

CONSIDERAÇÕES SOBRE O MEIO AMBIENTE NA ZONA DE INTERAÇÃO ÁGUA SUPERFICIAL – ÁGUA SUBTERRÂNEA

Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral¹; Dayana Andrade de Freitas²; Anderson Luiz Ribeiro de Paiva³; Laércio Leal dos Santos³

Resumo

A zona ripária representa a região de interação entre água superficial – água subterrânea e é um ambiente de grande dinâmica, complexidade e diversidade. Com características intrínsecas, diante das reações que ocorrem entre os meios bióticos e abióticos. Este ambiente é amplamente reconhecido por aumentar a qualidade da água já que a mesma é fortemente influenciada pela atividade microbiana desenvolvida dentro dos sedimentos das margens, além disso, o ambiente ripário funciona como proteção para ocorrência da erosão pela sua composição vegetal, assim como controla os regimes de inundação. Diante da potencialidade deste ecossistema, este vem sendo utilizado através de uma técnica chamada “Bank Filtration”. Esta técnica de Filtração em Margem consiste em utilizar poços localizados próximos às margens dos rios ou reservatórios, utilizando a zona ripária (materiais sedimentares do fundo e das margens do manancial superficial) como meio filtrante. Com a ação do bombeamento do poço, a água do corpo d’água superficial é induzida para o aquífero, com isso a água é exposta a diversos processos hidrodinâmicos, mecânicos, biológicos e físico-químicos que ocorrem no ecossistema ripário obtendo-se água de melhor qualidade.

Abstract

The riparian zone presents strong interaction between surface water and groundwater, and it is an environment with large dynamic complexity and diversity. Riparian habitats are widely recognized for enhancing water quality by developed microbial activity, erosion protection by vegetation composition, and flood control. Vegetated riparian buffers remove contaminants from groundwater through plant uptake, organic matter adsorption, or microbial immobilization and denitrification. Given the potential of this ecosystem, it has been used by a technique called Bank Filtration. This technique pumps water from wells located near the banks of rivers or reservoirs, using the riparian zone (sedimentary material of the bed and bank of the surface water) as a filter. Pumping well induces water from the pond surface the aquifer, thus the water is exposed to various hydrodynamic processes, mechanical, biological and physical-chemical occurring in the riparian ecosystem, and better water quality is obtained.

Palavras-chaves: água superficial, água subterrânea, zona ripária, filtração em margens

¹ Prof. Associado I 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;

² Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife – PE, Brasil, Fone: 0 xx (81) 2126-7216, e-mail: dayanafandrade@yahoo.com.br;

³ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife – PE, Brasil, Fone: 0 xx (81) 2126-7216, e-mail: alrpaiva@yahoo.com;

³ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife – PE, Brasil, Fone: 0 xx (81) 2126-7216, e-mail: laercioeng@yahoo.com.br.

1- INTRODUÇÃO

No âmbito da gestão do meio ambiente subterrâneo, buscando sempre o uso sustentável dos recursos naturais, é necessário incluir o conhecimento das relações água superficial e água subterrânea, enfocando as diversas interligações existentes entre os corpos d'água superficiais (rios, lagos, reservatórios) e os aquíferos freáticos.

A zona ripária representa a região de interação entre água superficial – água subterrânea e é um ambiente de grande dinâmica temporal. Com um conjunto de interações entre os componentes bióticos e abióticos, de acordo com o teor de matéria orgânica e oxigênio, essa zona desempenha um dos mais importantes serviços ambientais, que é a manutenção dos recursos hídricos, em termos de vazão e qualidade de água, assim como do ecossistema aquático. Diante da importância, exposta acima do ambiente ripário, o presente trabalho tem como objetivo expor algumas considerações para um melhor conhecimento desse ecossistema e fornecer informações relevantes para um correto manejo destas áreas de preservação permanente.

2 – CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS NA ZONA DE INTERAÇÃO

A zona ripária é a interação das águas superficiais com águas subterrâneas, e trata-se de uma zona de transição. Esta zona é caracterizada pelas cabeceiras de drenagem dos cursos d'água, margens e leito dos corpos d' água, acompanhadas por vegetação ciliar, sendo um ambiente de extrema dinâmica, complexidade e diversidade [1]. Na zona ripária há uma interação entre a água superficial do corpo d'água com o aquífero freático, podendo um alimentar o outro.

