

USO DO “CHORÃO” (*SALIX BABYLONICA*) NA REMEDIAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS CONTAMINADAS POR GASOLINA

Henry Xavier Corseuil⁽¹⁾

PhD. em Engenharia Ambiental pela Universidade de Michigan (EUA). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina ENS / UFSC.

Fábio Netto Moreno (foto)

Mestre em Engenharia Ambiental pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental ENS / UFSC.



Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal de Santa Catarina - Depto. de Engenharia Sanitária e Ambiental - Bairro da Trindade - Florianópolis -SC - Caixa Postal 476 - CEP: 88070-910 - Brasil - Tel: (048) 331-9597 - e-mail: corseuil@ens.ufsc.br

RESUMO

A presença de 22% de etanol na fórmula da gasolina brasileira potencializa a probabilidade de compostos hidrocarbonetos monoaromáticos (BTEX) atingirem o lençol freático a partir de derramamentos de gasolina. Dentre estes compostos o benzeno é considerado o mais tóxico devido ao seu elevado potencial cancerígeno. Este fato, aliado as dificuldades encontradas para a biorremediação natural dos BTEX na presença do etanol demandam a necessidade de estudos visando o desenvolvimento de tecnologias alternativas para a remoção destes compostos a partir de águas subterrâneas.

A fitorremediação, que pode ser definida como a seleção e utilização de espécies de plantas para seqüestrar, assimilar, transformar e também decompor certos contaminantes, é um processo natural que oferece a possibilidade de uma ação eficaz na remediação de solos, sedimentos e sistemas de aquíferos contaminados. O chorão (*Salix babylonica*), espécie de árvore muito comum no Brasil, reúne uma gama de características que a torna muito atrativa para ser utilizada em projetos que visem remediar locais contaminados por derramamentos de gasolina.

O presente trabalho se baseou no cultivo de estacas desta espécie em solução hidropônica, adicionada de etanol e benzeno. Os resultados revelaram reduções de até 99% para ambos os contaminantes. Tal resposta foi devida a transpiração das estacas, que influenciou significativamente o comportamento dos contaminantes nos reatores. Resultados adicionais para a fitotoxicidade do etanol demonstraram que a transpiração das estacas foi afetada somente quando atingiu-se a dosagem de 2000 mg/L. Apesar de preliminar, este estudo revela o potencial do chorão para a remediação de aquíferos rasos e também discute as implicações da utilização desta tecnologia sobre o meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Chorão, Fitorremediação, Águas Subterrâneas, Etanol, Benzeno.

