

**EXPLOTAÇÃO CONJUNTA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E ÁGUA
SUPERFICIAL INDUZIDA ATRAVÉS DE BOMBEAMENTO PRÓXIMO A
MANANCIAIS**

Anderson Luiz Ribeiro de Paiva¹; Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral² & José Geilson Alves Demétrio³

Resumo – Filtração em margem (FM) é um método de tratamento d'água alternativo eficiente e de baixo custo, com dois benefícios: a minimização da necessidade de produtos químicos para o controle de patógenos no tratamento das águas superficiais e a diminuição dos custos do tratamento. No processo de filtração nas margens, os poços de bombeamento, localizados próximo às margens do rio, bombeiam grandes quantidades de água e induzem a recarga do aquífero com as águas do rio. A FM serve como um pré-tratamento na produção de água potável e os processos envolvidos podem ser sub-divididos em: a) hidrodinâmicos (advecção, dispersão e difusão); b) mecânicos (filtração); c) biológicos (atuação dos microorganismos do solo); e d) físico-químicos (sorção, precipitação, complexação, floculação, coagulação, reações redox, e troca iônica). O presente artigo descreve as características do processo de filtração em margens e apresenta um experimento que está sendo iniciado na cidade de Recife.

Abstract – Bankfiltration (BF) is an alternative low-cost efficient technique for water treatment with the benefit of cost minimization and reduction of chemical product use for pathogen control. In BF method, large amount of water is pumped from wells drilled close to bank river to induce aquifer recharge from water river. BF is useful as a pre-treatment for drink water production and include the following process in soil: a) Hydrodynamic process (advection, dispersion, diffusion); b) mechanical process (filtration); c) Biological process (soil microorganisms action); d) Physical-Chemical process (sorption, precipitation, complexation, coagulation, redox reduction and ionic exchange). This paper presents the characteristics of bankfiltration technique and describes a BF experimental project that is being carried out in Recife Metropolitan Region (Brazil).

Palavras-Chave – Filtração em margem, exploração de água subterrânea, indução de recarga.

¹ MSc. Eng. Civil, Aluno de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco. Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, Recife/PE, 50670-901. Fone/fax: (81) 2126-7216. e-mail: anderson.paiva@ufpe.br

² PhD Eng. Civil, Professor da Universidade Federal de Pernambuco. Recife/PE. e-mail:jcabral@ufpe.br.

³ Dr. Geólogo, Professor do Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco. Recife/PE. e-mail: geilson@ufpe.br.

INTRODUÇÃO

A recarga de água subterrânea pode ser natural ou artificial, ou em outras palavras, recarga casual ou induzida (BOUWER, 2002). A Filtração em Margem (FM), na língua inglesa conhecida como RiverBank Filtration (RBF), ocorre naturalmente quando o nível do lençol freático for inferior ao nível d'água superficial do rio ou lago, ou pode ser induzida artificialmente pela locação de poços de bombeamento próximos à água superficial. A FM induzida é utilizada como uma técnica na indústria de água potável. O principal objetivo é um pré-tratamento da água superficial contaminada, previamente aos tratamentos convencionais em Estações de Tratamento de Água (ETA) (MASSMANN, 2002).

Filtração em margem é um método de tratamento d'água alternativo eficiente e de baixo custo. Há dois benefícios imediatos para o uso deste método:

- minimizar a necessidade de produtos químicos às águas superficiais para o controle de patógenos no tratamento das águas superficiais;
- diminuir custos do tratamento, associado a redução de riscos à saúde humana (após passar pela FM, os processos de tratamento na ETA podem ser mais simples).

Em algumas regiões, as águas do rio percolam naturalmente para o subsolo até os aquíferos (rio influente) durante todo o ano ou em outros casos só durante alguns dias, quando o rio apresenta as condições de um alto nível d'água. Durante esse processo de percolação, contaminantes potenciais presentes na água do rio são filtrados e atenuados, e a água fica com uma melhor qualidade, desde que não existam contaminantes nas águas subterrâneas ou se estiverem presente em baixas concentrações.

No processo de filtração nas margens, os poços de bombeamento, localizados próximo às margens do rio, bombeiam grandes quantidades de água. A ação do bombeamento cria uma diferença de carga hidráulica entre o rio e o aquífero, induzindo a água do rio através do meio poroso até o poço. A água bombeada é uma mistura da água subterrânea originalmente presente no aquífero e da água superficial do rio. Dependendo do uso e do grau de filtração e atenuação do contaminante, a água bombeada já pode ir direto para o sistema de distribuição no abastecimento d'água, como é feito em alguns países. Em outros casos, a água bombeada é conduzida à ETA, e portanto a FM serve como um pré-tratamento na produção de água potável (RAY et al., 2002a).

Os processos envolvidos na filtração em margem podem ser sub-divididos em:

- a) hidrodinâmicos (advecção, dispersão e difusão);
 - b) mecânicos (filtração);
 - c) biológicos (degradação de matéria orgânica pelos microorganismos do solo); e
 - d) físico-químicos (sorção, precipitação, complexação, floculação, coagulação, reações redox, e troca iônica)
- (DOUSSAN et al., 1998 apud DONALD e GRYGASKI, 2002).

Há mais de 100 anos este método vem sendo usado na Europa, principalmente nos rios Reno, Elba e Danúbio, produzindo água potável. E também já existem grandes aplicações nos Estados Unidos.

Para aplicação do método alguns parâmetros devem ser conhecidos, pois podem influenciar seu desempenho (HUNT et al., 2002):

- disponibilidade de água do rio que será induzida para o aquífero;
- nível de qualidade da água do rio;
- velocidade do fluxo e característica da carga do leito do rio;

- sazonalidade do fluxo do rio;
- estabilidade do canal do rio.

