

MEDIÇÕES DE FLUXOS DE ÁGUA E CONTAMINANTES EM AQÜÍFEROS ATRAVÉS DO USO DE FLUXÍMETRO

Harald Klammler^{2,3}; Joana Angélica Guimarães da Luz¹; Olivar Antônio Lima de Lima²; Kirk Hatfield³; Michael Annable³

RESUMO

Um método desenvolvido por pesquisadores da Universidade da Flórida (EUA) permite a medição direta e simultânea de fluxos de água e contaminantes em meio poroso, usando um instrumento passivo chamado “Fluxímetro”, o qual consiste de um material sorvente hidraulicamente permeável, que é instalado em poços de monitoramento com o objetivo de interceptar o fluxo de água e de contaminante. O Fluxímetro contém inicialmente quantidades conhecidas de um ou mais traçadores que são gradualmente eliminados devido ao fluxo de água, simultaneamente os contaminantes presentes na água subterrânea são retidos no material sorvente do Fluxímetro. Após a remoção do Fluxímetro, análises laboratoriais determinam as massas remanescente do traçadores e as massas do contaminante retidas durante o período de observação. A configuração clássica do Fluxímetro foi é desenhada para poços de monitoramento com diâmetros pequenos (0,5–2”), este trabalho apresenta o estudo experimental de laboratório para a configuração modificada de um Fluxímetro, que permite sua aplicação em poços com diâmetros maiores e aplicações de campo no Brasil.

ABSTRACT

A method has been developed to directly and simultaneously measure groundwater and contaminant fluxes in porous aquifers. The method uses a passive instrument called “Fluxmeter” that consists of a hydraulically permeable, sorbent material that is installed in monitoring wells in order to intercept groundwater and contaminant flows. The Fluxmeter initially contains known amounts of one or more resident tracers that are gradually eluted from the Fluxmeter during exposure to groundwater flow; simultaneously target contaminants in the groundwater are retained in the sorbent material of the Fluxmeter. Laboratory analysis after removal of a Fluxmeter from a well reveals both tracer masses remaining and contaminant masses retained during the observation period, which are used to estimate cumulative groundwater and contaminant fluxes. While the classical Fluxmeter configuration is designed for small diameter monitoring wells, this work presents the theoretical and laboratory studies for a modified Fluxmeter configuration aiming at applications in larger diameter wells and particular field applications in Brazil.

Palavras-chave: Contaminação, água subterrânea, fluxímetro

¹ Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e de Meio Ambiente-UFBA, Rua Barão de Geremoabo, S/N Salvador Bahia fone: (+55) 71 3203-8640 email: jgluz@ufba.br

² Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia-UFBA, email: olivar@cpgg.ufba.br

³ Department of Civil and Coastal Engineering, University of Florida, Gainesville, FL 32611-6450, USA. Email: khat@ce.ufl.edu

1. INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas e o risco de contaminação dos recursos hídricos tem sido uma preocupação para os profissionais que atuam na área, as agências reguladoras, além de órgãos públicos e privados. Os prejuízos advindos da contaminação dos recursos hídricos não se restringem aos problemas ambientais, mas também se estendem a prejuízos econômicos e sociais, em particular a saúde das populações.

Nas últimas décadas diversos estudos e técnicas têm sido desenvolvidos para avaliação e monitoramento da qualidade da água de superfície. Entretanto, programas de monitoramento da qualidade de água subterrânea apresenta aspectos particulares, que devem ser levados em conta. A avaliação e detecção, confiáveis, de impactos relativos à contaminação de água subterrânea necessita de um conhecimento detalhado das condições hidrogeológicas e geoquímicas, além da necessidade de se fazer uma amostragem com o mínimo de perturbação nas condições naturais do aquífero.

A contaminação de águas subterrâneas é um problema de larga escala e de longo prazo. Historicamente, a caracterização e remediação de áreas contaminadas dependia de concentrações de contaminantes nas águas subterrâneas. Essas concentrações eram usadas para avaliar a complacência com critérios reguladores, o potencial de risco para possíveis receptores e para configurar, implementar e avaliar alternativas de remediação para reduzir esses riscos (API, 2003)^[1]. Além disso, agências reguladoras controlando as remediações de áreas contaminadas tipicamente requerem informações com relação às concentrações de contaminantes tanto como do fluxo de água subterrânea (EPA, 2004)^[2]. Recentemente, o uso de fluxo de contaminante (e a carga de massa de contaminante) ganhou aceitação no meio científico, regulador e do usuário em geral como medida robusta para avaliar os riscos em áreas contaminadas e para avaliar a performance de medidas de remediação (API, 2003; EPA, 2004).

