



Capacidade da *Typha dominguensis* na fitorremediação de efluentes de tanques de piscicultura na Bacia do Iraí – Paraná

Ana P. L. Martins¹, Carlos B. Reissmann², Nerilde Favaretto³, Maria R. T. Boeger⁴ & Edilson B. de Oliveira⁵

RESUMO

A eutrofização é caracterizada por um processo no qual um corpo d'água adquire altos níveis de nutrientes, especialmente nitratos e fosfatos, provocando o posterior acúmulo de matéria orgânica e sua decomposição. Uma das alternativas para a descontaminação ambiental é o uso da fitorremediação. O objetivo principal do trabalho foi testar a capacidade da *Typha dominguensis* na minimização da eutrofização da água de tanques de piscicultura. A partir da água dos tanques da Estação Experimental do Canguiri – UFPR, instalou-se um experimento para cultivo da espécie *Typha dominguensis* sob diferentes níveis tróficos em sistema fechado. Os tratamentos são representados por cinco níveis de nitrogênio (N) e fósforo (P), arranjados em esquema fatorial em delineamento inteiramente casualizado com seis repetições. Após 160 dias de cultivo, as plantas foram coletadas e analisadas em relação ao desenvolvimento e composição química da parte aérea. A capacidade extratora das plantas foi avaliada através da sua biomassa acumulada e do teor de nutrientes na matéria seca e remanescente na água. No melhor tratamento, observou-se uma remoção na água de até 87% de N e 54% de P adicionados, significando ser uma planta bastante promissora nesta linha de investigação.

Palavras-chave: eutrofização, nitrogênio, fósforo

Capacity of *Typha dominguensis* in phytoremediation of fish pond effluents in Iraí Basin – Paraná

ABSTRACT

Eutrophication is characterized by a process in which a water body acquires high levels of nutrients, especially phosphates and nitrates, resulting in organic matter accumulation with further decomposition. One of the alternatives for environmental decontamination is the use of phytoremediation. The objective of this investigation was to test the capacity of *Typha dominguensis* in reducing eutrophication in fish pond effluents. An experiment was installed at Canguiri Research Station, at the Federal University of Paraná, using water from fish ponds. *Typha dominguensis*, being the test plant, was grown under five levels of N and P in factorial combination with six repetitions in an aerated closed system. After 160 days of cultivation, the plants were collected and evaluated for biomass production and nutrient extraction capacity. Roots were not considered for the chemical analysis. In the best treatment, a depuration rate in water of 87% for N and 54% for P was observed. This indicated a very promising potential of the species for these purposes.

Key words: eutrophication, nitrogen, phosphorus

¹ Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo/UFPR. Rua dos Funcionários, 1540, CEP 80210-170, Curitiba, PR. Fones: (41) 3350-5602; (41) 3350-5648. E-mail: langmartins@terra.com.br

^{2,3} Departamento de Solos e Engenharia Agrícola/UFPR. Fone: (41) 3350-5658. E-mail: reissman@ufpr.br; nfavaretto@ufpr.br

⁴ Departamento de Botânica/UFPR. Fone: (41) 3361-1757. E-mail: rboeger@ufpr.br

⁵ Embrapa Florestas. Estrada da Ribeira, km 111, CEP 83411-000, Colombo, PR. Fone: 3675-5600. E-mail: edilson@cnpf.embrapa.br

INTRODUÇÃO

Entre outros poluentes, altas concentrações de nitrogênio e fósforo são apontadas como agentes eutrofizantes das águas. Algumas plantas aquáticas apresentam alternativas de tratamento de águas poluídas através da técnica da fitorremediação. Ao manejar as plantas aquáticas deve-se ter cuidados ao se lhes introduzir ou retirar uma população. As decisões referentes ao gerenciamento dessas plantas devem ser tomadas levando-se em consideração análises físicas e químicas além de estudos envolvendo o ciclo vegetativo. Esses entendimentos servirão de base para a utilização consciente das espécies na minimização de nutrientes e da conservação dos sistemas naturais. A eutrofização é mais freqüente em lagos e represas que em rios, devido às condições ambientais mais favoráveis como exemplo, baixa turbidez e menor velocidade da água, favorecendo o surgimento de algas e outras plantas (von Sperling, 1996).

A fitorremediação é uma técnica de descontaminação em que se utilizam plantas para remover poluentes do ambiente ou transformá-los em formas menos perigosas para os seres vivos. O impacto ambiental e os custos de implementação são inferiores àqueles dos métodos físicos e químicos (Salt et al., 1998). A utilização da fitorremediação está difundida principalmente nos Estados Unidos e na Europa. De acordo com Accioly & Siqueira (2000), projeções anuais para os Estados Unidos apontavam, para 2005, gastos com fitorremediação na ordem de 100-200 milhões de dólares. Quando comparada com técnicas tradicionais, como bombeamento e tratamento, ou remoção física da camada contaminada, a fitorremediação é vantajosa, principalmente por sua eficiência (Pires et al., 2005) e baixo custo (Susarla et al., 2002).

