



## Remoção de nitrogênio e fósforo do esgoto sanitário em um sistema de alagados construídos utilizando o capim vetiver

(<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.925>)

**Fernando Ernesto Ucker<sup>1</sup>; Rogério de Araújo Almeida<sup>2</sup>;  
Pedro Daniel da Cunha Kemerich<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, e-mail: ferucker@gmail.com,

<sup>2</sup> Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, e-mail: rogerioufg@gmail.com,

<sup>3</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen-RS,  
e-mail: eng.kemerich@yahoo.com.br

### RESUMO

No presente trabalho objetivou-se avaliar a eficiência do capim vetiver (*Vetiveria zizanioides* L. Nash) na remoção de nitrogênio e fósforo do esgoto sanitário, em um sistema de tratamento do tipo alagados construídos. A unidade experimental possuiu doze módulos de tratamento, cada um preenchido com camadas sobrepostas de substrato. Do fundo até a superfície foram utilizados: 0,15 m de brita # 3; 0,10 m de brita # 1; 0,20 m de areia lavada e 0,05 m de brita # 1. No interior dos módulos, o esgoto foi mantido a 0,05 m ou a 0,25 m abaixo da superfície do substrato, resultando em tempos de detenção hidráulica de 3,4 dias ou 1,9 dias, respectivamente. O afluente foi captado da entrada da lagoa facultativa de uma Estação de Tratamento de Esgotos e aplicado na superfície de cada módulo, de forma automatizada, em uma taxa de aplicação superficial de 51 L.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>. O esgoto percolava verticalmente no sistema, em um fluxo sub-superficial descendente, até ser captado em uma tubulação de drenagem no inferior do módulo. Determinaram-se as concentrações de fósforo total e nitrogênio amoniacal do esgoto antes e após passar pelo tratamento. As taxas de evapotranspiração foram medidas e, a partir delas, calcularam-se as eficiências na remoção da carga contaminante. Os resultados foram submetidos aos testes F e de Tukey, a 5% de probabilidade. O tratamento com a presença da planta e nível de esgoto a 0,05 m da superfície apresentou eficiência mais elevada na remoção dos nutrientes, com 90,5% para fósforo total e 93,9% para nitrogênio amoniacal.

**Palavras-chave:** fósforo total, nitrogênio amoniacal, zona de raízes.

## Removal of nitrogen and phosphorus from wastewater in a constructed wetland system using vetiver grass

### ABSTRACT

This study aimed to evaluate the Vetiver grass (*Vetiveria zizanioides* L. Nash) efficiency in removing nitrogen and phosphorus from the wastewater in a constructed wetlands treatment system. The experimental unit had twelve treatment modules, filled with layers of substrate. From the bottom to the surface, the following materials were placed: 0.15 m of gravel # 3; 0.10 m of gravel # 1; 0.20 m of washed sand and 0.05 m of gravel # 1. Inside the modules, the wastewater was maintained at 0.05 m or 0.25 m below the substrate surface, resulting in hydraulic retention times of 3.4 days and 1.9 days, respectively. The influent wastewater was captured in the entrance of a facultative pond, and it was applied to the surface of each treatment module, automatically, on a surface application rate of 51 L.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>. The sewage percolated vertically in the system, in a sub-surface flow downward until it was

captured in a drain pipe at the bottom of the module. The wastewater concentrations of total phosphorus and ammonium were analyzed before and after passing through the treatment modules. Evapotranspiration rates were measured and the efficiencies in removing the contaminant load were calculated. The results were submitted to F and Tukey tests, at 5% of probability. Treatment with the presence of the plant and sewage at 0.05 m from the surface had higher efficiency in the removal of nutrients reaching 90.5% of phosphorus removal and 93.9% for ammonia.

**Keywords:** total phosphorus, ammonia, root zone system.

## 1. INTRODUÇÃO

O investimento em saneamento traz grandes benefícios ao Estado, dentre eles, a melhoria da saúde da população e a redução dos recursos aplicados no tratamento de doenças de veiculação hídrica. Adicionalmente, há a diminuição dos custos do tratamento de água para abastecimento, a eliminação da poluição estética/visual, o desenvolvimento do turismo e a conservação ambiental (Almeida et al., 2007).

Apesar de serem conhecidos inúmeros sistemas para realizar o tratamento do esgoto, uma estação de tratamento nem sempre é viável economicamente. Esta realidade exige que novos sistemas sejam urgentemente estudados e implementados, a fim de obter-se uma tecnologia capaz de relacionar favoravelmente o custo/benefício, tanto para o meio ambiente quanto para a sociedade (Ucker, 2012).

Segundo Arias e Brix (2003), entre as soluções mais atrativas encontradas atualmente, evidenciam-se aquelas em que no tratamento simulam os fenômenos que ocorrem espontaneamente na natureza, como os verificados nos brejos, em que espécies vegetais purificam as águas. O tratamento de efluentes pelo sistema de alagados construídos constitui uma opção reconhecida e recomendada, sendo efetivo na redução da matéria orgânica e na retenção ou eliminação de substâncias tóxicas que, de outra maneira, seriam lançadas no meio ambiente.

Além da redução dos contaminantes, os sistemas de alagados construídos possuem comprovados resultados na remoção de nutrientes, como nitrogênio e fósforo. Para Sezerino e Philippi (2000), nesses sistemas de tratamento, aproximadamente 74% da remoção do nitrogênio amoniacal pode ser associada a uma assimilação por parte das plantas. Sousa et al. (2004) salientam que para a remoção específica de fósforo, o tipo de vegetação e a composição química do material suporte podem ter interferência significativa, já que os principais mecanismos de remoção do atributo no sistema são a adsorção pelos substratos e a assimilação pelos vegetais.

