



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

EFEITO DO FENOL SOBRE O DESEMPENHO AGRONÔMICO DA *Typha latifolia* L.

Ronaldo Fia¹, Fátima Resende Luiz Fia², Antonio Teixeira de Matos³

RESUMO

Com a realização deste trabalho, objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de fenol em plantas de *Typha latifolia* L. (taboa), com vistas a sua utilização em Sistemas Alagados Construídos usados no tratamento de águas residuárias que contenham esta substância. Plantas de taboa foram cultivadas em vasos de 15 L preenchidos com brita “zero”, como substrato, e solução nutritiva de Hoagland modificada, em casa de vegetação, tendo sido avaliados os efeitos proporcionados pelas seguintes doses de aplicação: 0 (T0), 150 (T1), 300 (T2), 450 (T3) e 600 mg L⁻¹ de fenol (T4). Como testemunha, vasos não cultivados receberam 300 mg L⁻¹ de fenol (T5). Durante o período experimental, foi feita reposição semanal da água evapotranspirada (T1, T2, T3 e T4) ou evaporada (T5). Ocorreu aumento na concentração de fenol na solução nutritiva dos vasos de T3, T4, T5 e tendência de estabilização na concentração dos vasos T1 e T2. A maior produção de matéria seca em plantas de taboa ocorreu nos tratamentos T0 e T1. Houve aumento na absorção de nitrogênio e fósforo pelas plantas submetidas à solução com maior concentração de fenol, entretanto, devido a sua menor produção de biomassa, menor foi a quantidade de nutrientes extraídos da solução nutritiva. Os resultados indicaram que a taboa foi capaz de se desenvolver satisfatoriamente em solução nutritiva com concentração de fenol inferior a 150 mg L⁻¹.

Palavras-chave: águas residuárias, compostos fenólicos, biorremediação, *Typha latifolia* L

EFFECT OF PHENOL ON THE AGRONOMIC PERFORMANCE OF *Typha latifolia* L.

ABSTRACT

This study was carried out to evaluate the effect from phenol application in macrophytes (*Typha latifolia* L.), to use in constructed wetlands used to wastewater treatment. *Typha* was cropped in 15 L pots under greenhouse conditions. The pots were infilled with crushed stone (zero) and nutritious solution of Hoagland modified. The effects were evaluated for the following application doses: 0 (T0), 150 (T1), 300 (T2), 450 (T3) e 600 mg L⁻¹ of phenol (T4). Control pots no planting received 300 mg L⁻¹ of phenol (T5). Weekly, it was made replacement of water evapotranspired (T1, T2, T3 and T4) or evaporated (T5). Phenol concentration increased in nutritious solution in pots of T3, T4, T5 and tendency of stabilization in pots T1 and T2 was verified. The highest yield of dry matter occurred in that treatment T0 and T1. *Typha* presents increase in take up nitrogen and phosphorus in pots submitted to the solution and larger phenol concentration. However, the smallest biomass production led to a smaller extraction of nutrients in nutritious solution. The results indicated that *Typha* was able to develop satisfactorily in nutrient solution with concentration of phenol below 150 mg L⁻¹.

Keywords: wastewater, phenolic compounds, bioremediation, *Typha latifolia* L

Trabalho recebido em 19/10/2009 e aceito para publicação em 21/12/2009.

¹ Eng^o Agrícola e Ambiental, Professor Dr. do Departamento de Engenharia /UFLA, E-mail: ronaldofia@deg.ufla.br

² Eng^a Agrícola, Professora Dra. do IFET-MG – Campus Bambuí, E-mail: fatima.fia@edu.ifetmg.br.

³ Eng^o Agrícola, Professor Dr. do Departamento de Engenharia Agrícola/UFV, E-mail: atmatos@ufv.br

1. INTRODUÇÃO

Águas residuárias originadas de processos industriais, incluindo refinaria de óleos, usinas petroquímicas, fábricas de cerâmicas, aciarias, processos de conversão de carvão, indústrias de resinas fenólicas e indústrias farmacêuticas (SANTOS & LINARDI, 2004); e àquelas oriundas de processos agroindustriais, tais como as águas da lavagem e descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro (GONÇALVES, 2006; LUIZ, 2007), possuem, em sua constituição, compostos fenólicos, requerendo, por isso, tratamento cuidadoso antes de serem lançadas em corpos hídricos receptores. Devido aos seus efeitos tóxicos, incluindo sua capacidade de transpassar membranas celulares e provocar coagulação do conteúdo citoplasmático, contaminantes fenólicos podem danificar células causando sérios problemas à saúde de seres humanos e ao ambiente (TZIOTZIOS *et al.*, 2005).

Diferentes métodos de tratamento estão disponíveis para reduzir as concentrações de fenóis em águas residuárias. As tecnologias para o tratamento de águas residuárias contendo fenol incluem cloração, ozonização, adsorção, extração com solventes, processos com membranas, coagulação, floculação e tratamentos biológicos. Os

tratamentos físico-químicos demonstram ser mais dispendiosos, além de estarem associados à formação de materiais secundários tóxicos, tal como fenóis policlorados e hidrocarbonetos. Por isso, os métodos biológicos de tratamento têm se mostrado técnico e economicamente mais adequados para degradação e a completa mineralização dos fenóis (KHLEIFAT, 2006).

Sistemas de tratamentos de águas residuárias em que se utilizam plantas para remoção de poluentes inorgânicos têm sido muito estudados, atualmente. O mesmo não ocorre no caso de compostos orgânicos, embora se saiba que a vegetação aquática possa ser efetiva nessa remoção. Sabe-se, ainda, que as plantas, em muitos casos, têm a habilidade de metabolizar poluentes orgânicos e compartimentalizar os subprodutos em seus tecidos (CASIDA & LYKKEN, 1969; BARBER *et al.*, 1995).

