

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE

TÍTULO: RESULTADOS PRELIMINARES DA ESTIMATIVA DE SUBSIDÊNCIA NA PLANÍCIE DE RECIFE COM USO DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

¹Rejane Luna; ¹Jaime Cabral; ²Silvio Garnés; ²Jaime Mendonça

RESUMO – Estudos hidrogeológicos revelam que nas últimas 5 décadas houve um rebaixamento da superfície potenciométrica do manancial hídrico, da ordem de 50 m, em grande parte da planície recifense, devido à excessiva exploração das águas subterrâneas da Região Metropolitana do Recife. A recarga natural do aquífero, proporcionada pelas precipitações pluviométricas, apresenta-se deficitária uma vez que a superfície urbana da cidade encontra-se impermeabilizada por pavimentações, calçamentos e ainda construções civis. Uma das conseqüências do rebaixamento do nível da água é o fenômeno, mundialmente investigado, conhecido como subsidência. Em aquíferos sedimentares porosos, o bombeamento do fluido reduz a pressão dos poros que ajudam a suportar as camadas subjacentes do solo. Essa redução de pressão dos poros é conseqüência direta da diminuição do nível da água. Métodos geodésicos, para quantificar a deformação vertical do solo, devido à retirada de águas subterrâneas, têm sido utilizados em registros do fenômeno avaliado em todo o mundo, dentre os quais, recomenda-se o nivelamento geométrico de alta precisão, em pontos distribuídos ao longo da área sujeita aos movimentos do solo, compondo, assim, uma rede de monitoramento de subsidência. Através da comparação das alturas desses pontos, realizados em diferentes épocas, pode-se ter um indício de estimativa para quantificar o fenômeno.

ABSTRACT - Hydrogeological studies reveal that in the last five decades there has been a lowering of the potentiometric surface of the water sources, approximately 50 m, in lowland Recife, due to excessive exploitation of groundwater in Recife Metropolitan Region. The natural recharge of the aquifer, provided by rainfall, presents a deficit since the surface of the town is sealed by paving, sidewalks and even civil constructions. One consequence of lowering the water level is the phenomenon investigated worldwide, known as subsidence. In porous sedimentary aquifers, the pumping of fluid reduces the pressure of the pores which help support the overlying layers of soil. This reduction in pore pressure is a direct consequence of the decrease in water level. Geodetic methods to quantify the vertical deflection of the soil, due to the removal of ground water, have been used in records evaluated phenomenon around the world, and among them it is recommended that the leveling precision at points distributed along the area subject to the movements of the soil, forming thus a monitoring subsidence network. By comparing the heights of these points, at different times, one can have an estimation to quantify the phenomenon.

Palavras-Chave – subsidência, superfície potenciométrica, exploração de água subterrânea.

¹ Universidade Federal de Pernambuco – Centro de Tecnologia e Geociências – Departamento de Engenharia Civil – Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil .

² Universidade Federal de Pernambuco – Centro de Tecnologia e Geociências – Departamento de Engenharia Cartográfica – Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

INTRODUÇÃO

Um dos problemas que compromete a sustentabilidade do uso de água subterrânea é o risco de subsidência do solo que precisa ser analisado com cuidado para prevenir ou mitigar prejuízos em edificações e pavimentos. Uma das causas de subsidência do solo é a retirada de fluido de vazios subterrâneos (poros ou cavidades). Nos grandes centros urbanos e em áreas destinadas à agricultura e às atividades industriais, a exploração demasiada de água subterrânea, que resulta num ritmo de extração superior à capacidade de recarga, constitui a causa mais comum de subsidência, como pode ser observado na grande quantidade de registros do fenômeno em todo o mundo. A discussão sobre os mecanismos de ocorrência indica a necessidade de maior investigação sobre o tema, para o desenvolvimento de ferramentas de previsão e simulação de cenários, de estratégias de monitoramento e de técnicas de mitigação do problema.

Estudos afirmam que, nos últimos 20 anos, em virtude das severas estiagens ocorridas no estado de Pernambuco, comprometendo a oferta de água dos mananciais superficiais, intensificou-se a prática de exploração de aquíferos, acarretando um rebaixamento da superfície potenciométrica em alguns locais, o que pode provocar a subsidência do solo a médio e longo prazo.

Este trabalho tem por objetivo analisar a correlação entre o rebaixamento da superfície potenciométrica da planície de Recife e a possível subsidência do solo, em uma rede de pontos de monitoramento, através de métodos geodésicos de medição de alturas, em particular o nivelamento geométrico de alta precisão.

1.0 RISCOS DE SUBSIDÊNCIA

Segundo Cabral *et al.*(2006), considerando as demandas existentes e a disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos é necessário realizar a gestão adequada desses recursos para que a captação da água do aquífero seja realizada de forma compatível com a capacidade de recuperação do mesmo. Caso contrário é necessário avaliar os riscos geotécnicos resultantes da exploração dessa área. A exploração da água subterrânea pode ser considerada demasiada quando provoca danos ao meio ambiente ou para o próprio recurso, como aumento nos custos de bombeamento, escassez de água, inundação de água contaminada e problemas geotécnicos de subsidência.

