



**ISABELLY LEITE DE SOUZA**

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DO NÍVEL DE ESGOTO NO  
DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR EM  
SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS DO TIPO  
BIO-RACK**

**LAVRAS-MG**

**2022**

**ISABELLY LEITE DE SOUZA**

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DO NÍVEL DE ESGOTO NO DESENVOLVIMENTO DO  
SISTEMA RADICULAR EM SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS DO TIPO  
BIO-RACK**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Mateus Pimentel de Matos  
Orientador

**LAVRAS-MG**

**2022**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha mãe, Jesiane, que nunca mediu esforços para que eu realizasse meus sonhos e pudesse me dedicar aos estudos, obrigada por todo amor, confiança e apoio.

Às minhas irmãs, Lara, Grazielly e Wanessa, por serem minhas âncoras e minha força nessa jornada.

À Universidade Federal de Lavras pela infraestrutura e pela oportunidade de crescimento profissional.

Ao meu orientador, Professor Mateus Pimentel de Matos, por todo apoio e dedicação na condução deste trabalho, pela oportunidade de aprendizagem e exemplo profissional.

Aos técnicos da ETE-UFLA, Tobias, Aroldo e Aline por todo suporte na condução do experimento. Agradeço à Débora por todo auxílio nas medições em campo.

Às minhas companheiras de casa, Larissa, Luísa, Lays e Giovanna pelo companheirismo, apoio e bons momentos compartilhados. Aos meus amigos da graduação, Jean, Alex e Isabella pela parceria, amizade e por toda ajuda.

Por fim, agradeço a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para minha evolução pessoal e profissional.

## RESUMO

O capim-vetiver é uma espécie promissora para utilização em Sistemas Alagados Construídos (SACs) em razão do seu rápido desenvolvimento e grande capacidade de extração de poluentes. No entanto, frequentemente as raízes não alcançam o potencial relatado para a espécie vegetal, o que poderia ser alcançado com a variação do nível de água e nutrientes no meio, permitindo construir SACs mais profundos e com menor demanda de área. Assim, o presente trabalho objetivou avaliar o estímulo ao crescimento vertical do capim-vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) cultivado em quatro sistemas alagados construídos do tipo biorack (SACs-BR) em escala piloto, submetidos a diferentes níveis de efluente nos reatores durante a fase de aclimação. Os SACs-BR foram confeccionados com uso de 4 bombonas com volume de 100 litros, 0,65 m de altura, 0,45 m de diâmetro, em cada bombona foram colocados 12 tubos perfurados de PVC de 0,6 m de altura e 100 mm de diâmetro. O sistema recebeu semanalmente esgoto proveniente do sistema de tratamento preliminar da ETE-UFLA, tendo alimentação em batelada, com ciclos semanais de enchimento e troca de esgoto a cada sete dias. Os quatro SACs foram submetidos a 4 fases de aclimação, nas quais variou-se gradativamente a lâmina de esgoto (50, 40, 35 e 30 cm) em algumas unidades, enquanto que outras o nível foi mantido constante em determinados períodos. Com base nos resultados, concluiu-se que O SAC 1, que permaneceu todo o tempo com altura de esgoto de 50 cm, foi a unidade de tratamento que apresentou maior crescimento da parte aérea e melhor aspecto visual, porém obteve a menor crescimento vertical das raízes, possivelmente devido à lâmina constante de esgoto. Já o SAC 4, unidade em que houve o maior rebaixamento do nível do efluente (até 30 cm) resultou em maiores profundidades do sistema radicular.

