

## EFICIÊNCIA DE DIFERENTES MACRÓFITAS NA REMOÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA BIODEGRADÁVEL EM “WETLAND” CONSTRUÍDO DE FLUXO VERTICAL EM CLIMA SUBTROPICAL

*EFFICIENCY OF DIFFERENT MACROPHYTES IN THE REMOVAL OF BIODEGRADABLE ORGANIC MATTER IN CONSTRUCTED WETLAND WITH VERTICAL FLOW IN SUBTROPICAL CLIMATE*

**Francisco Rossarolla Forgiarini<sup>1</sup>, Elias Silveira Rizzi<sup>2</sup>**

Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Avenida Roraima, 1.000, Santa Maria, RS, Brasil.

<sup>1</sup>Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. E-mail: francisco.forgiarini@ufsm.br

<sup>2</sup>Graduado em Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental. E-mail: eliasrizzi@hotmail.com.

### RESUMO

Uma grande parte da população enfrenta problemas oriundos da inexistência de tratamento dos efluentes líquidos. Logo, são necessárias pesquisas para o desenvolvimento de tecnologias de baixo custo para o tratamento das águas residuárias. O objetivo deste trabalho foi comparar a eficiência na remoção da matéria orgânica biodegradável do esgoto doméstico em um sistema descentralizado de tratamento utilizando diferentes macrófitas em clima subtropical. Foram utilizadas as macrófitas: *Typha* sp., *Colocasia esculenta*, *Pennisetum purpureum*. Foram construídos quatro tanques com o sistema de fluxo vertical e colocados três indivíduos de cada espécie de macrófitas em cada tanque, sendo que um dos tanques ficou sem macrófita (testemunha). Foram coletadas amostras para análises da Demanda Bioquímica Oxigênio – DBO. Os dados de DBO foram analisados pelos testes estatísticos ANOVA e Tukey. Os resultados indicaram eficiência de remoção de DBO média de 53% para a *Typha* sp., que apresentou maior resistência ao frio, 52% para a *Pennisetum purpureum*, 32% para a *Colocasia esculenta*; e 28% para a Testemunha. O teste de ANOVA indicou diferença estatística significativa. O teste de Tukey indicou que as macrófitas *Typha* sp. e *Pennisetum purpureum* diferenciaram-se quanto à diminuição da DBO e que as temperaturas mais frias influenciam na eficiência do tratamento.

**Palavras-chave:** Saneamento básico, Tecnologias ambientais, “Wetlands” construídos.

### ABSTRACT

A large part of population has faced problems arising from the lack of wastewater treatment. Therefore, research is needed to develop technologies with low cost for the treatment of wastewaters. The aim of this paper was to compare the efficiency in the removal of biodegradable organic matter of domestic sewage in a decentralized wastewater treatment with different plants in subtropical climate. There were used the macrophytes: *Typha* sp., *Colocasia esculenta*, and *Pennisetum purpureum*. Four tanks were constructed with vertical flow system. Also, three individuals of each plant species were placed in each tank and one tank had no plant, named witness, and samples were collected in each tank for analysis of Biochemical Oxygen Demand – BOD. Statistical tests were performed by ANOVA and Tukey. The results showed the removal efficiency of BOD average of 53 % for *Typha* sp., which presented better resistance to cold, 52 % for *Pennisetum purpureum*, 32 % for *Colocasia esculenta*, and 28 % for the Witness. The ANOVA indicated a statistically significant difference. Tukey's test indicated that plants *Typha* sp. and *Pennisetum purpureum* differed in the BOD reduction and that colder temperatures have influence over the efficiency of the treatment.

**Keywords:** Basic sanitation, Environmental technologies, Constructed wetland.

### 1 – INTRODUÇÃO

A população mundial tem enfrentado sérios problemas ambientais pela inexistência de tratamento dos esgotos sanitários. No Brasil, a situação de muitos municípios é precária devido à falta de oferta dos serviços de saneamento básico. Assim, além de contaminar o meio ambiente, essa situação expõe a população a várias doenças (MARTINETTI; TEIXEIRA; IOSHIAQUI, 2009).

As principais consequências da disposição de águas residuárias no meio ambiente aquático são provocadas pela estabilização da matéria orgânica, causando principalmente a eutrofização dos corpos receptores e doenças de

veiculação hídrica, que são transmitidas pela água contaminada não tratada (PERES; HUSSAR; BELI, 2010).

Logo, é fundamental o tratamento dos esgotos sanitários, em especial, o esgoto doméstico, considerando os benefícios das ações para a qualidade de vida da população. Devido à falta de infraestrutura em coleta e tratamentos de esgoto domésticos, são inevitáveis os investimentos no desenvolvimento de tecnologias ambientais alternativas, de baixo custo e de alta eficiência para o tratamento das águas residuárias (SCHIRMER, 2009).

Para Lemes *et al.* (2008) tem-se discutido e aplicado, atualmente, sistemas descentralizados de tratamento dos esgotos domésticos por meio de zona de raízes, especialmente em áreas rurais e pequenos municípios que

não possuem rede de coleta e de tratamento de esgoto. O autor afirma que esse sistema é autossustentável, de custo baixo, não agressivo ao ambiente, com facilidade de adaptação a diferentes ambientes, evitando a proliferação de insetos, odores fétidos e a contaminação dos lençóis freáticos por coliformes fecais, hoje lançados em sumidouros sem tratamento, realidade, principalmente, das pequenas comunidades.

