

FITORREMEDIAÇÃO DE AQUÍFEROS CONTAMINADOS POR BENZENO E ETANOL

Fábio Netto Moreno e Henry Xavier Corseuil*

(*Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Caixa Postal 476, CEP 88070-910, Fone (048) 331-9597. E-mail: corseuil@ens.ufsc.br



Palavras-chaves: fitorremediação, absorção direta, benzeno, etanol

RESUMO

A ocorrência de contaminantes em solos e sistemas de águas superficiais e subterrâneas têm gerado preocupações a nível mundial. Dentre os processos biológicos desenvolvidos para resolver problemas de contaminação a fitorremediação é uma tecnologia emergente que pode ser definida como a seleção e utilização de espécies de plantas para extrair, assimilar, transformar e decompor certos contaminantes, para remediar solos, sedimentos e sistemas de aquíferos contaminados. O objetivo deste trabalho foi investigar o potencial do chorão (*Salix babylonica* - Família *Salicaceae*), no processo de absorção direta pelas raízes do etanol e do benzeno, como uma etapa inicial no estudo da fitorremediação. O benzeno, composto orgânico altamente tóxico a saúde humana podendo afetar o sistema nervoso central em concentrações na faixa de ppb, e o etanol (este último adicionado na proporção de 22% na gasolina brasileira) estão presentes em águas subterrâneas a partir de derramamentos de gasolina. A absorção direta foi investigada através do cultivo de estacas do chorão em reatores contendo solução hidropônica adicionada de etanol a 1500 mg/L e benzeno a 20 mg/L. Foram utilizados dois tratamentos por experimento (com a presença de plantas e o controle). Um terceiro tratamento somente com a presença de raízes objetivou investigar o potencial de sorção do etanol e do benzeno à superfície das raízes. Alíquotas da fração líquida dos reatores foram extraídas diariamente e analisadas por cromatografia gasosa. Os resultados obtidos indicaram reduções de até 99% para ambos os contaminantes, tanto em nível de balanço de massa como em nível de concentração. Os resultados também indicaram que o comportamento dos contaminantes nos reatores foi bastante influenciado pela transpiração das estacas e que o processo de sorção também esteve presente. Apesar de preliminar, este estudo revela o potencial da utilização do chorão para a fitorremediação de aquíferos rasos contaminados por benzeno e etanol e também discute as implicações da utilização desta tecnologia sobre o meio ambiente.

ABSTRACT

The presence of organic contaminants in soils and groundwater has created a great concern in the global world. Among the biological processes developed for the clean-up of contaminated sites phytoremediation is an ascending technology and could be better defined as the utilisation of plant species to uptake, metabolize or convert and also degrade organic contaminants to remediate contaminated soils, sediments and aquifers. The purpose of this work was to investigate the ability of *Salix babylonica* (*Salicaceae* family) in the vegetative uptake of benzene and ethanol. The former contaminant is responsible for affecting central nervous system at ppb level, and the last is added in the Brazilian gasoline at 22%. The vegetative uptake was investigated through excised cuttings of those trees that were allowed to root hydroponically in reactors containing nutritive solution. After the rooting period, ethanol at 1500 mg/L and benzene at 20 mg/L were added to the reactors. The experiments were set with at least two treatments (planted and controls). Another treatment with cultivated roots were included to verify the potential for sorption of ethanol and benzene. The analysis were performed using gas chromatography. The results showed clearly the effect of plants in removing chemicals from the hidroponic solutions. For both contaminants were observed reductions of 99%, on a mass and concentration basis. This work also demonstrated the role of plant transpiration and sorption in the behaviour of chemicals in the reactors. In spite of being a preliminary study, this work demonstrates the viability of the utilisation of *Salix babylonica* trees for the clean-up of shallow aquifers contaminated with ethanol and benzene and also discusses the implications of this technology for the environment as a whole.

INTRODUÇÃO

Dentre os processos biológicos desenvolvidos para resolver problemas de contaminação de águas subterrâneas a fitorremediação é uma tecnologia emergente que pode ser definida como a seleção e utilização de espécies de plantas para extrair, assimilar, transformar e também decompor certos contaminantes, visando remediar solos, sedimentos e sistemas de aquíferos contaminados (Schnoor,1995).

Apesar de recente, a fitorremediação tem demonstrado a sua eficácia em estudos em escala piloto e de campo nos Estados Unidos onde se mostrou bastante adequada para o tratamento de locais cuja contaminação esteja localizada em baixas profundidades (< 5 m profundidade); seja por poluentes orgânicos moderadamente hidrofóbicos (benzeno, tolueno, xileno, solventes clorados, resíduos de armamentos); por nutrientes em excesso (nitratos, amônia e fosfato) ou por metais tóxicos e radionuclídeos (Hg, Pb, Cd, Zn e ^{137}Cs) (Schnoor et al., 1995 e Nyer e Gatliff, 1996).