**Palavras-chave:** Wetlands construídos, tratamento de águas residuárias, soluções descentralizadas, capim-vetiver, *Chrysopogon zizanioides*.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>6</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>8</b>
2.1. Objetivo geral.....	8
2.2. Objetivos específicos.....	8
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>9</b>
3.1. Área de estudo.....	9
3.2. Montagem dos SACs.....	10
3.3. Condições Operacionais.....	11
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>15</b>
4.1. Caracterização do esgoto bruto.....	15
4.2. Avaliação do crescimento radicular vertical.....	17
4.3. Avaliação do crescimento da parte aérea do capim-vetiver.....	20
4.4. Avaliação da densidade de raízes e biomassa vegetal gerada.....	31
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>34</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>35</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Dados de 2019 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (BRASIL, 2019) apontam que 46,2% da população brasileira não tem acesso à coleta e tratamento de esgoto, e apenas 49,1% dos efluentes gerados são tratados. Esse cenário ocasiona em prejuízos ambientais, econômicos e sociais, como à saúde pública. Sabe-se, ainda, que a distribuição dos serviços de saneamento não é homogênea no país, havendo disparidades regionais e sociais, sendo possível observar menores índices de atendimento em municípios de pequeno porte e na zona rural, onde há menor disponibilidade de recursos financeiros (ANA, 2017).

De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD (BRASIL, 2015) 58,0% da população urbana possui acesso a serviços de saneamento, enquanto que apenas 22,0% da população rural é atendida com esgotamento sanitário. Desta porcentagem, somente 5,1% dos domicílios rurais estão ligados à rede de coleta de esgotos, havendo, portanto, grande número de soluções individuais de saneamento (BRASIL, 2015).

Se essa condição, por um lado, reduz os custos aos moradores, por outro, diminui o controle sobre o efluente, podendo resultar na poluição difusa dos cursos d'água e do solo. Dado este contexto, a apresentação de alternativas descentralizadas de tratamento de efluentes se fazem necessárias, pois além de terem baixos custos e facilidade operacional relativamente, possibilitam o tratamento do esgoto e evitam a contaminação do lençol freático e dos solos (TONETTI et al., 2018).

Sistemas Alagados Construídos (SACs) ou *wetlands* construídos são unidades de tratamento que, através da reprodução controlada das condições de áreas alagadas naturais, possibilita a depuração das águas residuárias em um ambiente controlado (MATOS; ABRAHÃO; PEREIRA, 2012). Os SACs aliam diversas vantagens como elevadas eficiências de remoção de poluentes, simplicidade e baixos custos de operação e manutenção, harmonia paisagística e geração de massa verde (VYMAZAL, 2005; CASELLES-OSORIO et al., 2007; KADLEC; WALLACE, 2009; FIA et al., 2011; MATOS et al., 2012). Porém, como toda unidade de tratamento também apresenta desvantagens, como problemas operacionais (destaque para a colmatção), dependência de fatores ambientais e

principalmente o grande requerimento de área para sua instalação (VALIPOUR et al., 2009).

Visando reduzir a demanda de espaço físico dos SACs, foi desenvolvida uma nova configuração, os sistemas alagados construídos do tipo biorack (SAC-BR). Esses se caracterizam pela presença de tubos perfurados, dispostos na vertical, nos quais se desenvolve o sistema radicular as plantas e o crescimento microbiano (VALIPOUR et al., 2009). Com essa concepção, dispensa-se a necessidade de uma etapa de tratamento biológico anterior e de meio suporte, além de ser mais compacto (JAMSHIDI et al., 2014; MARCHAND et al., 2014; SHATE; MANAVALLI, 2019). Conseqüentemente, apresentam-se como unidades promissoras para atender as comunidades isoladas e oferecer um tratamento descentralizado eficiente e seguro (SATHE; MUNAVALLI, 2019; VALIPOUR; RAMAN; GHOLE, 2009).

Sabe-se que em SACs, tanto as configurações tradicionais quanto nos SACs-BR, as espécies vegetais possuem grande importância na depuração de águas residuárias, atuam na absorção de nutrientes, inserção de oxigênio no sistema, remoção física de compostos, além de influenciar na comunidade microbiana (KADLEC; WALLACE, 2009; TAYLOR et al., 2011). Assim, a escolha da planta, bem como a adoção de estratégias operacionais que favoreçam o desenvolvimento vegetal, é fundamental para que o sistema seja o mais eficiente possível.

