

MONITORAMENTO DE SUBSIDÊNCIAS DO TERRENO DEVIDO A EXPLORAÇÃO DE AQUÍFERO CARSTICO.

CARLOS AURÉLIO NADAL (*)
EDUARDO RATTON (*)
ERNANI FRANCISCO DA ROSA FILHO (**)
DONIZETI ANTONIO GIUSTI (**)
ANDRÉ VIRMOND DE LIMA BITTENCOURT (**)
KATIA APARECIDA JULIANO (***)

(*) Professor do Departamento de Geociências da UFPR.

(**) Professor do Departamento de Geologia da UFPR.

(***) Perito Criminal do Instituto de Criminalística, Governo do Estado do Paraná.

RESUMO

Neste trabalho serão descritos sucintamente alguns métodos e técnicas utilizados no monitoramento e controle de subsidências, ocorridas no Município de Almirante Tamandaré, Região Metropolitana de Curitiba, oriundas do bombeamento de águas subterrâneas de poços artesianos. Os dados observacionais utilizados foram coletados durante os anos de 1993 e 1994, com métodos geodésicos de alta precisão, após reduzidos foram analisados através de métodos de modelo digital do terreno. Os resultados obtidos demonstram a necessidade de monitoramento do terreno em regiões densamente habitadas, quando da necessidade de extração de água subterrânea para o abastecimento de populações.

ABSTRACT

In this work some methods and technics used in monitoring vertical displacements observed in Almirante Tamandaré-Brazil are described. The reason of this fact is the exploration of artesian water in the region. The observational data are obtained during the years 1993 and 1994 by use of geodetic measurement's method. The results are demonstrated that

this kind of control are fundamental in the regions for exploration of artesian water.

1. INTRODUÇÃO.

Os trabalhos de monitoramento de deslocamentos do terreno e controle sistemático da evolução de trincas foram iniciados logo após o aparecimento de fissuras e rachaduras nas edificações situadas nas proximidades dos poços artesianos perfurados e colocados em funcionamento na cidade de Almirante Tamandaré, Região Metropolitana de Curitiba. Para os trabalhos referentes a este monitoramento a Companhia de Saneamento do Paraná, contratou os autores como consultores a partir de maio de 1993.

A opção pelo controle vertical dos deslocamentos, deu-se por motivos econômicos, e pela expectativa de que os deslocamentos horizontais não fossem significativos. A ordem de grandeza dos deslocamentos verticais envolvidos, após um primeiro estudo, mostrou-se da ordem de centímetros, o que sugeriu a aplicação do método de nivelamento geométrico de visadas iguais de alta precisão.

Com a expectativa de correlacionar-se os resultados obtidos, monitorou-se ainda a vazão, o nível dinâmico dos poços produtivos

e o nível estático dos poços improdutivos, além do nível de piezômetros da região do acidente.

Os dados foram coletados entre os anos de 1993 e 1994 sendo os desníveis medidos semanalmente, enquanto que as vazões e os níveis dinâmicos e estáticos foram observados diariamente em intervalos de 12 horas.

Neste trabalho apresenta-se, além da descrição dos métodos de medições empregados, a análise dos resultados obtidos nestes dois anos de monitoramento.

2. METODOLOGIA EMPREGADA NO CONTROLE VERTICAL DOS DESLOCAMENTOS

2.1 Escolha e implantação dos pontos topográficos nas edificações e no terreno.

Uma das grandes dificuldades impostas nos monitoramentos reside na escolha de pontos que representem amostralmente os deslocamentos. Com esta premissa, implantou-se marcos de concreto denominados de referências de nível (Rns), nas proximidades das edificações afetadas. Em cada edificação foram colocados pelo menos três pinos de cobre, engastados nas fundações ou em paredes verticais.

A cerca de 2km do local do acidente, localizado ao lado da via férrea que liga esta cidade a Curitiba, foi implantado um marco de referência, considerado, este um ponto sem movimento e ligado ao restante do levantamento.