Typha domingensis Pers., da família Typhaceae e conhecida como taboa, é uma planta perene, herbácea, rizomatosa, aquática, com caule cilíndrico, podendo atingir até 3 m de altura, nativa da América do Sul; propaga-se por sementes e vegetativamente e forma densos agrupamentos; é bastante vigorosa, chegando a produzir 7.000 kg de rizomas por hectare; esses rizomas são comestíveis, possuindo valor protéico igual ao do milho e de carboidratos igual ao da batata (Bianco et al., 2003). É uma espécie emergente cujas folhas são anfiestomáticas e apresentam grupos de fibras esclerenquimáticas por entre as células do parênquima paliádico, logo abaixo da epiderme, associados aos feixes (Henry, 2003). É muito freqüente em margens de lagos, reservatórios, canais de drenagem e várzeas. Do ponto de vista negativo, quando em povoamentos densos, essas plantas provocam desequilíbrio, tornando-se infestantes em açudes e várzeas úmidas, diminuindo ou impedindo seu aproveitamento adequado; outro fator negativo é que nos povoamentos de taboas existem excelentes condições para a reprodução de mosquitos (Bianco et al., 2003); por outro lado, possui importância comercial, pois serve de matéria-prima para confecção de móveis e de celulose (Kismann & Groth, 1997). Plantas de *Typha* absorvem metais pesados, inclusive o cobre, podendo contribuir para o saneamento ambiental e é indicada como depuradora natural

de ambientes aquáticos (Reitz, 1984). Neste sentido, e se considerando que a fitorremediação é uma das alternativas de descontaminação ambiental, tem-se como objetivo principal testar a capacidade da *Typha domingensis*, quanto à capacidade de remoção de nutrientes em tanques de piscicultura com diferentes níveis tróficos. Esses tanques se situam à montante da Represa do Iraí que abastece aproximadamente 20% da população de Curitiba (Lima et al., 2005).

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo faz parte da Estação Experimental do Canguiri, do Setor de Ciências Agrárias da UFPR. A Estação está localizada no município de Pinhais, na margem direita da BR-116, sentido São Paulo, distante cerca de 18 km ao norte de Curitiba, a 25° 23' 30" de latitude sul e 49° 07' 30" de longitude oeste (Oliveira, 1998). O clima segundo Köppen, é classificado como temperado do tipo Cfb, mesotérmico úmido com temperatura média, do mês mais quente, inferior a 22 °C (Fasolo et al., 2002).

Utilizando-se a água de um tanque de piscicultura da Estação Experimental do Canguiri – UFPR, instalou-se um experimento em casa de vegetação para cultivo da espécie *Typha domingensis* Pers., sob cinco níveis tróficos com diferentes concentrações de nitrogênio e fósforo e seis repetições, arranjados em esquema fatorial em delineamento inteiramente casualizado. A Tabela 1 apresenta os tratamentos e respectivas concentrações de N e P, acrescidas à água do tanque de piscicultura para cada nível trófico, em recipientes de 4 L com oxigenação diária em sistema fechado. Utilizou-se uréia e fosfato di-amônio como fontes de N e P. O K foi fornecido na forma de KCl e o pH da solução foi mantido conforme a água do tanque, variando de 7,6 – 8,3. A casa de vegetação, construída com cobertura plástica e paredes de tela, não apresentava controle de temperatura e umidade, servindo apenas de proteção mecânica contra a intempérie e os animais.

Tabela 1. Tratamentos e respectivas concentrações de N (nitrogênio) e P (fósforo) acrescidas à água do tanque de piscicultura para cada nível trófico

Nível trófico	N (mg L ⁻¹)	P (mg L ⁻¹)	N/P
N ₀ P ₀	0	0	0
N ₁₀₅ P ₁₅	105	15	7,0
N ₁₅₅ P ₃₀	155	30	5,17
N ₁₈₅ P ₄₅	185	45	4,11
N ₂₀₅ P ₆₀	205	60	3,42

A *T. domingensis* usada no experimento, foi coletada na Fazenda Experimental do Canguiri UFPR, nas áreas de influência do escoamento do tanque de piscicultura. Para fazer o balanço de cultivo das espécies, as concentrações utilizadas foram relacionadas aos vasos (mg vaso⁻¹) e, em assim sendo, os valores das concentrações (mg L⁻¹) foram multiplicados por quatro, uma vez que cada vaso continha 4 L de água para o cultivo das plantas.

O tempo de condução total foi de 162 dias, com início em 13/05/2004 e término em 25/10/2004. As trocas de solução foram efetuadas a cada 40 dias (1ª Aplicação, Plantio; 2ª Aplicação, 41 dias; 3ª Aplicação, 81 dias; 4ª Aplicação, 121 dias e coleta final, 162 dias), seguidas de reposição da água de piscicultura acrescidas dos tratamentos. Essas renovações foram feitas para manter o mesmo grau de trofia no acompanhamento da maturidade da *T. dominguensis*.

As coletas de água no experimento foram periódicas, seguindo-se as trocas da água. Por ocasião da renovação da solução eram fornecidas as respectivas concentrações de N e P, referentes aos tratamentos. No início de cada renovação aplicavam-se, também, em todos os vasos, 4 mL vaso⁻¹ de solução de micronutrientes e Fe-EDTA (Moore, 1974).

Para evitar a entrada de luminosidade no sistema radicular, os vasos foram revestidos com plástico de cor preta e, na parte superior, usou-se papel alumínio em toda a sua superfície. Semanalmente, o volume do vaso era reajustado aos 4 L iniciais. Essas reposições do volume eram realizadas com água do próprio tanque, conforme a evaporação de cada vaso, que ficava em torno de 500 mL.