Em âmbito do estado de Goiás, algumas plantas já foram avaliadas nesse sistema de tratamento. Almeida et al. (2007) utilizaram o Lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium* J. König), a Conta-de-lágrima (*Coix lacryma-jobi* L.), a Taboa (*Typha angustifolia* L.) e o Capim-de-Angola (*Urochloa mutica* (Forssk.) T. Q. Nguyen). Abrantes (2009) utilizou a Taboa e o Caniço (*Phragmites australis*). Já Mendonça (2010) utilizou as espécies de bambu *Guadua angustifolia* Kunth, *Guadua chacoensis* e *Dendrocalamus giganteus* Munro. Pitaluga (2011) avaliou três tipos de substratos no sistema de alagados construídos vegetados com Lírio-do-brejo e Quege (2011) estudou a eficiência de três espécies de bambu (*Guadua angustifolia*, *Phyllostachys aurea* e *Phyllostachys bambusoides*) no tratamento do esgoto sanitário.

Entretanto, em vários países do mundo tem sido utilizada uma outra planta, de sistema radicular profundo e abundante, bastante resistente a variações climáticas e tolerante a contaminantes. Trata-se do capim Vetiver (*Vetiveria zizanioides* L. Nash), já utilizado no

Brasil na vegetação de encostas, com o objetivo de controlar processos erosivos (Orozco, 2009).

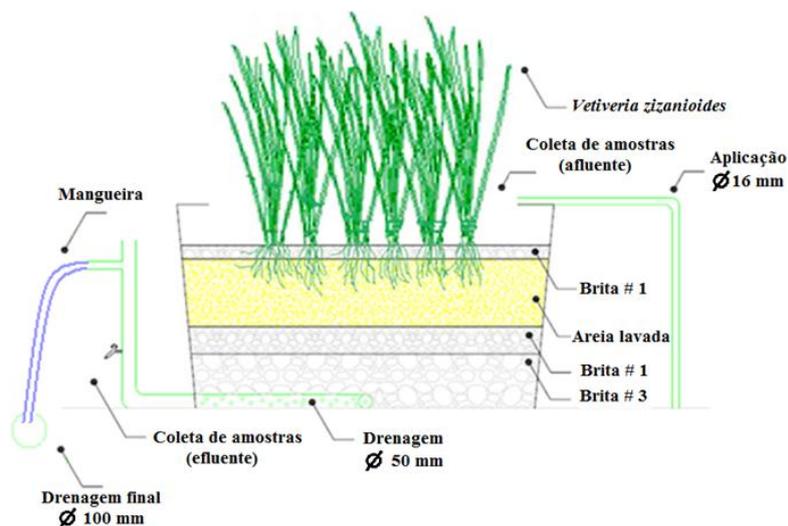
Assim, no presente trabalho teve-se como objetivo avaliar a eficiência do capim Vetiver na remoção de nitrogênio e fósforo presentes no esgoto sanitário produzido em uma unidade universitária, em um sistema de tratamento do tipo alagados construídos, com fluxo sub-superficial vertical descendente.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Estação de Pesquisas em Tratamento de Esgotos por Plantas (EPTEP) da Universidade Federal de Goiás (UFG), localizada em área da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Samambaia, que é operada pela Saneamento de Goiás S.A. (Saneago), no município de Goiânia, Goiás. A ETE encontra-se no *Campus II* da UFG, e realiza a captação e tratamento do esgoto produzido unicamente naquele *campus* universitário.

A unidade experimental possui doze módulos de tratamento, cada um constituído por uma caixa em fibra de cimento amianto, com altura de 0,73 m, e capacidade volumétrica total de 1,0 m<sup>3</sup>. As caixas foram dispostas linearmente na superfície do solo, equidistantes 1,0 m umas das outras. Cada módulo foi preenchido com a mesma altura e tipo de substrato: no fundo colocou-se 0,15 m de brita # 3; na sequência 0,10 m de brita # 1; 0,20 m de areia lavada e 0,05 m de brita # 1.

Em cada módulo, um tubo de cloreto de polivinila (PVC) de 16 mm de diâmetro foi instalado para a aplicação do esgoto, proveniente da entrada da lagoa facultativa. O esgoto não foi submetido a qualquer tratamento prévio antes de ser aplicado nos módulos experimentais. Na camada mais profunda (composta pela brita # 3) foi posicionado um tubo de drenagem (também de PVC), com 50 mm de diâmetro, destinado à coleta do efluente e sua condução para fora da caixa. Na parte externa do tubo de drenagem foi adaptada uma união soldável e um tubo de PVC com 0,60 m de comprimento, posicionado na vertical ou diagonal (dependendo do nível interno de esgoto desejado para o módulo) (Figura 1).



**Figura 1.** Representação esquemática de um módulo de tratamento de efluente com o capim Vetiver, detalhando o sistema hidráulico e as camadas sobrepostas de substrato.

A 0,15 m da parte inferior do tubo de 0,60 m foi instalada uma torneira, e na parte superior do tubo, um “T” com redução para 25 mm e uma mangueira plástica. A torneira

possibilita a coleta de amostras de esgoto tratado, para análises. A mangueira destina-se à drenagem do efluente e à manutenção do nível interno de esgoto dentro do reservatório de tratamento, o que é determinado pelo posicionamento do “T”.