Sistemas alagados construídos (SACs) são definidos como sistemas projetados, que utilizam processos naturais, envolvendo vegetação, solo e microrganismos, capazes de promover, pelo menos parcialmente, o tratamento de efluentes ou outros tipos de águas de qualidade inferior (EPA, 2000). Esses sistemas são estabelecidos com o cultivo de macrófitas aquáticas que vão desde macroalgas, como o gênero *Chara*,

passando por angiospermas como o gênero *Typha*, até às árvores de ciprestes (*Taxodium* sp.) (ESTEVES, 1998). Entre as espécies mais utilizadas, destacam-se: taboa (*Typha* sp.); caniço (*Phragmites* sp.); navalha de mico (*Scirpus* sp.), junco (*Juncus* sp.); capim-mandante (*Echinochloa polytachya*), cebolinha d'água (*Eleocharis* sp.).

Trabalhos têm sido desenvolvidos para avaliar a remoção de matéria orgânica e nutrientes em SACs. Entretanto, menor atenção tem sido dada à investigação de determinados compostos orgânicos tóxicos presentes em águas residuárias. Alguns

pesquisadores avaliaram a resistência e a eficiência na remoção de fenóis por espécies vegetais em ambientes alagados, estando os resultados apresentados na Tabela 1. Porém, pouco é relatado sobre o efeito dessas substâncias no desenvolvimento de culturas utilizadas em sistemas alagados construídos. Desta forma, objetivou-se com a realização deste trabalho avaliar o desempenho agronômico da *Typha latifolia* L., quando cultivada em substrato contendo diferentes concentrações de fenol.

Tabela 1. Espécies vegetais utilizadas na remoção de compostos fenólicos em ambientes alagados

Espécie vegetal	Composto fenólico	Concentração de exposição (mg L ⁻¹)	Referência
<i>Scirpus lacustris</i> L. (navalha de mico)	Fenol	10 - 100	SEIDEL & KICKUTH (1967)
<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms (aguapé)	Fenol	25 - 100	WOLVERTON & MCKOWN (1976)
		100	NORA-MALAVAR & JESUS-RAMOS (1997)
<i>Lemna gibba</i> (lentilha d'água)	Fenol	0,05 - 0,20	BARBER <i>et al.</i> (1995)
<i>Typha</i> (Taboa)	Fenol	25 - 700	POLPRASERT <i>et al.</i> (1996)
<i>Selenastrum capricornutum</i> (microalga)	Fenol	9	NEWSTED (2004)
<i>Chlorella vulgaris</i> (alga)	Fenol	100 - 400	SCRAGG (2006)
	Fenol	10	
<i>Spirodela polyrrhiza</i> (lentilha d'água)	Anilina	10	TOYAMA <i>et al.</i> (2006)
	2,4-diclorofenol	05	

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Área Experimental de Hidráulica do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, com coordenadas geográficas de 20° 45' S de latitude e 42° 52' W de longitude e altitude de 650 metros.

Foi plantada uma muda de taboa em cada vaso, cuja capacidade total era de 15 L e capacidade útil média de 8 L, arranjados aleatoriamente em bancada,

dentro de casa de vegetação. Como substrato, utilizou-se brita gnáissica de tamanho “zero”, sendo o experimento realizado com três repetições.

O trabalho foi desenvolvido em três etapas. Na primeira, as plantas receberam adubação química, por meio da adição da solução nutritiva de Hoagland modificada (CURT *et al.*, 2005). A solução nutritiva adicionada aos vasos foi preparada em laboratório, sendo constituída por KNO₃ (5x10⁻³ mol·L⁻¹), MgSO₄ (2x10⁻³ mol·L⁻¹), KH₂PO₄ (1x10⁻³ mol·L⁻¹), CaCl₂ (5x10⁻³

mol·L⁻¹) e KCl (5x10⁻³ mol·L⁻¹). Para complementação das necessidades nutricionais das plantas, uma solução com micronutrientes foi preparada em KCl (1.864 mg·L⁻¹) com H₃BO₃ (773 mg·L⁻¹), MnSO₄·H₂O (423 mg·L⁻¹), ZnSO₄·7H₂O (288 mg·L⁻¹), CuSO₄·5H₂O (63 mg·L⁻¹), (NH₄)₆Mo₇O₄₄·4 H₂O (9,2 mg·L⁻¹) e FeCl₃ (4,09 mg·L⁻¹), a qual foi adicionada à solução nutritiva numa razão de 2 mL·L⁻¹.

Na segunda e terceira etapas, cada uma com 60 dias de cultivo, foram impostos os tratamentos, constituídos pela adição de diferentes quantidades de fenol nas soluções nutritivas, de forma a se obter as concentrações 0 (T0), 150 (T1), 300 (T2), 450 (T3) e 600 mg·L⁻¹ (T4) de fenol. Para se verificar se houve perdas de fenol, por meio de volatilização ou degradação microbiana durante o período experimental, utilizou-se, como testemunha, vasos não vegetados, nos quais foram aplicadas doses de fenol para obtenção da concentração de 300 mg·L⁻¹ (T5).

A água evaporada (T5) ou evapotranspirada (T0, T1, T2, T3 e T4) dos vasos foi repostada semanalmente com fenol de modo a se manter, de acordo com o volume médio de cada vaso, as concentrações anteriormente descritas, para isso, utilizou-se água da represa da

UFV, localizada próxima à área experimental.

Durante o período de experimentação, monitorou-se, mensalmente, o pH e a condutividade elétrica da solução contida nos vasos. A temperatura ambiente, externa à casa de vegetação, foi obtida da estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), instalada na UFV. Estimou-se a evapotranspiração e evaporação dos vasos por meio do volume de solução, ou água, adicionada semanalmente em cada vaso.