Existem basicamente quatro mecanismos principais envolvidos na fitorremediação de poluentes orgânicos: 1) absorção direta de contaminantes e subsequente transformação e acumulação de metabólitos não-fitotóxicos nos tecidos da planta; 2) volatilização de compostos químicos orgânicos voláteis e semi-voláteis através das folhas; 3) estimulação da atividade microbiana e de transformações bioquímicas na rizosfera através da liberação de exudatos e enzimas que estimulam a ação dos microorganismos e promovem transformações bioquímicas; e 4) intensificação da mineralização na interface solo-raiz provocada pela associação simbiótica de fungos micorrízicos e colônias de bactérias nas raízes (Anderson e Walton,1995; Schnoor et al., 1995; Burken,1996).

Além da biomassa vegetal representar 99 % da biomassa viva do planeta terra e um valor 100 vezes superior a biomassa de microorganismos, as plantas estão envolvidas em numerosos processos que tem uma relação muito íntima com o destino dos resíduos químicos despejados no meio ambiente (Nelessen e Fletcher, 1993). A figura 1 mostra alguns dos principais mecanismos da fitorremediação para uma espécie arbórea que se adaptou a locais que costumam ficar saturados de água (adaptado de Schnoor et al., 1995).

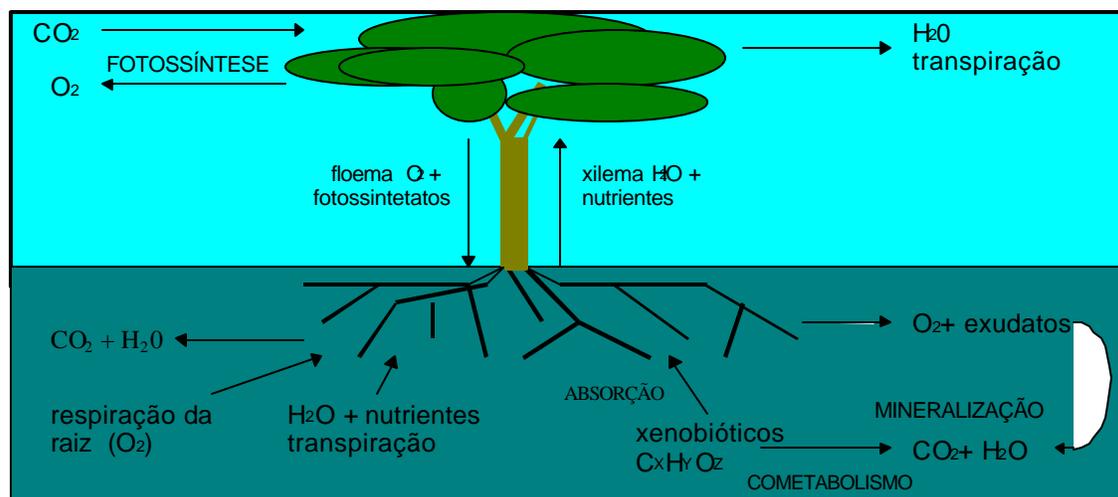


Figura 1. Fluxo de massa do oxigênio, da água e de compostos químicos em uma espécie arbórea.

A família Salicaceae é composta por espécies vegetais que toleram ambientes saturados de água. Em termos fisiológicos, espécies como o chorão e o salseiro, por exemplo, apresentam características que as tornam mais atrativas para serem utilizadas em projetos de fitorremediação como:

- Absorção direta de compostos orgânicos e posterior transformação a metabólitos menos tóxicos (Burken, 1996);
- Habilidade em oxigenar a rizosfera, o que viabiliza aerobicamente a mineralização de compostos orgânicos (Schnoor *et al.*, 1995);
- Liberação de exudatos e incremento de matéria orgânica que estimulam a atividade degradatória de consórcios de microorganismos na rizosfera (Schnoor *et al.*, 1995); e
- Transpiração elevada, o que pode influenciar o gradiente hidráulico de aquíferos e, conseqüentemente, limitar e controlar o transporte de contaminantes orgânicos no solo (Burken, 1996; Nyer e Gatliff, 1996).

Para a fitorremediação, a absorção direta de contaminantes do solo ou de águas superficiais e subterrâneas através das raízes se traduz em um surpreendente mecanismo de remoção de poluentes. No caso da contaminação de águas subterrâneas localizadas a baixas profundidades, estas árvores plantadas em fileiras podem funcionar como um filtro natural controlando e reduzindo a percolação vertical de contaminantes no solo e as raízes, uma vez alcançando o nível do lençol do aquífero, podem absorver os contaminantes dissolvidos na água reduzindo, assim, o tamanho da pluma e protegendo os pontos receptores (poços de abastecimento de água, rios, lagos, etc) de uma eventual contaminação.