Após passar pela unidade de tratamento, o esgoto escoo pela mangueira de drenagem para uma rede coletora (tubo de PVC com 100 mm de diâmetro) que conduz o efluente dos doze módulos de tratamento para um novo reservatório, de onde o efluente é bombeado de volta à lagoa facultativa.

O esgoto no interior dos módulos de tratamento foi mantido nas posições H<sub>1</sub> e H<sub>2</sub>, mediante o posicionamento do tubo externo de drenagem. A altura H<sub>1</sub> significou um nível de esgoto dentro dos módulos de tratamento mantido a 0,05 m abaixo da superfície do substrato. Para a altura H<sub>2</sub> o nível foi mantido a 0,25 m da superfície.

Os tratamentos utilizados na pesquisa correspondem a uma combinação da presença ou ausência do capim Vetiver com um dos dois níveis de manutenção do esgoto dentro do módulo de tratamento, totalizando quatro tratamentos, conforme apresentado no Quadro 1. Seis módulos de tratamento foram plantados com o capim Vetiver, numa população de sete mudas em cada um. Os outros seis módulos permaneceram sem plantas, com o objetivo de servirem de tratamento testemunha.

**Quadro 1.** Tratamentos aplicados para avaliação da eficiência do capim Vetiver na remoção de nitrogênio e fósforo do esgoto sanitário.

Tratamento	Descrição dos tratamentos	Sigla	Módulos
Tratamento 1	Módulo de tratamento com a presença da planta + nível de esgoto H <sub>1</sub>	VH <sub>1</sub>	1, 4 e 11
Tratamento 2	Módulo de tratamento com a presença da planta + nível de esgoto H <sub>2</sub>	VH <sub>2</sub>	2, 5 e 12
Tratamento 3	Módulo de tratamento com a ausência da planta + nível de esgoto H <sub>1</sub>	SH <sub>1</sub>	3, 7 e 9
Tratamento 4	Módulo de tratamento com a ausência da planta + nível de esgoto H <sub>2</sub>	SH <sub>2</sub>	6, 8 e 10

As mudas de capim Vetiver foram plantadas na primeira semana de janeiro de 2011, e a aplicação do esgoto nos módulos teve início no dia primeiro de junho de 2011, após vinte semanas do transplântio das mudas para os módulos de tratamento. No período que compreendeu o transplântio e o início da aplicação de esgoto, a umidade mantida nos módulos se deu apenas pela precipitação pluvial.

O esgoto submetido aos tratamentos foi bombeado diretamente da parte inicial da lagoa facultativa da ETE Samambaia e conduzido aos módulos de tratamento por meio de um tubo de PVC com diâmetro de 50 mm.

As coletas de amostras do esgoto e suas análises (em número de nove) ocorreram entre o primeiro dia de julho e o décimo quinto dia de dezembro de 2011, com amostragem feita nos registros dos módulos de tratamento, representando o esgoto tratado (efluente), e uma amostra retirada da tubulação de alimentação de esgoto proveniente da lagoa facultativa (afluente), totalizando treze pontos de coleta.

Avaliaram-se os teores de nitrogênio amoniacal e fósforo total, utilizando-se métodos padronizados pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Apha et al., 1998).

A aplicação de esgoto nos módulos se deu três vezes ao dia, em bateladas, (as 7 h 00 min, 12 h 00 min e 17 h 00 min) por períodos de 14 minutos para cada aplicação, resultando

em um volume de 74 L diários de esgoto, subdividido nas três aplicações. O tempo de detenção hidráulica (TDH) do esgoto nos módulos de tratamento foi calculado utilizando o volume de espaços vazios ( $V_v$ ) das camadas de substrato sob efeito do nível de esgoto ( $V_v H_1 = 0,253 \text{ m}^3$ ;  $V_v H_2 = 0,143 \text{ m}^3$ ), a área superficial de cada módulo ( $A_m = 1,45 \text{ m}^2$ ) e a taxa de aplicação ( $T_{ap} = 51 \text{ L.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ ). O TDH representa o tempo que o esgoto bruto permaneceu em tratamento dentro de cada reservatório, e resultou em 3,4 dias para o nível de esgoto  $H_1$  e 1,9 dias para o nível de esgoto  $H_2$ . O esgoto era aplicado na parte superior do sistema, e percolava verticalmente.

Após o início da aplicação do esgoto, mensalmente, e em períodos de cinco dias consecutivos (segunda-feira a sexta-feira), foram realizadas medições das taxas de evapotranspiração do sistema de alagados construídos. As saídas das drenagens dos módulos de tratamento foram interligadas, por meio de mangueiras, a tambores de 200 L de capacidade volumétrica, em um módulo representante de cada tratamento ( $VH_1$ ,  $SH_1$ ,  $VH_2$  e  $SH_2$ ). Durante os cinco dias consecutivos coletaram-se os volumes drenados pelas mangueiras nos tambores.

Diariamente, mediu-se o volume armazenado em cada tambor, e por meio da Eq. (1) estimou-se a taxa de evapotranspiração de cada tratamento. As medições foram realizadas nas semanas de coleta de amostras para determinação dos teores de nutrientes, e seus valores foram utilizados nos cálculos de eficiência do sistema.

$$ETP = P + \frac{I - D}{S} \quad [1]$$

em que:

- ETP - Evapotranspiração, mm;
- P - Precipitação efetiva, mm;
- I - Esgoto aplicado, L;
- D - Drenagem, L;
- S - Área superficial do módulo,  $\text{m}^2$ .