O N das amostras de água foi analisado a partir da digestão sulfúrica, pelo método Kjeldahl (Da Silva, 1999). O P solúvel foi analisado por colorimetria com ácido ascórbico em espectrofotômetro ($\lambda = 882$ nm). A metodologia de determinação do N total foi adaptada de APHA (1995) e a de P solúvel foi de acordo com Murphy & Riley (1962). Fez-se a análise da forma solúvel em amostra filtrada a vácuo utilizando-se papel de filtro de 0,45 mm.

As amostras para pH e condutividade elétrica da água dos tratamentos foram feitas diretamente no frasco de coleta, utilizando-se peagâmetro (INOLAB-WTW) e condutivímetro (SCHOTT), portáteis.

Separou-se o material em parte aérea (composta de caules e folhas) e parte radicular e lavados com água deionizada com três enxágües. As amostras das plantas foram secadas a 60 °C até peso constante, moídas em moinho Wiley e acondicionadas em frascos herméticos, além de analisadas em relação ao desenvolvimento vegetativo (biomassa seca) e nutricional: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn). A metodologia de digestão para determinação de Ca, Mg, Fe, Zn, Cu e Mn foi realizada por via seca, a 500 °C, conforme Jones & Case (1990) e solubilizadas em HCl 3 mol L⁻¹, segundo Perkin-Elmer (1976), seguidas de leitura por absorção atômica. No mesmo extrato, o P foi lido por colorimetria no complexo amarelo em espectrofotômetro UV/VIS. O K e Na foram lidos por fotometria de chama (Da Silva, 1999). O N no extrato vegetal foi determinado segundo Kjeldahl (Da Silva, 1999).

Avaliou-se a capacidade extratora das plantas através da sua biomassa acumulada e do teor de nutrientes na matéria seca.

Aplicou-se a análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey para comparação de médias. O nível de significância considerado foi o de 0,05 ($p \leq 0,05$). Os testes foram realizados com uso do Programa Estatístico Sanest (Zonta & Machado, 1985) no CNPF/EMBRAPA.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Qualidade da água

A condutividade fornece informações sobre as condições do sistema, desde a disponibilidade de nutrientes, minerais e orgânicos e também uma medida indireta da concentração de poluentes. Em águas naturais os valores de condutividade se apresentam na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S cm}^{-1}$ e, em ambientes poluídos por esgoto doméstico ou industrial, os valores de condutividade podem chegar a 1000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (Brigante et al., 2003).

Os valores médios obtidos neste trabalho se acham na Tabela 2. Observa-se que o aumento da condutividade foi progressivo e acompanhou o incremento de nutrientes dos tratamentos. Os níveis tróficos N₁₈₅P₄₅ e N₂₀₅P₆₀ possuem valores expressivos, considerando a proveniência da água do tanque. A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido aos seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies; também o efeito indireto é muito importante podendo, em determinadas condições de pH, contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos, como metais pesados e efeitos sobre as solubilidades de nutrientes. Brasil (2005) estabelece valores máximos de pH entre 8 e 11, dependendo da classe do rio.

O pH natural do tanque de piscicultura (Tabela 2) apresenta altos valores devido a aplicações de calcário, quando em atividade de piscicultura, o que pode estar interferindo no desenvolvimento das plantas testadas, uma vez que *P. hydropiperoides* vegeta naturalmente em solos ácidos, inclusive nos Campos Gerais do Paraná, apesar de ser exigente em fertilidade (Lorenzi, 1976).

Tabela 2. Valores de condutividade e pH obtidos nos níveis tróficos

Nível trófico	Condutividade Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	pH
N ₀ P ₀	7,0	8,3
N ₁₀₅ P ₁₅	60,0	7,6
N ₁₅₅ P ₃₀	79,6	7,9
N ₁₈₅ P ₄₅	122,5	8,0
N ₂₀₅ P ₆₀	330,2	8,0

Crescimento vegetal

A comparação de médias referente à biomassa aérea (Tabela 3) mostra o nível trófico testemunha (N₀P₀) como sendo o pior tratamento; isto se deve à ausência da aplicação de nutrientes ao tratamento. Em relação à biomassa radicular, o nível trófico que se diferencia dos demais é o N₂₀₅P₆₀, apresentando uma média de 9,88 g de massa seca. Quanto ao comprimento radicular, os níveis tróficos N₀P₀ e N₁₀₅P₁₅ não se distinguem entre si mas apresentam médias superiores a 40 cm.