A maioria dos sistemas de filtração nas margens são construídos em aluviões localizados ao longo das margens do rio, por suas características hidrogeológicas favoráveis. Esses aquíferos consistem de uma variedade de depósitos, sendo principalmente arenoso ou até mesmo areia e pedregulho. As condições ideais são os aquíferos permeáveis, que estejam conectados hidraulicamente com os materiais do leito do rio.

O método também pode ser aplicado em locais que tenham camadas de baixa permeabilidade (camadas argilosas e siltosas) dentro de um aquífero aluvionar. Se a camada confinante for extensa e contínua, o filtro pode ser locado acima da camada confinante para a água infiltrar da fonte superficial; pode ser locado abaixo da camada confinante para se obter uma filtração máxima, ou os filtros também pode ser locados em ambas as camadas acima e abaixo da camada confinante para a máxima capacidade de bombeamento de água (HUNT et al., 2002).

Há três tipos de poços que têm sido usados no método de filtração nas margens:

- poço coletor horizontal;
- poço vertical;
- cacimbão

Em alguns países são usados o sistema de galeria de poços verticais, conectados por um tubo sinfonado. Existindo apenas uma casa de bombeamento que capta água de todos os poços através da ligação aos tubos sinfonados.

Com a FM, micróbios patogênicos, organismos fecais, e outras substâncias são removidas pelos processos físico, químico e biológicos na passagem através do meio poroso. O processo de remoção é tanto mais eficiente quanto menor for a velocidade da água subterrânea e quanto o aquífero for formado por materiais granulares com abertura adequada dos poros, ao mesmo tempo que se observa a importância da camada semipermeável que separa água subterrânea e superficial.

A eficiência da remoção de microorganismos depende de:

- da eficiência dos vários processos de remoção na passagem da água pelo aquífero;
- condições climáticas e hidrológicas;
- geometria do poço;
- características do material nas margens e do leito do rio / lago;
- fluxo da água subterrânea.

Na remoção dos microorganismos existentes na água superficial infiltrada, o projeto a ser implantado deve buscar uma eficiência que depende da concentração inicial de poluentes na fonte hídrica e da capacidade de remoção de substâncias no aquífero, resultando numa água dentro das exigências de potabilidade a qual se destina. O tempo de retenção é um importante fator de controle da remoção eficiente na filtração em margem (TUFENKJI et al., 2002). Na Alemanha, determina-se como um tempo mínimo de retenção de 50 dias.

A EPA (Environmental Protection Agency, USA) já considera a filtração em margem como processo de tratamento alternativo do tipo filtração biológica. O processo possibilita a remoção de nutrientes em condições nas quais os microorganismos consomem o carbono orgânico. Filtro biologicamente ativo é qualquer meio filtrante que permite a fixação de microorganismos, normalmente formando um biofilme que cobre ou fixa-se entre os grãos do meio. São mencionados métodos frequentemente usados: filtração lenta em areia; filtração em margem; filtração rápida por gravidade; carvão ativado granular. Estes meios filtrantes provêm processos físicos, químicos e biológicos que limpam a água. A remoção orgânica durante a filtração pode ser específica do local e pode ser influenciada pela qualidade e quantidade da matéria orgânica e variará com a temperatura, estações do ano, tipo do meio, tempo de

contato, e estratégias de relavagem. A FM pode ser usada para remover partículas, bactérias, vírus, parasitas, poluentes, compostos orgânicos, e inorgânicos (EPA, 2007).

O processo de FM e recarga artificial são métodos de tratamento da água similares à Filtração Lenta em Areia, com baixas taxas de fluxo através do meio. Devido aos processos naturais no solo, as características da água podem mudar (potencial redox, conteúdo de sal) e influenciar a eficácia da remoção dos patogênicos. Pelas regras de tratamento de água nos Estados Unidos, a EPA (LT2ESWTR) dá como 0,5 a 1 log de créditos de remoção do *Cryptosporidium* para a filtração em margens, dependendo da distância entre o poço e a água superficial (SMEETS et al., 2006). É tomado como regra que valores superiores a 0,075 oocyst/L devem ter um tratamento adicional.

O método de FM é reconhecido como um eficiente processo de atenuação natural assegurando sustentabilidade ao abastecimento de água potável (HEBERER et al., 2004). Em Berlin 100% do suprimento de água é proveniente de água subterrânea, onde 70% origina-se da filtração em margem e recarga de água subterrânea. Atualmente há vários locais utilizando FM, onde os poços de bombeamento estão localizados a distâncias menores que 600m dos rios, lagos e canais.

Hiscock e Grischek (2002) relatam que os processos de atenuação na FM acontecem em duas zonas principais: camada de colmatação ativa biologicamente, onde os processos de degradação intensiva e adsorção ocorrem em curto tempo de residência; e ao longo do caminho principal do fluxo entre o rio e o poço de captação onde as taxas de degradação e capacidade de sorção são menores e o processo de mistura são maiores.

Wang e equipe, em 1995, realizaram estudos em uma estação de tratamento d'água em Louisville, o qual capta do aquífero aluvial que tem conexão direta com o rio Ohio (WANG, 2002). Foi analisado a remoção de patogênicos, partículas, turbidez, matéria orgânica natural, subprodutos de desinfecção, e pesticidas. Eles também compararam a FM com os métodos convencionais de tratamento d'água da própria estação. Wang et al. (1995) mostraram que FM é eficiente para remoção da matéria orgânica e pesticidas. Remoções de partículas superiores a 2,4 logs foram alcançados com a FM e 1,5 logs de remoção pelos métodos convencionais de tratamento.

