

## XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

### **AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE TRANSPORTE DE VOLUMES HÍDRICOS NA INTERAÇÃO RIO-AQUÍFERO**

*Tatiane Barbosa Veras<sup>1</sup>; Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral<sup>2</sup>; Anderson Luis Ribeiro de Paiva<sup>3</sup>  
Dayana Andrade de Freitas<sup>4</sup> e Laércio Leal dos Santo<sup>5</sup>*

**RESUMO** - Além das águas superficiais, as águas subterrâneas também têm sido utilizadas para o abastecimento, onde essas fontes hídricas possuem interações que devem ser estudadas no intuito de compreender melhor suas interligações, pois a qualidade da água subterrânea e a taxa de recarga dependem dos mananciais de superfície. Compreender as características do leito e a dinâmica do movimento da água nessa interface é importante para identificar a existência e a direção do fluxo de água, pois sabe-se que na camada subsuperficial de sedimentos entre o leito do rio e o aquífero ocorrem constantes trocas. Dessa forma, essa pesquisa teve o intuito de avaliar a capacidade de transporte de volumes hídricos entre o rio e o aquífero. Para tal, foram realizadas leituras de nível do rio e de um piezômetro diferencial, onde foi observado que o rio Beberibe contribui para a recarga do lençol freático, salientando que existe variação na intensidade da contribuição ao longo da área experimental. Para uma melhor compreensão do fluxo hídrico foram realizados testes granulométricos, onde o material representativo da superfície do leito apresentou certa homogeneização predominantemente arenosa, comprovando que a composição da zona hiporreica pode influenciar no transporte de volumes entre o rio Beberibe e o aquífero.

**ABSTRACT** - Surface water and groundwater have also been used to water supply, where these interactions have to be studied in order to better understand their interconnections, because the quality of the groundwater recharge rate and depend on sources surface water. Understanding characteristics of the bed and dynamics of water movement at this interface is important to identify existence and direction of water flow, because it is known that in the top layer of sediment from the riverbed and aquifer occur constantly changing. Thus, this study aimed to assess the carrying capacity of water volumes between river and aquifer. Readings of river levels and a piezometer differential, where it was observed that Beberibe river contributes to groundwater recharge, that there is variation in intensity of contribution experimental area. Water flow tests were performed granulometric, where material representative of the bed surface showed homogenization predominantly sandy, proving that composition of the hiporreica area can influence transport volumes between Beberibe river and aquifer.

**Palavras-chave:** interação rio-aquífero, transporte de volumes hídricos, zona hiporreica.

---

1 Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil UFPE, UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife – PE, Brasil, Fone: 0 xx (81) 2126-7760, e-mail: tatiane\_veras@yahoo.com.br

2 Prof. Titular da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife – PE, Brasil, Fone: 0 xx (81) 2126-8223, e-mail: jcabral@ufpe.br; jaimejcabral@yahoo.com;

3 Prof. Adjunto da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, campus do Agreste, Caruaru – PE e-mail:alrpaiva@yahoo.com;

4 Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil UFPE, UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife – PE, Brasil, Fone: 0 xx (81) 2126-7760, e-mail: dayanafandrade@yahoo.com.br;

5 Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil UFPE, UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife – PE, Brasil, Fone: 0 xx (81) 2126-7760, e-mail: laercioeng@yahoo.com.br

## 1 - INTRODUÇÃO

O uso sustentável dos recursos hídricos inclui o mínimo de conhecimento das relações entre águas superficiais e águas subterrâneas, pois essa interação revela cada vez mais seu potencial em relação à gestão dos mananciais.

Apesar de ter denominações diferentes, as águas superficiais e as águas subterrâneas são uma só, a condição em que elas se encontram é que vai qualificá-las. No entanto, é importante entender que as peculiaridades de cada fase devem ser levadas em consideração. Ao mesmo tempo em que a água superficial tem seu papel fundamental no ciclo hidrológico é preciso lembrar também da importância da água subterrânea.

Considerando a interação entre os componentes do ciclo hidrológico, as águas superficiais e subterrâneas constituem um único recurso e não componentes isolados, devendo, por isso, serem gerenciadas como partes integradas que se interrelacionam no ciclo hidrológico (Silva, 2007).

Em um cenário, onde a utilização dos recursos hídricos é crescente, se faz necessário considerar a inter-relação entre os componentes superficiais e subterrâneos do ciclo hidrológico para que a gestão das águas possa ser eficaz.

Nos últimos anos foram realizados alguns trabalhos de campo (Cheng *et al.*, 2011; Veras, 2011) buscando investigar diversos aspectos relacionados ao transporte de volumes hídricos.

A velocidade da infiltração na interação água superficial e água subterrânea pode ser afetada por alguns motivos, entre eles a colmatação do leito do rio, podendo ser gerada por processos químicos, físicos e biológicos. O movimento da água de superfície para o aquífero (descendente) ou do aquífero para a superfície (ascendente) pode influenciar os processos que ocorrem na interface entre os sedimentos do leito.

O fluxo de água, entre os interstícios dos bancos de sedimentos das margens e leito dos corpos d'água superficiais com os aquíferos, cria uma zona de mistura das águas subterrâneas e superficiais. Existem duas zonas distintas responsáveis por estas relações, são as chamadas zonas ripárias e zonas hiporreicas (Freitas *et al.*, 2011).