Apresenta-se, na Tabela 4, os valores de produção em gramas por dia, por área da biomassa aérea da *T. dominguensis*. O nível trófico N₂₀₅P₆₀ apresentou menor produção, provavelmente em função do nível trófico ser muito elevado e ter inibido seu crescimento; é também, o tratamento que apresenta a média com os maiores desvios (Figura 1). Os níveis tróficos N₁₀₅P₁₅, N₁₅₅P₃₀ e N₁₈₅P₄₅ variaram pouco em

Tabela 3. Biomassa seca, biomassa fresca e comprimento de raízes de *T. dominguensis* nos diferentes tratamentos

Nível trófico	Biomassa aérea	Biomassa radicial (g)	Biomassa fresca	Comprimento radicial (cm)
N ₀ P ₀	4,60 c	18,30 a	160 bc	46,6 a
N ₁₀₅ P ₁₅	11,54 a	24,37 a	225 ab	41,4 ab
N ₁₅₅ P ₃₀	10,54 ab	20,19 a	236 a	35,2 b
N ₁₈₅ P ₄₅	6,72 abc	19,87 a	258 a	23,6 c
N ₂₀₅ P ₆₀	5,42 bc	9,88 b	137 c	21,0 c

Valores seguidos pelas mesmas letras, na vertical, não diferem pelo Teste de Tukey a nível de significância de 5%

termos de produção de biomassa, apresentando 2,96, 2,64 e 2,43 g d⁻¹ m⁻², respectivamente. Deduz-se que o nível trófico de melhor aproveitamento e eficiência esteja em torno do nível trófico N₁₀₅P₁₅, tendo em vista que, abaixo e acima do mesmo, se observa decréscimo da produção; conseqüentemente, com maior produção de biomassa haverá também, maior remoção de nutrientes, fato que o nível trófico N₁₀₅P₁₅ apresenta a maior biomassa aérea e radicial, em termos de biomassa seca produzida. Nota-se, ainda que o comprimento radicial decresce linearmente com o aumento da concentração de N e P. A biomassa fresca segue um comportamento crescente até o nível N₁₈₅P₄₅ devido, provavelmente, à maior quantidade de espaços intercelulares com potencial acumulador de água.

Tabela 4. Comparativo da produção de *T. dominguensis* em relação aos tratamentos

Nível trófico	Produção (g d ⁻¹ m ⁻²)
N ₀ P ₀	1,69
N ₁₀₅ P ₁₅	2,96
N ₁₅₅ P ₃₀	2,64
N ₁₈₅ P ₄₅	2,43
N ₂₀₅ P ₆₀	1,27

Estado Nutricional

Na Tabela 5 são apresentados os dados químico-foliar de *T. dominguensis*.

Com relação à composição química e, comparativamente a outras plantas enraizadas, crescendo em reservatórios naturalmente eutrofizados, apresentam-se teores baixos de N, P e K (Tabela 5), como exemplo, *Brachiaria arrecta* que apresenta 13,21, 1,32 e 21,16 g kg⁻¹, respectivamente (Mar-

tins et al., 2003); no entanto, superam em muito os teores de Ca e Mg para essa mesma espécie cujos teores são de 1,89 g kg⁻¹ Ca e 0,97 g kg⁻¹ Mg; outras espécies, como *Eichornia crassipes* e *Pistia stratiotes* apresentam valores elevados de Ca, superando e muito, os valores apresentados nesta tabela, com teores de 11,55 e 22,35 g kg⁻¹, respectivamente. Para o Mg tem-se o mesmo comportamento em que as *Eichornia crassipes* e *Pistia stratiotes* apresentam 2,93 e 4,5 g kg⁻¹, respectivamente, significando que os teores de Ca e Mg são também dependentes da exigência da espécie e do nível trófico. Plantas cultivadas com suprimento adequado de Ca apresentam níveis compreendidos entre 2,0 a 25,0 g kg⁻¹ e Mg entre 2,0 e 8,0 g kg⁻¹ (Bergman, 1992). Quando da aplicação dos tratamentos de N e P, complementou-se com uma adubação de potássio em dose única na forma de KCl que, possivelmente, reduziu os teores de Ca e Mg; desta forma, a relação K/Ca do nível trófico N₀P₀ é igual a 3,8, passou de 20,0 nos demais níveis tróficos, o mesmo sendo observado em relação ao Mg. Essas interações recíprocas entre K, Ca e Mg, estão bem referenciadas na literatura (Bergmann, 1992).

Apesar da forte alteração do nível trófico N-P no substrato a concentração no tecido manteve uma relação N/P relativamente estável, compreendida entre 8,1 no N₀P₀, decrescendo até 6,2 no nível trófico N₂₀₅P₆₀ (Tabela 5); apresenta também uma relação mais elevada para K/Ca em virtude de uma aparente exigência em K. Observaram-se, durante a condução do experimento alguns sintomas das folhas da *T. dominguensis*, os quais se assemelham à deficiência de Fe. Esta manifestação de deficiência foi corrigida aplicando-se solução de micronutrientes e Fe-EDTA. A *T. dominguensis* apresentou, nas últimas semanas antes da coleta final, sintomas de deficiência similares à do K que, morfológicamente, são descritos em folhas de gramíneas porém não confirmadas na análise, conforme pode ser visto na Tabela 5.

Os teores de Na variam de 28,0 mg kg⁻¹ no tratamento testemunha a uma média de 14,0 mg kg⁻¹ nos demais tratamentos. A partir do nível trófico N₀P₀ este nível mais baixo se deve, sem dúvida, decorrente da aplicação do K. De acordo com Taiz & Zeiger (2004) o teor normal de Na nas plantas não natrofilicas é de 10 mg kg⁻¹; no entanto, Marschner (1995) informa que as plantas diferem grandemente entre espécies e, inclusive, genótipos, quanto à capacidade de absorver e translocar o Na.