A dinâmica natural de um sistema hidrológico complexo pode em alguns casos exigir cuidados adicionais para a implementação desta tecnologia. O comportamento transiente dos estágios do rio influencia as características de fluxo e transporte do sistema, o que pode afetar a qualidade da filtração em margem. Por exemplo, no aumento do nível do rio pode ocorrer infiltração por uma região previamente não saturada, a qual não tem as mesmas características de remoção do que na zona permanentemente saturada (TUFENKJI et al., 2002).

Variações sazonais e diurnas na temperatura da água também podem contribuir para uma variação na efetividade da FM, devido a maioria dos processos biogeoquímicos ser altamente sensíveis com a temperatura, podendo diminuir a atividade microbiana.

Devido ao crescimento populacional em determinadas regiões, as fontes hídricas estão cada vez mais escassas e ao mesmo tempo que a pouca água encontrada está sofrendo uma deteriorização pelos impactos do homem. Decorrente disto, alguns locais começam a adotar a técnica de recarga artificial tanto para armazenar a água, eliminando efeitos de perda por evaporação; como para utilizar o solo natural como um purificador da água, similarmente ao observado na técnica de filtração em margem. Deve-se salientar, que mesmo com a utilização da FM e com a delimitação de áreas de proteção, se não houver um controle para evitar impactos maiores com contaminação, a área de proteção pode não ser suficientemente o bastante.

De face com a complexidade do problema envolvendo a técnica de filtração em margem é fundamental o conhecimento de múltiplos aspectos, necessitando de estudos destes processos numa multidisciplinaridade e em

multiescala. O presente artigo descreve as características do processo de filtração em margens e apresenta um experimento que está sendo iniciado na cidade de Recife.

PROCESSOS DURANTE A FILTRAÇÃO EM MARGEM

Os fatores que influenciam os processos na filtração em margem, de um rio ou lago, dependem e variam pelas condições específicas locais. As propriedades dos sedimentos tais como distribuição no tamanho dos grãos, permeabilidade e porosidade, assim como o regime de bombeamento, controlam a velocidade de infiltração. A distribuição sazonal e espacial de matéria orgânica e suspensa na superfície da água influencia a drenança pelos sedimentos no leito do rio.

A camada de transição entre água superficial e água subterrânea dentro do aquífero aluvial é reconhecido como um meio ambiente biogeoquímico distinto. Esta zona de transição dinâmica ou “zona hiporreica”, comumente caracterizado pelos gradientes de luz, temperatura, pH, potencial redox, oxigênio, e carbono orgânico, controla a qualidade da filtração em margem (TUFENKJI et al., 2002). Com a água infiltrada através das margens do rio para o aquífero, ocorrem mudanças químicas descritas por quatro tipos de reações: transferência elétrica, intemperismo, mudança iônica, e mudança de gases. Inúmeros estudos apontam como sendo a atividade biológica o principal agente de mudanças químicas, tais como degradação da matéria orgânica ou poluentes orgânicos, e esta atividade ocorre nos primeiros metros da infiltração.

Quando a atividade microbiana for intensa nos sedimentos do leito do rio, há um consumo de oxigênio maior do que é repostado pela água do rio infiltrada (TUFENKJI et al., 2002).

Mudança na temperatura da água pode afetar a taxa de infiltração, pois com o aumento da temperatura a viscosidade da água diminui e então, a condutividade hidráulica aumenta. Pelas condições dinâmicas naturais e processos na interação água superficial e água subterrânea é sugerido que estudos de sistemas com FM sejam conduzidos por um período extenso.

A Filtração Lenta em Areia é um processo de purificação da água bruta passando através de um meio filtrante constituído de camadas de areia pré-definidas. A taxa de filtração é lenta, de 0,1 a 0,2 m/h. É considerada uma tecnologia barata e eficiente para remoção de contaminantes suspensos e biodegradáveis, tanto quanto patogênicos. Foi desenvolvido no início do século XIX na Inglaterra para produzir água potável para a cidade de Londres, filtrando água do rio Tamisa. Vários países continuam utilizando este método (RAY et al., 2002).

São relatados problemas na filtração de águas oriundas de rios que carregam partículas coloidais e de argila, pois estes entopem o meio filtrante, prejudicando as filtrações posteriores. O método não é adequado para remover a cor da água (remoção abaixo de 25%). Uma fina camada de matéria orgânica chamada “película suja” cresce na parede do filtro, a qual melhora a filtração. Pois, atua como uma barreira de remoção de contaminantes como sólidos suspensos, e também ajuda na degradação de partículas biológicas. No entanto, esta película com o tempo entope os poros do filtro, sendo então necessário uma limpeza do filtro. A turbidez da água filtrada pode chegar a menos de 0,5 ntu (nephelometric turbidity units).

O processo FM tem algumas similaridades ao desempenho da Filtração Lenta em Areia. Matéria orgânica, similar a “película suja”, pode criar uma interface aquífero/rio, especialmente quando a velocidade do fluxo é baixa. Uma cheia no rio poderia limpar esta camada; todavia, com subseqüentes períodos de fluxo baixo, pode ser reestabelecida. Os sistemas FM podem ficar mais vulneráveis quando estas camadas de matéria orgânica e/ou

sedimentos são levados embora num fluxo alto. A velocidade de infiltração na interface aquífero/rio varia, dependendo da localização dos poços coletores. Em Louisville, Kentucky/EUA, mediu-se uma velocidade de 0,12 a 0,16 m/h; sendo uma taxa equivalente à filtração lenta em areia.

Como nem sempre as fontes de águas subterrâneas naturais têm um volume necessário para suprir a demanda, alguns locais utilizam a recarga artificial para aumentar o suprimento de água subterrânea, podendo melhorar a água inicialmente infiltrada de forma semelhante ao que ocorre com filtração em margem. Em Berlim, é utilizado a recarga artificial em algumas áreas com lagoa de infiltração, e a uma certa distância há captação por poços ou trincheiras. Pequenos rios com baixa vazão de infiltração foram represados, e o problema de colmatação do leito superado por obras de escariação do leito (SCHIMDT et al., 2003).