Na carta apresentada na parte superior da página seguinte são mostrados as localizações dos marcos e das edificações afetadas e monitoradas.

2.2 Método e técnica empregada no monitoramento dos deslocamentos verticais

A medição da diferença entre altitudes ou diferença de níveis entre pontos topográficos pode ser efetuada com altíssima precisão por métodos geodésicos. Dentre estes, o método do nivelamento geométrico das visadas iguais foi o escolhido. Este consiste, basicamente, na diferença entre leituras efetuadas em duas miras graduadas colocadas na vertical em pontos de interesse, equidistantes do centro do instrumento denominado de nível topográfico. A horizontalização do eixo óptico de sua luneta deste instrumento é obtida pela associação em paralelo de um nível tubular graduado de alta sensibilidade, no qual um desvio de 2mm do centro bolha do nível em relação ao centro do tubo de vidro corresponde a uma inclinação de 30 segundos de arco do eixo óptico em relação ao horizonte.

Utilizam-se miras graduadas semi-centimétricas, isto é, com gravações equiespaçadas de 5mm, as quais foram previamente calibradas no Laboratório de Aferição da Universidade Federal do Paraná, gerando uma lista de correções para cada traço, e que efetivamente foram usadas nas reduções dos dados.

Os níveis topográficos utilizados eram aferidos antes de cada medição, garantindo-se o desempenho instrumental dentro do erro teórico esperado.

Para o levantamento geodésico foram definidos um circuito principal, o qual era composto de 16 marcos de concreto e de 33 pinos engastados nas construções avariadas e um circuito de apoio que liga o circuito principal ao marco de referência. Os trabalhos repetiam-se semanalmente no circuito principal e bimestralmente no circuito de apoio. O procedimento técnico seguindo as diretrizes da norma técnica brasileira de geodésia, permitia uma diferença entre as distâncias do nível topográfico às miras no máximo igual a 1m. Com esse procedimento eliminou-se os erros sistemáticos devido à curvatura das equipotenciais, à refração atmosférica e a colimação vertical do nível. Para medir a distância entre as gravações das miras e o fio nivelador do retículo usou-se no nível topográfico um acessório constituído de uma placa plano-paralela óptica, associada a um

parafuso micrométrico que permite a leitura do centésimo do milímetro indiretamente. O erro máximo admitido como erro de fechamento do circuito principal foi de $\pm 2\text{mm}$ de diferença de nível em cada quilometro de levantamento com base no que prescreve a norma brasileira Pr-22 do FIBGE de 1983.

Como as ruas onde situa-se o acidente, em sua maioria, não possuem pavimentação, e como não é possível a medida direta dos desníveis entre os marcos, os trechos foram subdivididos, sendo então as miras nestes trechos colocadas sobre sapatas metálicas móveis.

Após a medição semanal os dados eram reduzidos e os circuitos ajustados pelo método dos mínimos quadrados.

2.3 Medições das vazões e dos níveis dinâmico e estático dos poços.

As vazões foram medidas por hidrômetros colocados adaptados na saída das canalizações de bombeamento dos poços em funcionamento e seus valores em unidades de metros cúbicos por hora, anotados duas vezes ao dia, as 6h e as 18h. Para efeito de análise foram calculadas as vazões médias diárias, vazões médias semanais e mensais.

Para medir-se os níveis dinâmicos e estáticos dos poços e piezômetros utilizou-se um multímetro ligado por fios condutores a uma trena de fibra de vidro. No extremo da trena que coincide com o extremo dos fios foi colocado uma massa de chumbo para que o conjunto fique rigidamente esticado.

Quando o conjunto trena mais fios é colocado no interior dos poços, de forma lenta, através de aberturas de inspeção, o terminal negativo penetra na água do poço, quando o terminal positivo (que se encontra fixado na origem da graduação da trena) toca a superfície da água, nota-se passagem de corrente no indicador do multímetro, o qual previamente foi selecionado para a posição de resistômetro. Os resultados foram obtidos diariamente em conjunto com as medidas de vazões e sofreram processos semelhantes de redução.