O fluxo de massa de contaminante é a taxa com a qual uma massa química atravessa uma unidade de área da seção transversal. Medições locais de fluxos, numa seção transversal imediatamente à jusante de uma fonte de contaminação orientada perpendicular à direção média do fluxo subterrâneo, são usadas para caracterizar forças da fonte ou a descarga total de massa de um contaminante (Feenstra et al., 1996)^[3]. Esta informação pode ser usada para quantificar os riscos para receptores à jusante da fonte fora da área contaminada (Einarson and Mackay, 2001)^[4] e para priorizar tentativas de remediação que maximizem a redução de riscos levando em conta os recursos financeiros disponíveis. Além disso, a medição e quantificação de fluxos de contaminantes tem conseqüências importantes com relação à avaliação dos efeitos da atenuação natural e remediação ativa.

1. TECNOLOGIA DO FLUXÍMETRO

O Fluxímetro é uma tecnologia desenvolvida por pesquisadores da Universidade da Flórida (EUA) (Hatfield, et al (2004)^[5], para medição direta e simultânea de fluxos de água e contaminantes em aquíferos porosos. Classicamente existem métodos para medir diretamente fluxos de água (e.g. diluição de traçadores num poço), entretanto esses métodos não medem diretamente fluxos de contaminantes, a não ser a partir de medições de concentrações de contaminantes obtendo-se posteriormente o fluxo de contaminantes a partir do produto das concentrações medidas pelos respectivos fluxos de água. Este método indireto contém fontes de erro devido à determinação separada de fluxos de água e concentrações, que geralmente não podem ser feitas em lugares e momentos idênticos. Além disto, o procedimento requer uma certa frequência de atendimento ao site para adquirir os dados necessários para estimular fluxos de água ou contaminantes cumulativos (integrados pelo tempo). Isto, como consequência, pode resultar em elevados gastos de recursos humanos e analíticos.

O Fluxímetro é um instrumento que consiste em um tecido permeável cilíndrico (tipo “meia”) preenchido com material granular que é instalado num poço de monitoramento em certos intervalos abaixo do lençol freático ou em toda espessura saturada do poço. A configuração do Fluxímetro permite o preenchimento do espaço cilíndrico do poço pelo material granular, bem como sua recuperação após um determinado período de medição. Assim instalado, o Fluxímetro intercepta o fluxo de água e contaminação no aquífero como representado na figura 1.

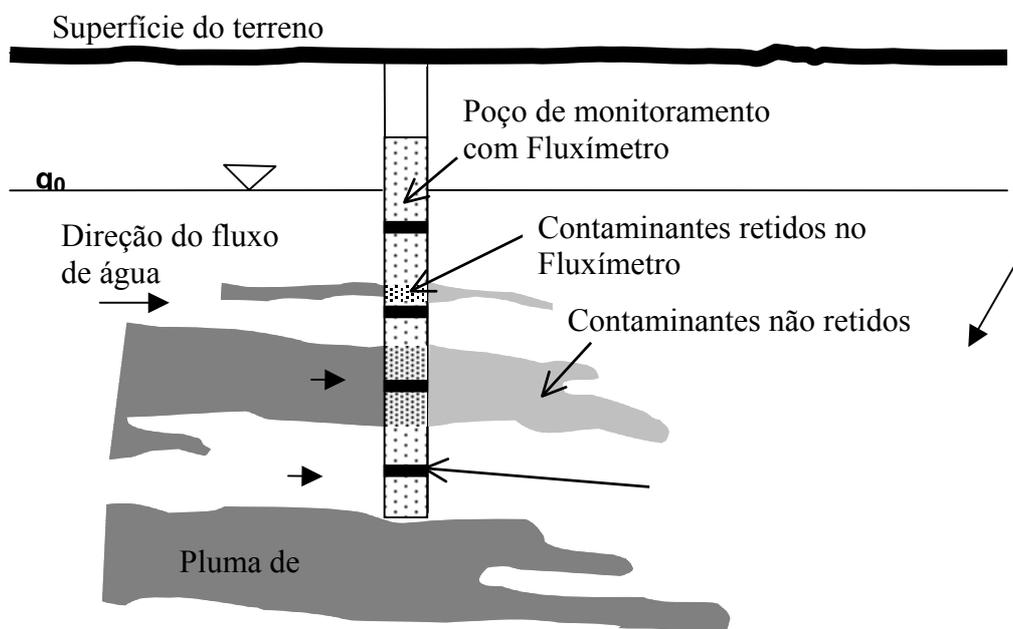


Figura 1. Fluxímetro instalado num poço de monitoramento interceptando o fluxo de água e contaminação.