Em razão da grande capacidade extratora, adaptabilidade, elevado crescimento radicular (de 3 a 5 m de profundidade) e boas eficiências, o capim-vetiver tem sido muito avaliado (TRUONG et al., 2008; TEIXEIRA et al., 2018). No entanto, dada as condições saturadas e com grande concentração de nutrientes em SACs, as raízes do capim-vetiver frequentemente não alcançam comprimentos próximos aos relatados em outros ambientes, conforme notado por Ramos et al. (2017). Com maiores profundidades de alcance radicular, seria possível construir unidades com maiores alturas e com menor demanda de área.

Sabe-se que no solo, o nível da água e dos nutrientes pode influenciar na profundidade das raízes (ROSSI et al., 2015). Baseando-se nessa hipótese, Azara (2021) avaliou o efeito do rebaixamento do nível em SACs de escoamento horizontal subsuperficial (SACs-EHSS) na fase de aclimatação do capim-vetiver cultivado. Apesar da autora não ter verificado efeito no desempenho dos SACs e na

profundidade de raiz ao final do experimento (quando as unidades estavam em condições semelhantes), análises visuais permitiram observar que unidades submetidas a menores lâminas apresentavam maior alcance de raízes durante período de aclimação, ainda que fosse uma condição transitória. Dessa forma, requer-se que seja feito um acompanhamento para visualizar a dinâmica do crescimento radicular à medida que as espécies vegetais.

Com esse intuito, foram realizadas avaliações no desenvolvimento vegetal (altura da parte aérea e crescimento radicular) em SACs-BR instalados na Estação de Tratamento de Esgotos da Universidade Federal de Lavras (ETE-UFLA), variando o nível do esgoto em unidades plantadas com capim-vetiver no período de aclimação.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Avaliar o estímulo ao crescimento vertical do capim-vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) cultivado em quatro sistemas alagados construídos do tipo biorack (SACs-BR) em escala piloto, submetidos a diferentes níveis de efluente nos reatores durante a fase de aclimação.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Avaliar a altura da parte aérea do capim-vetiver em distintos tempos (semanalmente) e lâminas de esgotos durante o período de aclimação;
- Avaliar a biomassa produzida ao final do período de aclimação;
- Relacionar as características do esgoto de entrada com o crescimento radicular e aéreo da planta, comparando com o desenvolvimento do capim-vetiver cultivado no solo e em outros sistemas alagados construídos;
- Avaliar o efeito do nível de efluente no desenvolvimento do sistema radicular do capim-vetiver.