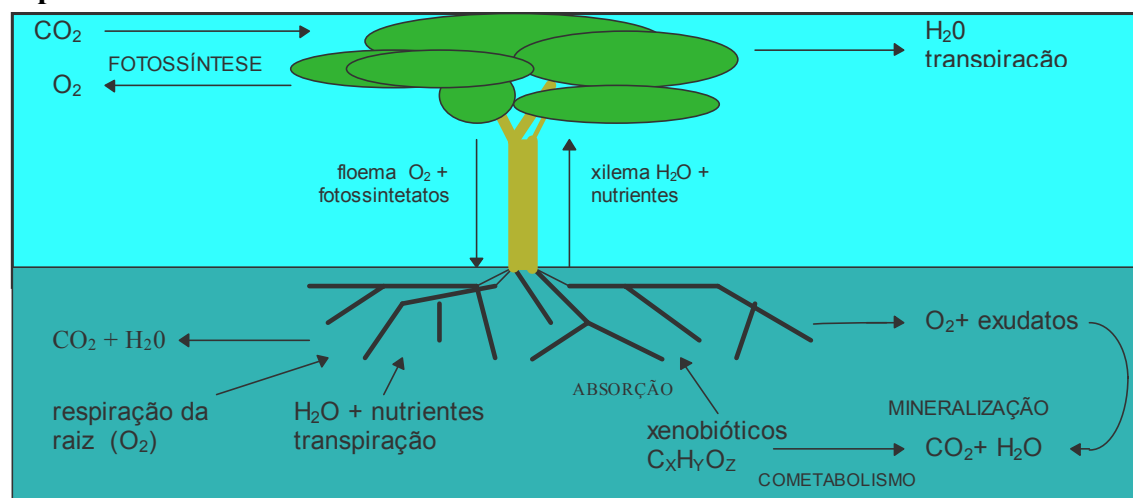
INTRODUÇÃO

O efeito sinérgico da interação planta-microorganismos para o controle potencial da poluição do meio ambiente tem sido demonstrado de forma crescente nesta última década. Pesquisas tem relatado que poluentes como metais pesados e compostos químicos de origem orgânica podem ser absorvidos, destoxificados e mineralizados nos tecidos vegetais e na rizosfera de espécies de plantas aquáticas, herbáceas, arbustivas e arbóreas (Walton e Anderson, 1990; Anderson e Walton, 1993; Nair et al., 1993; Burken, 1996; Moreno,1998).

Por exemplo, nos Estados Unidos a fitorremediação tem mostrado a sua eficácia em estudos em escala piloto e de campo 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, pesticidas, 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).

Existem basicamente três 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) estimulação da atividade microbiana e de transformações bioquímicas na rizosfera através da liberação de exudatos e enzimas; e 3) 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; Nyer e Gatliff,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 os principais mecanismos da fitorremediação para uma espécie arbórea adaptada 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. Exemplos típicos de árvores desta família, segundo Reitz (1983), são o chorão (*Salix babylonica*), o salseiro (*Salix humboldtiana*) e o choupo (*Populus* sp.) que, em termos fisiológicos, apresentam características que os tornam bastante atrativos para serem utilizados em projetos de fitorremediação como: 1. absorção direta de compostos orgânicos e posterior transformação a metabólitos menos tóxicos (Burken, 1996; Moreno, 1998); 2. habilidade em oxigenar a rizosfera, o que viabiliza aerobicamente a mineralização de compostos orgânicos (Schnoor *et al.*, 1995); 3. liberação de exudatos e incremento de matéria orgânica que estimulam a atividade degradatória de consórcios de microorganismos na rizosfera (Schnoor *et al.*, 1995; Jordhal *et al.*, *in press*); e 4. transpiração elevada, 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).

O objetivo principal deste trabalho foi investigar o potencial do chorão (*Salix babylonica*-Linnaeus), uma espécie de árvore muito comum no Brasil, no processo de absorção direta pelas raízes do benzeno e do etanol em sistemas de cultivo hidropônico, como uma etapa inicial no estudo da fitorremediação. Adicionalmente, o trabalho se propôs a verificar o potencial fitotóxico do etanol que, devido a sua alta solubilidade em água, é passível de ser encontrado em concentrações bastante elevadas em aquíferos subterrâneos a partir de derramamentos de gasolina.

MATERIAIS E MÉTODOS

Enraizamento e Propagação das Estacas (ramos)

Estacas, extraídas a partir do 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 (figura 2). O enraizamento das estacas foi realizado em condições de estufa por um período de 30 dias.

Experimentos de Absorção Direta do Etanol e Benzeno

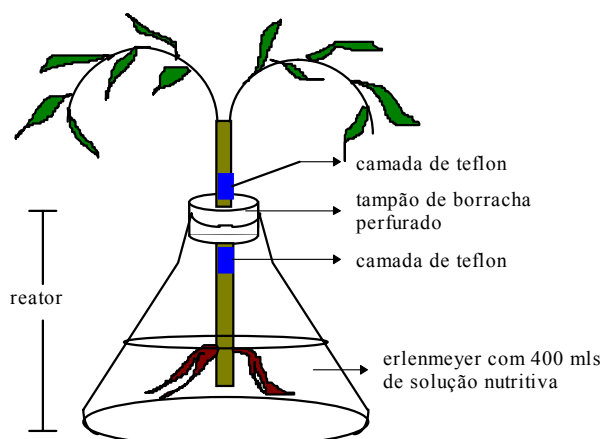
Os experimentos de absorção direta utilizaram três tratamentos: reatores com a presença de estacas, controles (sem estacas) e um tratamento somente com a presença de raízes, o qual foi preparado conforme o tratamento com a presença de estacas, porém, sem a porção superior da estaca, que foi excisada 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). 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 presença 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.