A eficiência percentual do sistema de tratamento do tipo alagado construído, com a espécie *Vetiveria zizanioides* (capim Vetiver), na remoção de nitrogênio e fósforo foi determinada pela Eq. (2), conforme sugerido por Almeida e Ucker (2011):

$$Ef (\%) = \frac{(C_e \times V_e) - (C_s \times V_s)}{(C_e \times V_e)} \times 100 \quad [2]$$

em que:

- Ef (%) - eficiência percentual de remoção da carga contaminante de determinado atributo;
- $C_e$  - concentração do atributo na entrada do sistema;
- $V_e$  - volume de esgoto na entrada do sistema;
- $C_s$  - concentração do atributo na saída do sistema;
- $V_s$  - volume de esgoto na saída do sistema.

Os resultados das eficiências na remoção dos nutrientes foram submetidos à análise de variância (teste F) e ao teste de médias (Tuckey), com 5% de probabilidade, utilizando a ferramenta SAS (*Statistical Analysis System*).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Fósforo Total

Os valores médios da concentração de fósforo total no afluente (esgoto proveniente da entrada da lagoa facultativa) e no efluente (esgoto proveniente da saída do registro de cada módulo), da evapotranspiração e da eficiência percentual de sua remoção no sistema de alagados construídos são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Valores médios da concentração de fósforo total no afluente e no efluente, da taxa de evapotranspiração e da eficiência percentual de sua remoção no sistema de alagados construídos.

Tratamento <sup>1</sup>	Afluente <sup>2</sup>	ETP (%) <sup>3</sup>	Efluente <sup>4</sup>	Eficiência <sup>5</sup>
VH <sub>1</sub>	4,9	57,8	1,1	90,5 a
VH <sub>2</sub>		28,5	1,9	70,2 b
SH <sub>1</sub>		13,9	3,0	44,3 c
SH <sub>2</sub>		10,1	3,0	44,6 c
C.V. (%)				

**Nota:** <sup>1</sup>VH<sub>1</sub>: módulo com Vetiver e esgoto mantido a 0,05 m da superfície; VH<sub>2</sub>: módulo com Vetiver e esgoto mantido a 0,25 m da superfície; SH<sub>1</sub>: módulo sem plantas e esgoto mantido a 0,05 m da superfície; SH<sub>2</sub>: módulo sem plantas e esgoto mantido a 0,25 m da superfície; <sup>2</sup>Valor médio da concentração de fósforo total (mg L<sup>-1</sup>) na entrada da lagoa facultativa; <sup>3</sup>Evapotranspiração média percentual; <sup>4</sup>Valor de fósforo total (mg L<sup>-1</sup>) após passar pelo sistema de alagados construídos; <sup>5</sup>Eficiência percentual: (Eq. 2).

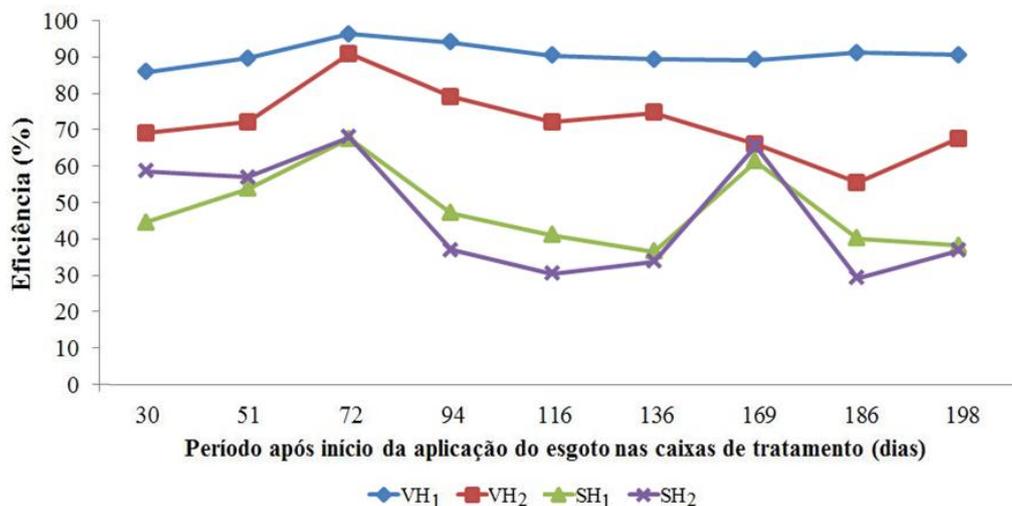
Durante o período de cinco dias consecutivos em que foram aplicados 370 L de esgoto em cada módulo de tratamento, o volume médio de saída (esgoto drenado) para o tratamento VH<sub>1</sub> foi de 165,5 L, correspondendo a uma evapotranspiração média de 57,8% do volume aplicado. Para o tratamento VH<sub>2</sub> houve a drenagem de 279,7 L (ETP de 28,5%). Já nos módulos sem a presença da planta, o valor drenado foi de 335,5 L para o tratamento SH<sub>1</sub> e de 350,0 L para SH<sub>2</sub>, correspondendo a taxas de evapotranspiração de 13,9% e 10,1%, respectivamente. Nos módulos em que o esgoto foi mantido a 0,05 m da superfície do substrato o maior tempo de detenção proporcionou maiores taxas de evapotranspiração. O mesmo comportamento foi observado quando da presença de plantas.