Galloway & Burbey (2011) afirmam que, a subsidência é um fenômeno sutil que pode ser observado pelo movimento do solo através de deformações e falhas. As deformações provocadas por deslocamentos verticais e horizontais são os principais riscos associados à retirada de águas

subterrâneas. Sendo assim, o controle geodésico, além de modelos matemáticos (simulações), são importantes para avaliar esses riscos e estabelecer previsões futuras.

Ainda de acordo com os mesmos autores, para o estudo da subsidência geralmente são implantados bench marks através de nivelamentos de primeira ou segunda ordem.

De acordo com Tusat *et al.*(2010), a subsidência é um dos riscos, em potencial, que possam surgir como resultado de serem retiradas quantidades excessivas de água subterrânea. Deslocamentos verticais da ordem de 12 a 52mm, foram observados, através de métodos geodésicos, na bacia de Konya na Turquia, durante os últimos 40 anos. O fenômeno de subsidência nessa região tem sido observado em áreas onde a água subterrânea tem sido intensivamente utilizada na irrigação e para uso diário das comunidades.

2.0 MECANISMOS DA SUBSIDÊNCIA

A subsidência é um fenômeno de rebaixamento da superfície do terreno devido a alterações ocorridas nas camadas subterrâneas, ou seja, redução do nível do terreno devido à remoção de suporte subterrâneo.

Do ponto de vista do mecanismo causador da subsidência do solo, segundo Mingnorange (2000), pode-se subdividir as ocorrências em cinco grupos, devido à:

- 1- hidrocompactação,
- 2- dissolução de rochas e sais,
- 3- extração de água subterrânea,
- 4- extração de petróleo ou gás e
- 5- atividade mineira.

O grupo 3 associado à extração de águas subterrâneas constitui o objetivo do presente trabalho.

A subsidência devido à extração de água subterrânea em aquíferos sedimentares porosos é resultante do bombeamento do fluido que reduz a pressão dos poros que ajudam a suportar as camadas subjacentes do solo. Essa redução de pressão dos poros é consequência do rebaixamento do nível da água.

Os aquíferos consistem em unidades geológicas saturadas que contém poros ou espaços abertos e permitem o fluxo de água entre eles. Podem ser constituídos tanto por rochas duras

compactas (rochas ígneas e metamórficas), como por rochas sedimentares não consolidadas (areias e cascalhos) e de maior consistência (calcários). Junto com a condutividade hidráulica e o coeficiente de armazenamento, a porosidade constitui um dos principais parâmetros envolvidos no fluxo em meio contínuo.

A ocorrência de subsidência em aquíferos sedimentares geralmente afeta grandes áreas, e compreende a forma mais extensa e custosa de subsidência, a nível mundial. O mecanismo de subsidência que ocorre em aquíferos sedimentares devido à exploração dos recursos hídricos subterrâneos é de fácil compreensão quando se considera que num cubo de solo, em que atua constantemente uma carga geostática, vale o Princípio das Tensões Efetivas - PTE proposto por Terzaghi (1925), apresentado na equação (1):

$$\sigma'_{ij} = \sigma_{ij} - \delta_{ij} p \quad (1)$$

onde:

σ'_{ij} é uma componente do tensor de tensões efetivas;

σ_{ij} é uma componente do tensor de tensões totais;

δ_{ij} é a função Delta de Kronecker; e

p é a pressão no poro com fluido.

O PTE constitui o elo entre a exploração de água subterrânea e o fenômeno de subsidência. Dentro do aquífero a pressão neutra u , ou seja, a pressão no poro preenchido com água equivale à carga hidráulica. Quando a água é explorada do aquífero, a carga piezométrica e a pressão neutra diminuem e a tensão efetiva no aquífero aumenta, uma vez que a pressão total permanece constante. Isso é esquematizado na Figura 1, onde num determinado ponto P dentro do aquífero, antes do bombeamento, o solo está sujeito às tensões iniciais (σ_0, σ'_0, u), tal que o peso das camadas de solo é suportada pela matriz sólida e pelo fluido simultaneamente. Com a contínua retirada dos recursos hídricos subterrâneos e o rebaixamento do nível da água, verifica-se que, no mesmo ponto P, a carga geostática passa a ser suportada apenas pela matriz sólida. Este aumento na tensão efetiva resulta na compressão do solo e conseqüente subsidência. De acordo com Scott (1979), considerando que a contração volumétrica de materiais granulares é quase irrecuperável, a superfície de subsidência que ocorre como resultado da redução na pressão do fluido em uma camada subjacente pode raramente ser revertida.