O objetivo deste trabalho foi investigar o potencial do chorão (*Salix babylonica*- Linnaeus - Família *Salicaceae*- Reitz, 1983), uma espécie de árvore muito comum no Brasil, no processo de absorção direta pelas raízes de substâncias químicas como benzeno e o etanol em sistemas de cultivo hidropônico, como uma etapa inicial no estudo da fitorremediação. O benzeno, composto orgânico altamente tóxico a saúde humana podendo afetar o sistema nervoso central em concentrações na faixa de ppb e o etanol (este último adicionado na proporção de 22% na gasolina brasileira) estão presentes em águas subterrâneas a partir de derramamentos de gasolina. Atualmente, a contaminação de aquíferos subterrâneos por derramamentos de gasolina é um problema que atinge proporções globais e no Brasil a preocupação com estas contaminações vem crescendo com grande magnitude (Corseuil e Marins, 1997).

MATERIAL E MÉTODOS

Enraizamento e Propagação das Estacas (ramos). Estacas, extraídas a partir de árvores popularmente conhecidas como chorão (*Salix babylonica* Linnaeus), foram cortadas em segmentos de 30 cm e selecionados para um diâmetro de aproximadamente 5 mm. Após enroladas com uma camada de 1 cm de fita teflon a uma altura de 15 cm a partir da sua base, estas foram inseridas através do orifício de um tampão previamente perfurado (broca 6 mm) até que a camada de teflon se ajustasse perfeitamente ao diâmetro do orifício. O enraizamento, sempre em número de 15 estacas, ocorreu em erlenmeyers de 500 ml (marca Vidrolabor) onde foram adicionados 400 ml de solução modificada de Hoagland *half strength* (Hoagland e Arnon, 1950) com o pH ajustado para 6,0 com o auxílio de NaOH a 0,1M e HCl a 0,1 N. O enraizamento das estacas foi realizado em condições de estufa por um período de 30 dias.

Delineamento Experimental. Os experimentos de absorção direta utilizaram reatores planejados de modo a permitir o estudo da absorção de contaminantes químicos através das raízes de plantas (figura 2). A transpiração, que se constitui um fator chave no processo de absorção direta dos contaminantes, foi monitorada em todos os experimentos por gravimetria através de balança analítica manual. A utilização de reatores completamente selados objetivou garantir uma maior precisão no monitoramento deste processo, assim como impedir perdas de água através da evaporação, o que poderia interferir no balanço de massa no sistema. A utilização do papel alumínio para o cultivo em hidroponia também impediu o crescimento de algas e, desta forma, o fenômeno de fotooxidação. Para impedir a biodegradação de compostos químicos, anteriormente a adição dos contaminantes e das estacas, os reatores foram esterilizados em autoclave durante 15 minutos a 121°C e 100 Kpa. Os experimentos de absorção direta consistiram basicamente de dois tratamentos: reatores com a presença de estacas e os controles (sem estacas). Um terceiro tratamento somente com a presença de raízes também foi utilizado no caso do etanol e do benzeno e foi preparado conforme o tratamento com a presença de estacas, porém, a sua porção

superior foi excisada simultaneamente à adição do contaminante nos reatores. A presença isolada de raízes em meio hidropônico possibilitou o monitoramento das perdas de contaminantes orgânicos por processos abióticos como a adsorção destes ao tecido radicular (Burken, 1996).

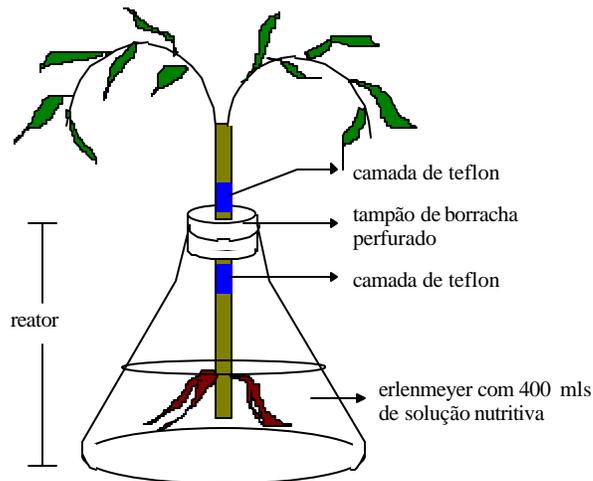


Figura 2 Visão esquemática da inserção das estacas de *S. babylonica* nos reatores utilizados para os experimentos.