O experimento com o etanol foi conduzido 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). 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 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 (\cong 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.

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



Para a análise dos contaminantes, alíquotas 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.

A análise estatística destes experimentos utilizou uma 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).

Experimento de Fitotoxicidade com o Etanol

A metodologia utilizada neste experimento, que foi conduzido sob condições de estufa, foi baseada em diferenças nas medidas de transpiração entre plantas dosadas com concentrações variadas de etanol e seus controles. A transpiração foi monitorada através de balança analítica manual e a massa adicionada de etanol (Merck) foi calculada como a massa necessária para que se alcançasse concentrações de 500, 1000 e 2000 mg/L na solução nutritiva. O ensaio foi realizado de modo semi-contínuo sendo a solução totalmente substituída a cada nova dosagem com o etanol. A biomassa fresca total de cada planta foi pesada antes do início das dosagens com o objetivo de se normalizar os resultados obtidos para o volume de água transpirado por cada planta (em mL/dia). Desta forma, pôde-se minimizar as defasagens de volume de água transpirado ocasionados por diferenças de biomassa entre cada planta e, assim, homogeneizar o conjunto de dados para cada tratamento.

Este experimento adotou a mesma abordagem estatística dos experimentos anteriores, no entanto, por se tratarem de amostras dependentes, utilizou-se para a comparação das médias o teste-t pareado (Rothman e Ericson, 1987).

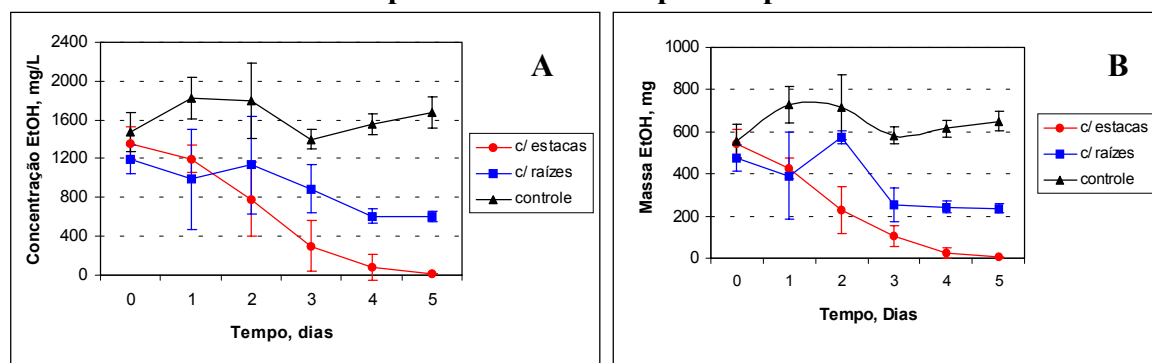
RESULTADOS E DISCUSSÃO

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

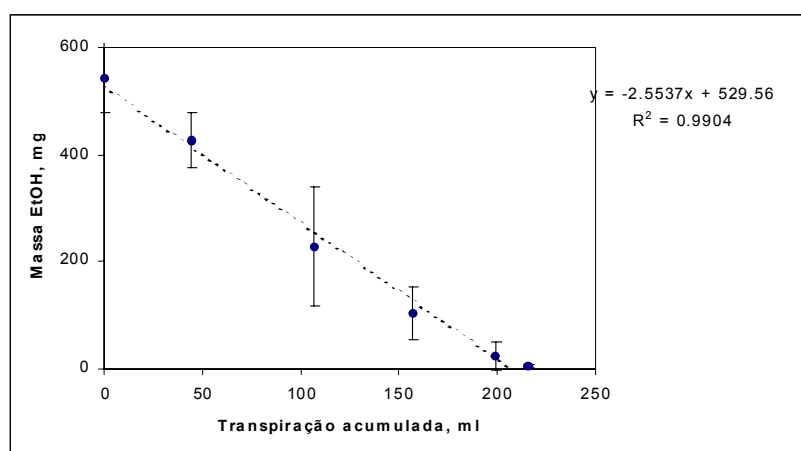
dosagens (figura 3A). Resultados similares também foram encontrados quando os resultados obtidos para a concentração foram plotados na equação de balanço de massa (figura 3B). O tratamento com estacas, por exemplo, apresentou valores médios que oscilaram de 543,39 a 4,69mg no final do experimento, ao 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.