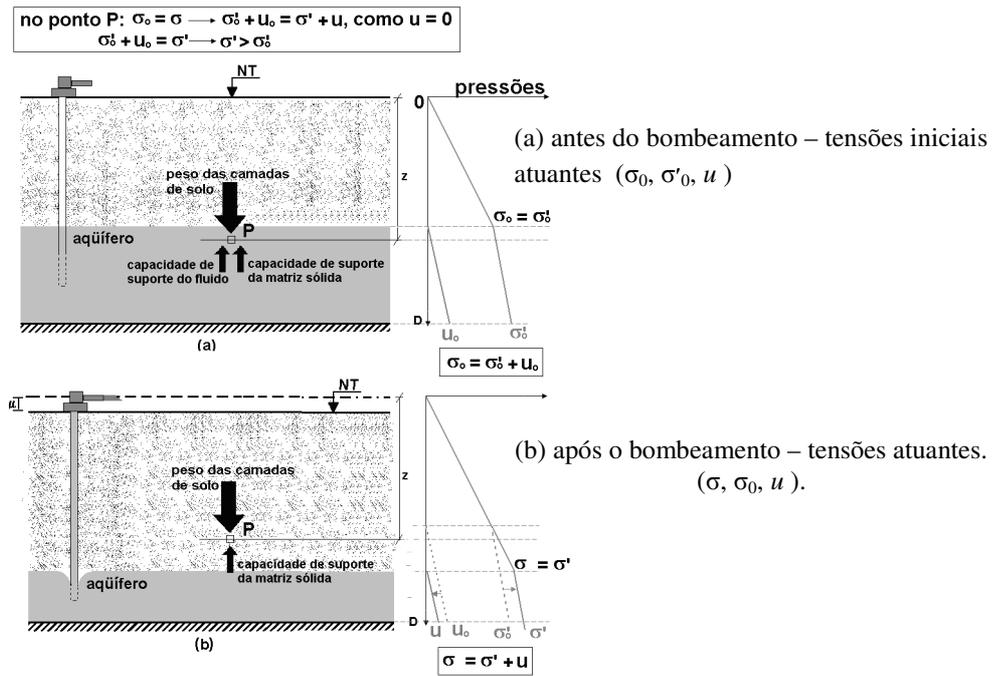


Figura 1 - Aquífero sedimentar não-confinado
 Fonte: Santos, 2005

Esse fenômeno pode acontecer tanto em aquíferos confinados quanto em aquíferos não confinados, para essa segunda situação a Figura 2 apresenta um esquema da ocorrência do fenômeno. Ao rebaixar o nível do aquífero inferior, a camada de argila drena a água e ocorre um recalque que acarreta um rebaixamento do nível do terreno (NT).

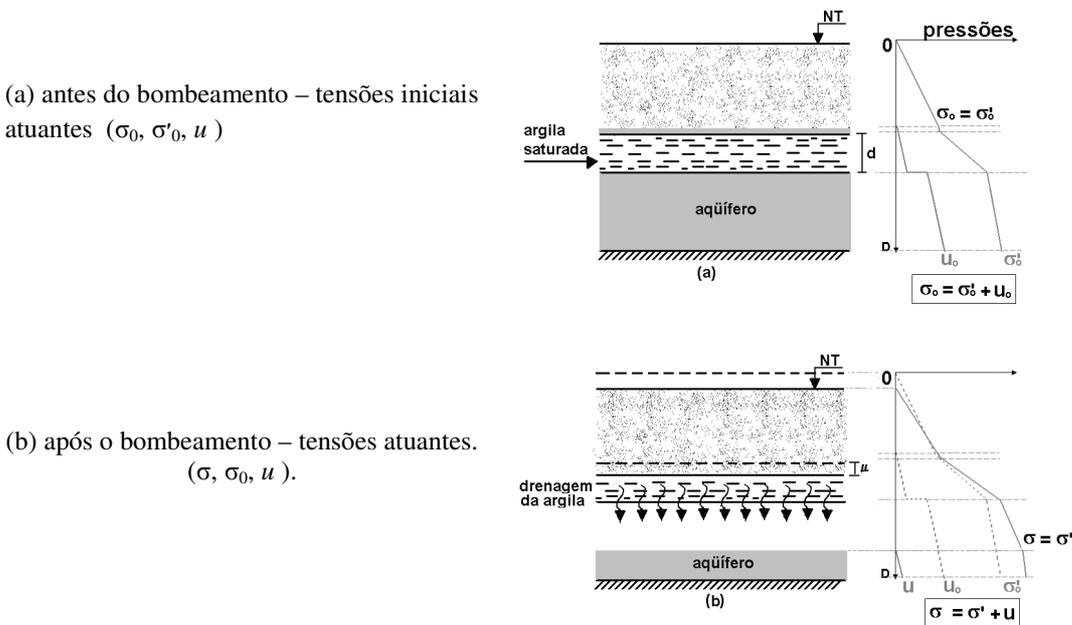


Figura 2 - Aquífero sedimentar confinado
 Fonte: Santos, 2005

Os solos de granulação fina registram “na memória” as máximas tensões experimentadas por sua estrutura, que são comumente conhecidas como tensão de pré-consolidação. A tensão de pré-consolidação $\sigma' p$, constitui o fator condicionante do comportamento da estrutura sólida do solo, nesse tipo de material, em resposta às solicitações de carga. Quando a tensão efetiva reduz e a pressão neutra aumenta o solo expande elasticamente. Por outro lado, quando a tensão efetiva aumenta e a pressão neutra diminui duas situações podem ser esperadas: a tensão efetiva é inferior à tensão de pré-consolidação e o aquífero experimenta um deslocamento vertical recuperável ou elástico, ou, ao contrário, a tensão efetiva é superior à tensão de pré-consolidação e o aquífero experimenta um significativo re-arranjo que resulta num deslocamento vertical irreversível ou inelástico.