O balanço de massa nos reatores também foi alternativamente utilizado no caso do etanol como meio de se avaliar indiretamente a massa deste composto químico removida dos reatores. Para este fim utilizou-se a seguinte equação:

$$C = m / V \quad (1)$$

aonde C = concentração de EtOH na solução, mg/L

m = massa restante de EtOH, mg

V = volume de água transpirado pela planta, mL/dia.

Os experimentos de absorção direta com o etanol foram conduzidos, por um período mínimo de 4 dias, sob condições de estufa, onde os reatores foram organizados de modo aleatório. A localização desta estrutura também foi orientada de modo a receber constante e uniformemente a luz solar (Castellane e Araujo, 1995). Neste experimento a massa adicionada de etanol foi calculada analiticamente como a massa necessária para se alcançar uma concentração ao redor de 1500 mg/L em 400 mL de solução nutritiva.

O experimento de absorção direta com o benzeno foi conduzido em regime semi-contínuo com o objetivo de simular uma situação real de contaminação de um aquífero supondo que o contaminante, uma vez dissolvido na água, obedecesse o mesmo fluxo de deslocamento do lençol freático. Devido à característica altamente volátil deste contaminante, o enraizamento das estacas e a posterior montagem deste experimento transcorreram em ambiente fechado com temperatura controlada para 25 °C. Doze lâmpadas fluorescentes (Phillips®) com 40 watts cada garantiram um período de iluminação de 16 horas/dia no ambiente. O modelo dos reatores para este experimento também foi modificado. Decidiu-se pela utilização de frascos menores (volume total de 300ml) com tampa de teflon rosqueável reforçada apropriadamente no lado externo com uma camada de PARAFILM®. Todos estes cuidados tiveram por objetivo minimizar o potencial de perda deste composto por processos de volatilização e adsorção. A massa adicionada de benzeno foi calculada analiticamente como a massa necessária para se alcançar uma concentração ao redor de 20mg/L em 250mL de solução nutritiva. Devido a limitada solubilidade do benzeno em água (≈ 1700 mg/L), utilizou-se para a adição do contaminante nos reatores uma solução estoque preparada a partir da adição deste composto em água destilada até o ponto de saturação. Previamente à sua adição nos reatores, a solução estoque permaneceu em agitador orbital em ambiente fechado a 25 °C durante três dias.

Análise dos Contaminantes . Aliquotas de 1 ml da fração líquida foram retiradas de cada reator em intervalos de 24 horas com auxílio de pipetas (1ml - Vidrex) e transferidos para frascos de 20ml.

Os frascos foram selados com o auxílio de lacradores (Hewlett Packard-HP) e estocados em freezer a 4 °C para posterior análise por cromatografia gasosa. Análises do benzeno e do etanol foram realizadas em um cromatógrafo a gás (CG) marca Hewlett Packard (HP) 5890 - Série II acoplado ao aparelho "Headspace Sampler" HP 7694. A leitura no CG foi feita através de detector de chama ionizada (FID), sendo as amostras injetadas em coluna capilar HP-1 (30m comprimento , 0,53 mm de diâmetro e 2,65 µm de espessura, HP) com um fluxo de gás de 3 mL/min. As condições de operação do aparelho foram as seguintes: temperatura do forno de 90°C, temperatura do injetor de 225°C e temperatura do detector de 250°C

Análise Estatística. Os experimentos de absorção direta utilizaram abordagens completamente randomizadas e baseadas no teste de hipóteses. Foram realizados com no mínimo três repetições por tratamento (cada repetição consistiu de um reator com a presença de uma única estaca) e, por se tratarem de amostras independentes, utilizou-se para a comparação das médias a análise de variância em uma direção (One-way - ANOVA). Os valores médios para a remoção do etanol, em termos de massa, foram correlacionados em função da transpiração através da utilização da regressão linear e do coeficiente de correlação (R^2) (Rothman e Ericson, 1987).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Absorção Direta do Etanol. Os resultados obtidos neste experimento demonstraram que o comportamento do etanol na solução foi bastante influenciado pela presença de estacas e também pela presença isolada de suas raízes. O tratamento com estacas, por exemplo, mostrou reduções marcantes da concentração de etanol com valores médios que oscilaram de 1358,49 a 8,7 mg/L ao final do experimento, o que correspondeu a uma redução de 99,3% em relação a concentração original. O tratamento com a presença de raízes, por outro lado, foi responsável por reduzir em quase 50% a concentração de etanol na solução. Neste tratamento, os valores obtidos variaram de 1188,94 a 600mg/L após 4 dias do início das dosagens (figura 3A). Quando os resultados obtidos para a concentração foram plotados na equação de balanço de massa pôde-se observar, pela figura 3B, um padrão de resposta bastante similar àquele apresentado na figura anterior. O tratamento com estacas, por exemplo, apresentou valores médios que oscilaram de 543,39 a 4,69mg no final do experimento, ao passo que, no tratamento com a presença de raízes os valores iniciaram-se a partir de 475,57mg e decresceram para 236,34 mg ao final do experimento. Em termos estatísticos, a ANOVA revelou que os valores médios para a redução do etanol no tratamento com a presença de estacas foram significativamente diferentes daqueles obtidos nos demais tratamentos.