Uma das zonas de interação é a zona ripária, que tem um importante papel na manutenção dos recursos hídricos em relação à vazão e a qualidade da água, bem como o ecossistema aquático. A zona hiporreica é considerada como um volume subsuperficial de sedimentos e um adjacente espaço poroso a um curso d'água onde ocorrem constantes trocas.

O curso de água tem seu fluxo não só superficialmente, mas também através dos interstícios dos sedimentos do canal de fluxo e das margens, criando assim uma zona de mistura entre a água do subsolo e águas de superfície (Kobiyama, 2003).

Em um mesmo rio pode acontecer alterações hidrológicas em trechos diferentes, onde seu regime pode ser influente em um trecho e efluente em outro. No entanto, esta troca de água ocorre atravessando a zona hiporreica, a qual realiza um controle de fluxo e transporte de compostos, verticalmente ou lateralmente, escoando direcionalmente rio abaixo.

A interação entre os corpos hídricos superficiais e subterrâneos de água é muito complexa e sua compreensão está relacionada a fatores diversos de forma que ocorre uma interação física, química e biológica, sendo necessário uma avaliação multidisciplinar.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a capacidade de transporte de volumes hídricos entre rio e aquífero através da determinação do nível de água na faixa chamada de “zona hiporreica”, compreendendo melhor o fluxo vertical no leito do rio, em um estudo de caso aplicado nas margens do rio Beberibe no Estado de Pernambuco.

## **2 - INTERAÇÃO ÁGUA SUPERFICIAL – ÁGUA SUBTERRÂNEA**

A água subterrânea e a água superficial podem estar intimamente ligadas mesmo quando espacialmente separadas. Cada uma contribui para a outra, tendo estas interações um papel importante na hidrologia da região (USGS, 2009). Apesar de fazerem parte do mesmo ciclo, essa interação é extremamente complexa e depende de vários fatores para seu entendimento.

O processo de interação entre água superficial e água subterrânea inicialmente é conduzido pela disposição dos corpos hídricos superficiais com relação ao sistema de fluxo subterrâneo; depois, pelas características geológicas de suas margens; e por último pelo clima da região. Essa interação também pode ser caracterizada pelos aspectos geomorfológicos da região, onde é possível avaliar se existe a ocorrência do fluxo de água superficial para o fluxo subterrâneo ou vice-versa, analisando a declividade das margens, sinuosidade, largura e profundidade do rio, além de observar a ocorrência do sistema de deposição fluvial/lagunar.

Através de alguns eventos as águas superficiais podem estabelecer configurações distintas com o sistema de fluxo subterrâneo, pois a carga hidráulica pode ser alterada chegando a induzir algumas modificações nesse fluxo. De maneira geral a relação entre os corpos d’água superficial e água subterrânea ocorre de duas formas diferentes: a condição efluente e a condição influente. O que caracteriza a condição efluente é o escoamento das águas subterrâneas na direção do corpo d’água superficial, já a condição influente é caracterizada pelas águas superficiais alimentarem o fluxo subterrâneo. Nesse contexto, observa-se que a ocorrência das relações rio-aquífero pode acontecer de duas formas distintas, podendo existir conexão direta entre os meios superficiais e subterrâneos, onde um alimenta o outro; ou no caso de não existir uma continuidade entre eles, ocorrendo à possibilidade de um manancial superficial alimentar um aquífero independente de sua profundidade caracterizando um sistema hidráulicamente desconectado (Figura 1).

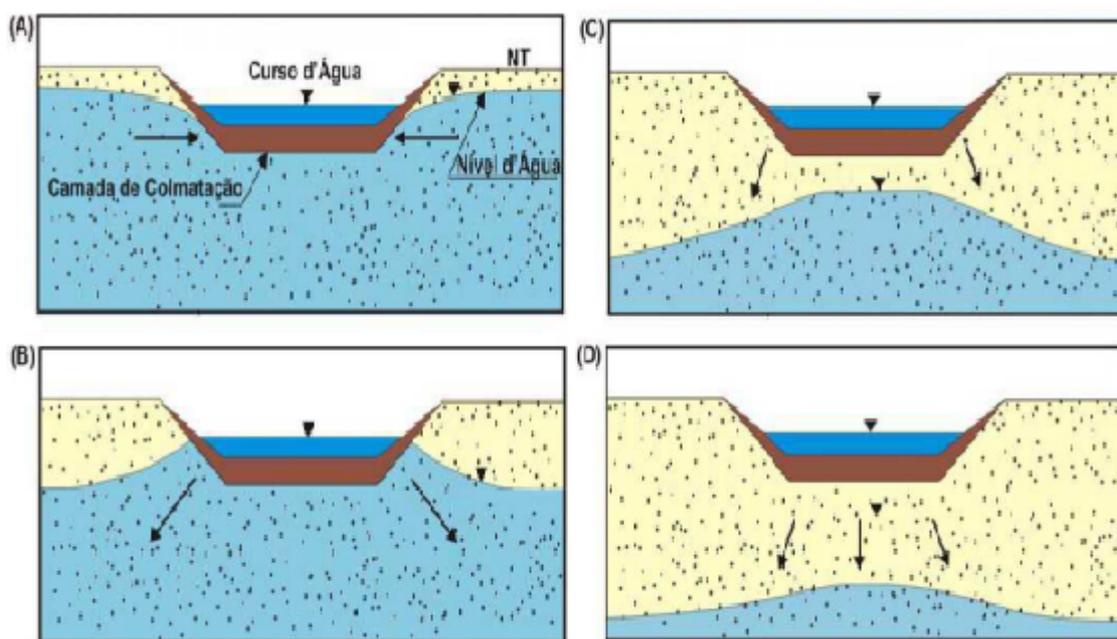


Figura 1 - Interação entre a água superficial e subterrânea: a) Fluxo para o manancial superficial conectado; b) Fluxo para o aquífero conectado; c) Manancial superficial desconectado com o aquífero freático raso; d) Manancial superficial desconectado com o aquífero freático profundo. Fonte: Adaptado de Sophocleous (2002).