Figura 3: 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.



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 regressão linear realizada para os valores médios encontrados para a redução da massa do etanol em função da transpiração acumulada das estacas demonstrou, estatisticamente, a influência deste processo com um alto coeficiente de correlação obtido a partir da equação da reta ($R^2=0,99$) (figura 4C). 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.

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



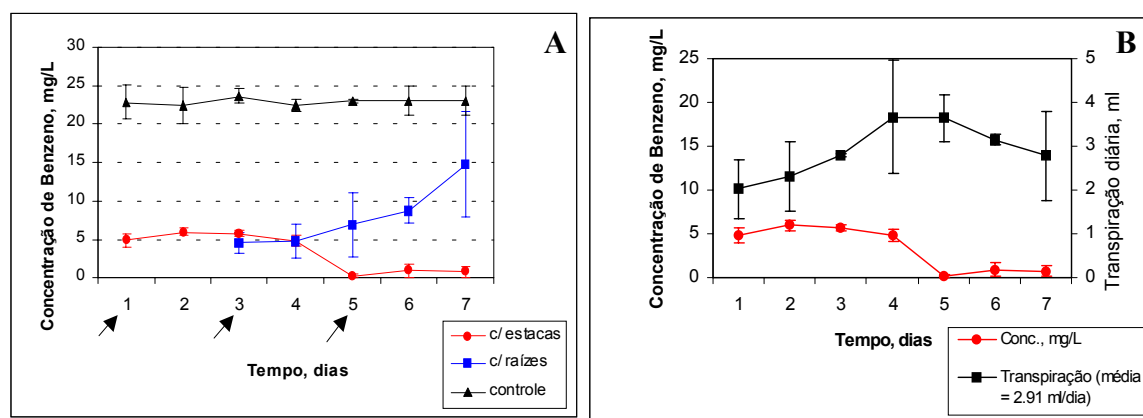
Absorção Direta do Benzeno

A concentração de benzeno neste experimento variou significativamente em função dos tratamentos testados (figura 6 A). 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.

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 B). Nota-se pela figura que tanto a concentração de benzeno 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.

Figura 6: Concentração de Benzeno (em mg/L) na solução hidropônica (A) e transpiração diária (B) 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.