O fluxo num aquífero sedimentar compreende, portanto, a movimentação do fluido através de seus poros e, as deformações volumétricas observadas neste maciço, resultam da variação da porosidade que, por sua vez, afeta a distribuição de pressões, que também está associada à condutividade hidráulica. A quantidade de subsidência em uma determinada área está, portanto, relacionada com a magnitude do rebaixamento do nível d'água, a porcentagem de argila presente no aquífero e ao período de tempo em que o nível d'água foi mantido rebaixado, afirma Mingorance (2000).

3.0 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Região Metropolitana do Recife – RMR é composta pelos seguintes municípios: Abreu e Lima, Araçoiaba, Cabo de Santo Agostinho, Camaragibe, Igarassu, Ipojuca, Itamaracá, Itapissuma, Jaboatão dos Guararapes, Moreno, Olinda, Paulista, Recife e São Lourenço da Mata, concentrando cerca de 42% da população do Estado, de acordo com a SRH (1999).

Para evitar a exaustão de mananciais subterrâneos, foram definidas áreas sujeitas à restrição de captação pela SRH (Secretaria de Recursos Hídricos). O zoneamento de áreas exploráveis foi restrito a uma parte da RMR abrangendo total ou parcialmente os municípios de Recife, Jaboatão dos Guararapes, Camaragibe e Olinda, devido à concentração de informações na área selecionada.

O Mapa de Zoneamento Explorável dos Aquíferos da Cidade do Recife é composto por três áreas de restrição (A, B, C), incluindo uma área de restrição maior à captação de águas subterrâneas, denominada Zona A, situado no bairro de Boa Viagem. Na Figura 3 estão explicitados estes zoneamentos.

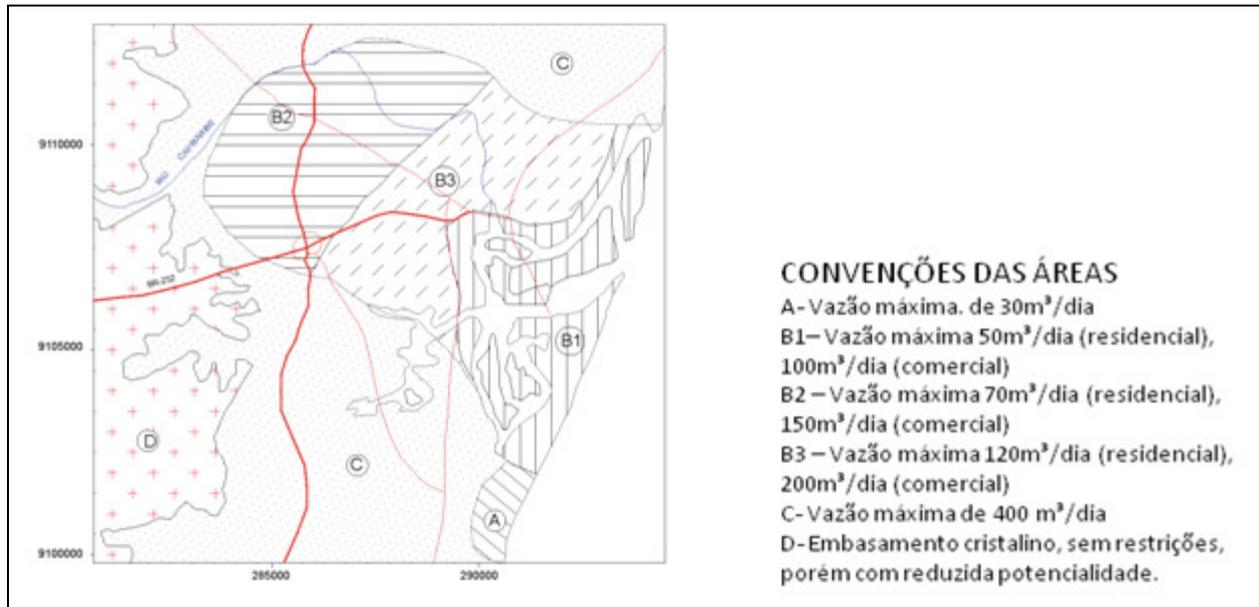


Figura 3 - Mapa de Zoneamento Explotável dos Aquíferos da Cidade do Recife
 Fonte: Modificado de Costa et al., 1998.

A Planície do Recife abrange uma área com 112 km², correspondendo morfológica e geologicamente a uma planície fluvio-marinha de formação geológica recente, situada nos limites geográficos de ocorrência das bacias sedimentares do Cabo e Pernambuco-Paraíba, onde se concentravam cerca de 1.800 poços profundos de acordo com Costa *et al.*(1998). No mapa da Figura 4 observa-se a sua localização dentro da Região Metropolitana do Recife.