2.4 Medição da evolução de trincas e fissuras nas edificações.

Ao mesmo tempo em que se mediam os desníveis entre marcos e pinos nos circuitos principais, mediam-se também a amplitude das fissuras. O procedimento adotado foi o de decompor um determinado trecho de uma fissura em componentes horizontal e vertical.

Pequenos pinos de aço foram utilizados, sendo fixados de cada lado das fissuras segundo as componentes escolhidas. Com o uso de paquímetro media-se a distância entre os pinos, observando-se sua separação ao longo do tempo.

3.0. RESULTADOS OBTIDOS.

3.1 Monitoramento vertical do terreno

Após a aplicação de tratamento de erros acidentais nos circuitos de levantamentos pelo método do nivelamento geométrico de alta precisão passou-se a acumular os dados semanais, sendo suas análises apresentadas mensalmente em relatórios técnicos. Por uma casualidade tivemos a oportunidade, logo após o início dos trabalhos durante o mes de maio de 1993, dectarmos um dos movimentos mais significativos do terreno, da ordem de 35mm no período de 18 semanas, tendo na seqüência uma estabilização. Na figura abaixo, ilustramos a variação de altitude de um dos marcos implantados na região, durante todo o período de observação, nele aparecem os fatos acima descritos. Pode-se notar também nesse gráfico que existem flutuações na altitude da ordem de até 2.5 mm, parecendo a primeira vista que o marco elevar-se-ia, explica-se, no entanto, com os erros observacionais acumulados, o que na verdade é esperado a partir da metodologia empregada, que prevê um erro de 2,00mm a cada Km levantado.

Com base na variação da altitude de todos os marcos implantados, modelamos através de modelos digital do terreno as subsidências verticais medidas. O processo de interpolação utilizou o método da crigagem, e resultou uma carta de isocurvas de iguais

deslocamentos, que é mostrada em página anterior em conjunto com a carta de localização dos marcos. É interessante observa-se que esta carta permite uma interpretação dos locais afetados em conjunto com a geologia da região permite uma previsão dos outros locais onde as obras poderão sofrer avarias.

3.2 Monitoramento vertical das construções

Após a redução das variações das altitudes dos pinos de controle implantados nas construções afetadas, e a continua medição da amplitude das fissuras, os dados acumulados permitiram além de um estudo global, um de cada local isoladamente.

Na figura 02 mostramos em forma de carta de isocurvas os deslocamentos verticais medidos numa das residências afetadas, na qual funciona o Cartório Distrital do Município. Esta figura foi gerada por observações de variação de altitude de quatro pinos engastados nas paredes verticais. Nota-se que deslocamentos locais da ordem de até 75 mm foram observados no período de dois anos.

Na figura 03 mostramos as isoaberturas de dez fissuras monitoradas

simultaneamente com as mostradas na figura anterior. Essas duas figuras quando analisadas simultaneamente, permitem visualizar como foi o comportamento de ruptura da residência, o que efetivamente foi comprovado no local.

3.3 Monitoramento da vazão, nível dinâmico e nível estático dos poços

A coleta de dados referente a este monitoramento tornou-se volumosa, o que fez com que inicialmente fossem adotados os valores das médias diárias, semanais para uma análise compatível com os levantamentos anteriores. Mostra-se na figura 04 os resultados obtidos durante todo o período do nível dinâmico e vazão. Esclarecemos que os valores no nível dinâmico referem-se a altura do nível de água em relação a um marco de referência colocado na proximidade dos poços. Assim pode-se observar que a um aumento de vazão corresponde no gráfico a um aumento do nível dinâmico que por sua vez corresponde a um rebaixamento do nível de água no poço. Na figura 05 mostra-se a variação do nível estático de um piezometro localizado na proximidade dos poços.