Com base em van Kaick (2002), os tratamentos descentralizados são sistemas de tratamento de esgotos que integram zonas de raízes, ou seja, uso de macrófitas fitorremediadoras com grande capacidade de absorção de matéria orgânica e têm custo de implantação relativamente inferior à Estação de Tratamento de Esgoto – ETE, conhecidas como estações de tratamento centralizadas. Ainda segundo esse autor, as unidades descentralizadas são voltadas a atender uma ou mais residências ou estabelecimentos, sendo menores os custos com implantação, coleta e operação do sistema, de forma a substituir as grandes redes coletoras hoje estabelecidas. Quanto aos aspectos econômico, ambiental e social, essa é uma opção viável por sua simplicidade operacional e pela alta eficiência no tratamento de esgoto doméstico.

As unidades descentralizadas, chamadas de *Wetlands* Construídos, normalmente são classificadas de acordo com a orientação do fluxo principal de escoamento, podendo ser de fluxo horizontal ou vertical. O de fluxo vertical, que será usado na presente pesquisa, é um módulo com uma superfície plana com material de recheio filtrante, geralmente composto de areia e brita. As macrófitas são plantadas diretamente no material de recheio e o efluente disposto percola ao longo do perfil vertical até uma saída no fundo (ZANELLA, 2008).

Para Silva (2007), as macrófitas têm importantes funções no processo de tratamento de esgoto, fornecendo oxigênio para os microrganismos na rizosfera, aumentando e estabilizando a condutividade hidráulica. Ainda conforme o autor, o território brasileiro possui diversas espécies de vegetais com grande potencial para fitorremediação.

Sezerino, Olijyk e Kossatz, (2007) salientam que existe a necessidade de estudar o uso de diferentes macrófitas, pois muitas espécies ainda não foram exploradas. As espécies de macrófitas emergentes mais utilizadas são: taboa (*Typha angustifolia*), junco (*Junco ingens*), caniço (*Phragmites spp.*), bunho (*Carex spp.*) e lírio-dos-pântanos (*Íris pseudocorus*) (SILVA, 2007).

Nesse contexto, merecem destaque a questão da eficiência na remoção dos poluentes, notadamente a matéria orgânica do esgoto doméstico que se caracteriza como uma das maiores fontes de poluição dos mananciais hídricos, a adaptação da macrófita ao ambiente em que ela foi colocada e as variações de temperaturas. Portanto, esta pesquisa tem por objetivo comparar a eficiência de um sistema descentralizado de tratamento de esgoto do tipo tanque séptico-zona de raízes, utilizando diferentes macrófitas para avaliar a remoção da matéria orgânica biodegradável em clima subtropical.

## 2 – METODOLOGIA

A área de estudo localiza-se na região central do Rio Grande do Sul, no município de Silveira Martins. Sua população é de 2.449 habitantes e sua área é de 118,42 km<sup>2</sup> (IBGE, 2012). Segundo a classificação de Köppen, enquadra-se na área de clima subtropical úmido, do tipo Cfa (ITAQUI, 2002).

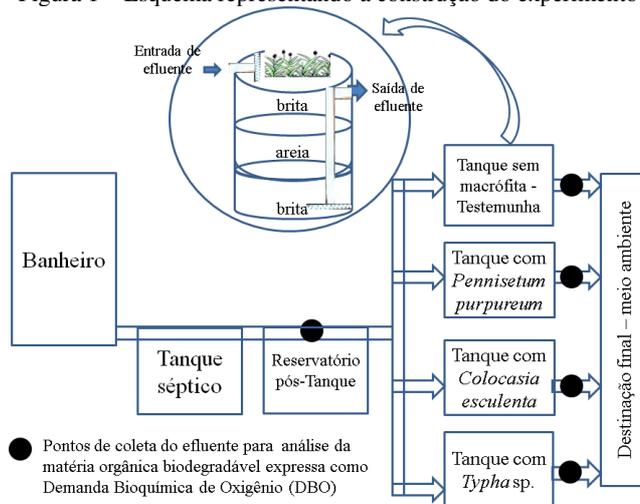
A pesquisa foi realizada de fevereiro de 2015 a dezembro de 2015, ou seja, passando por diferentes estações climáticas. Com isso foi possível avaliar a adaptação das macrófitas em diferentes temperaturas. Os procedimentos metodológicos compreenderam três etapas: a construção do experimento; o monitoramento, coletas e análises laboratoriais; e análises estatísticas.

### 2.1 Construção do experimento

O sistema utilizado foi o Sistema com Macrófitas Emergentes com Fluxo Vertical. Para a realização do estudo, foi projetado um sistema residencial experimental de tratamento de esgoto doméstico, em uma residência onde viviam quatro pessoas adultas. Foi utilizado somente efluente do banheiro, seguido de um tanque séptico, já existente. O esgoto passava pelo tanque séptico existente antes de ser direcionado aos tanques com as macrófitas. Este tanque séptico não passava por limpeza e não possuía dados operacionais antes da pesquisa.