Quanto aos micronutrientes, os teores de Fe variam de 34 a 50 mg kg⁻¹, sendo o limite superior já relatado como o nível

Tabela 5. Média de seis repetições dos teores de macronutrientes, micronutrientes e sódio em *T. dominguensis* por nível trófico

Nível trófico	Variáveis analisadas									
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Na
	(g kg ⁻¹)					(mg kg ⁻¹)				
N ₀ P ₀	6,24	0,77	13,53	3,540	2,606	42,06	1.068,70	6,15	53,00	28,0
N ₁ P ₁	27,92	3,88	33,61	1,512	1,253	50,36	518,56	5,13	41,62	14,0
N ₂ P ₂	32,94	4,48	35,29	1,515	1,455	34,43	401,58	4,59	27,92	14,0
N ₃ P ₃	34,80	4,69	40,48	1,536	1,516	33,85	457,35	4,63	38,05	13,0
N ₄ P ₄	31,72	5,06	38,74	1,745	1,707	35,65	482,58	7,0	45,01	14,0

crítico de deficiência (Jones Jr., 1998) ou correspondendo ao limite inferior do bom suprimento para a maioria das plantas (Ribeiro et al., 1999; Borkert et al., 2001). O Mn atingiu um teor de 1069 mg kg⁻¹. A relação Fe/Mn se mantém baixa. Os teores encontrados na espécie aqui investigada correspondem a níveis tóxicos na maioria das plantas cultivadas (Borkert et al., 2001) e aproximando-se de arbóreas nativas (Reissmann et al., 1999; Boeger et al., 2005). Os teores de Zn variam de 28,0 a 53,0 mg kg⁻¹; esses valores se encontram na faixa de bom suprimento para a maioria das plantas cultivadas que apresentam um considerável diferencial de exigência (Erenoglu et al., 1999). Os teores decaem sensivelmente no nível trófico N₁₅₅P₃₀ (29,0 mg kg⁻¹), a partir do que existe uma recuperação até 45,0 mg kg⁻¹ no nível trófico N₂₀₅P₆₀. Provavelmente esta redução nos teores de Zn se deva, em parte, ao acréscimo do P havendo correlatos na literatura (Teng & Timmer, 1990); outra causa de variação nos teores de Zn encontrada na literatura diz respeito à época de análise; assim, macrófitas emersas, analisadas no verão, apresentam teores de Zn na ordem de 100 a 150 mg kg⁻¹; no inverno, os teores decaem para aproximadamente 20 mg kg⁻¹; em ambiente aquático, altamente eutrofizado, é possível encontrar macrófitas aquáticas apresentando teores elevados de até 1400 mg kg⁻¹ (Faria, 2002).

Conforme a Tabela 5, os teores de Cu variam de forma semelhante ao Zn, sendo o maior valor encontrado no nível trófico N₀P₀ (6,1 mg kg⁻¹). De acordo com Jones Jr. (1998), a deficiência de Cu se situa abaixo de 5,0 mg kg⁻¹, o que corresponde aos níveis tróficos N₁₅₅P₃₀ e N₁₈₅P₄₅; segundo este mesmo autor, altos níveis de N podem induzir deficiência de Cu; pode-se atribuir este fato à forte tendência do Cu em formar complexos com proteínas e aminoácidos, podendo esta retenção estar confinada no sistema radicular, sítio comum de imobilização de Cu em plantas. Por outro lado e conforme Krähmer & Sattelmacher (1997), ficou demonstrado que, quanto mais elevadas as dosagens de N, maior deve ser o suprimento de Cu porque, de acordo com o exposto por Marschner (1995) considerando proteínas específicas como a plastocianina, a mesma detém 50% do Cu localizado nos cloroplastos. Outros exemplos de Cu-proteínas são as superóxido dismutase, citocromo oxidase, diamina oxidase e fenol oxidase. Plantas aquáticas crescendo em reservatórios naturais, apresentam teores compreendidos entre 5,0 e 11,0 mg kg⁻¹ (Martins et al., 2003). Em ambientes aquáticos altamente poluídos podem ser encontrados teores de até 280 mg kg⁻¹ (Faria, 2002). Em plantas terrestres de áreas de mineração de Cu foram encontrados teores de até 1100 mg kg⁻¹ (Tang et al., 1999).

As Tabelas 6 e 7 mostram a comparação de médias para os macronutrientes, micronutrientes e sódio contidos na parte aérea das plantas da *T. domingensis*. A análise dos conteúdos de nutrientes nos tecidos fornece uma contribuição a mais na avaliação do estado nutricional da planta, em razão de refletir os teores biodisponíveis no substrato. No caso em questão, se prestam, principalmente os nutrientes N e P, para o cálculo da extração.