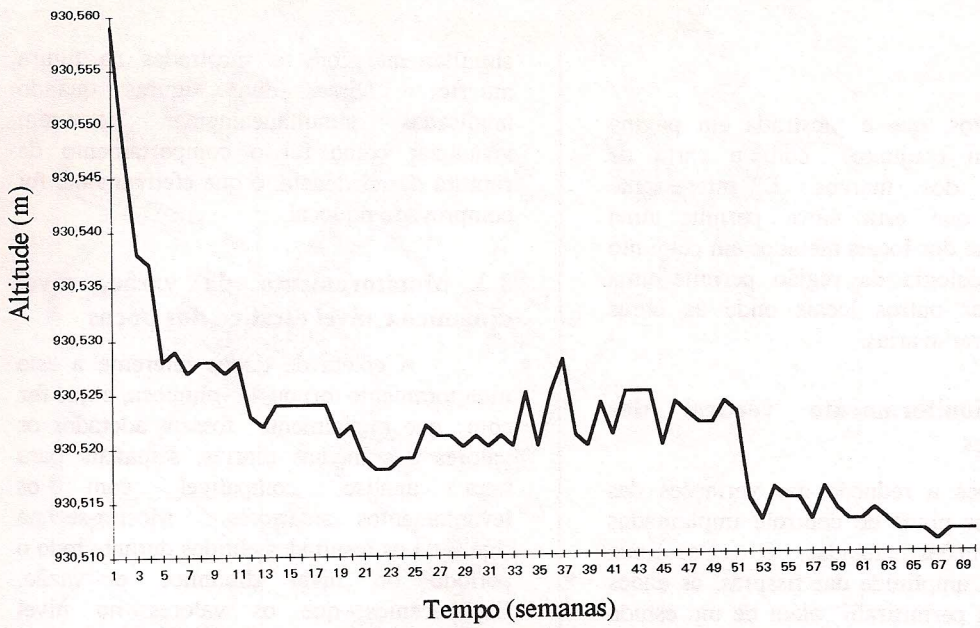


Figura 01- Variação da altitude do marco RNPO durante os anos 1993-1994.