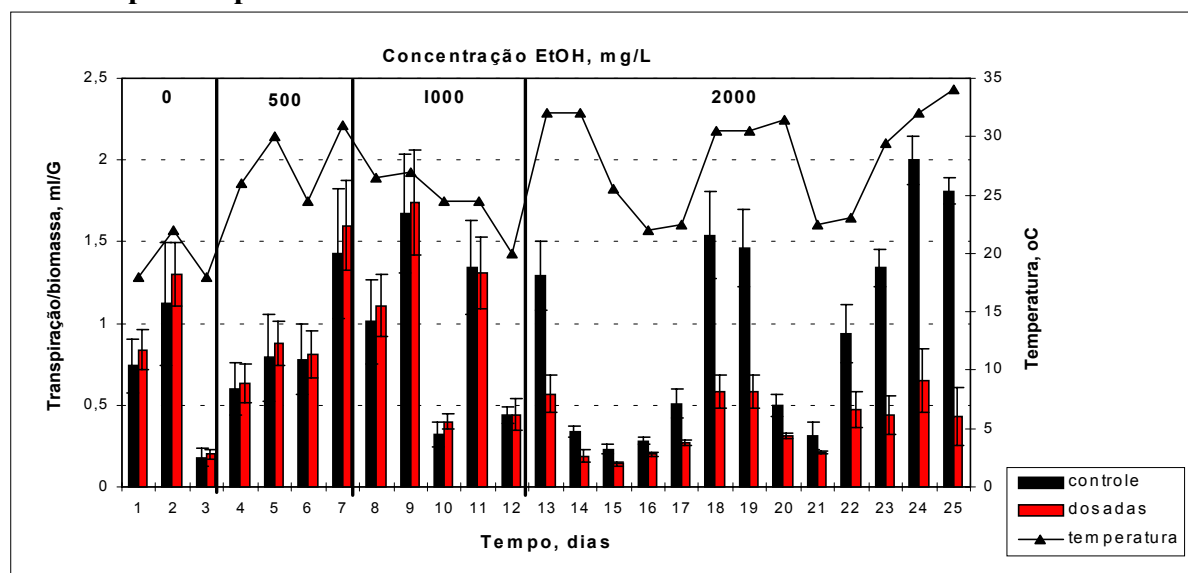


Experimento de Fitotoxicidade com o Etanol

A comparação entre as taxas transpirativas de plantas dosadas e seus controles se constitui numa maneira relativamente simples para se avaliar o potencial fitotóxico de compostos químicos orgânicos sobre a fisiologia e o crescimento de espécies vegetais. O presente ensaio caracterizou-se pela avaliação do comportamento fisiológico do chorão na presença de dosagens variadas do etanol que, por ser completamente solúvel em água, pode ser encontrado em concentrações relativamente elevadas nas águas subterrâneas.

O resultado deste experimento, que pode ser visualizado na figura 7, revelou que os valores obtidos para a normalização da transpiração pela biomassa (em mL/g) para os dois grupos de plantas foram praticamente similares quando as dosagens de etanol estiveram na faixa de 0 a 1000 mg/L. Além do mais, as variações observadas nos padrões de resposta para a transpiração das estacas demonstraram uma relação bastante próxima com as variações encontradas para a temperatura média no período. A ausência de sintomas visíveis de fitotoxicidade, como o secamento e abscisão das folhas ou clorose, indicaram que as concentrações testadas durante os doze primeiros dias do experimento aparentemente não provocaram danos fisiológicos nas plantas. No entanto, com o aumento da concentração de etanol para 2000 mg/L após o décimo segundo dia, observa-se o efeito fitotóxico 24 horas após o início da dosagem.

Figura 7: Normalização da transpiração pela biomassa (em ml/G) e temperatura média (em °C) em função do tempo para reatores com a presença de estacas de *S. babylonica*. As barras verticais delimitam os períodos de aumento da dosagem de etanol na solução. Os valores mostrados representam a média de três repetições e foram determinados pela equação de balanço de massa. Barras de erro representam o desvio padrão para n= 3.



É importante notar que a temperatura, nesta concentração, também influenciou nos padrões de resposta para ambos os grupos de plantas, o que demonstra que esta dosagem, apesar de provocar reduções nas taxas de transpiração, não foi suficiente para ocasionar a morte das plantas.

Em nível estatístico, os valores encontrados para o teste-t pareado revelaram que as defasagens encontradas entre os dois grupos de plantas para o volume de água transpirado durante os doze primeiros dias do experimento não foram significativas, o que sugere que

as três primeiras concentrações testadas de etanol não foram suficientemente tóxicas para provocar alterações no comportamento fisiológico das plantas. No entanto, com a elevação da concentração de etanol para 2000 mg/L, o teste-t revelou, com exceção dos dias 16 e 21, que os dois grupos de plantas apresentaram diferenças significativas em relação aos valores da normalização da transpiração pela biomassa, demonstrando assim o potencial fitotóxico do etanol nesta concentração.