Nas Tabelas 6 e 7, constata-se um comportamento similar dos macronutrientes de acordo com o aumento da dosa-

Tabela 6. Média de seis repetições da quantidade acumulada de macronutrientes na parte aérea de *T. domingensis*, por nível trófico

Nível trófico	N	P	K	Ca	Mg
	g				
N ₀ P ₀	28,4 c	3,39 c	62,1 c	1,57 a	1,16 a
N ₁₀₅ P ₁₅	323,0 ab	44,89 a	387,3 a	1,72 a	1,44 a
N ₁₅₅ P ₃₀	344,0 a	46,91 a	375,1 a	1,60 a	1,53 a
N ₁₈₅ P ₄₅	237,7 b	31,97 b	261,0 b	1,04 b	1,04 a
N ₂₀₅ P ₆₀	59,7 c	8,77 c	71,0 c	0,35 c	0,34 b

Valores seguidos pelas mesmas letras, na vertical, não diferem pelo Teste de Tukey a nível de significância de 5%

Tabela 7. Média de seis repetições da quantidade acumulada de micronutrientes e sódio acumulada na parte aérea de *T. domingensis*, por nível trófico

Nível Trófico	Fe	Mn	Cu	Zn	Na
	mg				
N ₀ P ₀	0,20 b	5,55 a	0,027 c	0,233 a	0,140 a
N ₁₀₅ P ₁₅	0,18 b	1,67 b	0,056 a	0,468 a	0,056 b
N ₁₅₅ P ₃₀	0,36 ab	4,14 ab	0,048 ab	0,295 a	0,144 a
N ₁₈₅ P ₄₅	0,43 a	5,87 a	0,032 bc	0,230 a	0,171 a
N ₂₀₅ P ₆₀	0,34 ab	4,57 a	0,015 c	0,304 a	0,142 a

Valores seguidos pelas mesmas letras, na vertical, não diferem pelo Teste de Tukey a nível de significância de 5%

gem de N e P. Diversificações surgem no caso de micronutrientes e Na e, no caso de Fe e Mn, no nível trófico N₀P₀, os dados confirmam o conhecido antagonismo entre esses dois elementos, cuja diferença chega a 25 vezes em favor do Mn. A partir do nível trófico N₁₀₅P₁₅, segue-se um comportamento relativamente equilibrado mas, de acordo com Reisenauer (1994), as interações Fe e Mn não podem ser interpretadas como simples antagonismos, porém como produto final de uma série de combinações do ambiente; neste sentido, é difícil explicar a depressão dos valores de Fe e Mn no nível N₁₀₅P₁₅, entretanto, no mesmo ponto se observa um aumento de Cu e Zn; é também conhecido o antagonismo de elementos como Fe e Mn sobre Cu e Zn (Prevedello & Reissmann, 2002). No que concerne à interação Cu e Mn, a mesma foi descrita como recíproca (Gisi, 1997). Considerando-se que o nível trófico N₁₀₅P₁₅ represente o estado nutricional adequado é possível supor que o mecanismo de oxigenação da rizosfera da taboa (Pareschi, 2004) funcione de forma mais intensa neste nível e, em assim sendo, as possibilidades de complexação do Fe e Mn com P seriam mais intensas, limitando a absorção de ambos pela formação de placas com fósforo (Christensen & Sand-Jensen, 1998). Neste processo o P, sendo fornecido em grandes quantidades não seria afetado. É interessante frisar que este comportamento é observado na espécie em estudo, tendo em vista que, em estudo paralelo, o mesmo não foi observado em *Polygonum hydropiperoides* (Martins, 2005), podendo representar uma particularidade da espécie.

O Na apresenta uma curva de acúmulo muito similar à de Fe e Mn, tendo seu mínimo no nível trófico N₁₀₅P₁₅, não havendo uma explicação plausível para este resultado.

Os dados apresentados nas Tabelas 6 e 7 mostram, com clareza que, além do N e P, outros elementos, como o K,

Ca, Mg, Cu e Zn, são também removidos em quantidades expressivas em função da grande quantidade produzida, principalmente no nível trófico N₁₀₅P₁₅. Embora não tenham sido considerados no objetivo principal, esses elementos fazem parte da caracterização do estado nutricional geral.

Remoção de Nutrientes na Água dos Vasos

Na Tabela 8, a interpretação para a coluna do saldo, que expressa a diferença entre os nutrientes encontrados na biomassa aérea e o conteúdo removido da água do vaso, é de difícil explicação pelo fato desses saldos, quando positivos, representarem possíveis reservas já contidas nos explantes; quando negativos, representam teores que podem estar nas raízes. Por sua vez, a análise das raízes não forneceria valores confiáveis uma vez que a lavagem pode remover, de forma irregular, teores adsorvidos à superfície da mesma ou, até mesmo, de espaços intercelulares do espaço livre aparente (ELA).

Tabela 8. Balanço do cultivo da espécie *T. dominguensis* nos diferentes níveis tróficos

Nível trófico		(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
		mg vaso ⁻¹				
N ₀ P ₀	P*	0,688	0,58	0,108	4,9	4,792
	N**	55,72	55,2	0,52	41,82	41,3
N ₁₀₅ P ₁₅	P	57,284	26,216	31,068	70,96	39,892
	N	434,64	55,2	379,44	421,86	42,42
N ₁₅₅ P ₃₀	P	112,36	84,7	27,66	74,97	47,31
	N	635,24	452,4	182,84	461,53	278,69
N ₁₈₅ P ₄₅	P	176,86	165,28	11,58	73,37	61,79
	N	757,8	573,8	184	382,21	198,21
N ₂₀₅ P ₆₀	P	237,24	225,3	11,94	28,01	16,07
	N	835,84	673,08	162,76	130,49	-32,27

a – quantidade de nutrientes por vaso no início do experimento (concentração mg L⁻¹*4 L)

b – quantidade de nutrientes por vaso após cultivo de 40 dias (concentração mg L⁻¹*4 L)

c – diferença entre a quantidade de nutrientes no início e após o cultivo (a – b)

d – quantidade de nutrientes encontrados em três plantas, por vaso, após cultivo

e – diferença entre os nutrientes encontrados na biomassa aérea e o conteúdo removido da água do vaso (d – c)

P* – Fósforo Solúvel ; N** – Nitrogênio Kjeldahl

Relacionado à coluna de saldos para justificativa de serem positivos ou negativos, tem-se algumas possibilidades que podem ter interferido nos resultados.