As condições ambientais como variações sazonais ou qualquer tipo de influência externa podem modificar as formas de interação rio-aquífero. A ocorrência de chuvas tem extrema influência sobre o ambiente de interface entre águas superficiais e águas subterrâneas, pois dependendo da intensidade da precipitação existe a possibilidade de ocorrer alterações significativas na saturação do solo e/ou nas suas propriedades hidráulicas.

Brunke e Gonser (1997) resumem de forma abrangente as interações entre os rios e águas subterrâneas. Sob condições de baixa precipitação, o fluxo de base subterrâneo constitui o fluxo de água superficial na maior parte do ano (condição efluente). Em contraste, em condições de elevada precipitação, escoamento superficial e este interfluxo aumenta gradualmente, levando a maior pressão hidráulica no curso inferior do rio, que causa a mudança da condição efluente para a condição de afluyente, ocorrendo infiltração pelas margens e promovendo a recarga do aquífero.

O comportamento do nível do rio é muito dinâmico e é extremamente influenciado por fatores externos podendo alterar características do próprio rio, como o movimento dos sedimentos do leito, caracterizando a camada de colmatação, assim como o fenômeno de transporte que tem relação direta com a qualidade da água.

O meio poroso e o curso d'água são ligados por uma série de conexões de fluxo, pois são formados por uma rica variação de sedimentos. Essa heterogeneidade é quem vai caracterizar a permeabilidade da interface. O leito do rio é formado por uma série de partículas de tamanhos variados, onde as mais finas normalmente são retidas ocorrendo à obstrução do leito. Esse processo tende a diminuir a quantidade de água que é infiltrada minimizando a interação rio-aquífero.

## 2.1 - Influência da infiltração

A infiltração é um componente do ciclo hidrológico e é uma variável extremamente influente na interação água superficial e subterrânea. O conhecimento do processo de infiltração e das suas relações com o ambiente demonstra a influência da infiltração na interface rio-aquífero.

O processo de infiltração separa a quantidade de água precipitada que desliza sobre a superfície do solo e a quantidade que flui abaixo da superfície do solo, onde a última opção pode ocorrer verticalmente.

Quando ocorre infiltração no leito do rio a água fornece a umidade necessária para a vegetação ripária, além de fazer a reposição de aquíferos aluvionais. Se houver infiltração no leito, significa que existe uma conexão hidráulica entre o rio e o aquífero. Essa conexão pode se caracterizar de maneiras diferentes, podendo ocorrer a descarga ou a recarga do fluxo vertical do rio. A água fluvial não se limita apenas a recarga subterrânea, uma vez que o rio também pode ser abastecido pelo lençol freático criando um fluxo vertical ascendente entre o rio e o aquífero.

O ganho ou perda do rio em alguns ambientes pode ser contínuo, onde o fluxo vertical de um rio pode ser sempre descendente ou sempre efluente. Também existem casos em que simplesmente não ocorre nenhum tipo de fluxo em determinados trechos do rio. Além disso, a direção do fluxo pode mudar em um curto espaço de tempo como resultado de tempestades isoladas que causa recarga localizada perto da margem, picos de cheia temporários que rebaixam o canal, ou transpiração da água subterrânea através da vegetação lateral ao rio (Winter *et al.*, 1999).

Os diversos fatores dos quais depende a infiltração de água no solo, podem ser divididos em quatro categorias: fatores relacionados ao solo; fatores relacionados à superfície; fatores relacionados ao preparo e manejo do solo; outros fatores (Brandão *et al.*, 2006).

O tipo de solo é um fator extremamente influente no processo de infiltração da água, pois existem alguns tipos e arranjos de solos que podem beneficiar a permeabilidade, onde esta representa a dificuldade ou facilidade de percolação da água nos poros do solo. Ou seja, intensidade de infiltração de água no solo depende do seu grau de porosidade.

Com relação à infiltração sabe-se que, em última análise, é da água que infiltra no solo e reabastece os aquíferos subterrâneos que dependem as vazões dos cursos d'água, o que torna imprescindível o estudo da interação água superficial e subterrânea para o entendimento da disponibilidade hídrica.

## 2.2 - Importância das características do solo

O tipo de material que constitui a zona hiporreica pode influenciar a quantidade de água infiltrada no processo de interação água superficial e água subterrânea. Vários são os tipos de

partículas encontradas no fundo dos mananciais e estas têm total influência no processo de obstrução do leito que é considerado um dos pontos que pode minimizar a interação rio-aquífero.

Algumas características diferenciam os tipos de sedimentos encontrados no leito do rio, tais como o tamanho das partículas e a constituição mineralógica. Algumas partículas são constituídas de um único material, em outros casos ocorrem agregações de minerais distintos. Portanto, ensaios granulométricos são fundamentais para uma identificação do material encontrado, onde através dele é possível estimar as percentagens correspondentes a cada fração granulométrica do solo.