Um grande problema que afeta a taxa de infiltração na interface de água superficial - água subterrânea é a colmatação. A colmatação pode ser causada por processos químicos, físicos e biológicos. Os processos físicos compreendem a acumulação de sólidos suspensos, orgânicos e inorgânicos; os processos biológicos são a acumulação de flocos de algas e bactérias na água e na superfície da interface manancial / meio filtrante; e os processos químicos incluem a precipitação de carbonato de cálcio, gipsita, fosfatos e outros compostos químicos sobre o solo e dentro dele (BOUWER, 2002).

Para o controle da qualidade da água nas águas superficiais e na produção de água potável alguns parâmetros precisam ser analisados e acompanhados durante o processo de tratamento. Com relação aos contaminantes podemos dividi-los em físicos, químicos e biológicos (RAY et al., 2002).

Contaminantes Físicos

A temperatura pode variar nas estações com fontes de águas superficiais, porém permanece relativamente constante nas águas subterrâneas. A variação da temperatura pode variar em função do bombeamento, locação do ponto de monitoramento, distância do poço ao rio, construção do poço, ou fatores hidrogeológicos. Variações na temperatura podem influenciar na performance do tratamento d'água. É um parâmetro que deve ser observado, porém no norte e nordeste do Brasil, não ocorrem variações de temperatura muito grande nas fontes d'água tanto superficial quanto subterrânea.

A turbidez diz respeito aos rios que atravessam formações ricas em argila. Dados de monitoramento no rio Ohio próximo a Louisville, Kentucky/EUA durante um período de 5anos (1997-2002), mostrou um mínimo de 2ntu (julho/99) e um máximo de 1500ntu (março/97); todavia a água obtida nos poços coletores apresentou turbidez em torno de 0,1ntu, o que é significativamente abaixo do padrão americano de 0,5ntu.

Contaminantes Químicos

Podem ser divididos em quatro grupos principais: inorgânicos; orgânicos sintéticos (pesticidas e orgânicos voláteis/semi-voláteis); matéria orgânica natural; farmacêuticos e outros químicos emergentes.

Inorgânicos: a dureza da água é um importante parâmetro para a remoção em estações de tratamento. A dureza pode ser reduzida durante os picos de cheia, quando a contribuição de água subterrânea é baixa. As concentrações observadas em alguns países variam muito pelas condições locais. Em alguns locais tem sido encontrada alta concentração de bromito (que pode indicar formação do brometo, que é cancerígena, durante a ozonização). Nitrogênio e outras formas de fertilizantes também são importantes. Rios transversais à regiões agrícolas, podem receber uma grande quantidade de contaminantes, por escoamento superficial ou por descarga de drenos.

Orgânicos Sintéticos e Pesticidas: são os mais preocupantes para o tratamento de águas superficiais. Os picos de concentração normalmente coincidem com os picos de cheias, carreando águas poluídas da agricultura. Rios navegáveis também estão sujeitos à derramamento de produtos de petróleo e outros químicos industriais, tais como compostos clorados.

Matéria Orgânica: na água superficial é importante, principalmente em estações onde se usa cloretos como desinfetante. O cloreto combinado com a matéria orgânica forma um subproduto, tal como o trihalometano (THM) e ácidos haloacéticos (HAA), os quais são potencialmente cancerígenos. As concentrações de matéria orgânica variam de acordo com a estação, características da bacia, e fluxo do rio. Para analisar a qualidade da água com relação a matéria orgânica, os parâmetros mais usuais são: Carbono Orgânico Total; Carbono Orgânico Dissolvido; DBO; absorção ultravioleta de água em 254 nanômetros; carbono orgânico assimilativo.

Produtos farmacêuticos e produtos de higiene pessoal: são atualmente micropoluentes de muito interesse, pois são encontrados em esgotos domésticos e podem causar danos a saúde. Pelo fato de muitos desses compostos serem encontrados em extremamente baixa concentração, uma determinação analítica é difícil e requer instrumentação complexa.

Contaminantes Biológicos

Contaminantes biológicos na água superficial incluem protozoários, bactérias e vírus. *Giardia* e *Cryptosporidium* são os protozoários principais. Coliformes totais e termo-tolerantes são os indicadores monitoradas pelos órgãos ambientais e de vigilância sanitária.

INTERAÇÃO ÁGUA SUBTERRÂNEA – ÁGUA SUPERFICIAL

Para o entendimento da interação complexa que há entre água subterrânea e superficial em relação aos fatores de clima, relevo, geologia, e biota, é necessário uma compreensão estruturada hidrogeológica (SOPHOCLEOUS, 2002). Todos estes aspectos devem ser avaliados num conjunto em sua sustentabilidade e suscetibilidade a contaminação, para um gerenciamento efetivo dos recursos hídricos.

O sistema de fluxo de água subterrânea está sob os efeitos da topografia, geologia e clima (precipitação sendo a fonte de recarga) – chamado meio ambiente hidrogeológico (TÓTH, 1970 apud SOPHOCLEOUS, 2002). As diferenças na superfície topográfica rebatem frequentemente nas diferenças de potenciais nas águas subterrâneas. Na natureza, ocorrem múltiplos sistemas de fluxo podendo ser divididos em três tipos distintos – local, intermediário e regional. No sistema local, há fluxo para uma área de descarga próxima, riacho ou lagoa. No sistema intermediário há os altos e baixos da topografia entre áreas de recarga e descarga. E no sistema regional, a água viaja distâncias maiores até rios, grandes lagos, ou oceano.