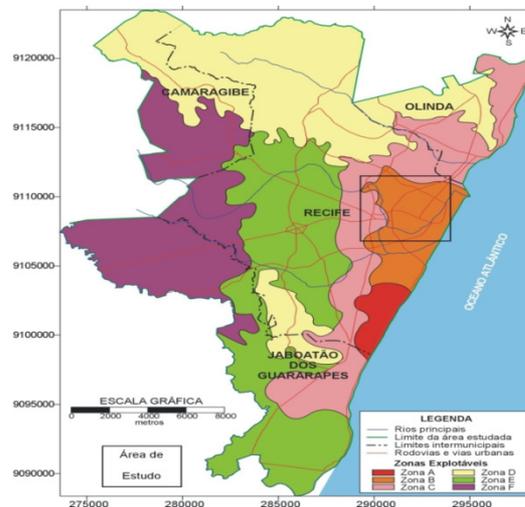


Figura 4 – Mapa de localização da Planície de Recife e seu zoneamento explotável
 Fonte: Costa et al., 1998.

Costa *et al.*(1998) constataram em seus estudos que os aquíferos da planície do Recife vêm sendo super-explotados, pois de uma potencialidade da ordem de 50 milhões de metros cúbicos anuais, dos quais 13 milhões são drenados para os exutórios naturais, ainda vem sendo explotados

da superexploração, tais como rebaixamento do nível do aquífero em quase 100 metros (SRH, 1999).

A área de estudo compreende uma parte da planície do Recife que está inserida na zona sul da cidade, o bairro de Boa Viagem, mostrada na Figura 5 e constitui o principal pólo turístico do Estado. Esta área encontra-se constituída pela Formação Cabo, composta de arenito muito argiloso, sobreposta pelos sedimentos recentes, denominado de Aquífero Boa Viagem (Figura 6), que constitui a terceira formação aquífera mais explorada da RMR, descrito em Santos (2005).

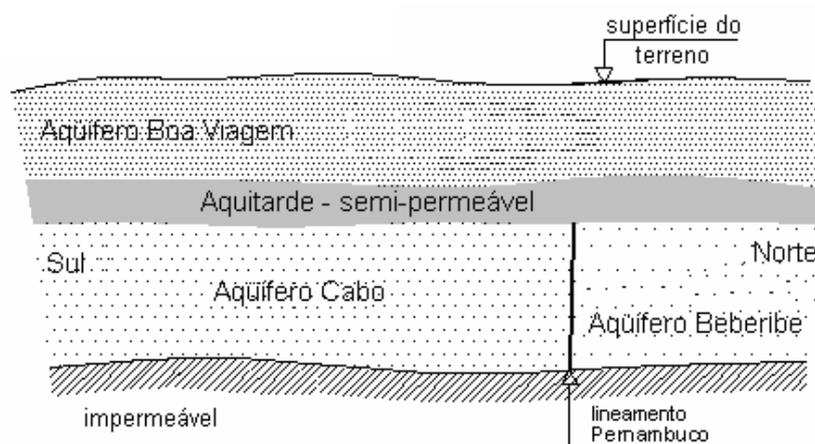


Figura 6 - Diagrama esquemático com a localização do Aquífero Boa Viagem
Fonte: Cabral e Montenegro, 2004.

4.0 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

4.1 Metodologia

O experimento foi constituído de um nivelamento e contranivelamento de alta precisão realizado em uma rede composta por 15 pontos distribuídos ao longo de uma área com aproximadamente 5 quilômetros de extensão, todos inseridos na zona A de restrição. A realização dos levantamentos se deu durante os meses de janeiro e fevereiro de 2012, onde foi utilizado os seguintes equipamentos: um nível óptico da Topcon modelo AT-B2 com placa plano-paralela, mira de alumínio, nível de cantoneira, e sapata de ferro. Os pontos ocupados foram denominados de BV01, BV02, BV03, BV05, BV06, BV08, BV09, BV12, BV13, BV14, BV15, BV16 e BV17. Duas Referências de Nível (RN's) da Rede Altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) foram utilizadas como pontos de início e término do circuito, a RN-9319G e a RN-9319M. A Tabela 1 mostra a posição geográfica de alguns pontos e das RN's de referência, obtidas de rastreamento GNSS em SIRGAS2000 no ano de 2011.

Tabela 01 – Posição geográfica dos pontos em coordenadas geodésicas no SIRGAS2000

Ident. Ponto	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude Elipsoidal (m)
BV01	8°07'21,57528"	34°53'57,59827"	-3,840
BV02	8°07'15,35993"	34°53'54,79856"	-3,956
BV03	8°06'57,96222	34°53'41,08104"	-3,616
BV05	8°07'23,47979"	34°53'54,79717"	-3,492
BV06	8°07'30,80124"	34°53'57,54714"	-2,678
BV08	8°07'35,06976"	34°53'54,41552"	-1,895
BV09	8°07'19,87713"	34°53'49,16959"	-2,267
RN9319G	8°07'56"	34°54'03"	4,7562 (ortométrica)
RN9319M	8°05'21"	34°53'07"	3,4460 (ortométrica)

O nivelamento teve como partida a RN-9319G localizada em frente à Igreja de Nossa Senhora da Boa Viagem (Figura 7) na pracinha de Boa Viagem, passando pelos pontos BV12 - BV13 - BV17 - BV08 - BV06 - BV05 - BV16 - BV09 - BV01 - BV02 - BV15 - BV14 - BV03.