A interface entre água superficial e água subterrânea compreende uma zona extremamente rica em relação a sua composição, pois é possível encontrar vários tipos de materiais, desde cascalhos e areia que são considerados solos de granulação grosseira até solos de granulação fina, como o silte e a argila. Nesse ambiente também é possível encontrar uma grande quantidade de solos orgânicos.

Quanto menor a granulometria do solo em conjunto com a matéria orgânica, maiores são as forças capilares e a tensão superficial, sendo estas contrárias a gravidade e, portanto, impedem/dificultam a passagem de água pelo solo (Nascimento, 2002).

A matéria orgânica do solo é um constituinte cimentante, importante na formação e manutenção dos agregados, preservando a macro e micro porosidade, a umidade e a capacidade de infiltração, além de ser indispensável na bioestrutura e produtividade do solo (Calouro, 2005; Bertoni & Lombardi Neto, 1999).

A quantidade de macroporos tem grande influência na taxa de infiltração entre águas superficiais e águas subterrâneas, onde a presença de material orgânico aumenta expressivamente a permeabilidade do solo.

A zona hiporreica compreende uma riqueza de materiais com características particulares. É importante que a composição desse ambiente não comprometa a interação água superficial e água subterrânea, pois a quantidade elevada de certos materiais pode provocar uma obstrução exagerada dos vazios existentes, conduzindo a uma diminuição da condutividade hidráulica dos sedimentos do leito do rio. Nesse âmbito é importante conhecer a natureza dos sedimentos envolvidos no sistema para que se ateste a sua adequação face aos solos envolventes, tendo em vista os aspectos de colmatação e de permeabilidade.

### **2.3 - Processo de colmatação**

A colmatação está atrelada ao entupimento da camada de topo dos sedimentos por processos que levam à redução do volume dos poros, e conseqüentemente a diminuição de permeabilidade do leito do manancial (Brunke & Gonser, 1997).

O processo de colmatção aumenta com o crescimento da taxa de infiltração de água no solo, pois a carga química, física e biológica será maior de acordo com a quantidade de material filtrado. Portanto, a ocorrência da colmatção esta atrelada a uma série de fatores.

A porosidade nos solos e consequentemente a sua permeabilidade estão diretamente ligados a dimensão dos vazios, que estão relacionados com a granulometria dos sedimentos, sua forma e seu arranjo (Figura 2 e 3).

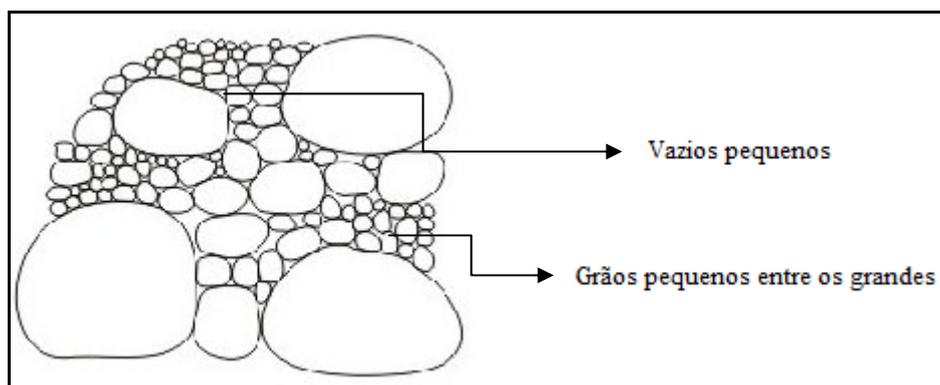


Figura 2 - Ilustração de um solo com permeabilidade baixa.

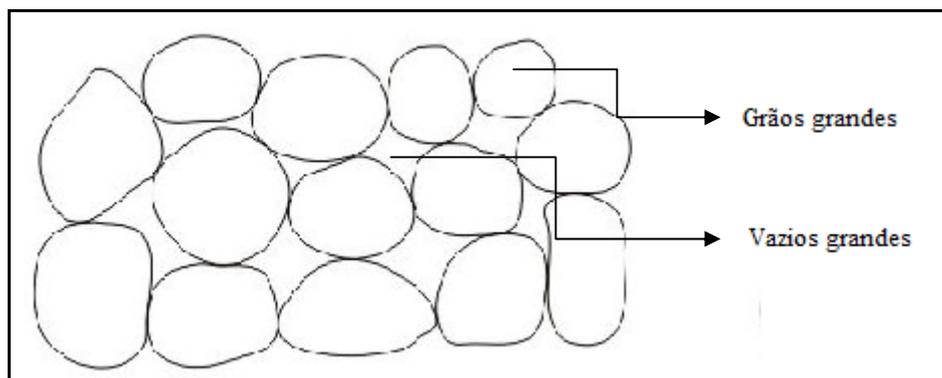


Figura 3 - Ilustração de um solo com alta permeabilidade.

Se no local existir uma pequena quantidade de materiais de granulação fina como a areia num solo de maior granulação como o cascalho sua permeabilidade terá um valor significativamente mais baixo do que o mesmo solo sem a fração de finos.

Dessa forma, o movimento da água não limpa completamente os espaços sendo assim, o cascalho pode ter um potencial de colmatção maior do que a areia. Isto se explica devido à facilidade de remoção da camada colmatada durante as variações de vazões nas areias, diferentemente nos cascalhos (Stuyfzad *et al.*, 2004).