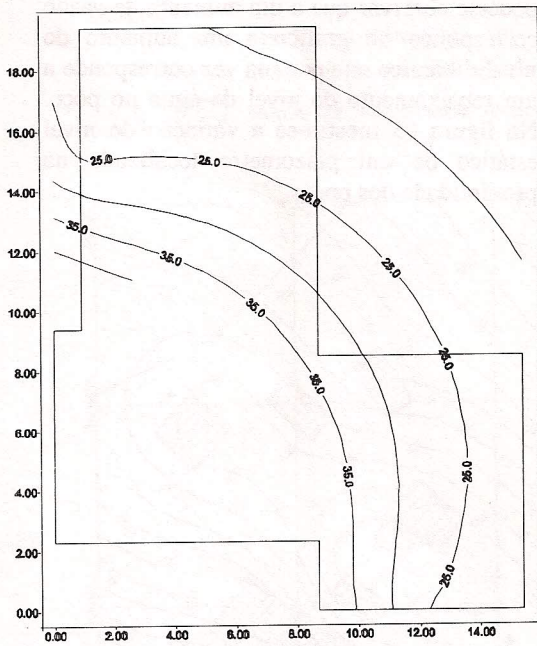


Figura 02- Isocurvas de deslocamentos

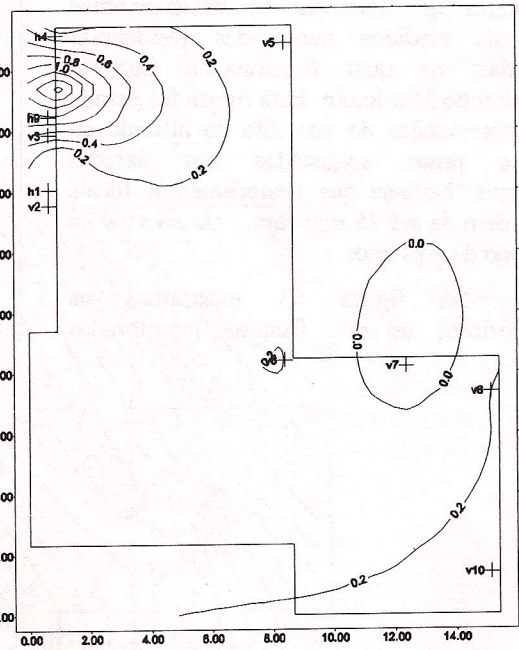


Figura 03 - Isoaberturas de fissuras verticais.

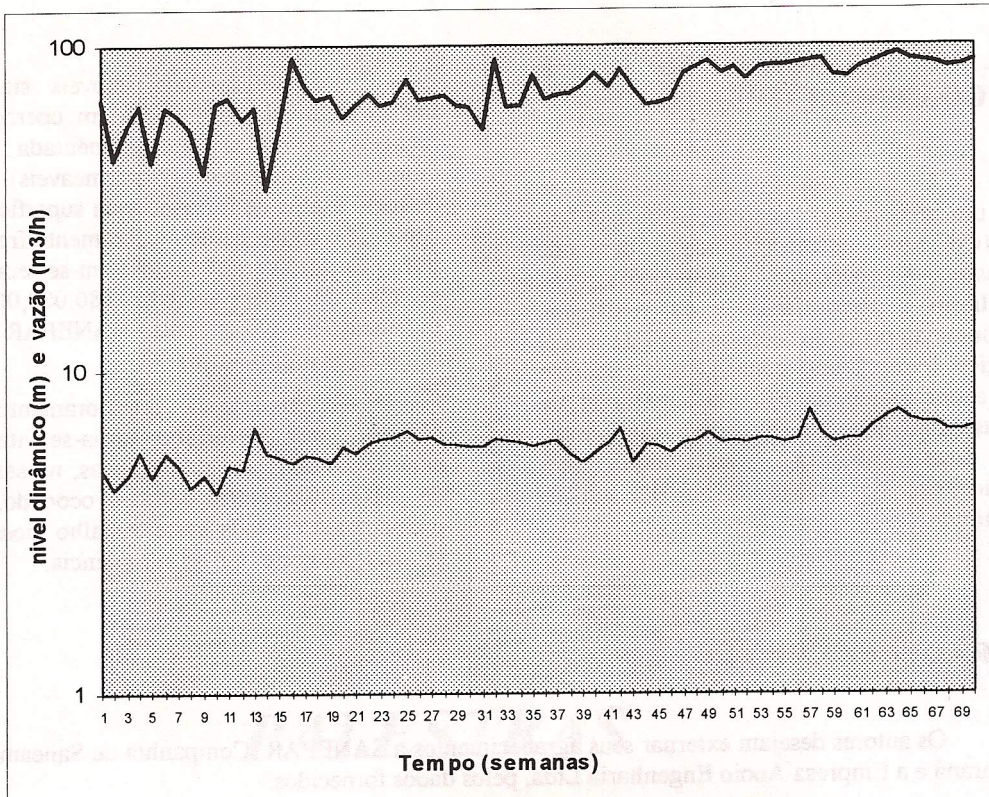


Figura 04 - Variação do nível dinâmico e da vazão do poço 09.