A primeira etapa foi a construção do sistema com quatro tanques d'água com capacidade de 130 litros, nos quais foram colocadas as diferentes espécies de macrófitas. Cada tanque tinha 0,283 m<sup>2</sup>/pessoa, com tempo de retenção hidráulica de 1,89 dias. Os pontos de coleta das análises foram a saída do efluente do tanque séptico e, depois, a cada saída dos tanques de tratamento: A, B, C e sem macrófita, este último chamado de testemunha, e posterior destinação final ao meio ambiente por gravidade, conforme mostrado nas Figuras 1 e 2.

Figura 1 – Esquema representando a construção do experimento



Os tanques foram preenchidos com areia grossa e pedra britada, brita n.º 1, em três camadas. A primeira camada, de cima para baixo, era de brita (20 cm) colocada

para o efluente não ficar exposto, a segunda camada de areia (20 cm) e a terceira camada de brita (20 cm), conforme modelo elaborado por van Kaick (2002).

Foram colocadas três mudas adultas por tanque de tratamento. Na fase de adaptação, considerada nos primeiros 45 dias, as macrófitas receberam somente água potável da rede de abastecimento do município. Depois da fase de adaptação foi lançado o esgoto. As macrófitas foram escolhidas por apresentarem poucos estudos de comparação de resultados na remoção da matéria orgânica e por serem abundantes na região e no país. As macrófitas utilizadas no experimento foram: *Typha* sp., *Colocasia esculenta* e *Pennisetum purpureum*.

– *Typha* sp., que é popularmente conhecida como taboa, uma planta daninha bastante encontrada em margens de lagoas e brejos. Planta macrófita pertencente à Família

Typhaceae, apresenta folhas lineares, bainha bem desenvolvida, suporta altas temperaturas (VALENTIM, 1999).

– *Colocasia esculenta* (Inhame), da Família das Aráceas, planta angiospérmica, nativa da Ásia, atualmente presente em todo o mundo crescendo subespontaneamente. É uma espécie herbácea, perene, com um grande rizoma; apresenta folhas grandes, que podem alcançar até 150 cm de comprimento (FLORASBS, 2013).

– *Pennisetum purpureum* (capim-elefante), da Família Poaceae, planta perene, com altura de 30 a 120 cm e que foi introduzida no Brasil para fins forrageiros. Hoje considerada planta daninha, possui resistência ao frio e às secas com crescimento rápido (FLORASBS, 2013).

Figura 2 – Estação de tratamento por zona de raízes. A: Reservatório pós Tanque Séptico; B: Sistema fluxos de entrada e de saída do efluente; C: Tanques para armazenagem do esgoto com brita e areia; D: Mudanças: 30 cm



## 2.2 Monitoramento

A segunda etapa foi o período de coleta das amostras de efluentes e análise da matéria orgânica biodegradável expressa como Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO, que ocorreu a partir de maio de 2015, em que foi feita uma coleta por mês, semelhante ao estudo de van Kaick (2002). Em cada campanha foram coletadas amostras nos cinco pontos de coleta mostrados na Figura 1. A DBO foi analisada utilizando o equipamento “Aqualytic sensor system AL 606”, que é um sistema de medição respirométrica, de acordo com metodologia 5210 D do *Standard Methods* (APHA, 2005). O sistema é fechado, sem diluição, no qual as bactérias consomem o oxigênio dissolvido na amostra devidamente armazenada em uma estufa incubadora, na temperatura de 20 °C, durante cinco dias.

## 2.3 Análises estatísticas

A terceira etapa foi determinar as médias dos resultados encontrados para verificar se existem diferenças estatísticas significativas no tratamento utilizando diferentes macrófitas e, também, entre as temperaturas médias dos meses de coleta, de acordo com Ferreira (2000). As médias foram analisadas, primeiramente, pela

Análise de Variância – ANOVA, ao nível de 5% de significância, em que as hipóteses testadas foram:

H0:  $\mu_i = \mu_j$ , não há diferença significativa entre as médias das amostras pelo teste *F*;

H1:  $\mu_i \neq \mu_j$ , há diferença significativa entre as médias das amostras pelo teste *F*.

Depois da aplicação da ANOVA foi aplicado o teste de Tukey para comparar as médias, duas a duas, e, com isso, identificar quais diferem ao nível de significância de 5%. As Equações 1 e 2 permitem fazer a análise estatística. A Equação 1 é usada quando as repetições entre os tratamentos são iguais, e a Equação 2 quando as repetições diferem (FERREIRA, 2000):

$$\Delta(1,2) = q \sqrt{Q_{mr} * \frac{1}{r_{1,2}}} \quad (1)$$

$$\Delta(1,2) = q \sqrt{\frac{Q_{mr}}{2} * \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)} \quad (2)$$

Em que:  $\Delta(1,2)$  = estatística de comparação entre as médias 1 e 2;

*q* = amplitude total de *student* ao nível de 5% de significância;

*Q<sub>mr</sub>* = Quadrado Médio do Resíduo;