Nos casos em que se tem como manancial um rio, a camada colmatada é muitas vezes retirada pelo simples aumento de vazão e, consequentemente, o aumento da força de arraste no fundo deste (Schubert, 2002).

Sendo assim, quanto mais turbulento for o percurso de um rio maior será a quantidade de sedimentos transportados e a limpeza do fundo de um rio de vazão alta é feita pelo seu próprio movimento. Um ambiente de águas calmas favorece o depósito sedimentar e a deposição de suas partículas é proporcional a sua granulometria, ou seja, quanto mais pesada for a partícula mais rápida será sua deposição.

### 3 - METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida no município de Olinda/Pernambuco na Estação Elevatória de Caixa d'água, propriedade da COMPESA, nas margens do rio Beberibe.

Durante 3 meses (Fevereiro, Março e Abril de 2011), foram realizadas leituras do fluxo vertical feitos no leito do rio Beberibe e numa área alagada próxima ao rio ao longo do módulo experimental. As leituras foram feitas em 3 pontos na área de estudo para uma real análise do transporte de volumes entre rios e aquíferos. Nos mesmos pontos, foram coletadas algumas amostras dos sedimentos (zona hiporreica) para realização de ensaios de granulometria.

As coordenadas geográficas para os pontos onde foram feitos os ensaios de infiltração no leito foram coletadas com um GPS Garmin no mês de Fevereiro. O tabela 1 que se segue detalha as informações das coordenadas:

Tabela 1 - Coordenadas dos pontos da realização dos testes de condutividade hidráulica.

PONTO	COORDENADAS	
	LATITUDE	LONGITUDE
1	7°59,740´	34°54,429´
2	7°59,776´	34°54,415´
3	7°59,762´	34°54,414´

#### 3.1 - Granulometria

Em Fevereiro de 2011, foram coletadas diretamente com uma colher amostras de sedimentos superficiais do leito do Rio Beberibe, 3 amostras de uma área alagada próxima ao rio e 1 amostra da margem.

As coletas foram realizadas nos mesmos pontos das leituras dos níveis do rio, totalizando 9 amostras conhecidas por 1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 2C, 3A, 3B e 3C. A amostra 1C foi coletada da margem do rio, as amostras 1A, 1B, 2A, 2B, 2C foram retiradas do leito e as amostras 3A, 3B e 3C são referentes às amostras da área alagada próxima ao rio Beberibe.

Ao serem coletadas, as amostras foram refrigeradas ainda em campo para melhor preservação e foram levadas ao laboratório para posterior análise.

As amostras foram analisadas no Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). A distribuição granulométrica dessas amostras foram determinadas através de peneiramento e pipetagem descritas em Suguio (1973).

### 3.2 - Leitura dos níveis

O equipamento utilizado para realização da leitura da carga hidráulica do aquífero foi desenvolvido na própria Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Seu objetivo é determinar a variação do nível da água visualmente e por meio de medição com escala graduada em centímetros entre o nível de água do rio Beberibe e a carga hidráulica do aquífero.

O aparelho denominado pela equipe de piezômetro diferencial é de simples manuseio e fácil interpretação, composto por duas hastes metálicas de 1 m cada. No interior do mesmo existe uma mangueira plástica transparente que facilita a determinação do nível da água por meio visual. A extremidade do equipamento possui uma ponteira filtrante de 35 cm de comprimento que é coberta por perfurações facilitando a drenagem do solo, ou seja, a água tem livre acesso ao aparelho diferente dos sedimentos que não ultrapassam a ponteira. A mangueira é inserida nessa ponteira e passa por todo o comprimento da haste do equipamento.

Nos pontos de ensaios o aparelho é pressionado verticalmente no leito submerso até uma profundidade de aproximadamente 45 cm, ultrapassando a camada superficial do leito, dessa forma a água penetra na mangueira e a leitura do nível da água se torna visível (Figura 4.a e 4.b).

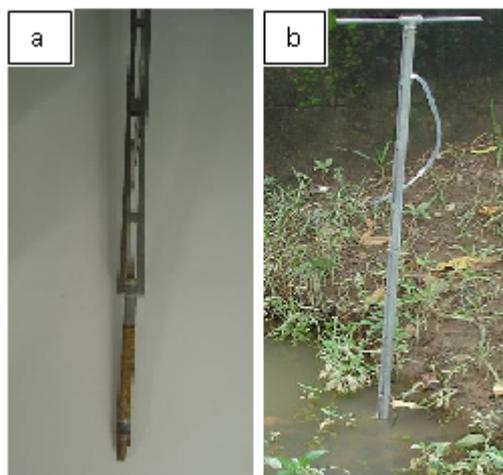


Figura 4 - Aparelho usado para leitura do fluxo vertical do rio: a) Detalhe do aparelho; b) Aparelho sendo usado no local.

Adotou-se um período de 30 minutos como o suficiente para que os sedimentos atingissem certo equilíbrio, pois os mesmos poderiam ter sofrido algum tipo de agitação durante a penetração

do aparelho no leito do rio. Após esse tempo, a leitura do fluxo vertical do rio foi feita e devidamente anotada na planilha de campo.

A leitura é feita a partir da diferença entre o nível da lâmina d'água do rio e o nível da água no aparelho. Pois, se o nível da água do rio estiver abaixo do nível da água verificado na mangueira significa que o rio está sendo alimentado pelo aquífero no ponto da leitura (fluxo ascendente), mas se o nível do rio estiver acima do nível da água visualizado na mangueira é possível concluir que o rio está alimentando o aquífero (fluxo descendente), ainda existe a possibilidade da água da mangueira e da água do rio estarem no mesmo nível, caracterizando um ponto onde não existe movimento vertical da água (sem fluxo).