O material granular usado deve ser hidraulicamente permeável e possuir certas propriedades sorptivas (e.g. carvão ativado). Antes da instalação num poço, o material é impregnado com um ou mais traçadores residentes, que, durante a medição, são gradualmente liberados do Fluxímetro por causa do fluxo de água através dele. Uma análise de laboratório depois da retirada do Fluxímetro do poço revela as quantidades dos traçadores restantes no material granular e permite a determinação do fluxo cumulativo de água durante o período medido. Este processo requer o conhecimento das propriedades sorptivas dos traçadores entre a água subterrânea e o material granular.

Simultaneamente à perda de traçadores acontece a retenção de contaminantes no Fluxímetro sempre que as propriedades sorptivas do material granular forem adequadas. Contudo, é possível prover tanto um sorvente hidrofóbico quanto hidrofílico no mesmo material granular para sorver uma ampla faixa de contaminantes no mesmo Fluxímetro. Após o fim do período de medição as quantidades (massas) sorvidas de cada contaminante são determinadas no mesmo processo analítico que dos traçadores e, junto com o fluxo de água, os respectivos fluxos de cada contaminante podem ser estimados.

Deve-se ressaltar que trata-se de fluxos cumulativos (integrados pelo tempo) que ão estimados, evitando-se desta forma o esforço de uma coleta extensiva de dados instantâneos (e.g. fluxos momentâneos, concentrações) requerendo uma integração temporal, sendo fonte de erro adicional, para obter fluxos cumulativos no tempo. Além disso, o Fluxímetro permite ser segmentado em um número de segmentos verticais a serem analisados separadamente, fornecendo assim a informação necessária para estimar fluxos locais para cada segmento e a possibilidade de representar variações verticais dos fluxos em cada poço de monitoramento.

Esta configuração do Fluxímetro foi desenhada para aplicações em aquíferos porosos com poços de monitoramento com superfícies filtrantes. Um número considerável de testes de campo já tem sido efetuado, principalmente visando à medição de fluxos de “DNAPL’s” como TCE ou PCE. O material granular mais aplicado tem sido carvão ativado e os poços de monitoramento variavam aproximadamente de 2 a 5 cm em diâmetro e até 30 m de profundidade. A segmentação típica usada dos Fluxímetros era de 10 a 20 cm e os períodos de monitoramento variavam na faixa de poucos dias até alguns meses.

Além do tecido permeável dando forma cilíndrica ao material granular, o Fluxímetro na sua configuração clássica possui uma barra ou um cabo rígido no seu eixo para facilitar a instalação e recuperação do Fluxímetro no poço. Enquanto esta configuração tem sido provada adequada para poços de monitoramento de diâmetros pequenos (poucos cm), questões relativas a estabilidade mecânica e gasto de material sorvente motivam a pesquisa para configurações modificadas e usos em poços de diâmetros maiores (10 a 25 cm), como é comum encontrar em locais de

contaminação/monitoramento. Por este motivo os autores propõem o desenvolvimento de uma configuração “anelar” de Fluxímetro, que deverá aumentar tanto a estabilidade mecânica como diminuir a quantidade de sorvente requerida do Fluxímetro.

O Fluxímetro anelar possui um tubo no seu eixo em lugar de uma simples barra (Figura 2), o que não só provoca os efeitos desejados, mencionados acima, mas também afeta o campo de fluxo através do material sorvente que determina a perda dos traçadores do Fluxímetro. Baseado na solução teórica conhecida deste campo de fluxo e o respectivo processo de perda de traçadores estão sendo efetuados, neste momento, testes de laboratório do tipo mostrado na figura 3.

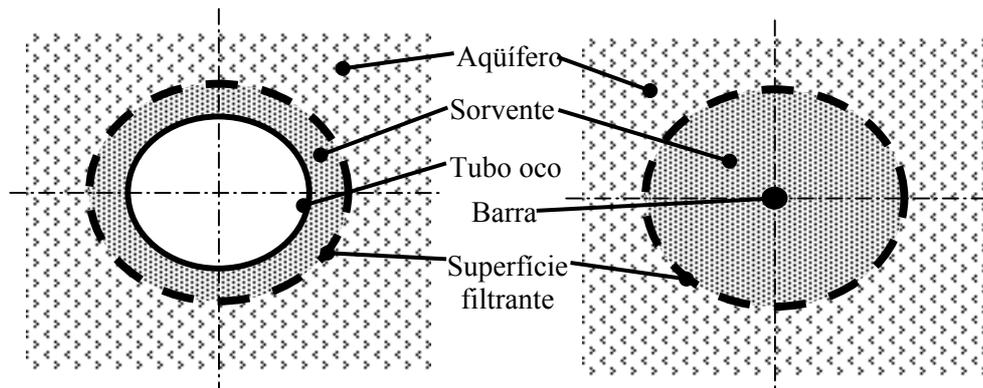


Figura 2. Seções cruzadas da configuração anelar (a) e clássica (b) de Fluxímetro