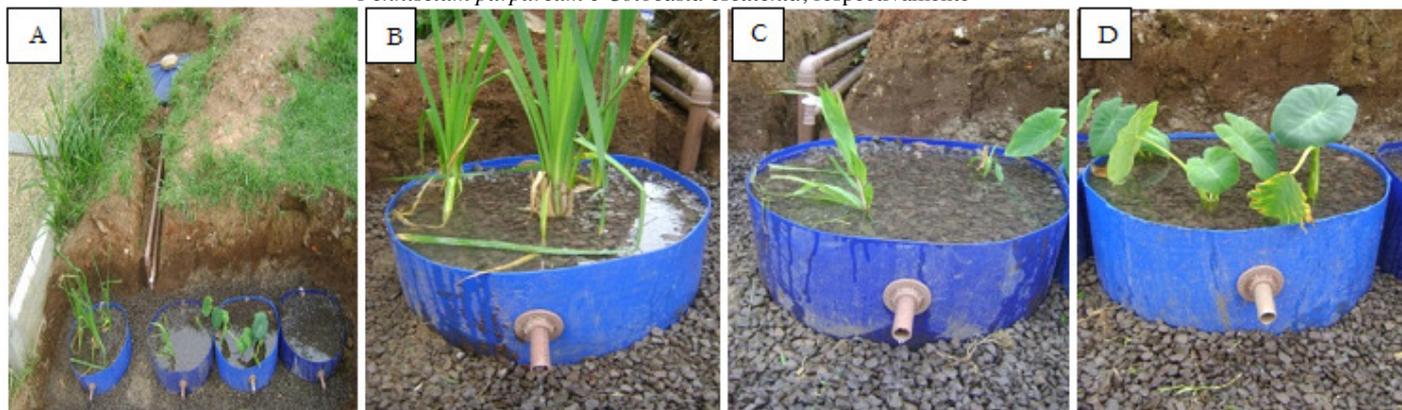
r1,2 = repetições das médias 1 e 2 quando são iguais;  
r1 e r2 = repetição da média 1 e 2, respectivamente,  
quando são diferentes.

### 3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Depois da adaptação das macrófitas, no início do período de monitoramento qualitativo, observou-se que as mudas sofreram o efeito do esgoto e do clima frio, demonstrando inibição do crescimento. Depois de três meses de

desenvolvimento houve a necessidade de troca de alguns indivíduos. Nesse período a *Colocasia esculenta* teve perda de 100% (3 mudas), a *Typha sp.* apresentou uma perda de 33% (1 muda) e *Pennisetum purpureum*, de 66% (2 mudas). Na Figura 3 é mostrada a instalação do experimento. Costa (2004) relata que as macrófitas precisam de, em torno, de 60 a 90 dias para atingir sua idade ideal.

Figura 3 – Estação de tratamento por zona de raízes. A: Estação de tratamento na fase inicial; B, C e D: Tanques com *Typha sp.*, *Pennisetum purpureum* e *Colocasia esculenta*, respectivamente



Ao todo, durante o período de onze meses do experimento, foram necessárias dez trocas de indivíduos das macrófitas. Os novos indivíduos inseridos também eram adultos e foram adaptados previamente em tanques paralelos desde o início do período experimental.

A *Colocasia esculenta* totalizou 5 trocas, a *Typha sp.* 2 e a *Pennisetum purpureum* 3. Esse resultado indica uma dificuldade maior de adaptação da macrófita *Colocasia esculenta* ao clima subtropical úmido, em que a maior parte das trocas foram no início do experimento e nas temperaturas mais frias.

As menores temperaturas ocorreram no mês de julho, chegando a  $-2^{\circ}\text{C}$ , e as maiores ocorreram no mês de maio, na época conhecida no Rio Grande do Sul como “veranico de maio”, ou pequeno verão de maio, chegando a  $32^{\circ}\text{C}$ . No período experimental foram registradas geadas moderadas nos meses de julho e agosto, inverno gaúcho.

Houve grande variação nos resultados das análises laboratoriais de DBO, conforme a Tabela 1. Algumas análises do efluente do tanque séptico encontraram valores muito elevados, acima da faixa de medição do equipamento utilizado e, devido a isso, não puderam ser determinadas. Um dos fatores para aumento da matéria orgânica foi que o tanque séptico não estava exercendo sua função, ou seja, a retenção e a digestão da matéria sólida, em função da falta de limpeza. Conforme Moraes, Santos e Forgiarini (2013), no município de Silveira Martins, 62% da população possui tanque séptico, mas 54% da população entrevistada admite não fazer a limpeza recomendada, conforme estabelecido na norma ABNT NBR 7.229:1993. O mesmo ocorre no tanque séptico utilizada neste estudo.

Tabela 1 – Valores de Demanda Bioquímica Oxigênio (DBO<sub>20,5</sub>, em mg/L) nos pontos de monitoramento

Coleta\Ponto de monitoramento	1 – Efluente do tanque séptico	2 – Tanque com <i>Typha sp.</i>	3 – Tanque com <i>Pennisetum purpureum</i>	4 – Tanque com <i>Colocasia esculenta</i>	5 – Tanque sem Macrófita – Testemunha
Coleta 1 – maio/2015	471	213	245	282	328
Coleta 2 – jun/2015	–	–	267	267	311
Coleta 3 – jul/2015	307	221	221	271	283
Coleta 4 – ago/2015	377	179	189	262	278
Coleta 5 – set/2015	472	231	263	381	403
Coleta 6 – out/2015	–	244	246	–	–
Coleta 7 – nov/2015	–	–	164	368	391
Coleta 8 – dez/2015	694	214	169	379	–
Média	464,2	217,0	220,5	315,7	332,3

– Dados não obtidos na medição de DBO devido a problemas no aparelho.