A partir dos dados obtidos é possível avaliar a capacidade de transporte de volumes hídricos entre o rio Beberibe e o aquífero, bem como compreender melhor o comportamento do fluxo vertical do rio.

#### 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados alcançados e as considerações pertinentes serão apresentados de acordo com cada etapa de realização do projeto.

##### 4.1 – Granulometria

A variabilidade granulométrica das amostras coletadas do rio Beberibe ao longo do módulo experimental e da área alagada podem ser observada na tabela 2.

Tabela 2 - Análise granulométrica dos pontos 1, 2 e 3.

PARÂMETROS	PONTOS								
	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C
Grânulos (%)	5,54	4,25	1,00	7,96	0,28	20,6	15,87	1,63	29,01
Areia (%)	98,99	95,04	44,21	86,75	90,36	96,75	82,14	94,40	70,25
Silte (%)	0,40	0,57	29,80	4,27	7,61	0,95	1,62	3,19	0,61
Argila (%)	0,07	0,13	24,99	1,02	1,75	0,24	0,37	0,78	0,14
Materia Orgânica	0,46	0,86	8,46	1,46	2,46	1,26	1,06	1,50	1,20

Os resultados texturais apresentam certa homogeneização na granulometria do solo dos três pontos analisados. Em geral, os sedimentos dos pontos de estudo, não apresentam variação acentuada nas frações de areia, silte e argila, enquadrando-se na classe textural arenosa com exceção do ponto 1C que se localiza na margem do rio. Tal classe indica maior percentual de areia nas amostras, onde em condições naturais, provavelmente possibilita maior permeabilidade do que solos com maiores frações de silte e argila que são considerados menos permeáveis.

Comparando os três pontos, observa-se que o ponto 2 apresenta uma quantidade de silte e argila um pouco maior, levando em consideração as análises das amostras do leito. Esse fato pode refletir na permeabilidade do local, pois a variedade entre os diâmetros dos sedimentos facilita o processo de colmatção afetando a passagem da água entre o leito e o aquífero. Essa situação não deve ser comparada a amostras que possuem uma significativa fração de silte e argila, mas esse não é o caso.

A partir dos resultados, foi possível observar que na maioria das análises houve um ganho de matéria orgânica nas estações com maior teor de lama (argila + silte), porém a quantidade de matéria orgânica nos pontos analisados não foi significativa, com exceção do ponto 1C, que além de apresentar o maior teor de matéria orgânica entre os pontos analisados, também apresentou uma quantidade de material lamoso superior aos outros pontos.

Com base nos resultados das amostras analisadas, nota-se que no material representativo da superfície do leito do rio Beberibe e da área inundada não há uma variação granulométrica tão acentuada dos solos, refletindo em condições similares quanto à variação da taxa de infiltração em condições naturais.

#### 4.2 - Leitura de níveis

Na figura abaixo (Figura 5) é possível observar um mapeamento da orientação da medição em cada mês de testes dos pontos 1, 2 e 3 localizados no leito do rio Beberibe.

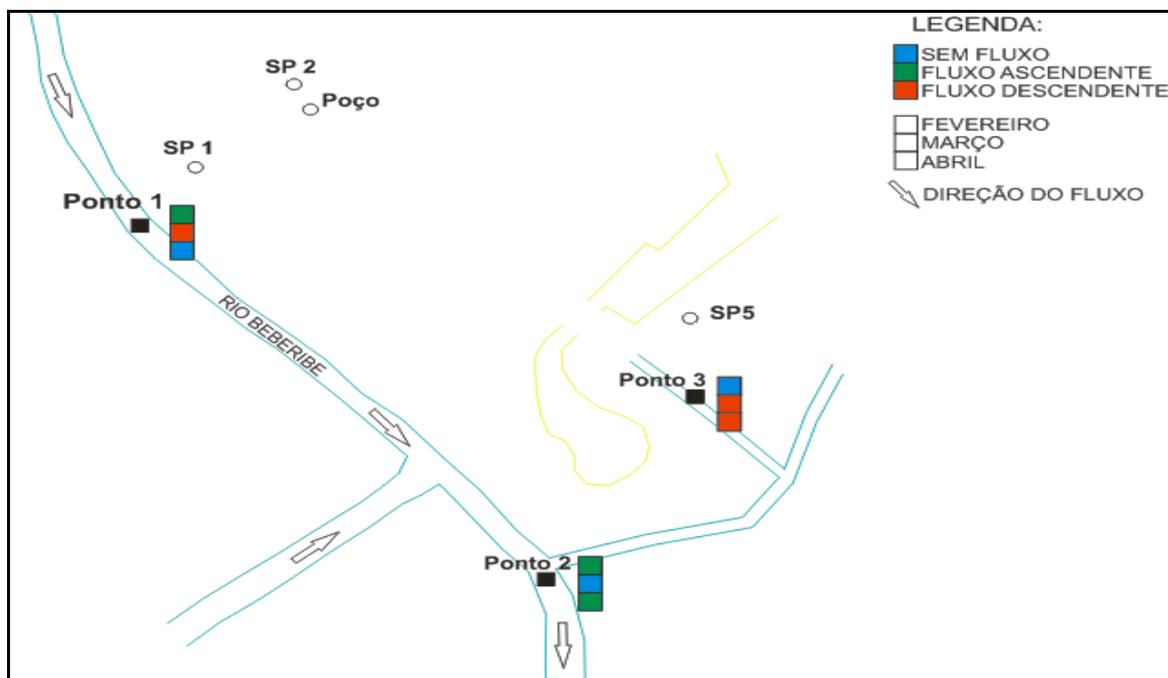


Figura 5 - Orientação do fluxo vertical do leito do rio Beberibe.