O valor médio obtido nas análises para o atributo fósforo total no esgoto afluente foi de 4,9 mg L<sup>-1</sup>, valor este dentro das faixas de referência apresentadas por Von Sperling (2005) e Jordão e Pessôa (2011), que são de 3 a 9 mg L<sup>-1</sup> e de 3 a 13 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente, para esgotos considerados domésticos. Após passagem pelo sistema de tratamento de esgoto por alagados construídos, o valor médio encontrado nos módulos submetidos ao tratamento VH<sub>1</sub> foi de 1,1 mg L<sup>-1</sup>, e para os módulos VH<sub>2</sub> o valor médio foi de 1,9 mg L<sup>-1</sup>. Para os módulos sem planta (tratamentos SH<sub>1</sub> e SH<sub>2</sub>), o valor médio de saída do atributo foi de 3,0 mg L<sup>-1</sup>.

O nível de esgoto dentro dos módulos influenciou na eficiência do tratamento onde havia a presença de plantas. A remoção de fósforo total foi de 90,5% para VH<sub>1</sub> e de 70,2% para VH<sub>2</sub>, que diferiram estatisticamente entre si. Nos módulos sem a presença da planta os valores foram mais baixos, com 44,3% de remoção nos módulos de tratamento SH<sub>1</sub> e 44,6% de remoção nos módulos SH<sub>2</sub> (Figura 2), que não diferiram estatisticamente entre si, mas diferiram dos demais tratamentos.

Segundo Van de Moortel et al. (2009), a liberação de oxigênio pelas raízes das plantas pode aumentar a capacidade de adsorção do fósforo por meio dos substratos, o que pode ter influenciado para fazer com que os sistemas de tratamento com plantas tivessem uma eficiência de remoção maior do que os sistemas sem a presença das plantas.

De outro lado, Kadlec e Knight (1996) e Arias et al. (2001) afirmam que os mecanismos de retenção do fósforo incluem processos físicos, químicos e biológicos, envolvendo fenômenos de precipitação, sedimentação e, principalmente, adsorção; e o mecanismo de remoção consiste na incorporação do fósforo na biomassa das macrófitas.



**Figura 2.** Evolução da eficiência percentual na remoção do fósforo total nos módulos de tratamento de esgoto ao longo do tempo.

**Nota:** VH<sub>1</sub>: módulo com Vetiver e esgoto mantido a 0,05 m da superfície; VH<sub>2</sub>: módulo com Vetiver e esgoto mantido a 0,25 m da superfície; SH<sub>1</sub>: módulo sem plantas e esgoto mantido a 0,05 m da superfície; SH<sub>2</sub>: módulo sem plantas e esgoto mantido a 0,25 m da superfície.

A eficiência de remoção de fósforo dos módulos VH<sub>1</sub> manteve-se praticamente constante durante todo o experimento. Já os módulos VH<sub>2</sub> alternaram eficiências altas, como no período de 72 dias após o início da aplicação de esgoto, e baixas. Os módulos SH<sub>1</sub> e SH<sub>2</sub> tiveram um comportamento bem diferente dos demais, inclusive com uma queda brusca na eficiência de remoção do fósforo a partir do dia 72, com ponto de elevação aos 169 dias.

A mudança de comportamento e redução da eficiência ocorrida após 72 dias, possivelmente foi ocasionada pela saturação do substrato e início da liberação do fósforo adsorvido. De acordo com Arias et al. (2001), os maiores responsáveis pela redução das concentrações de fósforo no efluente são as reações de adsorção e precipitação que ocorrem quando da presença de minerais como o cálcio, alumínio e ferro no material filtrante. Nos módulos com o capim Vetiver a redução na eficiência de remoção de fósforo foi menor, em decorrência da absorção pelas plantas.

Brix et al. (2003) verificaram uma remoção de fósforo da ordem de 98% ao analisar um alagado construído semeado com caniço para tratar águas residuárias de uma pequena comunidade na Dinamarca. Souza e Bernardes (1996), ao utilizar leitos cultivados com taboa no pós-tratamento de esgotos domésticos, com um tempo de detenção de 2,7 dias, verificaram 40,0% de remoção de fósforo.

Em estudo realizado na Venezuela, Mayorca (2007) obteve um percentual de remoção do atributo fósforo total de 74%, em um sistema de alagados construídos para tratar o efluente gerado por uma indústria de cerveja. Ash e Truong (2004) avaliaram o potencial do capim Vetiver no tratamento de esgoto em Queensland na Austrália e observaram uma remoção de 85% do fósforo total. Liao et al. (2003) observaram uma remoção de 40% a partir da oitava semana de tratamento do esgoto gerado em suinocultura, valor bem abaixo do encontrado neste trabalho (média de 90,5% de remoção ao final de 198 dias de aplicação).

Hart et al. (2003) avaliaram o potencial do capim Vetiver no tratamento do efluente do tanque séptico de um hotel, em um sistema de fertirrigação com fluxo de 20 L min<sup>-1</sup>. Em oito dias, um metro quadrado de plantas bem enraizadas removeu 3.575 mg de fósforo do efluente no tanque de recirculação.

Pitaluga (2011) observou uma redução percentual média da concentração de fósforo total de 93,9% em um alagado construído, de fluxo horizontal, preenchido com areia e vegetado com a espécie *Hedychium coronarium*, em Goiânia, GO. Na mesma cidade, Quege (2011), utilizando um sistema de tratamento por alagados construídos de fluxo vertical descendente encontrou uma média percentual para a remoção de fósforo no valor de 98,4% para módulos cultivados com *Guadua angustifolia* e 94,5% em módulos não vegetados, além de uma remoção de 87,0% nos módulos com *Phyllostachys bambusoides* e 86,4% em módulos vegetados com *Phyllostachys aurea*. Na presente pesquisa, o maior valor verificado foi de 90,5%, para o tratamento VH<sub>1</sub>.