A interação de corpos d'água com água subterrânea é governada pela posição da água superficial com relação ao sistema de fluxo de água subterrânea, características geológicas de suas margens, e o clima na região. A perspectiva geomorfológica também ajuda a caracterizar esta interação, se há o fluxo do corpo d'água superficial para o subsolo ou o contrário, observando-se as características de declividade da margem, sinuosidade de rio, largura e profundidade do rio, e o sistema de deposição fluvial/lagunar.

A resposta a um evento particular como a precipitação ocasiona uma alteração na interação entre água subterrânea e superficial, dependendo da magnitude do evento de precipitação, das condições de saturação do solo

antes do evento, e/ou da heterogeneidade das propriedades hidráulicas do solo. Pode ocorrer, em alguns casos, um acréscimo considerável no escoamento superficial ou subsuperficial, quando existe um excedente da taxa de infiltração do solo ou quando o nível do lençol freático alcança níveis bem superiores ao do manancial, podendo existir variações sazonais ou mesmo diurnas.

De forma geral, avalia-se que os rios podem ser distintos quanto a interação em: influente, quando a água superficial contribui para o fluxo subsuperficial; ou efluente, quando água subterrânea drena em direção ao rio.

O fluxo estimado do sistema conectado rio-aquífero é uma função da diferença entre o nível do rio e a carga do aquífero, sendo considerado que isto é controlado pela drenança através do substrato semipermeável, baseado na lei de Darcy. Simplificadamente, alguns modelos consideram o fluxo variando linearmente com a diferença de carga, porém há equações não-lineares para representar esta interação.

Com uma investigação de campo simplificada é possível identificar a direção de fluxo subterrâneo, o problema encontrado é modelar a situação encontrada com as ferramentas computacionais existentes de forma a representar todas as variáveis envolvidas. Porém, muitos pesquisadores têm conseguido bons resultados e desenvolvido software para situações específicas com suas dadas simplificações. No caso da interação água subterrânea e superficial um ponto que deve haver atenção, principalmente para a modelagem, é prever o fluxo não-saturado que pode resultar em condições diferenciadas, pois, é possível a variação entre a condição saturada e não-saturada na conexão entre o manancial e o aquífero, devido a permeabilidade da camada da interface.

A atividade microbiana diminui a permeabilidade na interface da interação água superficial – água subterrânea devido a formação de um biofilme (TUFENKJI et al., 2002). Assim como a retenção de partículas finas (<2mm) no leito do rio contribui uma obstrução dos sedimentos das margens do rio, ocorrendo principalmente se o rio está sob condições de baixo fluxo. Os sedimentos das margens do corpo d'água obstruídos podem aumentar a eficiência da filtração natural, porém a perda na permeabilidade pode reduzir significativamente a produtividade da zona de captação do poço.

ESTUDO DE CASO – RIO BEBERIBE

Uma pesquisa com filtração em margem está sendo realizada na bacia do rio Beberibe, em Pernambuco, através de um projeto da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), com parceria da Companhia de Saneamento do Estado de Pernambuco (COMPESA). A área estudada está situada na Região Metropolitana de Recife (RMR), na divisa entre Olinda e Recife, limitada pelas coordenadas UTM 9115500 a 9116000 Norte e 289500 a 290000 Leste (figura 1). A RMR possui economia basicamente urbana, apresentando grandes problemas sociais e dificuldades que entravam o aproveitamento do potencial existente para o seu desenvolvimento, incluindo problemas relacionados com recursos hídricos (PERNAMBUCO - SECTMA, 1998). A estação elevatória de Caixa d'Água, local da pesquisa, está situada no bairro de Caixa d'Água – Olinda, sendo o rio Beberibe o limite entre os municípios de Olinda e Recife neste trecho da RMR.

O rio Beberibe tem orientação predominante no sentido oeste-leste, mostrando uma deflexão para o sul e desaguardo no Oceano (PERNAMBUCO - SEPLAN, 1997; PERNAMBUCO - SECTMA, 2006), numa região estuarina compartilhada com o rio Capibaribe.

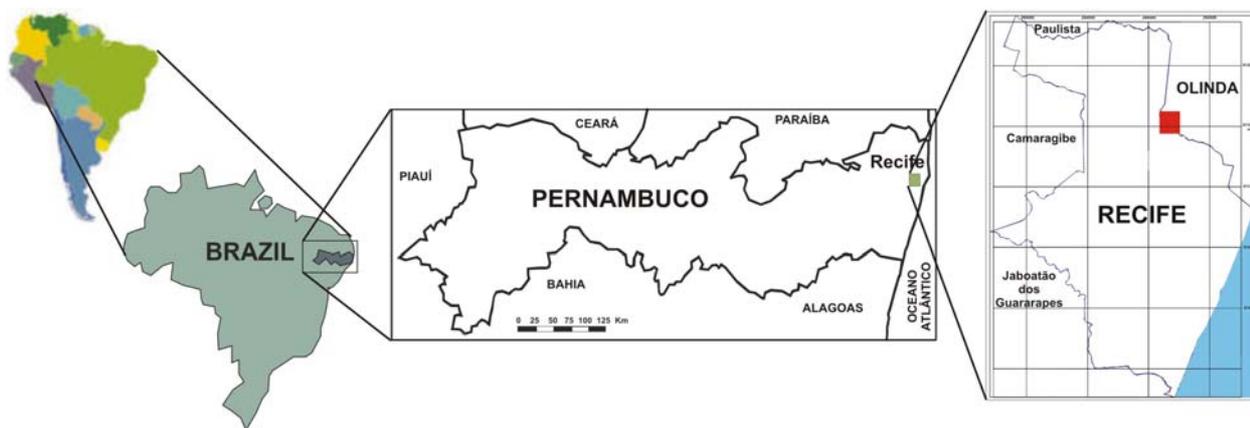


Figura 1 – Localização da pesquisa da Filtração em Margem na bacia do rio Beberibe, no limite entre os municípios de Recife e Olinda (área em vermelho).