Para uma melhor compreensão do fluxo vertical do rio Beberibe é preciso conhecer a diferença de carga hidráulica entre a lâmina d'água do rio e o leito de fluxo. A orientação do fluxo vertical do rio nem sempre é a mesma, onde um mesmo ponto pode apresentar variação no seu comportamento.

Na figura 5 é perceptível a variação de comportamento entre dois pontos e até num mesmo ponto. A distância entre os pontos ao longo do leito do rio e da área alagada próxima ao rio Beberibe pode ser representativa em relação à diferença de carga entre os pontos, já que existe variação até no mesmo ponto. Entre os pontos 1 e 2 a distância é de aproximadamente 55,03 m, dos pontos 1 ao 3 de 53,46 m e entre os pontos 2 e 3 a distância fica em torno de 17,31 m.

Durante as medições, observou-se que a diferença de carga hidráulica entre o aquífero e o rio Beberibe apresentam orientações diferentes, podendo ter o fluxo descendente, ascendente e ainda não apresentar fluxo nenhum.

As variações de comportamento apresentadas entre os três pontos e no mesmo ponto possivelmente aconteceram em consequência da ocorrência de chuvas, pois intensas precipitações podem refletir na direção do fluxo vertical no leito do rio.

Devido ao período de baixa vazão, o efeito do fluxo ascendente do leito deveria ser mínimo durante os testes (Chen & Chen, 2003).

Durante os testes foi observado que em períodos chuvosos grande parte do transporte de água no leito era ascendente ou simplesmente não ocorria fluxo. Já em períodos de seca, onde existia fluxo, observou-se uma maior contribuição de água no sentido rio aquífero. Esse fato pode ser explicado pela maior recarga do lençol freático em períodos chuvosos.

Se a chuva for intensa pode acarretar na saturação do solo, desde então se o rio abastecia o aquífero a partir desse momento ocorre uma inversão de funções e o aquífero começa a abastecer o rio. Ao longo desse processo existe um momento em que não ocorre fluxo em nenhum sentido.

Observando a figura 5, também é possível notar que o ponto 2 é o ponto que menos abastece o aquífero. Esse fato pode ser explicado pela dificuldade da passagem de água do rio Beberibe pelos sedimentos do leito localizados nesse ponto, pois de acordo com os resultados de granulometria já apresentados, o ponto 2 é formado por areias finas, médias e grossas, ou seja, existe uma variação no diâmetro do material do leito favorecendo o processo de colmatção.

Além disso, na composição do material do leito do ponto 2 encontra-se uma quantidade de material lamoso superior do que nos outros pontos onde foram realizados os ensaios de infiltração. Sendo esse mais um motivo para explicar o fato do ponto 2 ser menos influente no processo de abastecimento do aquífero, pois o silte e a argila por serem partículas menores do que a areia e o cascalho dificultam a passagem da água pelo leito.

As partículas menores ocupam os vazios correspondentes às maiores, criando um entrosamento, do qual resulta menor compressibilidade e maior resistência (Pinto, 2006). Portanto, mesmo que a variação dos sedimentos seja sensível, só pelo fato do local ser constituído por sedimentos de diâmetros diferentes, existe a possibilidade da fração de partículas mais finas ocuparem a dimensão dos vazios alterando significativamente a permeabilidade do local.

A Tabela 3 apresenta o resumo dos resultados da variação do comportamento do fluxo vertical no leito do rio Beberibe nos três pontos ao longo do módulo experimental, onde 0,00 indica um ponto sem fluxo, valores positivos indicam pontos com fluxo ascendente e valores negativos significam que o ponto tem fluxo descendente.

Tabela 3 - Variação do fluxo vertical nos três pontos ao longo do rio Beberibe.

Data	FLUXO VERTICAL DO RIO (m)		
	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3
15/02/2011	0,02	0,01	0,00
24/02/2011	0,01	0,01	0,00
02/03/2011	- 0,02	0,00	- 0,01
14/03/2011	- 0,02	0,00	- 0,01
07/04/2011	0,00	0,01	- 0,01

Na tabela acima nota-se que o ponto 1 apresenta uma grande variação em seu fluxo, onde em algumas medições o fluxo estava ascendente, em outras descendente e na leitura do mês de Abril não apresentou fluxo. O ponto 2 oscilou seu comportamento em ascendente e em alguns momentos não apresentou fluxo. Já o ponto 3 não apresenta nenhum momento de ascendência, onde a direção do fluxo vertical na maioria das vezes é descendente e em algumas leituras não apresentaram fluxo.

De acordo com os dados da Tabela 3, o ponto três apresenta uma contribuição mais intensa no abastecimento do aquífero.

## 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

As águas superficiais e subterrâneas estão sendo cada vez mais exploradas e conseqüentemente poluídas por atividades humanas, portanto, os gestores e os próprios usuários precisam se conscientizar da relação entre esses dois sistemas e do papel que essa interação desempenha na manutenção da qualidade de água.