Este ambiente é amplamente reconhecido por aumentar a qualidade da água já que a mesma é fortemente influenciada pela atividade microbial desenvolvida dentro dos sedimentos das margens, além disso, o ambiente ripário funciona como proteção para ocorrência da erosão pela sua composição vegetacional, assim como controla os regimes de inundação [2].

As características hidrológicas das áreas ripárias diferem das áreas planas, e precisa de estudos mais aprofundados no que se trata de respiração/ aeração do solo [3,4]. A respiração do solo é um excelente indicador da atividade biológica do solo e, portanto de sua qualidade como um todo [5, 6]. A taxa de respiração do solo é controlada primariamente pela taxa de produção pela biota dentro do solo de CO₂, mas é modificado por fatores que influenciam o movimento de CO₂ fora do solo [7, 8].

Outros fatores ambientais como a mistura do solo e temperatura influenciam na atividade biológica e na difusão de CO₂ e, por conseguinte, tem acentuada influência sobre a dinâmica sazonal da respiração do solo [9, 10, 11]. Podem controlar também a magnitude da respiração no solo, fatores como disponibilidade de matéria orgânica, densidade de raízes das plantas, por que estes fornecem substrato para atividade biológica no solo [12, 13, 14]. No ecossistema ripário existem elevadas taxas de respiração do solo o que é explicado pela imensa atividade biológica encontrada neste ambiente [15].

A produção de substâncias orgânicas, tal como celulose e lignina pela vegetação é um importante fator que influencia no percurso dos processos microbiais na zona ripária [1]. Na zona próxima as raízes encontram-se compostos orgânicos de baixo peso molecular que podem ser facilmente absorvidos pelos microorganismos o que faz desse ambiente muito dinâmico [1]. A zona ripária também altera profundamente o fluxo de materiais orgânicos e inorgânicos. Estas mudanças acontecem devido a atividades bioquímicas de microorganismos presentes nestas zonas.

A estrutura biofísica das zonas ripárias influencia fortemente o fluxo das transformações microbiais através da retenção de matéria orgânica. A matéria orgânica particulada e dissolvida é retida eficazmente nestas zonas, formando-se “biofilmes” que impulsiona a atividade microbiana [1]. Estes biofilmes formados podem compreender comunidades ecologicamente complexas, como bactérias, protistas, vírus e fungos, que exibem uma gama completa de adaptações para execução dos processos ecológicos [16]. A estrutura, diversidade e quantidades dos biofilmes são importantes para o funcionamento dos sistemas ecológicos [17] e, por mudança de porosidade dos aquíferos, que ocorre devido a processos mecânicos, químicos e biológicos, este último particularmente através da produção do biofilme.

A extensão da atividade microbiana sofre influência pela área de contato e pelo grau de interações químicas e biológicas que ocorrem entre os habitats terrestres e aquáticos [18,19].

Condições ambientais criadas no ambiente subterrâneo, dentro dos interstícios do solo, reúnem características físico-químicas únicas, que faz esta região abranger extensas comunidades de invertebrados e microorganismos [20]. Estes organismos reúnem-se para fazer uma zona de alta produtividade biológica pela passagem natural da água através dos mesmos [21].

O interesse pelos microorganismos do meio ambiente subterrâneo vem crescendo devido ao papel que estes exercem no ecossistema e o risco da possível extinção dos

mesmos. Os ecossistemas subterrâneos podem ser muito persistentes através do tempo geológico [22], mudanças climáticas [23], eras geladas [24]; sendo assim estes contêm amostras de linhagens que compõem a fauna de vários períodos geológicos.

Importando ou utilizando suprimento de energia in situ, a fauna subterrânea ocorre em todo tipo de aquíferos, de acordo com a porosidade adequada para o tamanho das espécies biológicas, variando de epicársticos, clássicos cársticos, pseudocársticos (frequentemente arenito, lava ou laterita), rocha fraturada, e amplamente aquíferos aluvionais [22], porém o tamanho destes interstícios pode limitar a distribuição de várias espécies [25].