A Bacia do Beberibe possui uma área de drenagem de 81 Km², e representa cerca de 0,08% do estado de Pernambuco. O Beberibe é formado pelos Rios Araçá e Pacas, com nascentes no município de Camaragibe (Aldeia). Possui uma extensão de aproximadamente 19 Km, desde a confluência desses dois rios até a desembocadura no Oceano Atlântico. O Beberibe, em períodos normais, é um rio estreito, com largura em torno de 6 metros (PERNAMBUCO - SEPLAN, 1997).

Com relação ao enquadramento dos cursos d'água, o rio Beberibe possui trechos com classe 1, 2 e 3, o que traduz a qualidade de água com que se espera para rio naquele trecho (PERNAMBUCO - SEPLAN, 1997). Estando o trecho da área de estudo classificada como classe 3. Classe 3 são águas destinadas: a) ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional; b) à preservação de peixes em geral e de outros elementos da fauna e da flora; c) à dessedentação de rebanhos. As classes 1 e 2 vão das nascentes do rio Beberibe, com afluentes, até a Estação Elevatória de Caixa d'Água.

As atividades antrópicas impactantes à bacia do rio Beberibe são: atividades industriais, atividades urbanas (esgoto doméstico, escoamento superficial), atividades agrícolas, desmatamento ciliar, construção de rodovias e pontes, escoamento pluvial de rodovias, e lixões.

Segundo dados históricos da rede de monitoramento da Companhia de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco (CPRH), até a estação BE 2 – 11 (próxima a E.E. Caixa d'Água) ocorre problemas de coliformes fecais, com pouco ou nenhum problema apresentado em relação a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e oxigênio dissolvido (OD). A jusante desta última estação já ocorre problemas tanto para DBO, OD e coliformes fecais, extrapolando os limites de qualidade da água para as respectivas classes, nas quais estão enquadrando os trechos do rio na bacia.

Costa et al. (2002) já mencionava a preocupação com a qualidade da água do rio Beberibe, com sua rede de drenagem sendo tomada pela expansão urbana desordenada. Chegando ao ponto da COMPESA desativar uma captação de água que havia próxima a EE Caixa d'Água.

O rio Beberibe, pela classificação das bacias hidrográficas do estado, faz parte do Grupo de Pequenas Bacias Litorâneas – GL1. A bacia do Beberibe localiza-se na sua maior parte na Formação Barreiras, componente da bacia sedimentar Pernambuco-Paraíba, enquanto que o rio Beberibe corre predominantemente sobre afloramento de rochas sedimentares do aquífero Beberibe e um pequeno trecho a oeste localiza-se sobre rochas do embasamento cristalino.

Formação Beberibe

A Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba na região é formada pelos sedimentos da Formação Barreiras sobrepostos à Formação Beberibe do período Cretáceo. Apresenta-se, estruturalmente, com o embasamento cristalino mergulhando suavemente para leste, constituindo uma faixa continental de largura média em torno de 20 Km ao longo de todo o litoral norte da RMR, estreitando-se quase que abruptamente nas proximidades do Lineamento Pernambuco, para assumir uma largura média de 8km.

É composta de uma seqüência essencialmente arenosa, com uma espessura média de 200m, em geral sem fósseis, constituindo-se de arenitos friáveis, cinzentos a cremes, mal selecionados, com componentes argilosos. Na base podem aparecer leitos conglomeráticos e intercalações de níveis argilosos, enquanto no topo predominam os arenitos médios a finos. Identifica-se também uma passagem lateral, geralmente caracterizada por interdigitação, para um arenito mais duro, com cimento carbonático e fragmentos de organismos não reconhecíveis.

Estes arenitos calcíferos representam uma fácies litorânea marinha e aparecem apenas em subsuperfície, constituindo-se no Beberibe Superior, enquanto a seção inferior, de caráter arenoso, com algumas intercalações de silte e argila, denomina-se de Beberibe Inferior e apresenta-se como o principal aquífero na RMR. Estas intercalações de silte e argilas têm espessura média de 10m, podendo, em alguns locais, tornar-se muito delgada e até mesmo, inexistir, verificando-se uma maior conexão hidráulica entre as duas seções, ou aquíferos. Regionalmente, este nível siltico-argiloso, funciona como aquitardo, separando os dois sub-níveis e condicionando um comportamento de semi-confinado para o nível inferior (PERNAMBUCO – SECTMA, 1998).

Estação Elevatória de Caixa d'Água

A área de estudo foi escolhida no terreno da Estação Elevatória de Caixa d'água, e para a escolha da área de estudo alguns pontos foram observados:

- A área é de propriedade da própria Compesa, o que facilitou o início dos trabalhos;
- O rio Beberibe margeia o terreno da estação elevatória;
- O rio Beberibe corre no local sobre a formação Beberibe;
- Existe a possibilidade da água explotada pelo projeto piloto já ser direcionada para o próprio sistema existente da Compesa.

Antigamente no local, no início da operação da estação elevatória havia captação d'água diretamente do rio Beberibe, mas com o decorrer dos anos a poluição do rio foi se agravando até que desativaram esta captação.

Objetivando um conhecimento mais detalhado das camadas do solo e subsolo na área alvo do estudo, foram realizados 6 furos de sondagem, sendo um deles no leito do rio. Com as informações obtidas com os perfis de sondagem foram traçadas duas seções litológicas, uma paralela e outra transversal ao rio Beberibe.