As plantas de taboa foram cortadas rente ao substrato, aos 60 e aos 120 dias após o início da aplicação de fenol. Ao término do experimento (150 dias), as raízes foram separadas do substrato e lavadas, cuidadosamente, com água corrente. O material colhido foi secado em estufa, sob ventilação forçada de ar e temperatura de 65°C, durante 72 horas, para determinação da matéria seca e análise química, após trituração e digestão apropriada do material vegetal. A análise química do material vegetal consistiu na quantificação das concentrações de N (método semimicro Kjeldahl), P (colorimetria) (EMBRAPA, 1999) e compostos fenólicos, extraídos tal como proposto por Goldstein & Swain (1963), utilizando como extrator metanol 80% (v/v), e identificados de acordo com o

método de Folin-Denis, descrito pela AOAC (1990).

As análises químicas do tecido vegetal das plantas de taboa foram realizadas no Laboratório de Química dos Resíduos do DEA, na UFV.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 está apresentada a média da temperatura máxima bem como as estimativas da evaporação e evapotranspiração médias nos períodos compreendidos entre as reposições da solução nos vasos.

Pela Figura 1, verifica-se tendência de aumento da evaporação e evapotranspiração com o aumento da temperatura máxima, além da redução da

evapotranspiração com o aumento das concentrações de fenol na solução saturante do meio suporte. A evapotranspiração das plantas submetidas à maior concentração de fenol na solução nutritiva (T4) ficou próxima à da evaporação dos vasos não cultivados. Nota-se, também, redução drástica na evapotranspiração aos 90 dias após o início do monitoramento, quando se realizou o primeiro corte da vegetação.

Durante a condução do experimento, foi feita uma estimativa da evapotranspiração nos vasos cultivados (E_T) e da evaporação (E_V) nos vasos não cultivados, por meio do volume repostado em cada recipiente. A relação média entre E_T e E_V , para a primeira, segunda e terceira fases, está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Relação média entre E_T e E_V durante a primeira, segunda e terceira fases do experimento

Tratamentos	Fase 1	Fase 2	Fase 3
	E_T/E_V	E_T/E_V	E_T/E_V
T0	8,5	12,5	5,7
T1	7,1	8,4	5,4
T2	6,5	5,2	4,1
T3	6,6	4,4	3,8
T4	7,6	3,9	3,4

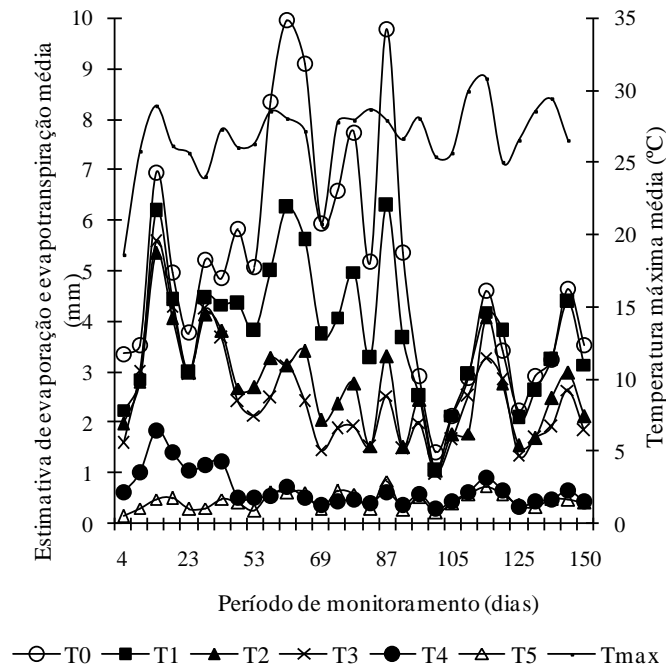


Figura 1. Estimativa da evaporação e evapotranspiração dos vasos durante as três fases do experimento

De acordo com os dados apresentados no Quadro 2, verifica-se que houve elevada relação E_T/E_V em todos os tratamentos. Taxas evapotranspirométricas de quatro a seis vezes a evaporação da água em superfície livre foi medida para *Typha* cultivada em lisímetros de pequeno diâmetro (OTIS, 1914; YOUNG & BLANEY, 1942; GLENN *et al.*, 1995), os autores alertam, entretanto, se tratarem de taxas extremas, condizentes com as condições ambientais de um vaso. Os valores de evapotranspiração medidos no interior de grandes áreas naturais colonizadas com *Typha* são menores, embora, ainda assim, superem os da evaporação da água em superfície livre. Allen *et al.* (1992) constataram que a

evapotranspiração da *Typha* variou de 10 a 12 $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$, sendo de 1,6 vezes a evapotranspiração de referência da alfafa em crescimento no mesmo local. Este valor foi muito próximo ao valor de 1,4 vezes encontrado por Young & Blaney (1942), e Anderson & Idso (1987). Pauliukonis & Schneider (2001), estudando a evapotranspiração de *Typha latifolia* em lisímetros, encontraram valores de 3 a 10 $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$, valores semelhantes aos encontrados por Snyder & Boyd (1987). BRASIL & MATOS (2008), tratando esgoto doméstico em SACs cultivados com *Typha latifolia*, obteve valores médios de evapotranspiração entre 4 e 14 $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$. Goulden *et al.* (2007) verificaram taxa evapotranspirométrica de 3 a 4 $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ em *Typha latifolia* cultivada, no verão, em

sistemas alagados naturais localizados na Universidade da Califórnia.

Na Figura 2, encontram-se apresentados os valores médios da concentração de fenol nos vasos durante a segunda e terceira etapa experimental, onde se observa aumento nas concentrações inicialmente propostas para os tratamentos T3, T4 e T5, causado pelo acúmulo de fenol nos vasos. Nos tratamentos T1 e T2, houve tendência inicial de aumento nas concentrações de fenol nos vasos. Entretanto, com a condução do experimento, verificou-se tendência de estabilização dessa concentração. Por ocasião do segundo corte, realizado aos 90 dias após o início do experimento, ocorreu redução na concentração de fenol nos vasos, devido, provavelmente, à maior absorção desta substância pelas plantas rebrotadas.