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 para a fitotoxicidade do etanol revelaram diferenças significativas entre as plantas dosadas e o controle somente quando a concentração de etanol foi aumentada para 2000mg/L a partir do 13º dia. Apesar da ocorrência de reduções nas taxas transpirativas das plantas nesta concentração, sintomas aparentes de fitotoxicidade como o secamento e abscisão das folhas ou clorose não foram observados no decorrer do experimento, o que pode indicar que esta dose não foi letal para as plantas.

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 *in situ* locais contaminados por compostos químicos orgânicos provenientes de derramamentos de gasolina, como é o caso do etanol e do benzeno. Os resultados desta pesquisa merecem uma especial atenção na recuperação de áreas degradadas, onde o chorão, que tolera locais saturados de água, poderia ser utilizado em ambientes de banhado ou campos úmidos. Por se fixador do solo, o seu uso também é estimulado junto às margens de rios, de represas e também de barragens. Nestes casos, estas árvores, orientadas estrategicamente de modo a formar um sistema radicular denso e profundo, poderiam funcionar como uma barreira hidráulica controlando e reduzindo a percolação vertical de contaminantes no solo e protegendo aquíferos e pontos receptores (poços de abastecimento de água, rios, lagos, etc) de uma eventual contaminação. Além

do mais, a habilidade desta espécie em oxigenar a rizosfera fornece um habitat propício para a ocorrência de transformações aeróbias de compostos químicos no solo. Este fato tem um impacto positivo na biorremediação de águas subterrâneas contaminadas por misturas de etanol e gasolina, onde as condições de oxigênio bastante limitadas e a presença do etanol dificultam a biodegradação natural dos BTX, contribuindo assim para aumentar a persistência destes compostos na água subterrânea (Corseuil e Marins, 1997; Corseuil *et al.*, 1998).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. 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.
2. BURKEN, J.G. (1996). Uptake and Fate of Organic Contaminants by Hibrid Poplar Trees, PhD. dissertation, Iowa City, IA, USA.
3. 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.
4. CORSEUIL, H.X., HUNT, C.S., SANTOS, R.C.F. DOS E ALVAREZ, P.J.J. (1998) The influence of the gasoline oxygenate ethanol on aerobic and anaerobic btx biodegradation, *Wat. Res.* **7**: 2065-2072.
5. HOAGLAND, D.R. AND ARNON, D.I. (1950). The water culture method of growing plants without soil, California Agriculture Experiment Station, Circular 347.
6. JORDHAL, J.L., FOSTER, L., SCHNOOR, J.L. AND ALVAREZ, P.J.J. Effect of hibrid poplar trees on microbial populations important to hazardous waste bioremediation, *Environ. Toxicol and Chem.* **in press**.
7. 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.
8. NAIR, D.R., BURKEN, J.G., LICHT, L.A. AND SCHNOOR, J.L. (1993). Mineralization and uptake of triazine pesticide in soil-plant systems, *J. of Environ. Eng.*, **119(5)**: 986-993.
9. NELLESEN, J.E. AND FLETCHER, J.S. (1993). Assessment of published literature pertaining to the uptake/accumulation, translocation, adhesion and biotransformation of organic chemicals by vascular plants, *Environ. Toxicol. and Chem.*, **12**: 2045-2052.
10. NYER, E.K. AND GATTLIFF, E.G. (1996). Phytoremediation, *GWMMR*, winter, 58-62.
11. REITZ, R. (1983). Salicaceae **in**: Reitz, R (Ed.) **Flora Ilustrada Catarinense - I Parte**, Itajaí, SC.
12. ROTHMAN, E.D. AND ERICSON, W.A. (1987) **Statistics Methods and Applications**. 2nd Ed. Kendall/Hunt Publishing Company, Iowa, USA, 753 pp.
13. 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.
14. WALTON, B.T. AND ANDERSON, T.A. (1990). Microbial degradation of trichloroethylene in the rizhosphere: potential aplicacion to biological remediation of waste sites, *Applied and Environ. Technol.*, **4**:1012-1016.