Figura 7 – Referência de Nível RN9319G na Igreja de Nossa Senhora da Boa Viagem
Fonte: a autora

O fechamento do nivelamento foi feito na RN-9319M, localizado em frente à Igreja de Nossa Senhora do Rosário (Figura 8), na Av. Herculano Bandeira, bairro do Pina em Recife.



Figura 8 – Referência de Nível RN9319M na Igreja de Nossa Senhora do Rosário

Fonte: a autora

O contranivelamento partiu do RN-9319M passando pelos pontos BV03 - BV14 - BV15 - BV02 - BV01 - BV05 - BV09 - BV16 - BV06 - BV17 - BV13 - BV12 e fechando o circuito na RN9319G.

A fim de evitar a reverberação em demasiada, os trabalhos de campo ocorreram entre os horários das 08:00 às 11:00h da manhã e das 14:00h às 17:00h. O método escolhido para o nivelamento composto foi o da visada às distâncias iguais (ponto médio entre posições da mira) para minimizar os efeitos de curvatura e refração, sendo que a distância máxima em cada visada a partir do nível foi de 30m. Adotou-se o procedimento de fazer sempre duas leituras na mira no intuito de eliminar erros grosseiros ainda em campo. O valor médio dessas leituras foi adotado na realização dos cálculos.

Em 2011 o IBGE fez um ajustamento global da rede altimétrica do SGB e apresentou as altitudes ortométricas para ambas RN's, bem como, a época em que o nivelamento foi realizado (ano de 1958), conforme mostra as Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Parte da monografia da RN9319G
Fonte: IBGE (adaptado pela autora)

Estação	Município	Última visita	Situação do marco
RN9319G	Recife	08/04/2006	Bom
Dados Altimétricos			
Altitude ortométrica (m): 4,6702			
Fonte: Nivelamento geométrico			
Sigma altitude (m): 0,09			
Datum: Imbituba			
Data da medição: 05/08/1958			
Data cálculo: 15/06/2011			

Tabela 3 – Parte da monografia da RN9319M
Fonte: IBGE (adaptado pela autora)

Estação	Município	Última visita	Situação do marco
RN9319M	Recife	11/05/2006	Bom
Dados Altimétricos			
Altitude ortométrica (m): 3,3525			
Fonte: Nivelamento geométrico			
Sigma altitude (m): 0,09			
Datum: Imbituba			
Data da medição: 06/08/1958			
Data cálculo: 15/06/2011			

Partindo do pressuposto que se alguma subsidência ocorreu isso teria acontecido com maior probabilidade na zona A (Figura 5). Então a RN de referência seria a RN9319M que estaria fora dessa zona. O desnível da RN9319M para a RN9319G conforme tabelas 2 e 3 é $\Delta H=1,3177\text{m}$, ou seja, existe um aclave da primeira estação (RN) para a segunda.

Adotando como injunção a altitude ortométrica da RN9319M, por estar fora da zona A, fez-se os cálculos do nivelamento e também do contranivelamento a partir dela. Os resultados seguem na Tabela 4 a seguir.

Tabela 04 – Altitudes “ortométricas” do nivelamento e contranivelamento geométrico

Ident. Ponto	Resultado Nivelamento (m)	Resultado Contranivelamento (m)	Discrepância Niv – contraniv (mm)
RN9319M	3,3525 (fixa=injunção)	3,3525 (fixa=injunção)	0,0
BV01	1,8455	1,8346	10,9
BV02	1,7140	1,7054	8,6
BV03	2,0609	2,0586	2,3
BV05	2,1826	2,1822	0,4
BV06	3,0003	2,9954	4,9
BV08	3,7820	3,7786	3,4
BV09	3,3907	3,3883	2,4
BV12	2,6469	2,6462	0,7
BV13	2,7279	2,7304	-2,5
BV14	4,2438	4,2382	5,6
BV15	2,5446	2,5375	7,1
BV16	4,4804	4,4759	4,5
BV17	4,4537	4,4612	-7,5
RN9319G	4,6264	4,6251	1,3
RN9319G-RN9319M	1,2739	1,2726	1,3

O ponto BV01 foi o que apresentou maior discrepância entre o nivelamento e o contranivelamento chegando a 1,09cm. Significa que a confiança em detectar uma subsidência futura neste ponto deverá ser superior a 1cm. Os demais têm discrepância na ordem do milímetro.

Comparando o desnível total entre as RN's 9319G e 9319M para os valores do nivelamento realizado em 2011 ($\Delta H=1,2733m$) com o desnível pelas altitudes ortométricas calculado anteriormente com as monografias fornecidas pelo IBGE ($\Delta H=1,3177m$), resulta numa diferença de 0,0445m, isto é, 4,45cm. Isto significa que poderia ter ocorrido uma subsidência em torno de 4,5cm ao longo de 54 anos desde o nivelamento feito pelo IBGE. Este fato seria bem interessante, pois comprovaria a acomodação do solo pelo rebaixamento, em torno de 100m, da superfície potenciométrica nessa região. No entanto algumas considerações devem ser levadas em conta; a primeira é que as altitudes ortométricas do IBGE não são de fato ortométricas, elas são conforme Luz (2008) altitudes normais ortométricas, o que significa terem sido obtidas aplicando a correção

do não paralelismo das superfícies equipotenciais do campo da gravidade. De acordo com Gemael (1999), essa correção pode ser calculada por:

$$C = 1542.10^{-9} h \Delta\phi' \text{sen}2\phi \quad (2)$$

onde:

h e ϕ são a altitude e latitude do primeiro ponto, respectivamente;

$\Delta\phi'$ é a diferença de latitude em minutos.