Os seres que vivem nas águas subterrâneas são chamados de “stylobites”, que são comumente brancos, não possuem olhos, e são frequentemente translúcidos e vermiformes, entre outras adaptações para a vida subterrânea [26]. Vertebrados stylobites (peixes e salamandras) ocorrem em aquíferos cársticos e pseudocársticos; em outros locais ocorrem invertebrados, predominantemente compreendendo crustáceos, mas com uma faixa de outros filos (incluindo Platelminhos, Anelídeos, Nematódeos, Moluscos, Artrópodes) que, junto com protistas, bactérias, e fungos, integram os organismos que compõem o ecossistema subterrâneo [16].

Em suma a zona ripária é um ambiente único que agrupa características intrínsecas que faz desse ambiente tão dinâmico e de grande importância hidrológica, ecológica e geoquímica.

3 – FILTRAÇÃO EM MARGEM

Diante da gama de características que os ecossistemas ripários reúnem como ilustrado acima, este ambiente vem sendo utilizado em vários países através de uma técnica chamada “Bank Filtration” que significa Filtração em Margem (FM) para captação de água de melhor qualidade, visto que a qualidade dos corpos d’água superficiais encontram-se bastante comprometidos mundialmente.

Esta técnica de Filtração em Margem consiste em utilizar poços localizados próximos às margens dos rios ou reservatórios, utilizando a zona ripária, com os materiais sedimentares do fundo e das margens do manancial superficial como meio filtrante. Com a ação do bombeamento através dos poços, cria-se uma diferença de carga hidráulica entre o reservatório e o lençol freático, ocorrendo uma indução da água através do meio poroso até o poço por infiltração nos vazios do solo [27, 28], o que caracteriza a integração de águas superficiais e águas subterrâneas.

Com o emprego da filtração em margens a água é exposta a diversos processos hidrodinâmicos, mecânicos, biológicos e físico-químicos (Figura 1) que ocorrem no ecossistema ripário pela sua passagem através dos sedimentos das margens e dos leitos dos corpos d'água até o poço, entre as etapas que ocorrem destacam-se: dispersão, diluição, filtração, colmatção, adsorção, sedimentação, reações redox, troca iônica, biodegradação [29, 27, 28].

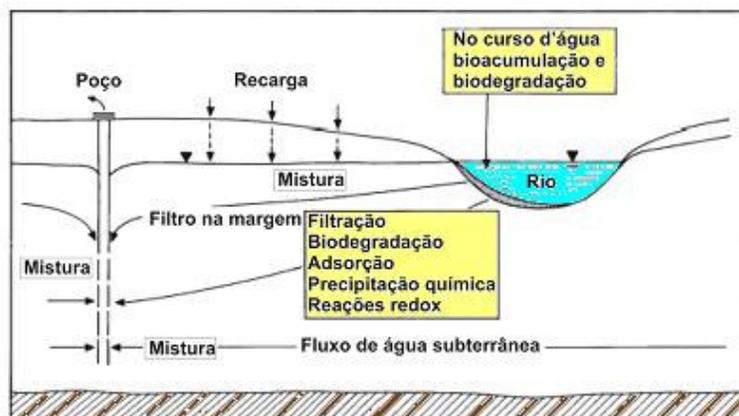


Figura 1. Diagrama esquemático dos processos que afetam a qualidade da água durante o processo de Filtração em Margem.

Com a ocorrência de todos estes processos a técnica FM produz água em boa qualidade comparando-se com a água extraída diretamente do corpo d'água poluído, ou relativa qualidade dependendo do nível de poluição a que o corpo d'água superficial e subterrâneo foi exposto [30]. Sendo assim, a utilização da FM serve no mínimo como um pré-tratamento para água direcionada ao abastecimento público [31].

A água bombeada dos poços submetidos a FM pode ser direcionada para distribuição no sistema de abastecimento d'água de acordo com a sua potabilidade [31]. Esta tecnologia vem sendo adotada com sucesso em diversos países europeus para abastecimento humano de água como, na Alemanha, França, Suíça, Holanda e Hungria [30]. Tendo também a utilização desta técnica pela Eslováquia com o índice de 50%, a Hungria com 45% [32], e a França com o índice de 50% [33].