### 3.2. Nitrogênio Amoniacal

Os valores médios da concentração de nitrogênio amoniacal no afluente e no efluente, da evapotranspiração e da eficiência percentual de sua remoção no sistema de alagados construídos são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Valores médios da concentração de nitrogênio amoniacal no afluente e no efluente, da evapotranspiração e da eficiência percentual de sua remoção no sistema de alagados construídos

Tratamento <sup>1</sup>	Afluente <sup>2</sup>	ETP (%) <sup>3</sup>	Efluente <sup>4</sup>	Eficiência <sup>5</sup>
VH <sub>1</sub>	15,0	57,8	2,2	93,9 a
VH <sub>2</sub>		28,5	5,3	73,7 b
SH <sub>1</sub>		13,9	9,6	42,1 c
SH <sub>2</sub>		10,1	9,0	43,0 c
C.V. (%)				

**Nota:** <sup>1</sup>VH<sub>1</sub>: módulo com Vetiver e esgoto mantido a 0,05 m da superfície; VH<sub>2</sub>: módulo com Vetiver e esgoto mantido a 0,25 m da superfície; SH<sub>1</sub>: módulo sem plantas e esgoto mantido a 0,05 m da superfície; SH<sub>2</sub>: módulo sem plantas e esgoto mantido a 0,25 m da superfície; <sup>2</sup>Valor médio da concentração de fósforo total (mg L<sup>-1</sup>) na entrada da lagoa facultativa; <sup>3</sup>Evapotranspiração média percentual; <sup>4</sup>Valor de fósforo total (mg L<sup>-1</sup>) após passar pelo sistema de alagados construídos; <sup>5</sup>Eficiência percentual: (Eq. 2).

O valor médio da concentração de nitrogênio amoniacal observado durante a pesquisa, foi de 15 mg L<sup>-1</sup>, valor este que está dentro da faixa referenciada por Jordão e Pessôa (2011), entre 10 a 50 mg L<sup>-1</sup>, e de Metcalf e Eddy (1981), entre 12 a 50 mg L<sup>-1</sup>, para esgotos considerados domésticos. Este valor, considerado baixo, corresponde ao esgoto retirado da entrada da lagoa facultativa, tendo este sido diluído ao entrar na lagoa.

Após passar pelo tratamento no sistema de alagados construídos, os valores médios da concentração de nitrogênio amoniacal nos módulos com planta foram de 2,2 mg L<sup>-1</sup> para o tratamento VH<sub>1</sub> e de 5,3 mg L<sup>-1</sup> para VH<sub>2</sub>. Nos módulos onde não havia a presença da planta *Vetiveria zizanioides*, os valores de saída foram de 9,6 mg L<sup>-1</sup> e 9,0 mg L<sup>-1</sup>, para SH<sub>1</sub> e SH<sub>2</sub>, respectivamente.

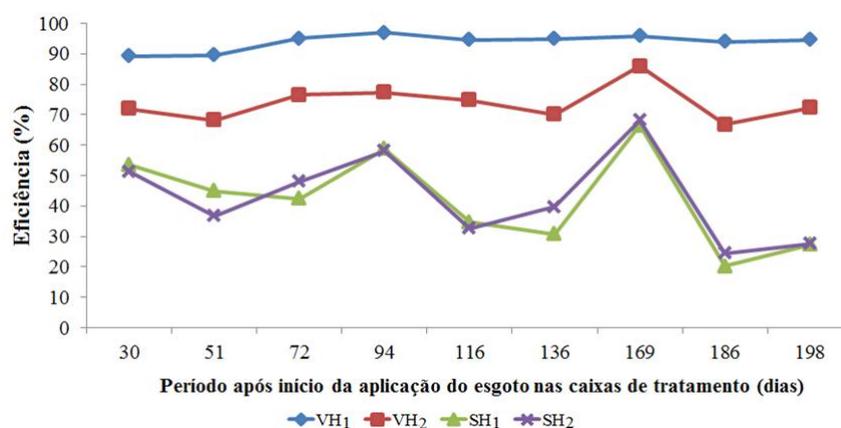
A eficiência média percentual de remoção do nitrogênio amoniacal foi de 93,9% para VH<sub>1</sub>, e de 73,7% para VH<sub>2</sub>. Nos módulos SH<sub>1</sub>, houve remoção de 42,1% do nitrogênio amoniacal presente, e nos módulos SH<sub>2</sub> houve remoção de 43,0%. Estatisticamente, os módulos com planta diferiram entre si, e diferiram também dos módulos sem a presença da

planta, que por sua vez não diferiram entre si. Os resultados apresentados mostram uma superioridade dos módulos vegetados e com maior nível interno de esgoto.

Observa-se que os módulos de tratamento VH<sub>1</sub> mostraram grande potencialidade para remoção de nitrogênio amoniacal, pois além da remoção média final acima de 90%, apresentaram um comportamento praticamente constante durante todo o experimento (Figura 3). Os módulos VH<sub>2</sub>, ou seja, com menor nível de esgoto, apresentaram pequenas variações na remoção do atributo. Já os módulos sem a presença da planta mostraram grandes oscilações ao longo do experimento.

Kadlec e Knight (1996) atentam para os diferentes processos de remoção do nitrogênio amoniacal da fração líquida nos sistemas de tratamento por alagados construídos, destacando a incorporação na biomassa vegetal, a adsorção ao material filtrante e, com mais ênfase, a nitrificação seguida da desnitrificação.