Para o caso das RN's desse estudo o valor seria $C=-0,0038\text{mm}$. Portanto, quantidade negligenciável para a precisão do nivelamento realizado.

A segunda consideração é a confiabilidade das altitudes ortométricas fornecidas para a monografia dessas duas RN's. O desvio padrão de 9cm (sigma altitude nas monografias) é em relação ao geóide materializado pelo marégrafo de Imbituba no litoral de Santa Catarina, Datum vertical brasileiro, para a realização de 2011 definida pelo ajustamento global. Seria necessária a precisão relativa entre essas duas RN's, mas isso ainda não está disponibilizado pelo IBGE. Outro fato é que no ajustamento anterior ao de 2011, o ajustamento de 2007, as altitudes ortométricas dessas duas RN's eram, segundo IBGE (2011): $H_{RN9319G}=4,7562\text{m}$ e $H_{RN9319M}=3,4460\text{m}$ dando uma diferença de altitude de $\Delta H=1,3102\text{m}$, com variação de 7,5mm para o ajustamento de 2011. Para a realização de 2007 a classificação de precisão para ambos RN's ainda era preliminar. Para resolver esse impasse foi solicitado ao departamento de Geodésia do IBGE, os desníveis obtidos do nivelamento de 1958 sem o ajustamento e a precisão relativa entre as duas RN's. Estas informações ainda não estão disponíveis para essa fase do trabalho. Todavia, para ordem de grandeza entre os ajustamentos 2007 e 2011 de 7,5mm face aos 4,45cm discrepantes do nivelamento de 2012 leva a evidências de que houve a subsidência da zona A em relação à zona B1 (Figura 9), ou pelo menos isso ocorreu nas fundações das Igrejas em que estão materializadas as RN's.

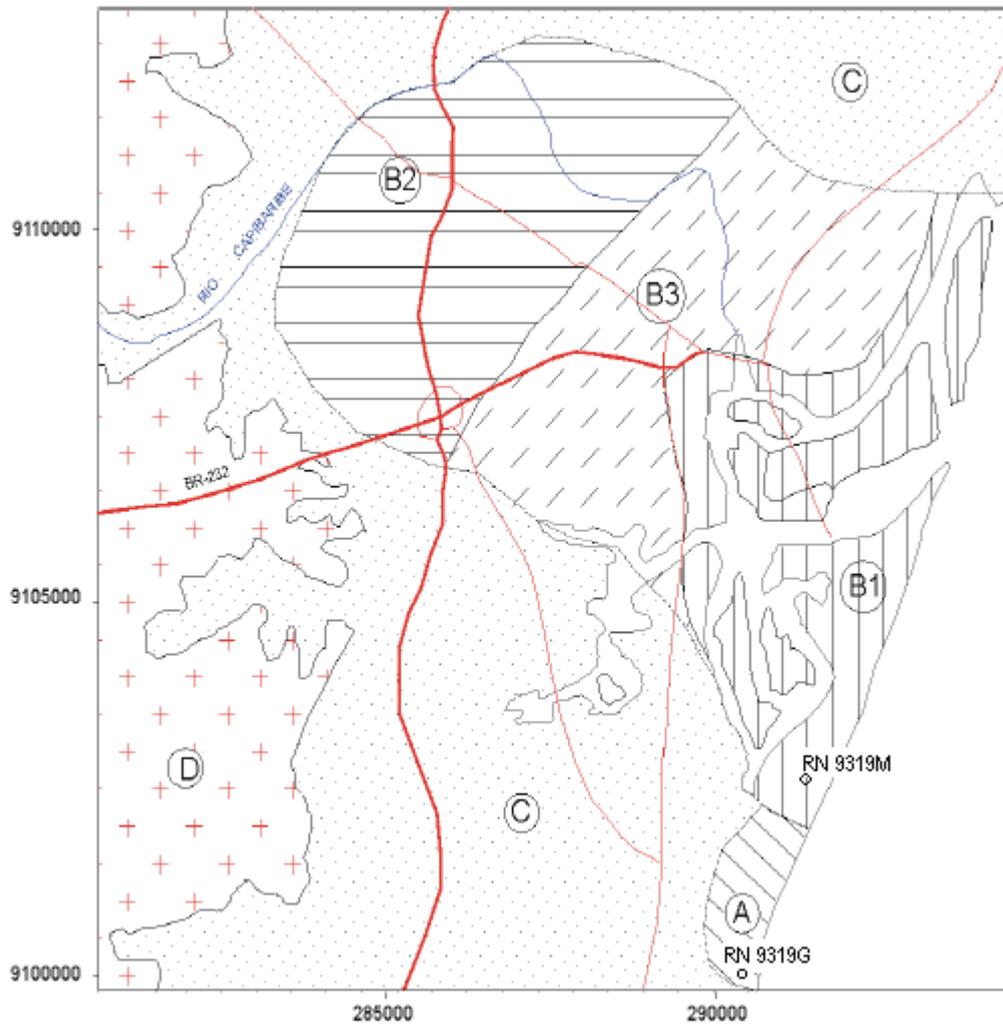


Figura 9 – Localização das RN's nas zonas A e B1
 Fonte: Adaptado de Costa et al., 1998.