A concentração de fenol inicialmente proposta para o T5 foi igual à concentração presente na solução nutritiva do T2. Porém, verificou-se aumento na concentração de fenol na solução dos vasos de tratamento T5 e redução na concentração nos vasos de tratamento T2. Esta diferença entre as concentrações de

fenol no T2 e T5, indicou haver influência da planta na remoção dos compostos fenólicos. Essa influência pode ser decorrente de processos de biodegradação, nos quais atuam microrganismos que formam parte da comunidade aderida às raízes, e, também, da ação direta das raízes das plantas por absorção, metabolismo e fixação dos produtos da biodegradação do fenol em seus tecidos. O'Keefe & Hardy (1984) e Nor (1994) concluíram que a participação do aguapé no processo de remoção de fenol em ambientes alagados é devida, principalmente, às enzimas fenoloxidasas, que se originam das células radiculares, que seriam responsáveis pela oxidação dos fenóis e compostos derivados. Nora-Malaver & Jesus-Ramos (1997) afirmaram que não há apenas a participação direta da planta, mas também de microrganismos aderidos às raízes na remoção de fenol. Polprasert *et al.* (1996) concluiu que a *Typha*, entre outras espécies aquáticas, colonizou sistemas alagados construídos que receberam até 400 mg L⁻¹ de fenol, sendo capaz de remover 99% do fenol aplicado, com tempo de residência hidráulica de 5 a 7 dias.

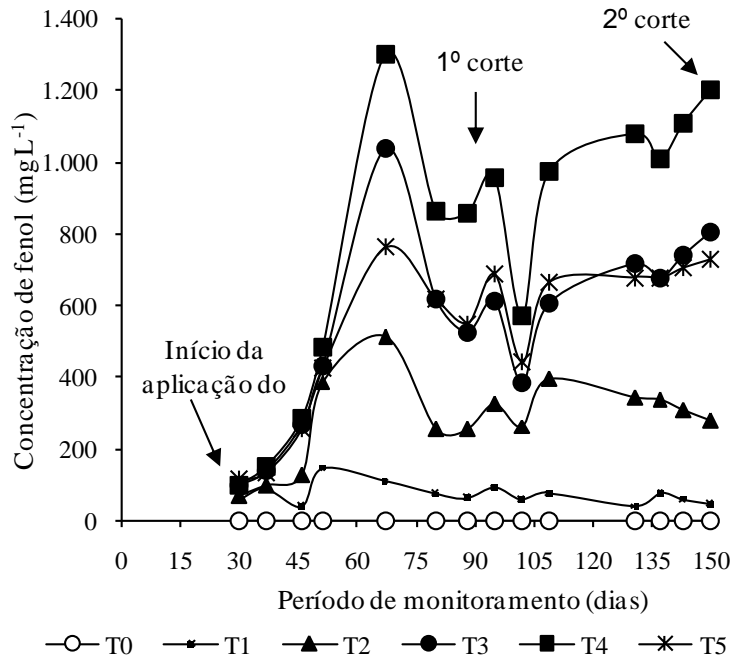


Figura 2. Concentração média de fenol presente na solução dos vasos

Os valores de pH da solução dos vasos apresentaram tendência de aumento com a continuidade do experimento, sendo esta mais acentuada nos tratamentos T2, T3, T4 e T5. A condutividade elétrica (CE) apresentou tendência de declínio, provavelmente devido à maior absorção de íons presentes na solução nutritiva (Figura 3).

O pH é um fator que pode afetar o acúmulo de substâncias orgânicas por organismos aquáticos, por meio de grande variedade de mecanismos. Variações do

pH da solução podem alterar propriedades químicas dos contaminantes, incluindo a sua solubilidade em água e o coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}) (KAISER & VALDMANIS, 1981; RICHER & PETERS, 1993). Segundo Newsted (2004), o fenol está presente em muitas águas naturais, parcialmente dissociado, devido ao seu relativamente baixo pK_a (9,994). Assim, alterações no pH do ambiente poderiam afetar sua reatividade com a superfície radicular e, conseqüentemente, sua absorção pelas plantas.

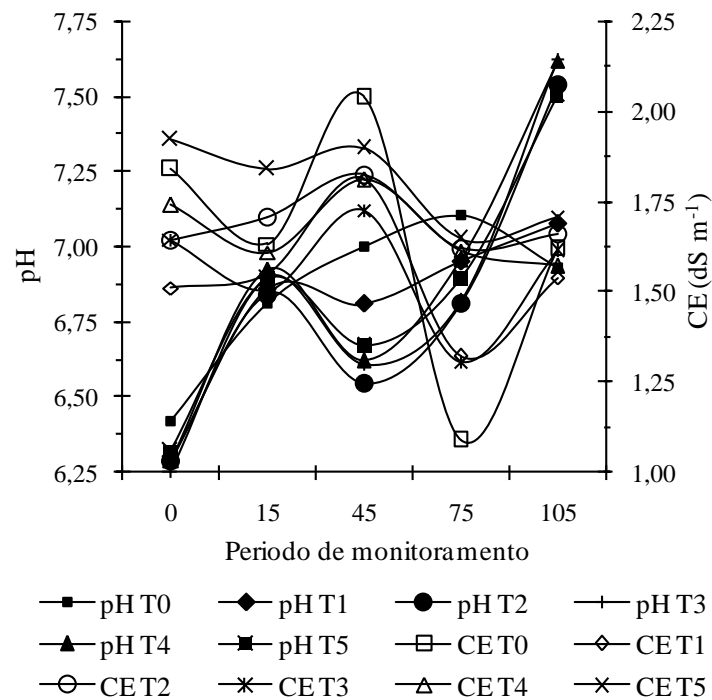


Figura 3. Valores médios de pH e CE mensurados nas soluções dos vasos

A taboa pode crescer em ambientes com grande amplitude de pH, variando de 3 (FYSON, 2000) a 11 (HADAD *et al.*, 2006). Entretanto, Brix *et al.* (2002) verificaram melhor desempenho da *Typha* na absorção de nutrientes em condições de pH próximas à da neutralidade. Maior absorção de nutrientes está relacionada à maior produção de biomassa pela espécie vegetal, por isso, valores de pH que afetam o crescimento da taboa podem, também, alterar a disponibilidade de carbono e nutrientes necessários à fotossíntese, ou ainda causar a ruptura de membranas celulares, interferindo negativamente no acúmulo de contaminantes orgânicos pela taboa. Neste trabalho, mesmo com a observação de tendência de elevação do

pH com a adição de fenol, os valores encontrados podem ser considerados adequados ao desenvolvimento da espécie vegetal avaliada.