Na bacia hidrográfica do rio Beberibe, existem vários poços profundos, inclusive alguns da COMPESA. Porém, em sua maioria captando águas mais profundas do aquífero Beberibe Inferior. Os dados obtidos estão sendo comparados com informações de alguns poços próximos a área de estudo, mesmo sabendo que as descrições litológicas destes poços profundos não possuem maiores detalhamentos como os obtidos em perfis de sondagem a cada metro.

A seção transversal ao rio Beberibe (figura 2) foi elaborada a partir das informações dos furos de sondagens SP4, SP2, SP1 e SP6 (leito do rio). A seção inicia-se com material fino, silte -argiloso, gradando imediatamente para uma areia. Em seguida, a presença de um nível argiloso contínuo, argila-siltosa (ao longo de toda a seção), com espessura variando entre 2 e 5 metros. Encontrando-se sob o leito do rio uma camada com turfa. Observa, na figura 2,

também contínua em toda a seção, sob a camada argilosa, uma camada com areia grossa. E logo abaixo, segue a formação do aquífero Beberibe Superior.

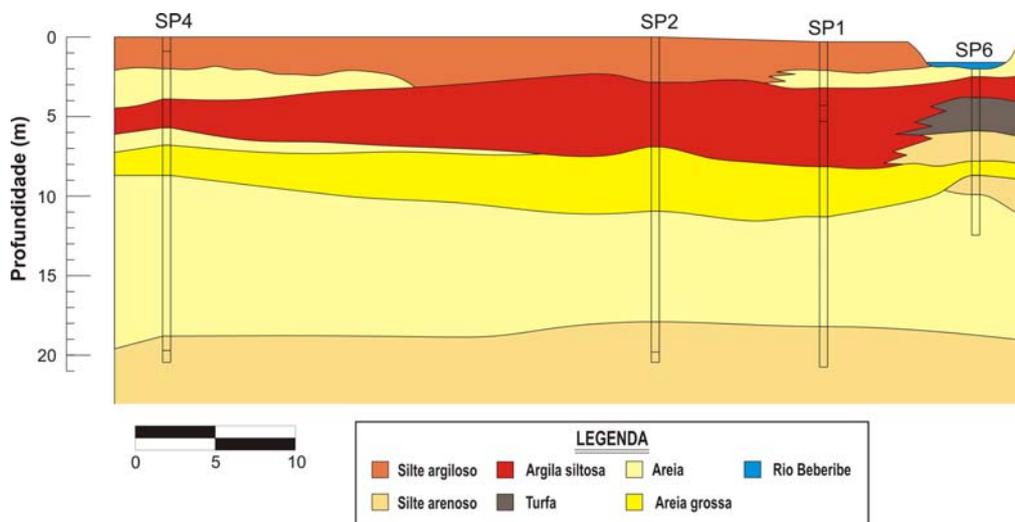


Figura 2 – Seção litológica transversal ao rio Beberibe, E.E. Caixa d'Água, Caixa d'Água - Olinda.

Foram coletadas amostras de solo a cada metro, além da finalidade da descrição do material, foi selecionado algumas profundidades para ser realizado ensaio de granulometria. Os ensaios estão sendo realizados no Laboratório de Solos da UFPE. Este ensaio permite uma estimativa da condutividade hidráulica do solo a partir de formulações empíricas existentes na literatura (Odong, 2007), além de uma verificação da variabilidade espacial na área da estação, a ser confirmada com outros ensaios, como o slug teste e teste de bombeamento para o poço de produção.

Dentre as atividades do estudo de caso, encontra-se em andamento a licitação do projeto do poço de produção, sendo realizado pela Compesa, por coordenação do Geólogo Hélio Paiva. Segundo os termos de referência para o poço de produção, deve-se ter as seguintes características: posicionamento próximo ao poço de observação SP2, aproximadamente central a área da estação elevatória; profundidade de 30 metros; diâmetro de perfuração 12 ¼ polegadas; diâmetro do poço de 6 polegadas; método de perfuração rotativa com circulação direta; dois filtros, nas profundidades de 6 a 12 metros, e 24 a 30 metros.

Através da análise das seções litológicas, observou-se a existência de uma camada com características de areia média a grossa nas profundidades aproximadas de 6 a 10 metros. Espera-se que esta camada tenha uma conexão bem maior com o leito do rio, até mesmo pela proximidade, propiciando uma condução preferencial da água que venha a infiltrar do rio. Para uma melhor investigação e observações, foi sugerido dois filtros (um superior e outro inferior), de modo com a possibilidade de bombeamento separadamente, o que poderá trazer informações da dinâmica que ocorre na interação da água superficial e água subterrânea.

Dentre as atividades que estão em andamento, podem ser citadas o ensaio de condutividade hidráulica por ensaio slug test, a análise granulométrica de algumas profundidades representativas, e a possibilidade de realizar o ensaio de permeâmetro in situ; a construção do poço de produção; o monitoramento dos parâmetros de qualidade da água para o sistema a ser construído com observações no próprio rio Beberibe e água bombeada no poço de produção; modelagem computacional para o sistema criado; e finalizando uma análise dos dados e informações obtidas no projeto piloto instalado.

Com este projeto piloto, espera-se obter uma boa melhora na qualidade da água bombeada em comparação a água oriunda do rio Beberibe, que se encontra altamente poluído. Um acompanhamento direto da Compesa traz uma

oportunidade de troca de conhecimento técnico, de uma aplicação tecnológica técnica nova, com perspectivas de poder ser empregada em outros locais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A linha de pesquisa, deste presente trabalho, apresenta uma forma de captação utilizando poços próximos à margem dos rios para obtenção de água com uma qualidade melhor que a do rio, de forma a reduzir os custos com tratamento. Na tecnologia de Filtração em Margem estão envolvidos vários processos, tais como: adsorção, redução, filtração físico-química, e biodegradação, que em conjunto proporcionam um bom resultado.