Como citado no item Material e Métodos, semanalmente o volume do vaso era reajustado aos 4 L iniciais; esses reajustes podem estar subestimando os valores da coluna da Tabela 8, no que diz respeito aos valores remediados na água do vaso. Somado este fator, durante o experimento se encontraram vários anfíbios (pererecas), aleatoriamente, pelos vasos, cujos excrementos podem estar refletindo nos resultados; outro fator de interferência seria a retenção de nutrientes no papel de filtro, uma vez que as amostras foram filtradas previamente às leituras.

Observa-se que a *T. dominguensis* apresentou valores mais elevados para o N, em todos os níveis tróficos (Tabela 9). Em relação aos níveis tróficos N₀P₀ e N₁₅₅P₃₀, a *T. dominguensis* apresenta percentual de remoção de 15,70 e 24,62%, respectivamente.

Tabela 9. Porcentual de remoção na água de cultivo para P e N

Nível trófico	%	
	Remoção P	Remoção N
N ₀ P ₀	15,70	60,44
N ₁₀₅ P ₁₅	54,24	87,30
N ₁₅₅ P ₃₀	24,62	28,78
N ₁₈₅ P ₄₅	6,55	24,28
N ₂₀₅ P ₆₀	5,03	19,47

CONCLUSÕES

1. Em todos os níveis tróficos, da solução testada, foi possível constatar uma redução da concentração de N e P.
2. O melhor desempenho da espécie ocorreu no nível trófico N₁₀₅P₁₅, com taxa de remoção de N e P, de 87 e 54%, respectivamente.
3. A *Typha dominguensis* mostrou bom potencial fitorremediador requerendo, no entanto, um grau mínimo de fertilidade para assegurar seu desenvolvimento.

LITERATURA CITADA

- Accioli, A. M. A.; Siqueira, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: Novais, R. F.; Alvarez, V. H.; Schaefer, C. E. G. R. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: SBCS, 2000, p.299-352.
- APHA – American Public Health Association. Standard Methods for the examination of water and wastewater, 19.ed. Washington: APHA, 1995, 4-106,4-113p.
- Bergmann, W. Nutritional disorders of plants – Visual and analytical diagnosis. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1992, 105p.
- Bianco, S.; Pitelli, R. A.; Pitelli, A. M. C. M. Leaf area estimation in *Typha latifolia* using leaf blade linear dimensions. Planta Daninha, Viçosa, v.21, n.2, p.257-261, 2003.
- Boeger, M. T. R.; Wisniewski, C.; Reissmann, C. B. Nutrientes foliares de espécies arbóreas de três estádios sucessionais de floresta ombrófila densa no sul do Brasil. Acta Botanica Brasílica, São Paulo, v.19, n.1, p.167-181, 2005.
- Borkert, C. M.; Pavan, M. A.; Bataglia, O. C. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: ferro e manganês. In: Ferreira, M. E.; da Cruz, M. C. P.; van Raij, B.; de Abreu, C. A. (ed.). Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura, Jaboticabal: CNPQ/FAPESP/POTAFOS, 2001. 600p.
- Brasil – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.357. Diário Oficial da União. Brasília, 2005. p.1-23.
- Brigante, J.; Espindola, E. L. G. Limnologia fluvial – Um estudo no Rio Mogi-Guaçu. São Carlos: RiMa, 2003, 255p.
- Christensen, K. K.; Sand-Jensen, K. Precipitated iron and manganese restrict root uptake of phosphorus in *Lobelia dortmanna*. Canadian Journal of Botany, Canada, v.76, n.12, p. 2158-2163, 1998.
- Da Silva, F. C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Solos: 1999, 370p.