Os valores de condutividade elétrica da solução dos vasos, obtidos durante a condução do experimento, se mostraram satisfatórios para o normal desenvolvimento da taboa. Hadad *et al.* (2006) não verificaram variações significativas no desenvolvimento da *Typha*, quando submetida ao cultivo em soluções com condutividades elétricas entre 2 e 8 dS m⁻¹.

A produção de matéria seca dos vegetais submetidos aos diferentes tratamentos está plotada na Figura 4. No segundo corte, houve menor produção de biomassa em todos os tratamentos. Porém,

nos tratamentos T0 e T1, a redução na produção de matéria seca foi de 90 e 81%, respectivamente, enquanto nos tratamentos T2, T3 e T4 esta redução foi da ordem de 98%.

A redução observada na produção de matéria seca pode ter sido ocasionada pelo menor período compreendido entre o primeiro e segundo cortes, quando comparado àquele que antecedeu o primeiro corte, visto que antes deste as plantas passaram por um período de adaptação, apresentando bom desenvolvimento vegetativo. Nos tratamentos T2, T3, e T4, esta redução foi também ocasionada pela adição de fenol em concentrações superiores àquelas suportadas pela planta.

Durante a condução do experimento, foram verificados os primeiros sinais de

queimadura foliar, após 15 dias do início da aplicação das concentrações de fenol nos tratamentos T2, T3 e T4, com posterior senescência das plantas de taboa. Não tendo sido observados sinais de queimadura e senescência das plantas submetidas aos tratamentos T0 e T1. Após o primeiro corte, todos os vasos apresentaram rebrotamento das plantas, entretanto o crescimento foi bastante prejudicado naquelas submetidas aos tratamentos T2, T3 e T4, em função da continuidade da aplicação de fenol e do aumento da concentração deste nos vasos, o que refletiu na produção de biomassa. Em torno dos 130 dias após o início do experimento, houve senescência de todas as plantas cultivadas nos vasos que receberam o tratamento T4.

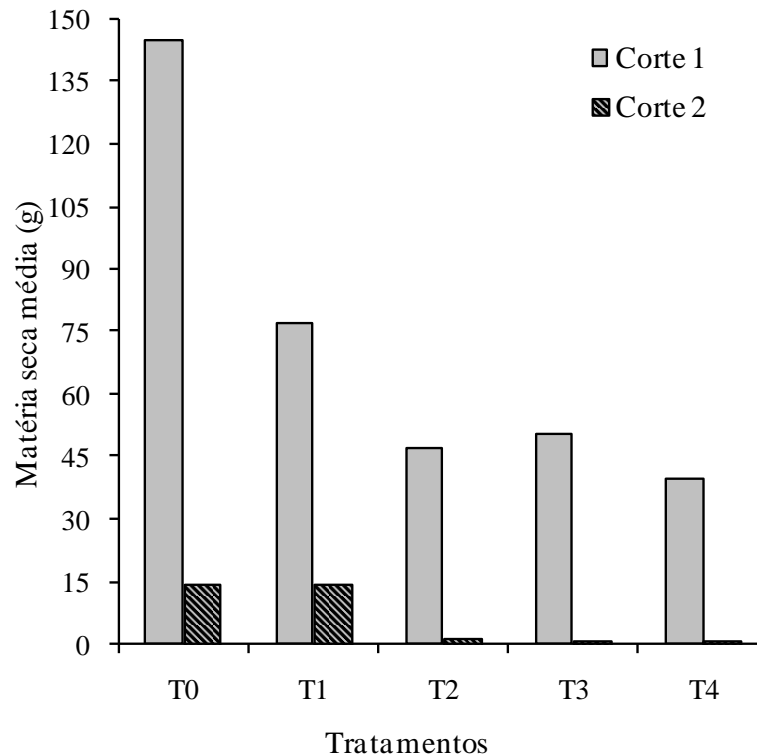


Figura 4. Produção de matéria seca obtida nos dois cortes realizados durante a condução do experimento

No primeiro corte, a produção média de matéria seca diferiu estatisticamente ($P < 0,05$) entre os tratamentos T0 e T1. Entretanto, não houve diferença estatística entre os demais tratamentos. No segundo corte, as produções médias das plantas submetidas aos tratamentos T0 e T1 não diferiram estatisticamente, o que também foi observado entre as submetidas ao T2, T3 e T4.

Na Tabela 3, estão apresentadas as concentrações médias de nitrogênio e

fósforo no tecido vegetal, antes do início da aplicação de fenol, no primeiro e segundo corte, e nas raízes da taboa, após o término do experimento.

O aumento da concentração de nitrogênio e fósforo nas folhas da taboa, observado no segundo corte e também nas raízes ao término do experimento, ocorreram, provavelmente, em função da redução da produção da biomassa, com o conseqüente acúmulo destes nutrientes no tecido vegetal.

