O solo residual apresentou um comportamento de fluxo mais definido, com direção radial a partir do Morro do Mosquito. Os demais horizontes têm características mais heterogêneas, influenciadas fortemente pelas baixas condutividades, e pela variação da maré. As irregularidades no topo do embasamento funcionam como barreira hidráulica para o fluxo da água subterrânea, como pôde ser observado através do mapa potenciométrico para o horizonte arenoso.

As condutividades elétricas medidas apontam para uma influência hidroquímica da água da Baía de Guanabara na área de estudo, através do canal e da inundação periódica pelas marés.

A oscilação das marés apresenta grande importância no regime de fluxo subterrâneo numa região costeira como a área de estudo. A influência das flutuações de maré no comportamento da água subterrânea nas imediações do canal que margeia a área industrial evidencia esse fato. No entanto as observações das variações hidroquímicas (condutividade elétrica) não foram eficazes para demonstrar esse tipo de influência, ao contrário do obtido com o mapa de condutividade elétrica da área de estudo, construído com as medidas de condutividade elétrica de todos os poços.

O estudo da oscilação dos níveis piezométricos em função da maré permitiu uma boa estimativa dos parâmetros hidráulicos do horizonte areia argilosa. Esse pacote foi considerado como constituinte do aquífero semi-confinado a confinado, com um coeficiente de armazenamento da ordem de 10^{-5} .

7. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Petroflex Ind. Com. S/A pelo apoio financeiro e logístico na realização deste trabalho.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMADOR, E. S. 1999. I – Evolução Geológica dos manguezais da Baía de Guanabara. *Palestra Técnica*, Rio de Janeiro: CREA-RJ. 10p.
- BRAGA, C. E.; LAGE, I. C.; ZULIAN, M.T. C.; SILVA Jr., G. C.; PEDROSO, A. G. Analysis of groundwater flow and contaminant behavior in an industrial coastal area in Brazil. *In: 4th International Congress on Environmental Geotechnics*, Rio de Janeiro: Swets & Reitlinger, 2002b. 709-712p.
- BRAGA, C. E.; LAGE, I. C.; SILVA Jr.; FREITAS, A. F. D.; BENTO, E. S., 2002b. O Comportamento hidroquímico e hidrodinâmico de aquífero sob influência do efeito-maré. *In: Congresso Nacional de Águas Subterrâneas, XII, 2002, Florianópolis*. Dream Multimedia. Florianópolis: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2002. Disponível em 1 CD.
- BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Construção de poços de monitoramento e amostragem*, NBR 13895, Rio de Janeiro, 1997. 21p.
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, R. *Hidrologia subterrânea*. Ed Omega, Barcelona, v.2, 2189 p. 1983.
- FALCÃO, C. M. Projeto de Rede de Monitoramento das Águas Subterrâneas da Petroflex. Relatório Interno Petroflex Indústria e Comércio S.A., Duque de Caxias, 1999.

- JIAO, J. J. & TANG, Z. An analytical solution of groundwater response to tidal fluctuation in a leaky confined aquifer, *Water Res. Research* (35): 3, 1999.
- LECOMTE, P.; & MARIOTTI, C. *Handbook of diagnostic procedures for petroleum-contaminated sites: (Rescopp Project, EU13)*. Chichester: John Wiley & Sons, 1997. 188p.
- LAGE, I. C. 2002. Caracterização geológica e hidrogeológica de uma área de manguezal em indústria petroquímica. 104p. (Monografia, Graduação em Geologia – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro).
- PULS, R. W. & BARCELONA, M. J. Low-Flow (Minimal Draw Down) Ground Water Sampling Procedures. *EPA Ground Water Issue* EPA/ 540/5-95/504, p.1-12, abril 1996.