De acordo com Collaris e Sandri (2013), os tanques sépticos são os sistemas de tratamento dos esgotos

domésticos mais utilizados em todos os países, devido à sua simplicidade de construção e operação, atrelado ao

baixo custo. Porém, Borges (2009) argumenta que devido à falta de limpeza dos mesmos as condições operacionais e eficiência no tratamento é comprometida.

Segundo van Kaick (2002), quanto maior for a quantidade de matéria orgânica disponível na água, maior será a população de microrganismos decompositores, assim, maior será a necessidade de oxigênio.

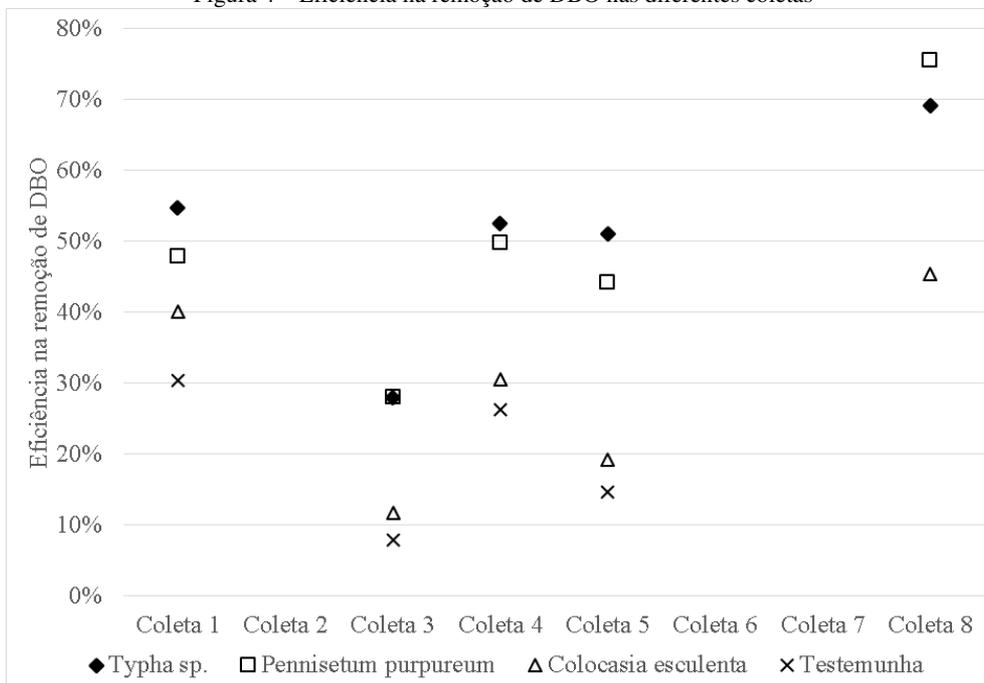
Conforme Figura 4, a eficiência na remoção DBO no tratamento de esgoto doméstico com as macrófitas testadas tiveram valores médios. Sezerino, Olijyk, Kossatz (2007) apresentam reduções que variam de 57% a 97% DBO, em cinco estações de tratamentos, utilizando zona de raízes.

O sistema estudado teve redução média para a *Typha sp.* de 53% e *Pennisetum purpureum* com 52%. Já a planta *Colocasia esculenta* apresentou uma redução de 32% e a Testemunha, de 28%. Esses resultados se justificam, pois o

tanque séptico funcionou praticamente como uma caixa de passagem, uma vez que a DBO do seu efluente era praticamente de esgoto bruto, média de 464,2 mg/L. Isso reduziu a eficiência dos *wetlands* construídos, que são um sistema de pós tratamento. Contudo, mesmo com esta limitação, foi possível obter eficiências acima de 50%, o que demonstra a importância do pós-tratamento em sistemas que usam tanques sépticos.

Os tanques sépticos operando com limpeza e manutenção adequadas podem atingir até 85% de remoção de matéria orgânica (von SPERLING, 2005). Contudo, sabe-se que a limpeza dos mesmos é pouco realizada (BORGES, 2009; COLLARIS; SANDRI, 2013), realidade de muitos casos e, também, no experimento realizado.

Figura 4 – Eficiência na remoção de DBO nas diferentes coletas



\*Coletas 2, 6 e 7 não foi possível calcular a eficiência por problemas de medição da DBO do efluente proveniente do tanque séptico.