Tabela 3. Conteúdo de nitrogênio e fósforo presentes na matéria seca da taboa, durante as amostragens, ao longo da condução do experimento

Nutrientes	T0	T1	T2	T3	T4
	-----dag kg ⁻¹ -----				
N ₁	2,73 ^a	2,87 ^a	2,82 ^a	2,66 ^a	2,94 ^a
N ₂	0,93 ^a	0,92 ^{ab}	0,81 ^{abcd}	0,78 ^{cd}	0,71 ^d
N ₃	1,29 ^a	1,72 ^{ab}	1,92 ^{abc}	2,08 ^{abcd}	2,14 ^{bcd}
N _R	0,74 ^a	0,79 ^{ab}	0,95 ^{abc}	0,97 ^{abcd}	1,18 ^{cd}
P ₁	0,24 ^a	0,30 ^b	0,26 ^{abc}	0,32 ^{abcd}	0,33 ^{abcd}
P ₂	0,18 ^a	0,17 ^a	0,16 ^a	0,16 ^a	0,14 ^a
P ₃	0,14 ^a	0,20 ^{ab}	0,24 ^{bc}	0,25 ^{bc}	0,43
P _R	0,12 ^a	0,13 ^{ab}	0,14 ^{abc}	0,21 ^{bcd}	0,23 ^d

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si.

N₁, N₂ e N₃ – Nitrogênio contido na matéria seca das folhas da taboa, antes da aplicação de fenol, no primeiro e no segundo corte, respectivamente.

P₁, P₂ e P₃ – Fósforo contido na matéria seca das folhas da taboa, antes da aplicação de fenol, no primeiro e no segundo corte, respectivamente.

N_R e P_R – Nitrogênio e fósforo, respectivamente, contidos na matéria seca das raízes da taboa no final do experimento

Em sistemas alagados naturais, Brasil *et al.* (2003), encontraram teor médio de nitrogênio nas folhas de taboa igual a 1,50 dag kg⁻¹, valor compreendido na faixa de concentração encontrada neste trabalho. Entretanto, a concentração média de fósforo no tecido vegetal, obtida por Brasil *et al.* (2003), foi de 0,07 dag kg⁻¹. Esta menor concentração de fósforo em espécies colonizadoras de sistemas alagados naturais se deve à menor disponibilidade deste elemento na natureza, quando comparada à adição de fosfatos na solução de cultivo. Brasil *et al.* (2007), avaliando o tecido vegetal de taboa utilizada em sistemas alagados construídos para o tratamento de esgoto doméstico, obteve concentração média de fósforo

igual a 0,28 dag kg⁻¹, valor este que está compreendido na faixa encontrada neste trabalho. Os resultados obtidos neste trabalho contrariam as conclusões de Glass (1973), que afirmou que ácidos fenólicos, mesmo em pequenas concentrações, inibiram a absorção de fósforo inorgânico por plantas de cevada.

Com a concentração média de nitrogênio e fósforo no tecido vegetal e a biomassa produzida, foi obtida a remoção média de nutrientes da solução cultivada com taboa, durante o período avaliado (Figura 5).

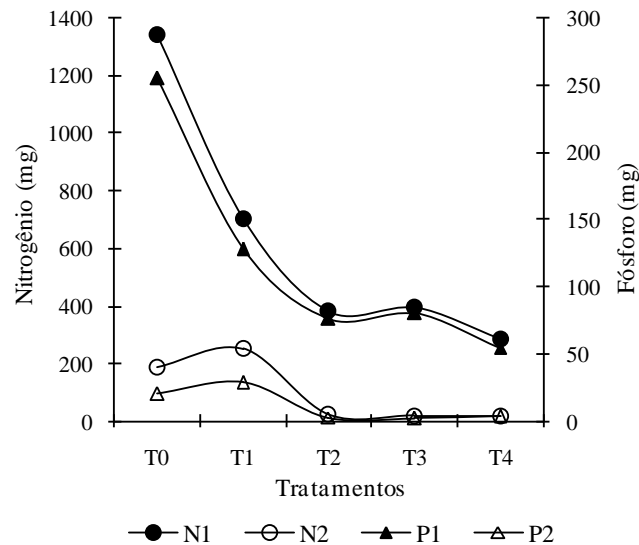


Figura 5. Remoção média de nitrogênio e fósforo ocorrida com o corte da taboa

De acordo com os dados apresentados na Tabela 4 e na Figura 5, o aumento na concentração de fenol em solução não foi capaz de interferir na capacidade das plantas de taboa em absorverem nitrogênio e fósforo da solução nutritiva. Apesar da maior concentração destes nutrientes no tecido das plantas que receberam maior concentração de fenol, foi menor a capacidade de extração destes nutrientes da solução nutritiva, devido à menor produção de biomassa.

O acúmulo de compostos fenólicos no tecido vegetal pode ser visualizado no Quadro 4. Contrariando o esperado, houve redução na concentração de compostos fenólicos no tecido vegetal da taboa com o aumento da concentração de fenol na solução nutritiva. Um dos fatores intervenientes é que o método colorimétrico de Folin-Denis, utilizado

para determinação dos compostos fenólicos, está baseado na medição da reação das hidroxilas aromáticas, características de todos os fenóis. Entretanto, como essa redução depende da estrutura fenólica, essa reação também pode ocorrer com outros constituintes do extrato, como alcalóides e proteínas, por exemplo, e a composição e quantidade de fenóis podem ser diferentes, mesmo quando a absorvância for semelhante, o reagente de Folin-Denis pode não possibilitar a quantificação precisa da quantidade de fenóis presente nas amostras, mas sim da capacidade de redução da amostra analisada (APPEL *et al.*, 2001).

Tabela 4. Conteúdo de fenol total presente na matéria seca da taboa, durante as amostragens ao longo da condução do experimento

Nutrientes	T0	T1	T2	T3	T4
	-----dag kg ⁻¹ -----				
FT ₁	0,73 ^a	0,56 ^b	0,86 ^{abc}	0,59 ^{abcd}	0,38 ^{bd}
FT ₂	0,98 ^a	0,79 ^a	0,39 ^b	0,38 ^{bc}	0,37 ^{bc}
FT ₃	1,00	0,72 ^a	0,72 ^a	0,57 ^a	0,28
FT _R	2,21 ^a	2,26 ^a	0,33	0,17 ^b	0,09 ^b

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si.