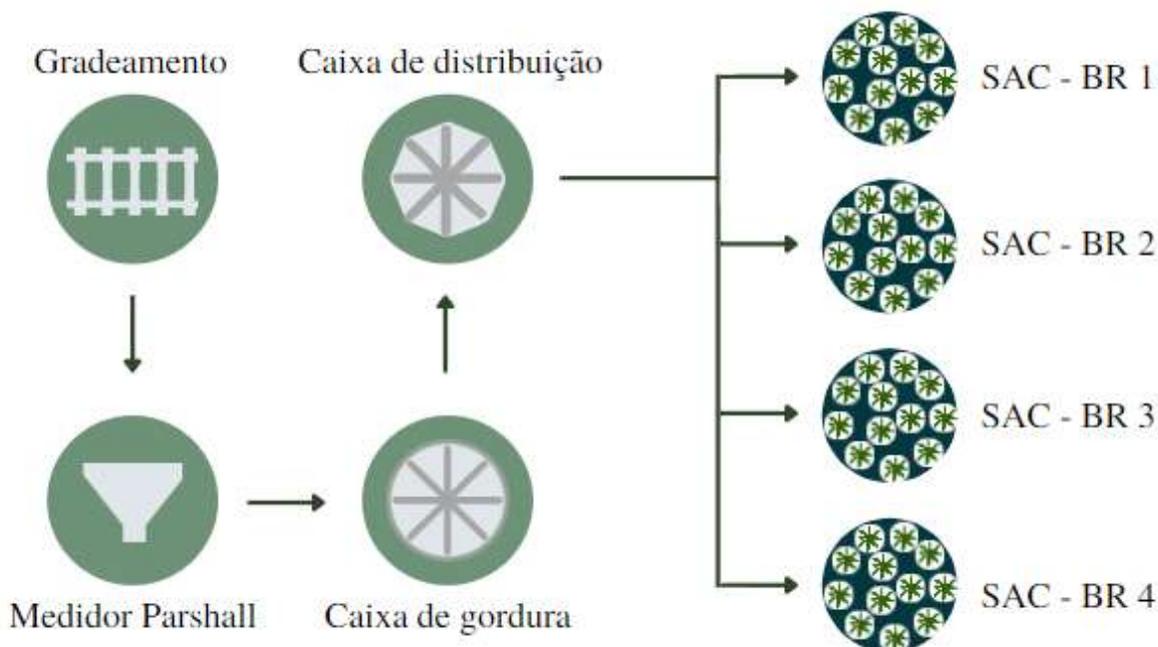
### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Área de estudo

O experimento foi conduzido na Estação de Tratamento de Esgoto da Universidade Federal de Lavras (ETE-UFLA), localizada no município de Lavras, Minas Gerais, com as coordenadas 21°14'S e 44°98'W. A ETE-UFLA recebe e trata o esgoto proveniente de sanitários, refeitórios, laboratórios, hospital veterinário e universitário, além de outras instalações do campus. O esgoto chega a ETE-UFLA por duas elevatórias, denominadas “Goiaba” e “Veterinária”, e passa pelas etapas de gradeamento, medição de vazão (medidor Parshall), caixa de gordura e tanque de passagem, reatores UASB, filtros biológicos aerados submersos (FBAS), filtros de areia e cloração.

O esgoto utilizado para alimentação dos sistemas alagados construídos do tipo Bio-Rack (SACs-BR), nomeados 1, 2, 3 e 4, é proveniente do tratamento preliminar da referida ETE, sendo bombeado do reservatório de distribuição da ETE conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1 - Esquema representativo da unidade experimental na ETE-UFLA.



Fonte: Do Autor (2022).

### 3.2. Montagem dos SACs

Os SACs-BR foram confeccionados com uso de 4 bombonas com volume de 100 litros, 0,65 m de altura, diâmetro de 0,45 m e área superficial de 0,16 m<sup>2</sup>, de forma semelhante à utilizada por Soares (2021). Em cada bombona foram colocados 12 tubos de PVC de 0,6 m de altura e 100 mm de diâmetro. Os tubos foram perfurados com orifícios de 20 mm e espaçamento de 10 cm entre um orifício e outro, ocupando toda a superfície do tubo com cerca de 20 furos em cada um (Figura 2-a), de forma a permitir o escoamento alternado entre movimentos verticais e horizontais (JAMSHIDI et al., 2014). Para o suporte do sistema radicular das plantas, foram utilizadas redes plásticas de 1 kg de capacidade na parte superior dos tubos e foram fixadas com elásticos de látex (Figura 2-b).

Figura 2. Tubos perfurados para montagem dos SACs-BR (a) e bombonas preenchidas com tubos e redes fixadas (b).



Fonte: Do Autor (2022).

A espécie vegetal escolhida foi a *Chrysopogon zizanioides*, popularmente chamada de capim-vetiver, devido ao seu elevado potencial de crescimento da raiz (TROUNG et al., 2018), característica primordial na avaliação da influência do nível

do esgoto no crescimento radicular. Uma muda do capim foi plantada em cada tubo, com a finalidade de poder observar o crescimento da raiz sem a interferência de outra, obtendo-se a densidade de 12 mudas por m<sup>2</sup>, inferior ao utilizado por Soares (2021), que inseriu 2 mudas por tubo em SACs-BR. Essa condição pode ter resultado em menores produtividades do capim-vetiver, segundo a autora. Assim sendo, de forma a não prejudicar o desenvolvimento radicular, empregou-se um indivíduo por tubo.