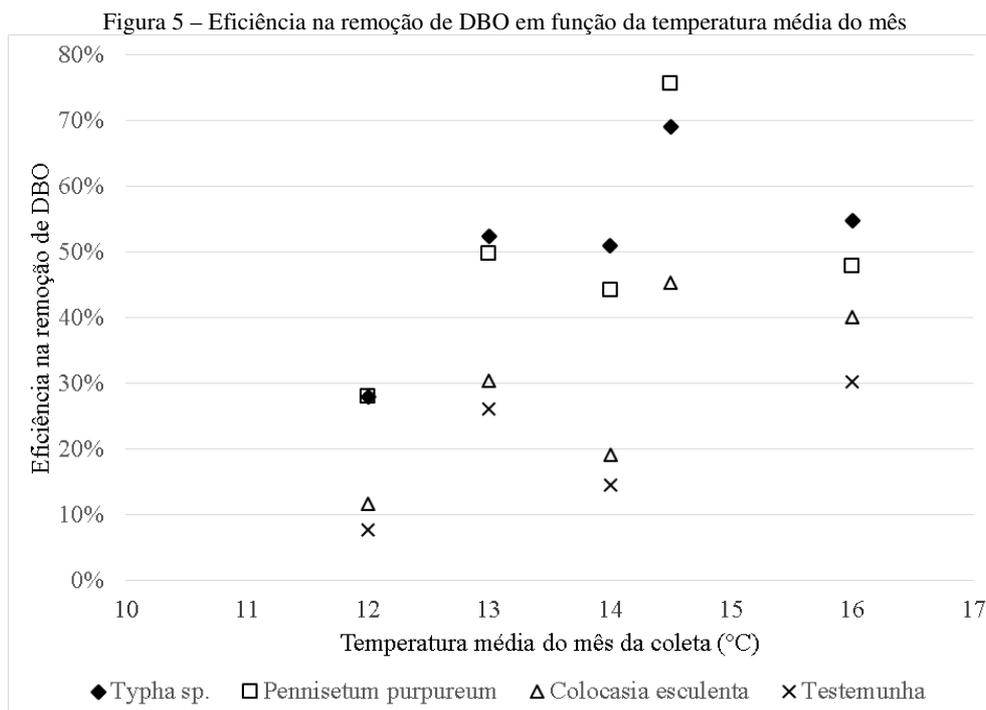
Na Figura 5 são apresentadas as temperaturas médias dos meses de coleta. Segundo Sezerino, Olijyk, Kossatz (2007), é natural que sistemas localizados em regiões com clima mais frio e, também, com maior variação de temperatura sofram maior variação nos resultados. O tratamento com *Typha sp.* mostrou-se mais eficiente que os demais, somente em um mês a *Pennisetum purpureum* a superou em eficiência.

Os menores valores de eficiência ocorreram no mês de julho (Coleta 3), período das temperaturas mais frias registradas no experimento. Sezerino (2006) indicou uma diminuição de até 20% na eficiência de um *wetland* construído nos meses mais frios. Segundo o autor a explicação se dá por dois motivos principais: (i) o metabolismo dos microrganismos é mais intenso à

temperatura elevada; (ii) a atividade metabólica geral, na rizosfera, diminui no inverno com a queda de temperatura.

Mancilla *et al.* (2013) argumentam que a flutuação na temperatura pode afetar a operação do *wetland*, desde a assimilação de nutrientes pela planta e atividade bacteriana, e ambos decrescem em baixas temperaturas.

Calijuri *et al.* (2009), Mancilla *et al.* (2013) e Rachmadi *et al.* (2016) também encontraram grandes variações na eficiência de um *wetland* construído devido, especialmente, à temperatura. Nos trabalhos citados as eficiências nos tratamentos foram reduzidas nos meses mais frios. Destaca-se o trabalho de Mancilla *et al.* (2013), em que a eficiência na remoção da matéria orgânica reduziu em até 23% quando comparado os meses de inverno e verão.



Na análise estatística trabalhou-se com os valores de DBO de cada coleta. Adotou-se essa técnica para diminuir o Quadrado Médio do Resíduo – QMR, aumentando o Grau de Liberdade – GL do próprio, pois, dessa forma, o teste de Tukey aumenta sua sensibilidade. Com isso, podem-se diferenciar os tratamentos e as temperaturas de uma maneira mais robusta.

Para as comparações das médias de DBO entre as macrófitas, ao nível de significância de 5%, o valor de  $F$  calculado foi de 4,65 e o valor de  $F$  tabelado foi de 3,03, segundo a Tabela 2. Assim,  $F$  calculado maior que  $F$  tabelado, não é aceito  $H_0$ . Portanto, há pelo menos uma média diferente das demais.

Tabela 2 – Resultados da Análise de Variância – ANOVA para as Macrófitas

Fonte Variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F
Tratamento	3	58.480,99	19.493,66	4,65
Resíduo	23	96.360,19	4.189,57	
Total	26	154.841,18		

Ao analisar a Tabela 3 e a Tabela 4 verifica-se, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, que as macrófitas *Typha sp.* e *Pennisetum purpureum* diferenciaram-se significativamente da *Colocasia esculenta* e do tanque testemunha (sem macrófita). Estes tiveram eficiências semelhantes, porém, o *wetland* com a *Colocasia esculenta* foi superior ao *wetland* sem macrófita. Atribuem-se, esses resultados, em função da dificuldade de adaptação e necessidade periódica de manutenção e troca dos indivíduos, o que prejudicou os processos físicos, químicos e biológicos de tratamento com a *Colocasia esculenta*.

Tabela 3 – Valores da estatística do teste de Tukey entre as Macrófitas

Tratamento	Média	Diferença média calculada	Teste Tukey
<i>Typha sp.</i>	$m_1=217,0$	$m_1 - m_2$ 3,5	52,00
<i>Pennisetum purpureum</i>	$m_2=220,5$	$m_1 - m_3$ 98,7	55,24
<i>Colocasia esculenta</i>	$m_3=315,7$	$m_1 - m_4$ 115,3	103,00
Testemunha	$m_4=332,3$	$m_3 - m_4$ 16,6	55,24
		$m_2 - m_4$ 111,8	52,06
		$m_2 - m_3$ 95,2	47,81

Tabela 4 – Teste de Tukey entre as Macrófitas

Macrófita	Média	Letra
<i>Typha sp.</i>	217,0	A
<i>Pennisetum purpureum</i>	220,5	A
<i>Colocasia esculenta</i>	315,7	B
Testemunha	332,3	B

Médias seguidas pela mesma letra (A, B) não apresentam resultados significativamente diferentes entre si.