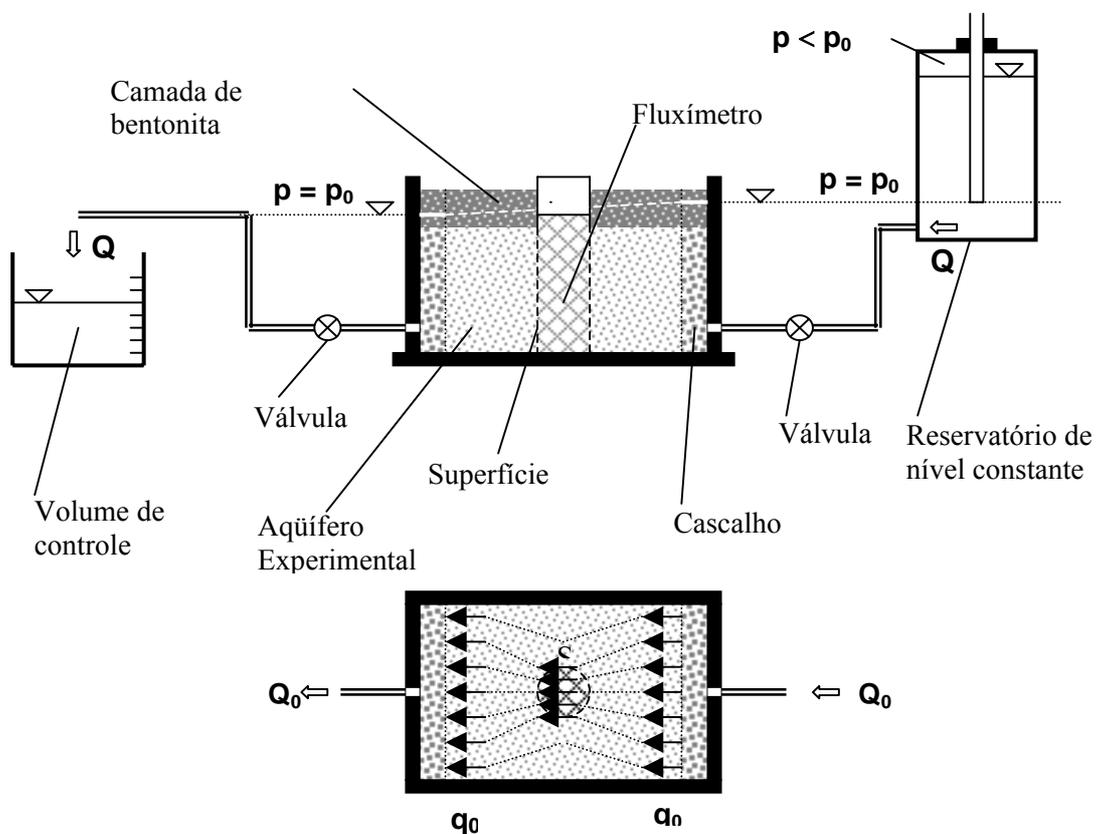


Figura 3. Configuração para o teste de laboratório usando o Fluxímetro anelar.

Como propósito final deste trabalho, o Fluxímetro de configuração anelar, testado no laboratório, será implementado em poços de monitoramento existentes na área do lixão de Alagoinhas, Bahia (figura 4). Nessa área, levantamentos geofísicos de eletroresistividade junto com amostragem e análise química da água subterrânea confirmaram a existência de uma pluma extensa de contaminação proveniente do lixão. A pluma dos principais componentes de contaminação encontra-se numa profundidade de 20 a 30m. Os Fluxímetros anelares serão instalados em 3 poços de 10 cm de diâmetro sobre toda extensão vertical saturada do aquífero sedimentar. Após um período de monitoramento inicial curto de alguns dias, os resultados obtidos de fluxo de água e contaminantes serão comparados com respectivos resultados geofísicos, medições de concentrações de contaminantes e fluxos de água médios calculados do mapa piezométrico. A concordância dos resultados será avaliada levando em conta a sensibilidade do Fluxímetro as variações verticais de fluxos e a performance geral do Fluxímetro anelar será discutida.