Após a inserção dos tubos nas bombonas, pesou-se o conjunto bombonas + tubos + plantas para servir como referencial para avaliação da biomassa produzida ao final do experimento (nova pesagem foi feita ao final do experimento). Inicialmente, para adaptação da espécie, as raízes foram imersas em água por um período de 7 dias, após esse tempo, as mudas foram plantadas e alimentadas com esgoto após tratamento preliminar. Assim, as unidades funcionaram como etapa secundária do tratamento de esgoto de alternativas descentralizadas, semelhante ao propósito no qual o SAC-BR foi idealizado. A pesquisa visa avaliar o emprego das unidades como única etapa de tratamento biológico de sistemas unifamiliares ou de pequenas comunidades (MARCHAND et al., 2014; SOARES, 2021).

### **3.3. Condições Operacionais**

Os SACs-BR (Figura 3-a) receberam semanalmente esgoto proveniente do sistema de tratamento preliminar da ETE-UFLA, tendo alimentação em batelada, com ciclos semanais de enchimento e troca de esgoto a cada sete dias. Utilizou-se a bomba do reservatório da ETE para encher os quatro SACs-BR até a altura desejada, acoplando uma mangueira de nível à tubulação de saída para que o princípio dos vasos comunicantes fosse aplicado segundo a Lei de Stevin. Um registro foi inserido a 5 cm do fundo das bombonas com a finalidade de realizar ao final de cada semana, fosse feita a remoção do esgoto “antigo” e substituição por uma nova batelada (Figura 3-b).

Figura 3. Conjunto SACs-BR (a) e retirada do esgoto pelo registro de saída (b).



Fonte: Do Autor (2022).

No período de aclimação do capim, as condições operacionais variaram conforme descrito na Tabela 1. Inicialmente, os SACs-BR foram mantidos com a mesma lâmina de esgoto no período de 23/03 a 06/04/2022 (durante 14 dias) para que as mudas se adaptassem a altura inicial de 50 cm. Nas fases seguintes, o SAC-BR 1 permaneceu com a altura inicial de 50 cm, enquanto as bombonas 2, 3 e 4 se diferenciaram em relação à altura da lâmina do líquido, para que fosse avaliada a influência do nível do esgoto no crescimento radicular do capim (Tabela 1).

Na segunda fase do período de aclimação, que ocorreu entre 06/04 a 13/04/2022 (dia 15 a 21), os SACs-BR 2, 3 e 4 tiveram a lâmina reduzida para 40 cm. Já na terceira fase, datada entre 13/04 e 20/04/2022 (dia 22 a 28), os SACs-BR 1 e 2 permaneceram com a lâmina de 50 e 40 cm, respectivamente, enquanto nos SACs-BR 3 e 4 o nível d'água foi reduzido para 35 cm. Na quarta e última fase, de 20/04 a 27/04/2022 (dia 29 a 35), os SACs-BR 1, 2 e 3 permaneceram, respectivamente, com as lâminas de 50, 40 e 35 cm, já o SAC-BR 4 teve o nível de esgoto reduzido para 30 cm.

Durante a realização do experimento, com base em observações em campo, notou-se que o rebaixamento de nível de 10 cm deveria ser reduzido para 5 cm, uma vez que a velocidade de desenvolvimento radicular não era a mesma que a de

rebaixamento da lâmina de esgoto. Com essa alteração, permitiu-se assim que o crescimento radicular fosse correspondente ao período de sete dias entre uma fase e outra do período de aclimação.