O estudo aqui exposto forneceu informações sobre algumas características referentes ao processo de transporte de volumes hídricos ao longo das margens do rio Beberibe, dentro dos limites da EE de Caixa d'água, propriedade da COMPESA, localizada na cidade de Olinda – PE.

A avaliação da capacidade de transporte de volumes hídricos entre o rio Beberibe e o aquífero foi analisada através da leitura do nível da água realizada por um equipamento alternativo

conhecido por piezômetro diferencial. Além das leituras, foram feitos ensaios granulométricos para uma melhor compreensão do movimento vertical da água.

Através dessa pesquisa foi possível observar que existe interação entre água superficial e subterrânea em alguns pontos do rio Beberibe, onde o mesmo contribui para a recarga do aquífero através do fluxo vertical no leito do rio. Também observou-se a influência da composição da zona hiporreica no movimento hídrico entre o rio Beberibe e o aquífero, pois essa interação pode ser potencializada pela característica arenosa do local, confirmada através dos ensaios granulométricos, facilitando a percolação de água entre os vazios dos sedimentos.

O estudo exposto nesse trabalho fornece informações relevantes para uma melhor compreensão do comportamento da água no processo de interação, lembrando que essas interações são complexas, sendo necessário entender várias questões relacionadas com o clima, geologia, pedologia, fatores bióticos, assim como o quadro hidrogeológico da área.

## AGRADECIMENTOS

À FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco) pelas bolsas de pesquisa concedidas aos alunos de Pós-Graduação e apoio financeiro para o desenvolvimento das pesquisas no tema Interação água superficial – água subterrânea.

À Compesa (Companhia Pernambucana de Saneamento) pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa.

## BIBLIOGRAFIA

BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. (1999) “*Conservação do solo*”. 4ª ed. São Paulo – SP : Ícone, p.355.

BRANDÃO, V.S; CECÍLIO, R.A; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. (2006) “*Infiltração de água no solo*”. 3ª ed. Viçosa – MG. Ed. UFV, P. 120.

BRUNKE, M.;GONSER, T. (1997) “*The ecological significance of exchange processes between rivers and ground-water*”. *Freshwater Biol* 37, p.1–33.

CALOURO, F. (2005) “*Atividade agrícola e ambiente*”. Porto: SPI (Sociedade Portuguesa de Inovação).

CHEN, X.; CHEN, X.H. (2003) “*Stream water infiltration, bank storage, and storage zone changes due to stream-stage fluctuations*”. *J. Hydrol* 280: p.246–264.

CHENG, X.; SONG, J.; CHENG, C.; WANG, D.; LACKEY, S.O. (2009) “*A new method for mapping variability in vertical seepage flux in streambeds*”. *Hydrogeology Journal* 17.

FREITAS, D.A.; CABRAL, J.J.P.S.; PAIVA, A.L.R.; VERAS, T.B. (2011) “*Influência da zona ripária e da zona hiporreica na Interação dos aquíferos com os mananciais de superfície*”. In Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Recife, Nov.

KOBIYAMA, M. (2003) “*Conceitos de Zona Ripária e seus Aspectos Geobiohidrológicos.*”. I Seminário de Hidrologia Florestal: Zonas Ripárias - Alfredo Wagner - SC – 22 de Setembro de 2003.

NASCIMENTO, K.R.F. (2002) “*Modelagem matemática do uso conjunto das águas superficiais e subterrâneas da sub-bacia do rio das fêmeas-bahia*”. Salvador: Srh – Superintendência de Recursos Hídricos da Bahia, Relatório Final , p.48.

PINTO, C.S. (2006) “*Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas*”. 3ª Ed., São Paulo, SP: Oficina de textos. p.03.

SCHUBERT, J. (2002) “*Hydraulic aspects of riverbank filtration – Field studies*”. Journal of Hydrology, v. 266, n.3-4, p.145-161.

SILVA, F.C. (2007) “*Análise integrada de uso de água superficial e subterrânea em macro-escala numa bacia hidrográfica: o caso do alto rio Paranaíba.*” Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre – RS. pp. 01-08.

SOPHOCLEOUS, M. (2002) “*Interactions between groundwater and surface water: the state of the science*” Hydrogeologic J.v. 10, p. 52-67.

STUYFZAD, P.; JUHÁSZ-HOLTERMAN, M.; LANGE, W.(2004) “*Riverbank filtration in Netherlands: well fields, clogging and geochemical reactions*”. NATO Advanced Research Workshop: Clogging in Riverbank Filtration, Bratislava, p.7-10 of september.

SUGUIO, K. (1973) “*Introdução à Sedimentologia*”. São Paulo, Ed. Edgard Blücher/EDUSP. p.317.

WINTER, T.C.; HARVEY, J.W.; FRANKE, O.L.; ALLEY, W.M. (1999) “*Ground Water and Surface Water.A Single Resource*”. USGS Circular 1139; U.S. Geological Survey: Denver, CO.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS (2009). *Groundwater Information*. Disponível em: <<http://water.usgs.gov/ogw/gwsw.htm>>. Acesso em: 02 de Fevereiro de 2011, às 23:15h.

VERAS, T.B. (2011) “*Análise da interação rio-aquífero na zona hiporreica para a tecnologia da filtração em margem: estudo de caso no rio Beberibe – PE.*” Universidade Federal de Pernambuco, Mestrado em Engenharia Civil – Área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Dissertação de Mestrado. Recife – PE.