Abrantes (2009), utilizando um sistema de fluxo sub-superficial vertical vegetado com taboa (*Typha* spp) e TDH de 4,6 dias, observou uma eficiência de 69,3% na redução do nitrogênio amoniacal, em Goiânia, GO. Nos módulos vegetados com caniço, foi verificada uma redução de 53,6%. De acordo com a autora, uma das ações influenciadoras na remoção de nitrogênio amoniacal é a oxigenação do meio pelas plantas, onde as bactérias nitrificantes utilizam o oxigênio para oxidar o nitrogênio amoniacal no processo de nitrificação.



**Figura 3.** Evolução da eficiência percentual na remoção do nitrogênio amoniacal nos módulos de tratamento de esgoto ao longo do tempo.

**Nota:** VH<sub>1</sub>: módulo com Vetiver e esgoto mantido a 0,05 m da superfície; VH<sub>2</sub>: módulo com Vetiver e esgoto mantido a 0,25 m da superfície; SH<sub>1</sub>: módulo sem plantas e esgoto mantido a 0,05 m da superfície; SH<sub>2</sub>: módulo sem plantas e esgoto mantido a 0,25 m da superfície.

Estudos com a planta *Vetiveria zizanioides* comprovam sua eficiência na remoção do nitrogênio presente no esgoto. Segundo Cull et al. (2000), pesquisas na Ásia mostram que o capim Vetiver tem uma rápida, constante e alta capacidade na remoção de nutrientes como nitrogênio e fósforo, além de grandes quantidades de agroquímicos e metais pesados.

Ash e Truong (2003), utilizando a planta para o tratamento de esgoto em Queensland, Austrália, observaram uma eficiência de 99% na remoção do nitrogênio amoniacal. Na mesma cidade, o capim Vetiver foi plantado para tratar o esgoto gerado em um pequeno aeródromo. Naquela pesquisa o autor chegou a ótimos resultados, ao observar remoção de 99,7% do atributo em questão (Truong, 2001). Neste trabalho, a remoção do nitrogênio amoniacal foi menor do que nos trabalhos citados (média de 93,9% ao final de 198 dias de aplicação de esgoto).

Cheng et al. (2008) avaliaram o desempenho dos sistemas de alagados construídos num efluente que é descartado em um dos rios mais poluídos de Taiwan, o rio Wu-Luo. Os autores

chegaram à conclusão de que o capim Vetiver foi capaz de remover cerca de 93% do nitrogênio do efluente.

Almeida et al. (2007), num sistema de tratamento do tipo zona de raízes com fluxo subsuperficial descendente, vegetado com lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium* J. König), observaram uma eficiência na redução do teor de nitrogênio amoniacal de 53,5%. Pitaluga (2011) encontrou redução média percentual do nitrogênio amoniacal de 58,2% em sistema alagado construído preenchido com areia; 58,3% no substrato preenchido com brita # 0 e 59,5% em substrato preenchido com brita # 1; todos vegetados com a espécie *Hedychium coronarium*.

De acordo com Abrantes (2009) e Mendonça (2010), a eficiência na remoção de nitrogênio amoniacal pode ser explicada pela transferência de oxigênio da atmosfera para o tratamento através das raízes das plantas, sendo o oxigênio utilizado pelas bactérias nitrificantes para oxidar o nitrogênio amoniacal durante a nitrificação. A maior média de remoção do nitrogênio amoniacal observada neste estudo foi de 93,7%, nos módulos onde o esgoto estava constantemente em presença das raízes das plantas (nível H<sub>1</sub>).

#### 4. CONCLUSÃO

1. O sistema de tratamento do tipo alagados construídos, de fluxo sub-superficial vertical descendente, vegetado com capim Vetiver mostrou-se eficiente na remoção de nitrogênio amoniacal e fósforo total presentes no esgoto sanitário produzido em uma unidade universitária.

2. Os módulos de tratamento com a presença do capim Vetiver e nível de esgoto H<sub>1</sub>, ou seja, com tempo de detenção hidráulica de 3,4 dias, foram superiores na remoção dos atributos pesquisados.

3. Os valores encontrados nesta pesquisa (remoção de 90,5% de fósforo total e 93,9% de nitrogênio amoniacal) mostram-se, no geral, superiores aos valores encontrados na literatura.

#### 5. REFERÊNCIAS

ABRANTES, L. L. M. **Tratamento de esgoto sanitário em sistemas alagados construídos utilizando *Typha angustifolia* e *Phragmites australis***. 2009. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

ALMEIDA, R. A.; UCKER, F. E. Considerando a evapotranspiração no cálculo de eficiência de estações de tratamento de esgoto com plantas. **Revista Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 4, p. 39-45, 2011.

ALMEIDA, R. A.; OLIVEIRA, L. F. C.; KLIEMANN, H. J. Eficiência de espécies vegetais na purificação de esgoto sanitário. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 1, p. 1-9, 2007.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington D.C, 1998.

ARIAS, C. A.; BRIX, H. Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. **Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina**, Bogotá, v.13, p. 17-24, 2003.

UCKER, F. E.; ALMEIDA, R. A.; KEMERICH, P. D. C. Remoção de nitrogênio e fósforo do esgoto sanitário em um sistema de alagados construídos utilizando o capim vetiver. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 87-98, 2012. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.925>)

---

ARIAS, C. A., DEL BUBBA, M., BRIX, H. Phosphorus removal by sands for use as media in subsurface flow constructed reed beds. **Water Research**, v. 35, n. 5, p. 1159-1168, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00368-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00368-7)

ASH, R.; TRUONG, P. The use of vetiver grass for sewerage treatment. In: SEWAGE MANAGEMENT QEPA CONFERENCE, 5-7 April, 2004, Cairns. **Paper for...** Disponível em: <[http://www.vetiver.org/AUS\\_ekeshire01.pdf](http://www.vetiver.org/AUS_ekeshire01.pdf)>. Acesso em: 14 dez. 2011.