Os procedimentos e etapas descritos tiveram o intuito de possibilitar a observação e o registro do comportamento do desenvolvimento do sistema radicular do capim-vetiver diante das variações de nível e estresse provocado.

Tabela 1. Condições de operação dos SACs-BR durante o experimento.

Período (dias)	Fases da aclimação	Altura da lâmina do efluente em relação ao fundo do SAC (m)			
		SAC-BR 1	SAC-BR 2	SAC-BR 3	SAC-BR 4
<b>0 a 14</b>	Fase 1 da aclimação	0,50	0,50	0,50	0,50
<b>15 a 21</b>	Fase 2 da aclimação	0,50	0,40	0,40	0,40
<b>22 a 28</b>	Fase 3 da aclimação	0,50	0,40	0,35	0,35
<b>29 a 35</b>	Fase 4 da aclimação	0,50	0,40	0,35	0,30

Fonte: Do Autor (2022)

No início da fase 1 de aclimação, foram coletadas amostras do esgoto na entrada dos SACs, objetivando-se relacionar as características do esgoto e as variáveis fitotécnicas estudadas (crescimento aéreo e radicular do capim, além da biomassa vegetal). As amostras foram analisadas no Laboratório de Águas Residuárias e Reúso de Água do Departamento de Engenharia Ambiental da UFLA (DAM/UFLA). As análises realizadas foram: potencial hidrogeniônico (pH); condutividade elétrica (CE), Sólidos totais (ST), fixos (SF) e voláteis (SV), demanda química de oxigênio (DQO); fósforo total (PT) e nitrogênio total Kjeldahl (NTK), conforme estabelecido no *Standard Methods* – 20ª edição (APHA et al., 2012), utilizando os métodos:

- pH - método potenciométrico com medidor MS Tecnopon (mPA210);
- CE - condutivímetro de bancada da marca AZ, modelo 8650;
- ST, SF e SV - gravimetria, estufa de secagem (105°C) e mufla (550°C);
- DQO - refluxo fechado titulométrico;
- PT - método do ácido ascórbico com leitura em espectrofotômetro;
- NTK - método micro-Kjeldahl.

As medições do desenvolvimento do capim ocorreram a cada 7 dias, havendo mensurações da parte aérea e da extensão radicular de cada planta utilizando uma trena, totalizando 48 medições semanais, 12 em cada SAC-BR (Figura 4-a). A altura da parte área vegetal do capim foi medida utilizando a folha com maior crescimento como referência, enquanto o crescimento das raízes foi aferido considerando a raiz com maior profundidade. Para essa última análise, as plantas eram cuidadosamente removidas das redes de cada tubo, medidas com a trena, sendo novamente inseridas após medição. O aspecto visual da planta foi avaliado com o registro de imagens durante 3 vezes na semana, com intuito de investigar possíveis efeitos perceptíveis do estresse causado pelo rebaixamento do nível de esgoto.

Ao final do experimento, o esgoto foi retirado das bombonas e realizou-se a pesagem do conjunto bombonas + tubos + plantas com o objetivo de mensurar a biomassa produzida durante a pesquisa realizada. Para calcular essa biomassa, subtraiu-se o peso encontrado ao final do experimento da pesagem realizada no início do experimento (Figura 4-b).

Já para avaliação do volume de raízes por unidade, retirou-se as raízes de cada tubo e inseriu-se em provetas graduadas contendo água, verificando o volume deslocado após inserção da parte vegetal. O volume radicular considerado dos SACs-BR foi a média de cada medição feita.

Figura 4. Medição do capim (a) e pesagem da instrumentação (b).



Fonte: Do Autor (2022).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Caracterização do esgoto bruto

Após a coleta a análise das amostras, obtiveram-se os valores contidos na Tabela 2. Os valores encontrados estão de acordo com a faixa prevista para esgotos brutos por diferentes autores.

Tabela 2. Características do esgoto bruto que alimentou os SACs-BR, coleta feita no dia 23 de março.