Esta pesquisa está sendo desenvolvida, com um projeto piloto que está sendo implantado no terreno da estação elevatória de Caixa d'Água, em Olinda, com apoio da Compesa (Companhia de Saneamento de Pernambuco) e também com apoio da Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco.

Um ponto interessante para a escolha do local foi o fato desta estação há décadas atrás ter uma captação de água superficial no rio Beberibe, que margeia a área. Porém, com a crescente poluição apresentada na captação, a mesma foi abandonada; e atualmente a estação elevatória recebe água de fontes mais distantes para então bombeá-las para a estação de tratamento.

A Filtração em Margem é uma técnica bem sucedida em muitos países. No Brasil, a técnica está sendo testada em alguns locais, porém não existe ainda no Brasil uma utilização em escala industrial. No presente projeto está sendo avaliada a adaptação desta técnica às condições climáticas, fluviais e geológicas na região nordeste.

A eficiência do método será analisada como um pré-tratamento das águas do rio Beberibe, o qual se encontra bastante poluído, principalmente por esgotos domésticos. Alcançando os resultados esperados, abre-se a perspectiva da utilização do método em outros locais do estado de Pernambuco.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à COMPESA, à SRH-PE e ao CNPq pelo apoio nas diversas fases do projeto. O primeiro autor agradece ao CNPq/CT-Hidro pela atual bolsa de doutorado, e a CAPES/DAAD pelo estágio de doutorado realizado na Freie Universität Berlin.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOUWER, H., 2002. Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. *Hydrogeology Journal*, vol.10, p.121-142.
- COSTA, W.D. et al. Estudo Hidrogeológico de Recife - Olinda - Camaragibe - Jaboatão dos Guararapes. Projeto HIDROREC II. Recife. 2V. 2002.
- DONALD, D; Grygaski, T., 2007. Development of a Sustainable Potable Water Supply for Rural Villages in the Coastal Region of Tanzania, Africa. Em meio digital, acessado em 2007.

- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA, 2007. Office of Ground Water and Drinking Water Effect of Treatment on Nutrient Availability. Total Coliform Rule Issue Paper. 45p.
- HEBERER, T.; Mechliniski, A.; Fanck, B.; Knappe, A.; Massmann, G.; Pekdeger, A.; e Fritz, B., 2004. Field Studies on the Fate and Transport of Pharmaceutical Residues in Bank Filtration. Ground Water Monitoring & Remediation. Vol.24, n.2.
- HISCOCK, K.M., Grischek, T., 2002. Attenuation of groundwater pollution by bank filtration. Journal of Hydrology. Vol.266, p.139-144.
- HUNT, H.; Schubert, J.; e Ray, C., 2002. Riverbank Filtration – Improving Source-Water Quality. Chapter: Conceptual Design of Riverbank Filtration Systems. Kluwer Academic Publishers. California, USA.
- CAMPOS, H.L. 2003. Processo Histórico de Gestão na Bacia Hidrográfica do Rio Beberibe (PE): Uma Retrospectiva. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro - RJ. 226p.
- MASSMANN, G., 2002. Infiltration of River Water into the Groundwater: Investigation and Modeling of Hydraulic and Geochemical Processes during Bank Filtration in the Oderbruch, Germany. Universidade Livre de Berlim, Tese de Doutorado. Berlim, Alemanha.
- ODONGO, Justine. Evaluation of Empirical Formulae for Determination of Hydraulic Conductivity based on Grain-Size Analysis. Journal of American Science. V.3, n.3, p.54-60. 2007.
- PERNAMBUCO - GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. SECTMA – Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Atlas de Bacias Hidrográficas de Pernambuco. Coordenação Técnica de Simone Rosa da Silva. 104p. Recife - PE. 2006.
- _____. SECTMA – Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH. Recife - PE.1998.
- _____. SEPLAN – Secretaria de Planejamento. Projeto de Qualidade das Águas e Controle da Poluição Hídrica das Bacias dos Rios Beberibe, Capibaribe e Jaboatão – PQA/PE. Estudos de Consolidação e Compemetação do Diagnóstico sobre a Qualidade das Águas, Relativos à Preparação do Programa de Investimentos nas Bacias dos Rios Beberibe, Capibaribe e Jaboatão. Relatório n.1, Tomos I e II. Recife - PE. 1997.
- RAY et al., 2002. Riverbank Filtration – Improving Source-Water Quality. Chapter: Introduction. Kluwer Academic Publishers. California, USA.
- SCHMIDT, C.K. et. al., 2003. Experiences with riverbank filtration and infiltration in Germany. TWZ-Report. DVGW – Water Technology Center (TZW), Germany.
- SMEETS, P.; Rietveld, L.; Hijnen, W., Medema, G., Stenström, T.-A., 2006. Efficacy of water treatment processes. Acessado em 20 de janeiro de 2007, em: http://217.77.141.80/clueadeau/microrisk/uploads/microrisk_efficacy_of_water_treatment_processes.pdf.
- SOPHOCLEOUS, M., 2002. Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. Hydrogeologic Journal. Vol.10, p.52-67.
- TUFENKJI, N.; Ryan, J. N.; E Elimelech, M., 2002. Bank filtration: a simple technology may inexpensively clean up poor-quality raw surface water. Environmental Science & Technology. Colorado, USA. p. 423 – 428.
- WANG, J., 2002. Riverbank Filtration – Improving Source-Water Quality. Chapter: Riverbank Filtrate Case Study at Louisville, Kentucky. Kluwer Academic Publishers. California, USA.
- WORCH, E. et. al. Laboratory tests for simulating attenuation processes of aromatic amines in riverbank filtration. Journal of Hydrology. v.266, p.259-268. 2002.