Para as comparações entre temperaturas médias dos meses de coleta o valor do  $F$  calculado resultou em 4,44, ao nível de 5% de significância (Tabela 5). O valor do  $F$  tabelado resultou em 3,06, logo há, pelo mesmo, uma temperatura que influencia para a eficiência no tratamento das Macrófitas.

Tabela 5 – Resultados da Análise de Variância – ANOVA para as temperaturas médias do mês

Fonte Variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F
Tratamento	7	96.068,80	13.724,11	4,44
Resíduo	19	58.772,38	3.093,28	
Total	26	154.841,18		

Somente para a última temperatura, 12 °C, o teste de Tukey indicou diferença estatística significativa (Tabelas 6

e 7). Este resultado, de certa forma, era esperado. Na Figura 5 foi mostrada uma grande diminuição das eficiências para esta temperatura média, que ocorreu no mês de julho, inverno no Rio Grande do Sul.

Tabela 6 – Valores da estatística do teste de Tukey entre as temperaturas médias do mês

Tratamento	Média	Diferença média calculada	Teste Tukey
16,00	m <sub>1</sub> =180,00	m <sub>1</sub> -m <sub>2</sub>	17,50 50,40
15,25	m <sub>2</sub> =197,50	m <sub>1</sub> -m <sub>3</sub>	31,75 75,90
14,50	m <sub>3</sub> =211,75	m <sub>1</sub> -m <sub>4</sub>	74,25 90,33
14,00	m <sub>4</sub> =254,25	m <sub>1</sub> -m <sub>5</sub>	89,33 100,42
13,75	m <sub>5</sub> =269,33	m <sub>1</sub> -m <sub>6</sub>	113,25 121,78
13,00	m <sub>6</sub> =293,25	m <sub>1</sub> -m <sub>7</sub>	129,30 132,23
12,50	m <sub>7</sub> =309,30	m <sub>1</sub> -m <sub>8</sub>	149,50 100,20
12,00	m <sub>8</sub> =329,50	m <sub>2</sub> -m <sub>3</sub>	14,25 69,12
		m <sub>2</sub> -m <sub>4</sub>	56,75 74,36
		m <sub>2</sub> -m <sub>5</sub>	71,83 80,55
		m <sub>2</sub> -m <sub>6</sub>	95,75 101,07
		m <sub>2</sub> -m <sub>7</sub>	111,80 122,47
		m <sub>2</sub> -m <sub>8</sub>	132,00 135,44
		m <sub>3</sub> -m <sub>4</sub>	42,50 72,50
		m <sub>3</sub> -m <sub>5</sub>	57,58 69,67
		m <sub>3</sub> -m <sub>6</sub>	81,50 103,54
		m <sub>3</sub> -m <sub>7</sub>	97,55 129,67
		m <sub>3</sub> -m <sub>8</sub>	117,75 125,98
		m <sub>4</sub> -m <sub>5</sub>	15,08 24,52
		m <sub>4</sub> -m <sub>6</sub>	39,00 56,88
		m <sub>4</sub> -m <sub>7</sub>	55,05 60,60
		m <sub>4</sub> -m <sub>8</sub>	75,25 115,55
		m <sub>5</sub> -m <sub>6</sub>	23,92 34,35
		m <sub>5</sub> -m <sub>7</sub>	39,97 90,47
		m <sub>5</sub> -m <sub>8</sub>	60,17 116,57
		m <sub>6</sub> -m <sub>7</sub>	16,05 20,95
		m <sub>6</sub> -m <sub>8</sub>	36,25 49,05
		m <sub>7</sub> -m <sub>8</sub>	20,20 30,75

Tabela 7 – Teste de Tukey entre as temperaturas médias do mês

16,00	m <sub>1</sub> = 180,00	A
15,25	m <sub>2</sub> = 191,50	A
14,50	m <sub>3</sub> = 211,75	A
14,00	m <sub>4</sub> = 254,25	A
13,75	m <sub>5</sub> = 269,33	A
13,00	m <sub>6</sub> = 293,25	A
12,50	m <sub>7</sub> = 309,30	A
12,00	m <sub>8</sub> = 329,50	B

Médias seguidas pela mesma letra (A, B) não apresentam resultados significativamente diferentes entre si.

## CONCLUSÕES

A partir da implantação do tratamento descentralizado usando zona de raízes de fluxo vertical pode-se concluir que o sistema demonstrou razoável eficiência na remoção da matéria orgânica biodegradável, apresentando uma melhoria na qualidade da água. A eficiência poderia ser elevada caso o tanque séptico passasse por limpezas periódicas. Porém, procurou-se trabalhar com esta situação, realidade encontrada em diversos estudos.

O sistema de tratamento por zona de raízes com a utilização de macrófitas teve duas espécies de macrófitas (*Typha sp.*, *Pennisetum purpureum*) que se destacaram em diferença estatística significativa pelo teste de Tukey. A

*Typha sp.* apresentou melhor eficiência (53%) na remoção da DBO e demonstrou melhor adaptação às menores temperaturas que as outras macrófitas.

A *Pennisetum purpureum* também apresentou boa eficiência (52%) e resistência às temperaturas encontradas. A *Colocasia esculenta* apresentou baixa eficiência na remoção da DBO (32%) e pouca resistência ao frio.