FT₁, FT₂, FT₃ e FTR – Fenol total contido na matéria seca das folhas da taboa, antes da aplicação de fenol, no primeiro e no segundo corte, e nas raízes da taboa no final do experimento, respectivamente.

Outro fator responsável pelo maior conteúdo de compostos fenólicos nas plantas que não receberam fenol é a presença natural de ácidos fenólicos na taboa. A fitoquímica das espécies do gênero *Typha* tem sido documentada. Muitos flavonóides e outros compostos fenólicos, hidrocarbonetos de cadeia longa e também vários triterpenóides com esqueleto esteroidal foram isolados de plantas de taboa (DELLA GRECA *et al.*, 1990; SHODE *et al.*, 2002). Kähkönen *et al.* (1999) encontrou, em extratos de folhas de taboa obtidas de áreas naturais, 0,82 dag kg⁻¹ de compostos fenólicos, tendo como referência o ácido gálico. Polprasert *et al.* (1996) extraíram 0,0032; 0,0028 e 0,0010 dag kg⁻¹ de fenol, respectivamente de raízes, caules e folhas de taboa, plantada em sistemas alagados construídos usados no tratamento de águas residuárias com elevado conteúdo de fenol.

Apesar do método de determinação não permitir a diferenciação entre o fenol

absorvido pela taboa e os compostos fenólicos presentes naturalmente em seu tecido, verifica-se a interferência do fenol na fitoquímica da taboa, devido à redução de compostos naturalmente presentes nesta.

4. CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados, pode-se concluir que:

- As maiores concentrações de fenol na solução nutritiva proporcionaram redução significativa na produção de biomassa da taboa;
- Não houve diferença significativa entre a produção de biomassa e a absorção de nitrogênio e fósforo pelas plantas de taboa testemunhas e aquelas que receberam até 150 mg L⁻¹ de fenol;
- A presença da taboa e dos microrganismos associados a sua rizosfera influenciaram positivamente a degradação de fenol em concentrações de até 300 mg L⁻¹;

- Plantas de *Typha latifolia* L. podem ser utilizadas para fitorremediação de águas residuárias com concentração de fenol inferior a 150 mg L⁻¹.

5. REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PRUEGER, J. H.; HILL, R. W. Evapotranspiration from isolated stands of hydrophytes: cattail and bulrush. **Trans. ASAE**, v.35, n.4, p.1191-1198, 1992.
- ANDERSON, M. G.; IDSO, S. B. Surface geometry and stomatal conductance effects on evaporation from aquatic macrophytes. **Water Resource Research**, v.23, p.1037-1042, 1987.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analyses of the Association of Official Analytical Chemists**. 15. ed. Washington, 1990. 684p.
- APPEL, H. M.; GOVENOR, H. L.; D'ASCENZO, M.; SISKI, E.; SCHULTZ, J. C. Limitations of Folin assays of foliar phenolics in ecological studies. **Journal of Chemical Ecology**, v.27, n.4, p. 761-778, 2001.
- BARBER, J. T.; SHARM, H. A.; ENSLEY, H. E.; POLITO, M. A.; THOMAS, D. A. Detoxification of phenol by the aquatic angiosperm, *Lemna gibba*. **Chemosphere**, v.31, n.6, p.3567-3574, 1995.
- BRASIL, M. S.; MATOS, A. T. Avaliação de aspectos hidráulicos e hidrológicos de sistemas alagados construídos de fluxo subsuperficial. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.13, n.3, p.323-328, 2008.
- BRASIL, M. S.; MATOS, A. T.; FIA, R. Eficiência e impactos ambientais do tratamento de águas residuárias da lavagem e despulpa de frutos do cafeeiro em áreas alagadas naturais. **Engenharia na Agricultura**, v.11, n.1-4, p.43-51, 2003.
- BRASIL, M. S.; MATOS, A. T.; SOARES, A. A. Plantio e desempenho fenológico da taboa (*Typha* sp.) utilizada no tratamento de esgoto doméstico em sistema alagado construído. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.12, n.3, p.266-272, 2007.
- BRIX, H.; DYHR-JENSEN, K.; LORENZEN, B. Root-zone acidity and nitrogen source affects *Typha latifolia* L. growth and uptake kinetics of ammonium and nitrate. **Journal of Experimental Botany**, v.53, n. 379, p.2441-2450, 2002.
- CASIDA, J. E.; LYKKEN, L. Metabolism of organic pesticide chemicals in higher plants. **Annual Review of**