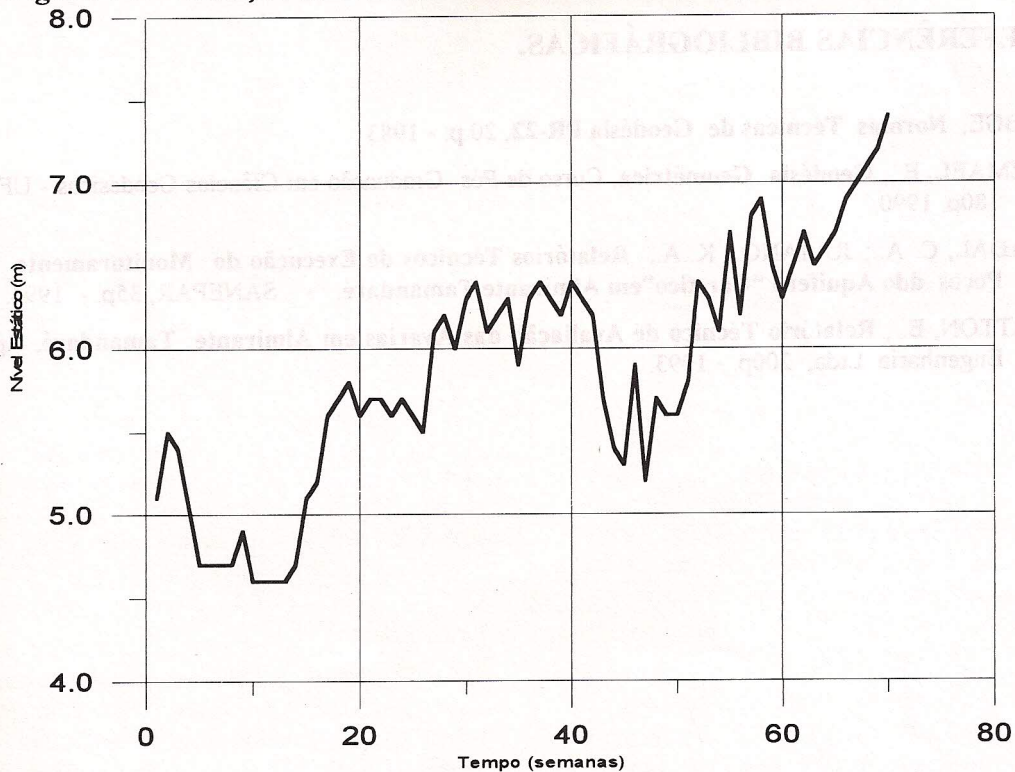


Fig. 05: Variação do nível estático em piezômetro durante os anos de 1992-1994

4.0. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O caso apresentado caracteriza-se por um problema de exploração de aquífero cárstico, semi-confinado, onde a demanda excessiva provocou modificações no equilíbrio piezométrico do sistema, ocasionando o rápido rebaixamento do lençol freático livre. Como consequência, ocorreu um adensamento da camada superficial de metassedimentos, por exclusiva diminuição da pressão neutra, traduzindo-se em subsidências do terreno de até 4,0 cm de amplitude.

Na continuidade imóveis situados nas proximidades dos poços em operação e inclusos na região compartimentada pelos diques de diabásio (impermeáveis) que definem a área de influência da superfície de depleção e consequente rebaixamento freático livre. Essas avarias traduziram-se em um prejuízo da ordem de US\$ 180.000,00 em indenizações pagas pela SANEPAR aos respectivos proprietários

O controle e monitoramento de deslocamentos do terreno, torna-se vital na exploração de águas subterrâneas, no sentido de prevenir acidentes como o ocorrido. A metodologia adotada neste trabalho mostrou-se ideal para este tipo de subsidência.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam externar seus agradecimentos a SANEPAR Companhia de Saneamento do Paraná e a Empresa Apoio Engenharia Ltda, pelos dados fornecidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

FIBGE, Normas Técnicas de Geodésia PR-22, 20 p. - 1983

GEMAEL, E. , Geodésia Geométrica, Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas - UFPr - 180p. 1990.

NADAL, C. A.; JULIANO, K.A., Relatórios Técnicos de Execução do Monitoramento dos Poços do Aquífero "Cárstico" em Almirante Tamandaré. - SANEPAR, 35p. - 1994.

RATTON, E. , Relatório Técnico de Avaliação das Avarias em Almirante Tamandaré, Apoio Engenharia Ltda, 200p. - 1993.