A eficiência teve influência estatisticamente significativa da temperatura para o mês mais frio, de julho. Neste mês a eficiência máxima atingida pelos *wetlands* construídos foi muito reduzida, não passando de 30%.

## REFERÊNCIAS

- APHA – **American Public Health Association**. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21<sup>th</sup> ed. Washington: American Public Health Association, 2005. XXXVII, CA. 1000 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.229**: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.
- BORGES, N. B. **Caracterização e pré-tratamento de lodo de fossas e de tanques sépticos**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2009.
- CALIJURI, M. L.; BASTOS, R. K. X.; MAGALHÃES, T. B.; CAPELETE, B. C.; Dias, E. H. O. Tratamento de esgotos sanitários em sistemas reatores UASB/wetlands construídas de fluxo horizontal: eficiência e estabilidade de remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 421-430, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522009000300016>.
- COLARES, C. J. G.; SANDRI, D. Eficiência do tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes meios de suporte. **Ambiente & Água**, v. 8, n. 1, p. 172-185, 2013. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1047>.
- COSTA, S. P. **Avaliação do potencial de plantas nativas no Brasil no tratamento de esgoto doméstico e efluentes industriais em “Wetlands” construídos**. 119 p. Tese (Doutorado em Sistemas de Processos Químicos e Informática), Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, SP, 2004.
- FERREIRA, P. V. **Estatística Experimental Aplicada a Agronomia**. 3<sup>a</sup> ed., Maceió: EDUFAL, 2000, 386 p.
- FLORASBS – Flora de São Bento do Sul. **Projeto de divulgação da flora nativa e exótica de São Bento do Sul**. Santa Catarina, 2013. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/florasbs/poaceae/capim-elefante>>. Acesso em: 20 fev. 2013.
- IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. IBGE Cidades. Santa Maria, 2012. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codm\\_un=432065](http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codm_un=432065)>. Acesso em: 28 nov. 2012.

- ITAQUI, J. **Quarta Colônia: inventários técnicos flora e fauna**. Santa Maria: CONDESUS Quarta Colônia, 2002, 256 p.
- LEMES, J. L. V. B.; SCHIRMER, W. N.; CALDEIRA, M. V. W.; KAICKD, T. V.; ABELE, O.; BÁRBARA, R. R. Tratamento de esgoto por meio de zona de raízes em comunidade rural. **Revista Acadêmica Ciência Agrária Ambiental**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 169-179, abr./jun., 2008.
- MANCILLA, R.; ZÚÑIGA, J.; SALGADO, E.; SCHIAPPACASSE, M.; CHAMY, R. Constructed wetlands for domestic wastewater treatment in a Mediterranean climate region in Chile. **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 16, n. 4, 2013. <https://doi.org/10.2225/vol16-issue4-fulltext-5>.
- MARTINETTI, T. H.; TEIXEIRA, B. A. N.; IOSHIAQUI, S. Pesquisa ação participativa para execução de sistema de tratamento local de efluentes sanitários residenciais sustentáveis: caso assentamento rural Sepé-Tiaraju. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p. 43-55, jul./set., 2009.
- MORAES, L. D. M.; SANTOS T. P.; FORGIARINI, F. R. Bactérias de origem fecal: análise espacial e sugestões para a melhoria da saúde pública. *In*: 11º. Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa. Maputo, Moçambique, 2013.
- PERES, L. J. S.; HUSSAR, G. J.; BELI, E. Eficiência do tratamento de esgoto doméstico de comunidades rurais por meio de fossas sépticas biodigestora. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 1, p. 20-36, jan./mar., 2010.
- RACHMADI, A. T.; KITAJIMA, M.; PEPPER, I. L.; GERBA, C. P. Enteric and indicator virus removal by surface flow wetlands. **Science of the Total Environment**, 15 January 2016, v.542, p. 976-982, 2016.
- SCHIRMER, W. N. Tratamento de esgoto por zona de raízes em comunidade rural-parte 2: avaliação. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias Ambientais**, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 165-173, abr./jun., 2009.
- SEZERINO, P. H. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (constructed wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical**. Tese (Doutorado), Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- SEZERINO, P. H.; OLIJYK, D. P.; KOSSATZ, B. **Eficácia dos tratamentos de esgoto doméstico e de água para o consumo humano utilizando Wetlands considerando períodos diferentes de instalação e de diferentes substratos e plantas utilizadas**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2007.
- SILVA, S. C. **Wetlands construídos de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgoto doméstico**. 205 p. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007.
- VALENTIM, M. A. A. **Uso de leitos cultivados no tratamento de efluentes de tanque séptico modificado**. 120 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola na Área de Concentração Água e Solo), Faculdade de Engenharia Agrícola, Departamento de Água e Solo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1999.
- van KAICK, T. S. **Estação de tratamento de esgoto por meio de zona de raízes: uma proposta de tecnologia apropriada para saneamento básico no litoral do Paraná**. 116 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia), Área de concentração: inovação tecnológica, Programa de Pós-graduação em Tecnologia, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, PR, 2002.
- von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. v. 1, 3ª. ed., DESA, Editora da UFMG, 2005.
- ZANELLA, L. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: wetlands – construídos utilizando brita e bambu como suporte**. 189 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2008.