- Erenoglu, B.; Cakmak, I.; Römheld, V.; Derici, R.; Rengel, Z. Uptake of zinc by rye, bread wheat and durum wheat cultivars differing in zinc efficiency. *Plant and Soil*, The Netherlands, v.209, p.245-252, 1999.
- Faria, O. B. Utilização de macrófitas aquáticas na produção de adobe: um estudo de caso no reservatório de Salto Grande (Americana, SP). São Carlos:USP, 2002. 199p. Tese Doutorado
- Fasolo, P. J.; Bognola, I. A.; Carvalho, A. P.; Potter, R. O.; Bhering, S. B. Levantamento de reconhecimento dos solos da região sudeste do estado do Paraná (área 4,5 e 6). Rio de Janeiro: EMBRAPA. 2002. 143p. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento
- Gisi, U. *Bodenökologie*. 2.ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1997. 351p.
- Henry, R. Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos. São Carlos: RiMa, 2003. 349p.
- Jones Jr., J. B. *Plant nutrition manual*. Boca Raton: CRC Press, 1998. 149p.
- Jones Jr., J. B.; Case, V. W. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. In: Westerman, R. L.; Baird, J. W.; Christensen, N. W.; Fixen, P. E.; Whitney, D. A. (ed.) *Soil testing and plant analysis*. SSSA Book Series n.3. Madison, p.389-427. 1990.
- Kissmann, K. G.; Groth, D. Plantas infestantes e nocivas. TOMO III – 2.ed. São Paulo. BASF, 1997, 726p.
- Krähmer, R.; Sattelmacher, B. Einfluss steigender stickstoffgaben auf den kupferernährungszustand von Getreide. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, v.160, p.385-392, 1997.
- Lima, M. R.; Reissmann, C. B.; Taffarel, A. D. Fitorremediação com macrófitas aquáticas flutuantes. In: Andreoli, C. V.; Carneiro, C. (ed.) *Gestão integrada de mananciais eutrofizados*. Curitiba: Gráfica Capital Ltda. 2005, p.391-408.
- Lorenzi, H. J. *Principias ervas daninhas do Estado do Paraná*. Londrina: IAPAR, 1976, 204p. Boletim técnico n.2
- Marschner, H. *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic Press, 1995, 889p.
- Martins, A. P. L. Capacidade do *Polygonum hydropiperoides* e *Typha dominguensis* na fitorremediação de efluentes de tanques de piscicultura na região da bacia do Irai. Curitiba. UFPR, 2005. 83p. Dissertação Mestrado
- Martins, D.; Costa, N. V.; Terra, M. A.; Marchi, S. R.; Velini, E. D. Caracterização química das plantas aquáticas coletadas no reservatório de Salto Grande (Americana SP). *Planta Daninha*, Viçosa, v.21, p.21– 25, 2003.
- Moore, T. C. *Research experiences in plant physiology – A laboratory manual*. Berlin: Springer Verlag. 1974. 462p.
- Murphy, J.; Riley, H. P. A. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, Liverpool, v.27, p.31-36, 1962.
- Oliveira, P. C.; Disperati, A. A.; Kirchner F. F. Análise de dados digitais multiespectrais de alta resolução obtidos pelo sensor “Compact airborne spectrographic imager” em área rural do estado do Paraná – Brasil. *CERNE*, Lavras, v.4, n.1, p.01-21, 1998.
- Pareschi, D. C. Caracterização da fauna de rotífera em área alagada construída para tratamento de esgoto doméstico – Piracicaba, SP. São Carlos: UNESP, 2004. 180p. Dissertação Mestrado
- Perkin-Elmer. *Analytical methods for atomic absorption spectrophotometry: Agriculture*. Norwalk: Perkin-Elmer Corporation. 1976. cap. AY, p.1-12.
- Pires, F. R., Souza, C. M., Silva, A. A. Cecon, P. R., Procópio, S. O.; Santos, J. B. Fitorremediação de solos contaminados com tebutiuron utilizando-se espécies cultivadas para adubação verde. *Planta Daninha*. v. 23, n.4, p.711-717, 2005.
- Prevedello, B. M. S.; Reissmann, C. B. Nutrição mineral de plantas. In: Wachowicz, C. M.; Carvalho, R.I.N. (ed.) *Fisiologia vegetal produção e pós-colheita*. Curitiba: Champagnat, 2002. 424p.
- Reisenauer, H. M. The interaction of manganese and iron. In: Mantey, J. A.; Crowley, D. E.; Luster, D. G. *Biochemistry of metal micronutrients in the rhizosphere*. Boca Raton: Lewis publishers, 1994. p.147-164.
- Reissmann, C. B.; Radomski, M. I.; de Quadros, R. M. B. Chemical composition of *Ilex paraguariensis* St. Hil. Under different management conditions in seven localities of Paraná State. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, Curitiba, v.42, n.2, p.187-194, 1999.
- Reitz, R. Tifáceas. *Flora ilustrada catarinense*. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1984.16p.
- Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez, V. H. A. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. In: Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez, V. H. A. (ed.) *Viçosa: CFSEMG*, 1999. 359p.
- Salt, D. E.; Smith, R. D.; Raskin I. Phytoremediation. *Annual review of plant physiology. Plant Molecular Biology*, The Netherlands, v.49.p.643-668, 1998.
- Susarla, S.; Medina, V. F.; Mccutcheon, S. C. Phytoremediation: an ecological solution to organic chemical contamination. *Ecological Engineering.*, v.18, p.647-658, 2002.
- Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmed, 2004.719p.
- Tang, S.; Wilke, B. M.; Huang, C. The uptake of copper by plants dominantly growing on copper mining spoils along the Yangtze River, the Peoples’s Republic of China. *Plant and Soil*, The Netherlands, v.209, p.225-232,1999.
- Teng, Y.; Timmer, V. Phosphorus-induced micronutrient disorders in hybrid poplar *I*. Preliminary diagnosis. *Plant and Soil*, The Netherlands, v.126. p.19-29, 1990.
- von Sperling, M. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG. v.1, 1996. 243p.
- Zonta, E. P.; Machado, A. A. Sistema de análise estatística (SANE) para computadores. In: *Simpósio de estatística aplicada à experimentação agrônômica*, 1, 1985, Piracicaba. Anais... Campinas: Fundação Cargill. 1985, p.91-99.