A transpiração, portanto, foi o processo responsável pela depleção deste contaminante favorecendo a entrada deste composto na planta conjuntamente com a entrada da solução nutritiva através da corrente transpirativa. A regressão linear realizada para os valores médios encontrados para a redução da massa do etanol em função da transpiração acumulada das estacas confirma estatisticamente este efeito com um alto coeficiente de correlação obtido a partir da equação da reta ($R^2=0,99$) (figura 4).

Absorção Direta do Benzeno. A concentração de benzeno neste experimento variou significativamente em função dos tratamentos testados (figura 6). No tratamento com estacas, por exemplo, nota-se que a concentração de benzeno oscilou de 5,95 a 0,15mg/L ao longo do experimento, o que representou reduções que variaram de 72 a 99,3% em relação aos valores obtidos para o controle, que mantiveram-se na faixa de 22mg/L ao longo do experimento. O tratamento com a presença de raízes apresentou valores intermediários durante o período de amostragem. Os valores obtidos para este tratamento durante a data inicial estiveram na faixa de 4,5mg/L e foram aumentando gradualmente até o final do experimento, onde o valor médio encontrado foi de 14,6mg/L.

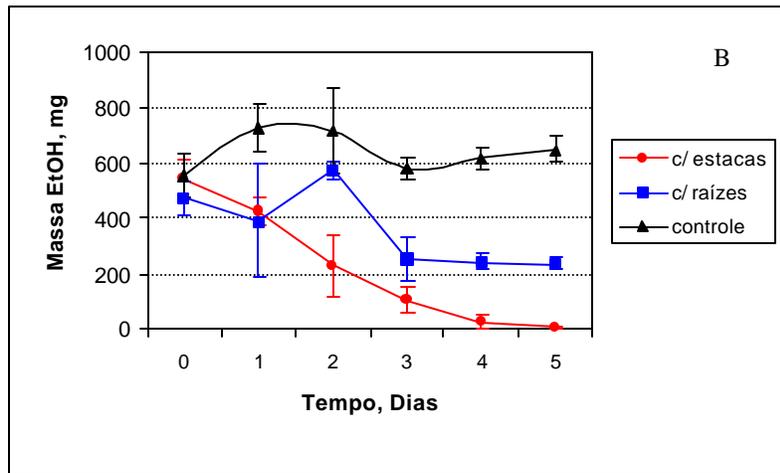
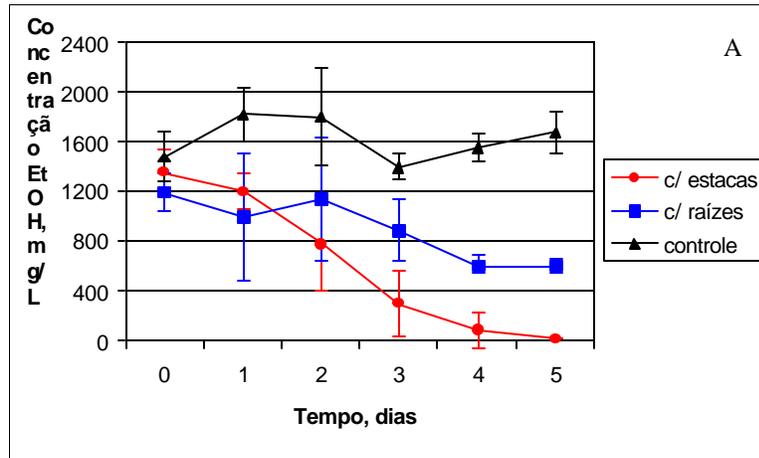


Figura 3 AeB Concentração (A) e massa (B) de Etanol na solução hidropônica em função do tempo. Os valores mostrados representam a média de três repetições e foram determinados a partir de leitura no cromatógrafo a gás ou pela equação de balanço de massa. Barras de erro representam o desvio padrão para n= 3.