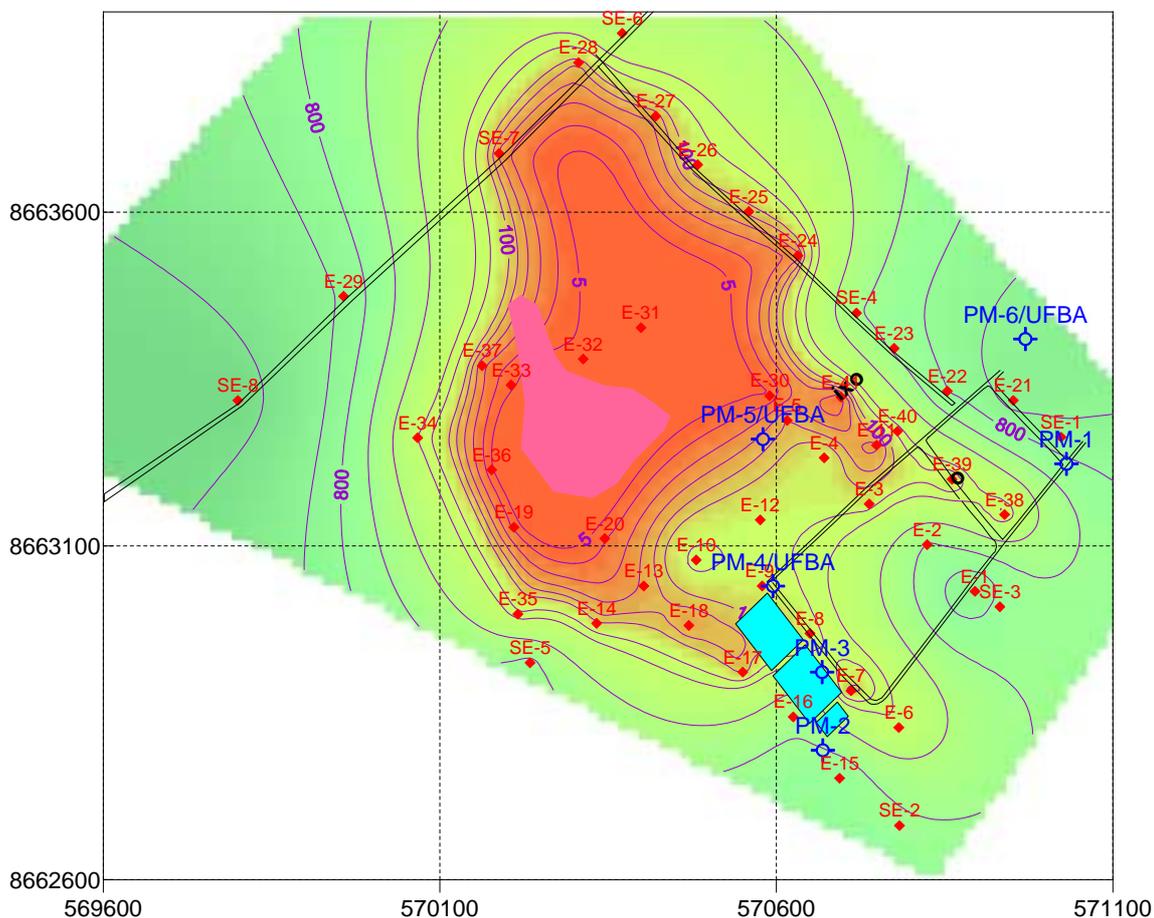


Figura 4. Pluma de contaminação (vermelho) no lixão de Alagoinhas, BA, segundo levantamento geofísico. As setas indicam os locais dos poços de monitoramento dentro e fora da pluma.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **American Petroleum Institute API**. 2003. Groundwater Remediation Strategies Tool. Regulatory Analysis and Scientific Affairs Department, Publication No. 4730, API Publishing Services, Washington, DC.
- [2] **EPA**. 2004. The DNAPL Remediation Challenge: Is There a Case for Source Depletion? Kavanaugh, M. C. and P.S.C. Rao (editors), EPA/600/R-03/143, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, USA.
- [3] **Einarson, M.D., Mackay, D.M.**, 2001. Predicting impacts of groundwater contamination. *Environ. Sci. Technol.*, 779 35 (3), 66A–73A.
- [4] **Hatfield, K., Annable, M., Cho, J., Rao, P.S.C., Klammler, H.**, 2004. A direct passive method for measuring water and contaminant fluxes in porous media. *Journal of Contaminant Hydrology*, 75, 155-181