BRIX, H.; ARIAS, C. A.; JOHANSEN, N. H. Experiments in a two-stage constructed wetlands system: nitrification capacity and effects of recycling on nitrogen removal. In: VYMAZAL, J. (Ed.). **Wetlands: nutrients, metals and mass cycling**. Leiden: Backhuys Publishers, 2003. p. 237-258.

CHENG, L. L.; TSAI, H. A.; LIN, J. H.; CHOU, M. S. Performance study on the constructed wetlands for clarification of polluted Wu-Luo river water. **Journal of Environmental Engineering and Management**, v. 18, n. 5, p. 345-354, 2008.

CULL, R. H.; HUNTER, H.; HUNTER, M.; TRUONG, P. Application of Vetiver Grass Technology in off-site pollution control. II. Tolerance of vetiver grass towards high levels of herbicides under wetlands conditions. In: INTERNATIONAL VETIVER CONFERENCE, 2., 2000, Thailand. **Proceedings**, Thailand: ICV, 2000.

HART, B.; CODY, R.; TRUONG, P. Hydroponic vetiver treatment of post septic tank effluent. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON VETIVER AND EXHIBITION, 3., 2003, Guangzhou. **Proceedings...** Guangzhou: China Agriculture Press, 2003. p. 121-131. Disponível em: <[http://www.vetiver.org/ICV3-Proceedings/AUS\\_hydroponic.pdf](http://www.vetiver.org/ICV3-Proceedings/AUS_hydroponic.pdf)>. Acesso em: 14 dez. 2011.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 1050 p.

KADLEC, R. H.; KNIGHT, R. L. **Treatment wetlands**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1996. 893 p.

LIAO, X.; LUO, S.; WU, Y.; WANG, Z. Studies on the abilities of *Vetiveria zizanioides* and *Cyperus alternifolius* for pig farm wastewater treatment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON VETIVER AND EXHIBITION, 3., 2003, Guangzhou. **Proceedings...** Guangzhou: China Agriculture Press, 2003. p. 174-181. Disponível em: <[http://www.vetiver.org/ICV3-Proceedings/CHN\\_pigwaste2.pdf](http://www.vetiver.org/ICV3-Proceedings/CHN_pigwaste2.pdf)>. Acesso em: 12 dez. 2011.

MAYORCA, A. **Vetiver system used in wastewater treatment**. 2007. Disponível em: <[http://www.vetiver.org/VEN\\_Beer\\_WW01pdf.pdf](http://www.vetiver.org/VEN_Beer_WW01pdf.pdf)>. Acesso em: 12 dez. 2011.

MENDONÇA, E. A. **Disposição de efluentes de estação de tratamento de esgoto industrial em solo vegetado com bambu**. 2010. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamiento y depuración de las aguas residuales**. Barcelona: Labor, 1981.

UCKER, F. E.; ALMEIDA, R. A.; KEMERICH, P. D. C. Remoção de nitrogênio e fósforo do esgoto sanitário em um sistema de alagados construídos utilizando o capim vetiver. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 87-98, 2012. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.925>)

---

- OROZCO, M. M. D. **Caracterização da gramínea *Vetiveria zizanioides* para aplicação na recuperação de áreas degradadas por erosão.** 2009. 96 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.
- PITALUGA, D. P. S. **Avaliação de diferentes substratos no tratamento de esgoto sanitário por zona de raízes.** 2011. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.
- QUEGE, K. E. **Tratamento de esgoto sanitário pelo sistema zona de raízes utilizando plantas de bambu.** 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.
- SEZERINO, P. H.; PHILIPPI, L. S. Utilização de um sistema experimental por meio de “wetland” construído no tratamento de esgotos domésticos pós tanque séptico. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 9., 2000, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: ABES, 2000. p. 688-697.
- SOUSA, J. T.; VAN HAANDEL, A.; LIMA, E. P. C.; HENRIQUE, I. N. Utilização de wetlands construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reatores UASB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 285-290, 2004.
- SOUZA, L. E. L.; BERNARDES, R. S. Avaliação do desempenho de um RAFA no tratamento de esgotos domésticos, com pós-tratamento através de leitos cultivados. In: SIMPÓSIO ÍTALO-BRASILEIRO DE INGENIERÍA SANITARIA-AMBIENTALE, 1., 1996, Gramado. **Anais...** Gramado: ABES, 1996.
- TRUONG, P. **Vetiver grass system for effluent, landfill leachate and seepage control.** 2001. Disponível em: <[http://www.vetiver.org/AUS\\_effluent.pdf](http://www.vetiver.org/AUS_effluent.pdf)>. Acesso em: 12 dez. 2011.
- UCKER, F. E. **Eficiência do capim Vetiver (*Vetiveria zizanioides* L. Nash) no tratamento de esgoto sanitário.** 2012. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.
- VAN DE MOORTEL, A. M. K.; ROUSSEAU, D. P. L.; TACK, F. M. G.; PAUW, N. D. A comparative study of surface and subsurface flow constructed wetlands for treatment of combined sewer overflows: a greenhouse experiment. **Ecological Engineering**, v. 35, n. 2, p. 175-183, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.08.015>
- VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias:** introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 452 p.