Na Alemanha, 16% da água destinada ao abastecimento público provém do processo de filtração em margem [34]. Em Berlim essa tecnologia vem sendo utilizada por mais de 100 anos. Os 3,4 milhões de habitantes de Berlim são fornecidos com água potável com uma contribuição de cerca de 70% a partir da filtração em margem e recarga artificial de aquíferos [35].

Através da Filtração em Margem (FM) aproveitando as propriedades dessa zona e as reações que acontecem na mesma, os poluentes existentes no curso d'água

(microorganismos patogênicos, organismos que indicam presença de material fecal, e outros) são removidos pelo contato com os materiais granulares do aquífero. O processo de remoção é mais eficiente quando a velocidade da água subterrânea é baixa e quando o aquífero é composto por material granular com espaços abertos para o fluxo d' água passar ao redor destes. Nestes aquíferos granulares porosos, o fluxo da água é tortuoso, o que fornece ampla oportunidade para os organismos entrar em contato com os grãos, tipicamente os microorganismos continuam ligados aos grãos por longos períodos [36].

Pesquisas mostram que a FM promove também a remoção de compostos orgânicos; inorgânicos; microrganismos patogênicos inclusive cianobactérias, apresentando-se também como uma boa alternativa, para remoção de cianotoxinas [37]; além de apresentar resultados positivos quanto à remoção de *Cryptosporidium parvum*, *Giardia lamblia*, vírus [38]; bactérias, parasitas, eliminação de sólidos em suspensão, o que atribui à água uma aparência mais cristalina [32]; assim como, resíduos antimicrobianos [39] e resíduos farmacêuticos [31].

Vários estudos mostram que a vegetação da zona ripária remove contaminantes da água subterrânea através da captação pelas plantas, adsorção de matéria orgânica, ou imobilização microbial e denitrificação [2]. Diante disso, estas características da zona ripária do Carroll Creek tributário do Grand River no Canadá, está sendo utilizada para o estudo da denitrificação microbial para remoção de nitrato advindo da agricultura desenvolvida no local [40]

Na China estão avaliando a efetividade da técnica de filtração em margem para remoção de nitrogênio, nos rios Kuihe, Xuzhou, Jiangsu poluídos por metais pesados [41].

Na Índia no lago Nainital avalia-se a utilização da FM para produção de água para abastecimento público, visto que o mesmo encontra-se bastante depreciado em vista de descargas de efluentes domésticos [42].

4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas últimas décadas tem havido uma evolução significativa dos estudos relacionados à água subterrânea, de modo que a abordagem atual precisa ser multidisciplinar levando em conta a geologia, a hidrogeologia, a geoquímica, a bioquímica, a hidrologia de superfície, a ecologia de superfície e a ecologia subterrânea.

Em particular, nas zonas ripárias nas margens dos mananciais de superfície as interações entre o aquífero e a água superficial são muito intensas, com trocas hídricas, transporte de matéria orgânica e de oxigênio e grande atividade microbiana.

O processo de filtração nas margens, já bastante utilizado em outros países, vem sendo pesquisado recentemente no Brasil e utiliza as condições do meio ambiente subterrâneo na zona ripária para induzir infiltração e obter água de melhor qualidade em poços perfurados próximos às margens dos mananciais.

5 – AGRADECIMENTOS

À FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco) pelas bolsas concedidas aos alunos de Pós-Graduação e apoio financeiro para o desenvolvimento das pesquisas no tema filtração em Margem.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e ao CT-Hidro também pelo apoio financeiro e bolsas.