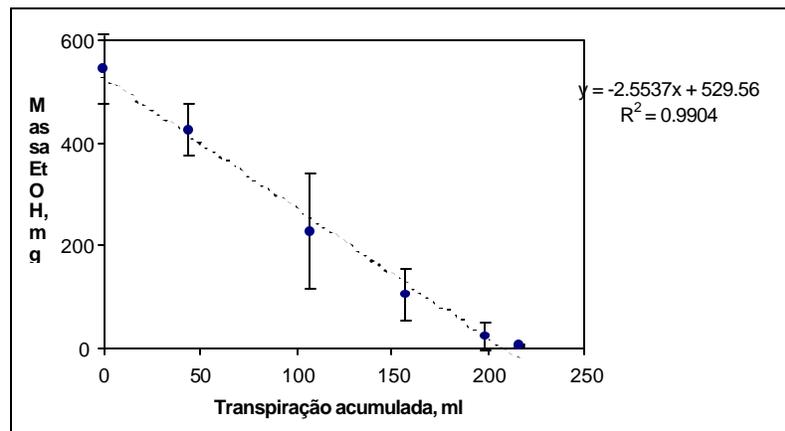


Figura 4 Massa de Etanol (em mg) na solução hidropônica em função da transpiração acumulada das estacas nos reatores

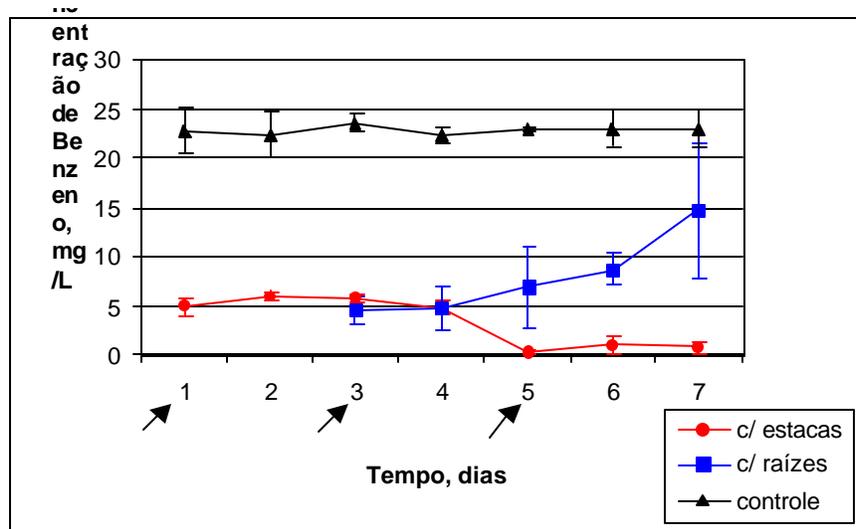


Figura 5 Concentração de Benzeno (em mg/L) na solução hidropônica de reatores com a presença de estacas de *S. babylonica* em regime semi-contínuo. Os valores mostrados representam a média de três repetições, exceto para o tratamento com a presença de raízes. Barras de erro representam o desvio padrão para $n = 3$, exceto para o tratamento com raízes ($n=2$). Setas indicam as datas de adição do Benzeno na solução.

Em termos estatísticos, os resultados obtidos pela ANOVA revelaram que as diferenças observadas entre os tratamentos foram estatisticamente significativas, com um grau de probabilidade superior a 99 % ($p \geq 0.001$). Portanto, a concentração de benzeno na solução foi influenciada por dois processos: a sua sorção à superfície das raízes e a absorção pelo sistema radicular. O fenômeno de sorção foi responsável inicialmente por uma depleção de até 79,5% do benzeno na solução. Este valor, contudo, decresceu ao final do experimento para 33,2%. Tal redução demonstrou que a sorção, neste caso, não agiu como um processo contínuo. Pelo contrário, o aumento gradual da concentração na solução indicou uma tendência de saturação para a sorção do benzeno à superfície das raízes.

A concentração de benzeno na solução também foi bastante influenciada pela transpiração das estacas (figura 6). Nota-se pela figura que tanto a concentração de benzeno na solução como a transpiração diária obedeceram a um padrão de resposta simetricamente oposto. A transpiração novamente comandou o processo de absorção do benzeno, favorecendo a sua translocação das raízes para os ramos através da corrente transpirativa das estacas a favor de um gradiente de concentração; caso contrário a sua concentração aumentaria nos reatores como consequência do processo de sorção.

A absorção direta do benzeno a partir de cultivos hidropônicos em solução nutritiva já foi investigada para o gênero *Populus* sp. (Burken, 1996). Análises das amostras líquidas por cromatografia gasosa revelaram que as reduções observadas, que corresponderam a 30 % da concentração de benzeno original após 4 dias de experimento, foram consequência do processo de absorção direta pelas raízes. Análises da fração gasosa dos reatores indicaram ainda que este composto, após absorvido, foi translocado para a região da parte aérea da planta onde foi volatilizado pelas folhas. A volatilização, neste caso, esteve bastante relacionada às taxas transpirativas das plantas. Resultados adicionais com absorção do benzeno a partir de experimentos conduzidos no solo também evidenciaram o processo de volatilização deste composto pelas folhas juntamente com o processo de mineralização no solo, promovido pela atividade microbiana.