- Plant Physiology**, v.20, p.607-636, 1969.
- CURT, M. D.; AGUADO, P. L.; FERNÁNDEZ, J. Nitrogen absorption by *Sparganium erectum* L. and *Typha domingensis* (Pers.) Steudel grown as floaters. In: INTERNATIONAL MEETING ON PHYTODEPURATION, 23, 2005, Lorca, Spain. **ACTAS...** Lorca, Spain, 2005. Disponível em: <http://www.macrophytes.info/Documents-Encuentro%20Internacional.htm>. 25 mar. 2007.
- DELLA GRECA, M.; MONACO, P.; PREVITERA, L. Stigmasterols from *Typha latifolia*. **Journal of Natural Products**, v.53, n.6, p.1430-1435, 1990.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, 1999. 370p.
- EPA - Environmental Protection Agency. **Guiding principles for constructed treatment wetlands: Providing for Water Quality and Wildlife Habitat**. EPA 843-B-00-003. Washington, D. C. Outubro, 2000. <http://www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/constructed.pdf>. 31 mar. 2007.
- ESTEVEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602p.
- FYSON, A. Angiosperms in acidic waters at pH 3 and below. **Hydrobiologia**, v.433, p.129-135, 2000.
- GLASS, A. D. M. Influence of phenolic acids on ion uptake: I. Inhibition of phosphate uptake. **Plant Physiology**, v.51, p.1037-1041, 1973.
- GLENN, E.; THOMPSON, T. L.; FRYE, R.; RILEY, J.; BAUMGARTNER, D. Effects of salinity on growth and evapotranspiration of *Typha domingensis* Pers. **Aquatic Botany**, v.52, p.75-91, 1995.
- GOLDSTEIN, J. L.; SWAIN, T. Changes in tannins in ripening fruits. **Phytochemistry**, v.2, n.4, p.371-382, 1963.
- GOLÇALVES, M. **Caracterização e oxidação dos compostos orgânicos das águas residuárias da despulpa úmida dos frutos do cafeeiro**. Lavras: UFLA, 2006, 98p. (Dissertação de mestrado).
- GOULDEN, M. L.; LITVAK, M.; MILLER, S. D. Factors that control *Typha* marsh evapotranspiration. **Aquatic Botany**, v.86, n.2, p.97-106, 2007
- ADAD, H. R.; MAINE, M.A.; BONETTO, C. A. Macrophyte growth in a pilot-

- scale constructed wetland for industrial wastewater treatment. **Chemosphere**, v.63, p.1744-1753, 2006.
- KÄHKÖNEN, M. P.; HOPIA, A. I.; VUORELA, H. J.; RAUHA, J-P.; PIHLAJA, K.; KUJALA, T. S.; HEINONEN, M. Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.47, p.3954-3962, 1999.
- KAISER, K. L. E.; VALDMANIS, I. Apparent octanol/water partition coefficients of pentachlorophenol as a function of pH. **Canadian Journal of Chemistry**, v.60, p.2104-2106, 1981
- KHLEIFAT, K. M. Biodegradation of phenol by *Ewingella americana*: Effect of carbon starvation and some growth conditions. **Process Biochemistry**, v.41, n.9, p.2010-2016, 2006.
- LUIZ, F. A. R. **Desempenho de reatores anaeróbios de leito fixo no tratamento de águas residuárias da lavagem e descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro**. Viçosa: UFV, 2007. 134p. (Dissertação de mestrado).
- NEWSTED, J. L. Effect of light, temperature, and pH on the accumulation of phenol by *Selenastrum capricornutum*, a green alga. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.59, p.237-243, 2004.
- NOR, Y. M. Phenol removal by *Eichhornia crassipes* in the presence of trace metals. **Water Research**, v.28, n.4, p.1161-1166, 1994.
- NORA-MALAVAR, Q.; JESÚS-RAMOS, O. La bora (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laub.), alternativa para la eliminacion de fenol em aguas residuales. **Acta Biologica Venezuelica**, v.17, n.1, p.57-64, 1997.
- O'KEEFFE, D. H.; HARDY, Y. J. K. Cadmium uptake by water hyacinth: effects of solution factors. **Environmental Pollution**, v.34, p.133-147, 1984.
- OTIS, C. H. The transpiration of emerged water plants: its measurements and relationships. **Botanical Gazette**, v.58, p.457-494, 1914.
- PAULIUKONIS, N.; SCHNEIDER, R. Temporal patterns in evapotranspiration from lysimeters with three common wetland plant species in the eastern United States.

- Aquatic Botany**, v.71, p.35-46, 2001.
- POLPRASERT, C.; DAN, N. P.; THAYALAKUMARAN, N. Application of constructed wetlands to treat some toxic wastewaters under tropical conditions. **Water Science and Technology**, v.34, n.11, p.165-171, 1996.
- RICHER, G.; PETERS, R. H. Determinants of the short-term dynamics of PCB uptake by plankton. **Environ.and Toxic. Chem.**, v.12, p.207-218, 1993.
- SANTOS, V. L.; LINARDI, V. R. Biodegradation of phenol by a filamentous fungi isolated from industrial effluents – identification and degradation potential. **Process Biochemistry**, v.39, p.1001-1006, 2004.
- SCRAGG, A. H. The effect of phenol on the growth of *Chlorella vulgaris* and *Chlorella* VT-1. **Enzyme and Microbial Technology**, v.39, p.796–799, 2006.
- SEIDEL, K., KICKUTH, R. Exkretion von phenol in der phylosphäre von *Spirpus lacustris* L. **Naturwissenschaften**, v.52, p.517–525. 1967.
- SHODE, F. O.; MAHOMED, A. S.; ROGERS, C. B. Typhaphthalide and typharin, two phenolic compounds from *Typha capensis*. **Phytochemistry**, v.61, p.955-957, 2002.
- SNYDER, R. L.; BOYD, C. E. Evapotranspiration by *Eichhnornia crassipes* (Mart.) Soms and *Typha latifolia* L. **Aquatic Botany**, v.27, p.217-227, 1987.
- TOYAMA, T.; YU, N.; KUMADA, H.; SEI, K.; IKE, M.; FUJITA, M. Accelerated aromatic compounds degradation in aquatic environment by use of interaction between *Spirodela polyrrhiza* and bacteria in its rhizosphere. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v.101, n. 4, p.346-353, 2006.
- TZIOTZIOS, G.; TELIOU, M.; KALTSOUNI, V.; LYBERATOS, G.; VAYENAS, D. V. Biological phenol removal using suspended growth and packed bed reactors. **Biochemical Engineering Journal**, v.26, p.65-71, 2005.
- WOLVERTON, B. C.; MCKOWN, M. M. Water Hyacinths for removal of phenols from polluted waters. **Aquatic Botany**, v.2, p.191-201, 1976.
- YOUNG, A. A.; BLANEY, H. F. Use of water by native vegetation. California Department of Water Resources Bulletin, v.50, 1942. 160 pp.