À Compesa (Companhia Pernambucana de Saneamento) pelo apoio à pesquisa e pela permissão de utilização das instalações.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Pusch M, Fiebig D, Brettar I, Eisenmann H, Ellis B K, Kaplan L A, Lock M A, Naegeli M W, Traunspurger W, 1998 The role of micro-organisms in the ecological connectivity of running waters. *Freshwater Biology* (1998) 40, 453-495.
- [2] Kiley D K, Schneider R, Riparian roots through time, space and disturbance. *Plant and Soil* (2005) 269: 259–272.
- [3] Griffiths R P, Entry J A, Ingham E R and Emmingham W H Chemistry and microbial activity of forest and pasture riparian zone soils along three Pacific Northwest streams. *Plant Soil* (1997) 190, 169–178.
- [4] Tufekcioglu A, Raich J W, Isenhardt T M and Schultz R C Fine root dynamics, coarse root biomass, root distribution, and soil respiration in a multi species riparian buffer in Central Iowa, USA. *Agrofor. Sys.* (1999) 44, 163–174.
- [5] Karlen D L, Mausbach M J, Doran J W, Cline R G, Harris R F and Schuman G E Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Sci. Soc. Am. J.* (1997) 61, 4–10.
- [6] Parkin T B, Doran J W and Franco-Wizcaino E Field and Laboratory tests of soil respiration in *Methods for Assessing Soil Quality*. Eds. J W Doran and A J Jones. Soil Science Society of America Special Publication (1996) No 49, Madison, Wisconsin, USA.
- [7] Raich J W and Schlesinger W H The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus* (1992) 44B, 81–99.
- [8] Schlesinger, W H Carbon balance in terrestrial detritus. (1977) *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 8, 51–81.
- [9] Davidson E A, Belk E and Boone R D 1998 Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Global Change Biol.* 4, 217–227.

- [10] Kowalenko C G, Ivarson K C and Cameron D R 1978 Effect of moisture content, temperature and nitrogen fertilization on carbon dioxide evolution from field soils. *Soil Biol. Biochem.* 10, 417–423.
- [11] Singh J S and Gupta S R Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. (1977) *Bot. Rev.* 43, 449–528.
- [12] Bowden R D, Nadelhoffer K J, Boone RD, Melillo JM and Garrison J B Contributions of aboveground litter, belowground litter, and root respiration to total soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Can. J. For.* (1993) Res. 23, 1402–1407.
- [13] Franzluebbers A J, Hons F M and Zuberer D A Tillage and crop effect on seasonal dynamics of soil CO₂ evolution, water content, temperature, and bulk density. *Appl. Soil Ecol.* (1995) 2, 95–109.
- [14] Kelting D L, Burger J A and Edwards G S Estimating root respiration, microbial respiration in the rhizosphere, and rootfree soil respiration in forest soils. *Soil Biol. Biochem.* (1998) 30, 961–968.
- [15] Tufekcioglu A, Raich J W, Isenhardt T M, Schultz R C, Soil respiration within riparian buffers and adjacent crop fields. *Plant and Soil* (2001) 229: 117–124.
- [16] Humphreys W F Hydrogeology and groundwater ecology: Does each inform the other? (2009) *Hydrogeology Journal* 17:5-21.
- [17] Boulton A J, Fenwick G D, Hancock P J et al. Biodiversity, functional roles and ecosystem services of groundwater invertebrates. *Invertebr Syst* (2008) 22:103-116.
- [18] Stanford J.A. & Ward J.V. An ecosystem perspective of alluvial rivers: connectivity and the hyporheic corridor. *Journal of the North American Benthological Society*, (1993) 12, 48±60.
- [19] Ward J.V. & Stanford J.A. Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation. *Regulated Rivers: Research and Management*, (1995) 11, 105±119.
- [20] Fraser, BG, Williams, DD Seasonal boundary dynamics of a groundwater/surface-water ecotone. *Ecology* (1998) 79: 2019–3031.
- [21] Baerlocher F, Nikolcheva L G, Wilson K P, Williams D D Fungi in the Hyporheic Zone of a Springbrook. *Microbial Ecology*. Volume 52, 708–715 (2006).
- [22] Humphreys W F, Rising from down under: developments in subterranean biodiversity in Australia from Groundwater fauna perspective. (2008) *Invert Syst* 22(Spec pub):85-101.
- [23] Leys R, Watts C H S, Cooper S J B et al, Evolution of subterranean diving beetles (Coleoptera: Dytiscidae: Hydroporini, Bidessini) in the arid zone of Australia. (2003) *Evolution* 57: 2819-2834.
- [24] Bjarni K, Kristjánsson B K, Svavarsson J, Subglacial refugia in Iceland enabled groundwater amphipods to survive glaciations. (2007) *Am Nat* 170:292-296.
- [25] Pospisil P (1994) The groundwater fauna of Danube aquifer in the “Lobau” wetland in Vienna Austria. In: Gilbert J, Danielopol D L, Stanford J A (eds) *Groundwater ecology*. Academic, London, pp 347-366.
- [26] Conieau N (200) Adaptations to interstitial groundwater life: In: Wilkens H, Culver D C, Humphreys W F (eds) *Ecosystem of the world, vol 30: subterranean ecosystems*. Elsevier, Amsterdam, pp 189-210.
- [27] Tufenkji N, Ryan J N, Elimelech M, Bank Filtration: A Promise of. *Environmental Science & Technology*, November 1, 2002.