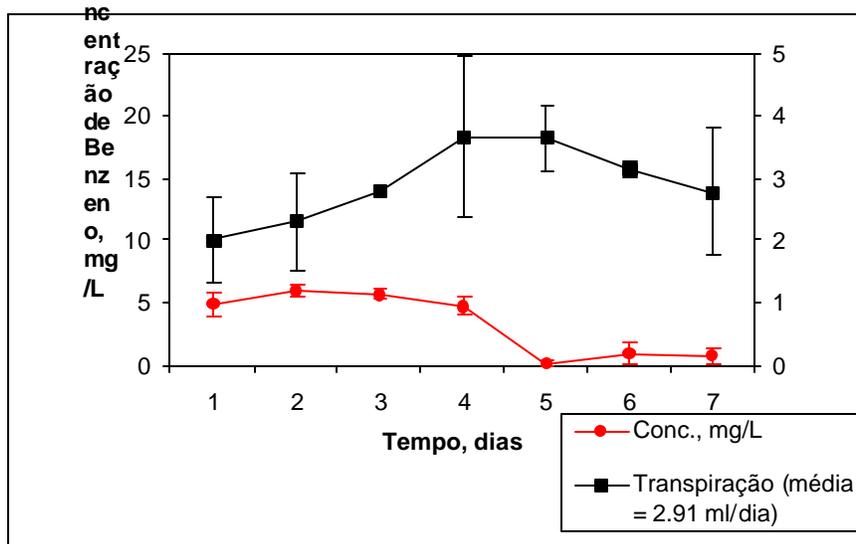


Figura 6 Concentração de Benzeno (em mg/L) na solução hidropônica e transpiração diária para reatores com a presença de estacas de *S. babylonica*. Os valores mostrados representam a média de três repetições. Barras de erro representam o desvio padrão para $n = 3$. A transpiração média está mostrada na legenda.

No entanto, algumas considerações merecem ser colocadas principalmente no que concerne a utilização de plantas para fins de remediação de contaminantes orgânicos voláteis. A volatilização pelas folhas como destino final de contaminantes orgânicos voláteis, como foi observado com o benzeno, não é o objetivo almejado pela fitorremediação, embora a sua liberação lenta e de maneira controlada através das árvores seja até certo ponto aceitável quando os compostos presentes na água atinjam concentrações que excedam em muito os padrões de potabilidade estabelecidos por lei. Contudo, muitos profissionais que trabalham com a remoção de contaminantes químicos de solos e águas superficiais e subterrâneas (na sua maioria microbiologistas, químicos e engenheiros ambientais) têm expressado preocupação a respeito dos possíveis impactos ambientais da fitorremediação, principalmente aqueles relacionados a contaminação da cadeia alimentar. É importante lembrar, no entanto, que mesmo em locais que tenham sofrido algum tipo de contaminação, ou sejam alvo de despejos industriais, não estão isentos de virem a sofrer as conseqüências dos possíveis impactos ambientais que os compostos químicos orgânicos podem provocar devido a sua interação com a comunidade vegetal ali presente. Tecnologias atualmente utilizadas nos Estados Unidos para a limpeza de locais contaminados, além de não atingirem 100 % de eficácia, costumam ocasionar outros problemas como a destruição do perfil do solo, trazendo como conseqüência sérios prejuízos ecológicos ao local. As alternativas atualmente viáveis para a remediação de águas subterrâneas, no caso de contaminantes orgânicos voláteis, envolvem a utilização de bombeamento e extração de vapores do solo (SVE), as quais consistem na transferência destes compostos para a atmosfera sob a forma de vapores e a um custo muito elevado. A utilização de árvores para a remoção destes contaminantes e a sua posterior conversão a metabólitos inativos nos tecidos vegetais, como já foi relatado para o solvente tricloroetileno (TCE), para o pesticida atrazina e também para resíduos de armamentos como o trinitrotolueno (TNT), não seria uma tecnologia ecologicamente mais correta, além de mais viável economicamente ?

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com este trabalho permitiram as seguintes conclusões:

Os reatores com a presença de estacas mostraram uma eficiência de 99% para a remoção do etanol da solução tanto em nível de concentração como em nível de balanço de massa. A transpiração, no caso, foi o processo responsável pela absorção direta deste composto e foi comprovada estatisticamente através da utilização regressão linear, sugerindo assim, que a sua entrada ocorreu juntamente com a entrada da água nas raízes pela corrente transpirativa.