5.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Algum tempo atrás a idéia de bombeamento sustentável de águas subterrâneas analisava apenas quanto poderia ser bombeado indefinidamente de um aquífero, no entanto o conceito atualizado de sustentabilidade do uso dos aquíferos requer que sejam levadas em conta as influências sobre os ecossistemas e o meio ambiente como um todo. A aplicação deste conceito atual de sustentabilidade deve requerer que sejam considerados os riscos de subsidência.

Em regiões de bacias sedimentares, o bombeamento excessivo reduz a pressão de suporte exercida pela água nos poros, conseqüentemente aumenta o esforço sobre os grãos de solo

acarretando uma redistribuição dos grãos e a subsidência da superfície, que pode atingir alguns centímetros por ano numa extensão de vários quilômetros.

Existem poucos registros ou relatos de subsidência devido à captação de águas subterrâneas no Brasil. Na planície de Recife, até a presente data, ainda não foi detectado nenhum registro, o que não significa que o fenômeno não esteja acontecendo.

Considerando-se os estudos realizados com respeito à diminuição dos níveis de água subterrânea na planície de Recife, faz-se necessário um monitoramento, nessas áreas, para detecção de possíveis deslocamentos verticais da superfície do solo, através de levantamentos geodésicos como o nivelamento geométrico de alta precisão, aliado a outras metodologias para fins comparativos de investigação.

AGRADECIMENTOS

Os dois primeiros autores agradecem a FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos – Ministério da Ciência e Tecnologia) e ao CNPq e a CAPES pelos recursos financeiros disponibilizados permitindo a realização das atividades de campo e ao LACCOST (Laboratório de Cartografia Costeira do Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE) pelo espaço físico para realização das atividades de cálculo desse experimento.

BIBLIOGRAFIA

BALDI ,P., CASULA,G. , CENNI ,N., LODDO ,F., PESCI ,A. (2009).” *GPS – Based monitoring of land subsidence in the Po plain (Northern Italy)*”. Earth and Planetary Science Letters – Elsevier 204-212.

CABRAL, J.J.S.P.; PONTES FILHO, I.D.S.; SANTOS, S. M. (2006). “*Bombeamento intensivo de água subterrânea e riscos de subsidência do solo*”. Revista brasileira de recursos hídricos 147-157.

COSTA, W. D.; MANOEL FILHO, J.; SANTOS, A. C.; COSTA FILHO, W.D.; MONTEIRO, A. B.; SOUSA, F. J. A. de. (1998). “*Zoneamento de exploração das águas subterrâneas na cidade do Recife-PE*” in Anais do X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, São Paulo, Set. 1998,

GALLOWAY, D. L.; BURBEY, T.J. (2011). “*Review: Regional land subsidence accompanying groundwater extraction*”. Hydrogeology Journal 19: 1459–1486.

GEMAEL, C. (1999). *Introdução à Geodésia Física*. UFPR Curitiba-PR, 2 ed.

IBGE. Banco de dados geodésicos. Disponível em: <
http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/bdgpesq_googlemaps.php#tabela_dados>.
Acesso em março 2011.

LUZ, T. R. Estratégias para modernização da componente vertical do Sistema Geodésico Brasileiro e sua integração ao Sirgas. Tese - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR, 2008.

MINGORANCE, F. (2000). “*Manifestaciones de subsidência superficial en el Pastal, Norte de Mendoza, Argentina*”. Revista de la Facultad de Ingeniería, Argentina 41, p.5-16.

SANTOS, S. M. dos. (2005) - Investigações metodológicas sobre o monitoramento da subsidência do solo devido à extração de água subterrânea - caso da Região Metropolitana de Recife / Sylvana Melo dos Santos. Recife, Tese de doutorado,. xxviii, 231 p.

SCOTT, R.F. (1979). *Subsidence – A Review*. Evaluation and Prediction of Subsidence. ASCE, New York, p.1-25

SILVA, S. R.; MONTEIRO, A. B.; FRANÇA, A. E. (1999). “*O gerenciamento das águas subterrâneas no Estado de Pernambuco*” in Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte.

TERZAGHI, K.T. (1925). *Erdbaumechanik auf Bodenphysikalischer Grundlage*. Deuticke, Wien, 399 p.

TUSAT, E., USTUN, A., AND YALVAC, S. (2010) - Preliminary results of land subsidence monitoring project in Konya Closed Basin between 2006-2009 by means of GNSS observations-june 2010 - doi:10.5194/nhess-10-1151-2010 - NATURAL HAZARD