- [28] SENS, M.L. et. al. Filtração em Margem. In: PROSAB. (Org.). Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano, Capítulo 5. PROSAB, ABES. Rio de Janeiro. 2006.
- [29] Donald D, Grygaski T, Development of a Sustainable Potable Water Supply for Rural Villages in the Coastal Region of Tazanian, Africa. 2002.
- [30] Kim Song-Bae, Corapcioglu M Y, Kim Dong-Ju, Effect of dissolved organic matter and bacteria on contaminant transport in riverbank filtration. *Journal of Contaminant Hydrology*. Vol 66, pag 1– 23, (2003).
- [31] Ray et al. Introduction. *Riverbank Filtration: improving source-water quality*. Kluwer Academic Publishers. California, USA. 2002. p.1-17.
- [32] Hiscock K M, Grischek T, Attenuation of groundwater pollution by bank filtration. *Journal of Hydrology*. Vol 266, pag 139–144, (2002).
- [33] Doussan C, Poitevin G, Ledoux E, Detay M, River bank filtration: Mdelling of the changes in water chemistry with emphasis on nitrogen species. *J. Contam. Hydrol.* (1997), 25, 129–156.
- [34] Kuehn W, Mueller U,. Riverbank filtration: an overview. *J.* (2000)AWWA 92 (12), 60–69.
- [35] Fritz B, Sievers J, Eichhorn S, Pekdeger A Geochemical and hydraulic investigations of river sediments in a bank filtration system. In: Dillon P (ed) *Management of aquifer recharge for sustainability*. Swets and Zeitlinger, Lisse, (2002) pp 95–100.
- [36] Schiven J, Berger P, Miettinen I, Removal of Pathogens, Surogates, Indicators, and Toxins Using Riverbank Filtration. In: Ray et al. (eds), *Riverbank Filtration*, Kluwer Academic Plublishers (2002) 73-116.
- [37] Chorus I, Bartram J, Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management. London: E & FN Spon, 416p,1999.
- [38] Weiss W J, Bouwer E J, Aboytes R., LeChevallier M W, O'Melia C R, Le B T, Schwab K J, Riverbank filtration for control of microorganisms: Results from field monitoring. *Water Research*. Vol 39, pag 1990–2001, (2005).
- [39] Heberer T, Massmann G, Fanck B, Taute T, Dünnbier U, Behaviour and redox sensitivity of antimicrobial residues during bank filtration. *Chemosphere* 73, 451–460, 2008.
- [40] Martin T L, Trevors J T, Kaushik N K, Soil microbial diversity, community structure and denitrification in a temperate riparian zone. *Biodiversity and Conservation* 8: 1057–1078, 1999.
- [41] Yaoguo Wu, Lin Hui, Hui Wang, Yunfeng Li, Rui Zeng, Effectiveness of riverbank filtration for removal of nitrogen from heavily polluted rivers: a case study of Kuihe River, Xuzhou, Jiangsu, China. *Environmental Geology International Journal of Geosciences*. Springer-Verlag 2006.
- [42] Dash R R, Mehrotra I, Kumar P, Grischek T, Lake bank filtration at Nainital, India: waterquality evaluation. *Hydrogeology Journal*, 10.1007/s10040-008-0295-0 (2008).