A eficiência para a remoção do benzeno da solução chegou a 99% nos reatores com a presença de estacas. As reduções observadas também foram influenciadas pela transpiração das estacas a qual viabilizou a entrada do benzeno na planta através da corrente transpirativa, simultaneamente com a entrada da solução.

O comportamento do benzeno e do etanol nos reatores foi influenciado pela presença isolada das raízes, a qual também contribuiu para a depleção dos contaminantes da solução nutritiva. No caso do etanol, o processo de sorção as raízes reduziu quase 50 % da concentração inicial. Para o benzeno, no entanto, este processo não ocorreu de modo contínuo e tendeu a saturação ao final do experimento.

Os resultados deste estudo indicaram que, sob as condições testadas, o “chorão” tem o potencial de absorver, diretamente pelo sistema radicular, etanol e benzeno em determinadas concentrações, o que pode significar que esta espécie poderia ser utilizada com o objetivo de se remediar locais contaminados por compostos químicos orgânicos provenientes de derramamentos de gasolina, como é o caso do etanol e do benzeno. Neste caso, estas árvores, orientadas em fileiras formando um sistema radicular denso e profundo, poderiam funcionar como um filtro natural controlando e reduzindo a percolação vertical de contaminantes no solo. Em se tratando de aquíferos rasos, as raízes, uma vez alcançando o nível do lençol, poderiam absorver os contaminantes dissolvidos na água, reduzindo, assim, o tamanho da pluma e protegendo os pontos receptores (poços de abastecimento de água, rios, lagos, etc) de uma eventual contaminação. Os resultados desta pesquisa também tem um impacto positivo na biorremediação de águas subterrâneas contaminadas por misturas de etanol e gasolina onde foi demonstrado, experimentalmente, que a degradação aeróbia dos BTX é retardada na presença do etanol (Corseuil e Alvarez, 1996; Santos, 1996). A causa da persistência destes contaminantes foi explicada pela demanda extra de oxigênio exigida para a biodegradação do etanol, que tornou o meio anaeróbio e limitou a degradação aeróbia dos BTX. Consequentemente, a presença do etanol apresenta-se como um problema adicional para a biorremediação de áreas contaminadas por derramamentos de gasolina e, principalmente, para a biorremediação de águas subterrâneas, onde as condições de oxigênio são bastante limitadas. A remoção do etanol pelo chorão, portanto, poderá garantir a demanda de oxigênio necessária para a biodegradação dos BTX em aquíferos contaminados. A enorme diversidade vegetal presente no Brasil, aliada as suas condições climáticas, colocam o país numa situação bastante favorável para a introdução de tecnologias que utilizem a vegetação como uma alternativa para a minimizar o impacto de resíduos químicos descarregados diariamente no meio ambiente, o que justifica a implementação de estudos mais aprofundados nestas áreas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, T.A. and Walton, B.T. (1995). Fate of ^{14}C trichloroethylene in the root zone of plants from a former solvent disposal site, *Environ. Toxicol. Chem.*, **14 (12)**: 2041-2047.
- Burken, J.G. (1996). Uptake and Fate of Organic Contaminants by Hibrid Poplar Trees, PhD. dissertation, Iowa City, IA, USA.
- Castellane, P.D. e Araujo, J.A.C.de (1995). **Cultivo sem Solo – Hidroponia**. Unesp, Jaboticabal, SP, 40 pp.
- Corseuil, H.X. e Alvarez, P.J.J. (1996). Natural bioremediation of aquifer material contaminated with gasoline-ethanol mixtures, *Rev. Microbiol.*, **27(1)**: 19-26.
- Corseuil, H.X. e Marins, M..D.M. (1997). Contaminação de águas subterrâneas por derramamentos de gasolina: o problema é grave?, *Rev. Eng. San. e Ambiental*, **2(2)**: 50-54.
- Hoagland, D.R. and Arnon, D.I. (1950). The water culture method of growing plants without soil, California Agriculture Experiment Station, Circular 347.
- Nyer, E.K. and Gatliff, E.G. (1996). Phytoremediation, *GWMR*, winter, 58-62.
- Moreno, F.N. (1998) Avaliação experimental do potencial do chorão (*Salix babylonica*-Linnaeus) na fitorremediação de aquíferos contaminados por nitratos, etanol e benzeno. Dissertação de Mestrado. Florianópolis, SC.
- Reitz, R. (1983). Salicaceae **in**: Reitz, R (Ed.) **Flora Ilustrada Catarinense - I Parte**, Itajaí, SC.
- Schnoor, J.L., Licht, L.A., McCutcheon, S.C., Wolfe, L.N. and Carreira, L.H. (1995). Phytoremediation of organic and nutrient contaminants, *Environ., Sci. and Technol.*, **29(7)**: 318-323 A.