Variáveis	Unidade	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média
<b>pH</b>		7,7	7,6	7,6	7,6
<b>CE</b>	$\mu\text{S cm}^{-1}$	905,0	904,0	902,0	903,7
<b>ST</b>	$\text{mg L}^{-1}$	350,0	375,0	395,0	373,3
<b>SF</b>	$\text{mg L}^{-1}$	160,0	185,0	195,0	180,0
<b>SV</b>	$\text{mg L}^{-1}$	190,0	190,0	200,0	193,3
<b>NTK</b>	$\text{mg L}^{-1}$	112,0	84,0	56,0	84,0
<b>PT</b>	$\text{mg L}^{-1}$	9,7	9,8	9,4	9,6
<b>DQO</b>	$\text{mg L}^{-1}$	548,0	548,0	548,0	548,0

Fonte: Do Autor (2022).

De acordo com Matos et al. (2017), os intervalos típicos encontrados em amostras de esgoto sanitário para Fósforo Total e para Nitrogênio Total são, respectivamente, 4 – 12  $\text{mg L}^{-1}$  e 20 – 90  $\text{mg L}^{-1}$ , sendo os valores encontrados na ETE-UFLA (9,6 e 84  $\text{mg L}^{-1}$ ) condizentes com a literatura. Os autores também apresentaram a faixa de valores da Condutividade Elétrica (CE) com base em um compilado de vários trabalhos, sendo essa de 480 – 3600  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , intervalo no qual se encontra a CE medida no esgoto da ETE-UFLA.

Essa condição também pode ser encontrada para outras variáveis, estando os valores de DQO dentro da faixa reportado por diversos autores (450 – 800 mg L<sup>-1</sup> - VON SPERLING, 2017), pH (6,7 — 8,0 - VON SPERLING, 2017). Sólidos Totais (370 – 1160 mg L<sup>-1</sup> – JORDÃO; PESSOA, 2011), Sólidos Fixos (145 – 500 mg L<sup>-1</sup> – JORDÃO; PESSOA, 2011) e Sólidos Voláteis (105 – 300 mg L<sup>-1</sup> - JORDÃO; PESSOA, 2011). Assim, com base na Tabela 2 e nos valores encontrados na literatura, observa-se que o esgoto apresenta características típicas, sendo compatíveis com valores presentes na literatura.

No entanto, ressalta-se que o esgoto da ETE-UFLA nem sempre apresenta tais características, podendo fugir dos valores de esgotos sanitários típicos em razão da variação do número de contribuintes e da diversidade de contribuições de uma instituição de ensino. Soares (2021), por exemplo, verificou que há diferenças da composição da água residuária entre períodos de aula, de recesso escolar e o período durante a pandemia do COVID-19, o que por vezes causa o afastamento das características do esgoto doméstico. Em dias sem aula (recesso escolar), há possível menor utilização de sanitários e redução da demanda do restaurante universitário, sem, no entanto, haver interrupção da realização das pesquisas e do uso de laboratórios, implicando na geração de esgoto menos orgânico biodegradável. Ressalta-se que o trabalho foi conduzido durante o retorno presencial das aulas no campus universitário.

A taxa de aplicação superficial foi calculada considerando a concentração de cada nutriente, o volume útil de cada SAC como 90 L, área superficial de 0,16 m<sup>2</sup> e TDH de 7 dias, o que seria equivalente a uma vazão média de alimentação contínua de 12,86 L d<sup>-1</sup>. Com base nessas condições e características do esgoto afluente, a taxa de aplicação de nitrogênio foi de 674,99 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> e de fósforo de 77,14 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>. Soares (2021) obteve valores aplicados de carga de nitrogênio e fósforo de 170-1300 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> e 25-190 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, respectivamente, na fase 1 de 4 SACs-BR, que tiveram distintos TDHs (6, 12, 24 e 48 h). Dessa forma, os valores utilizados no presente trabalho estiveram dentro da faixa empregada pela autora.

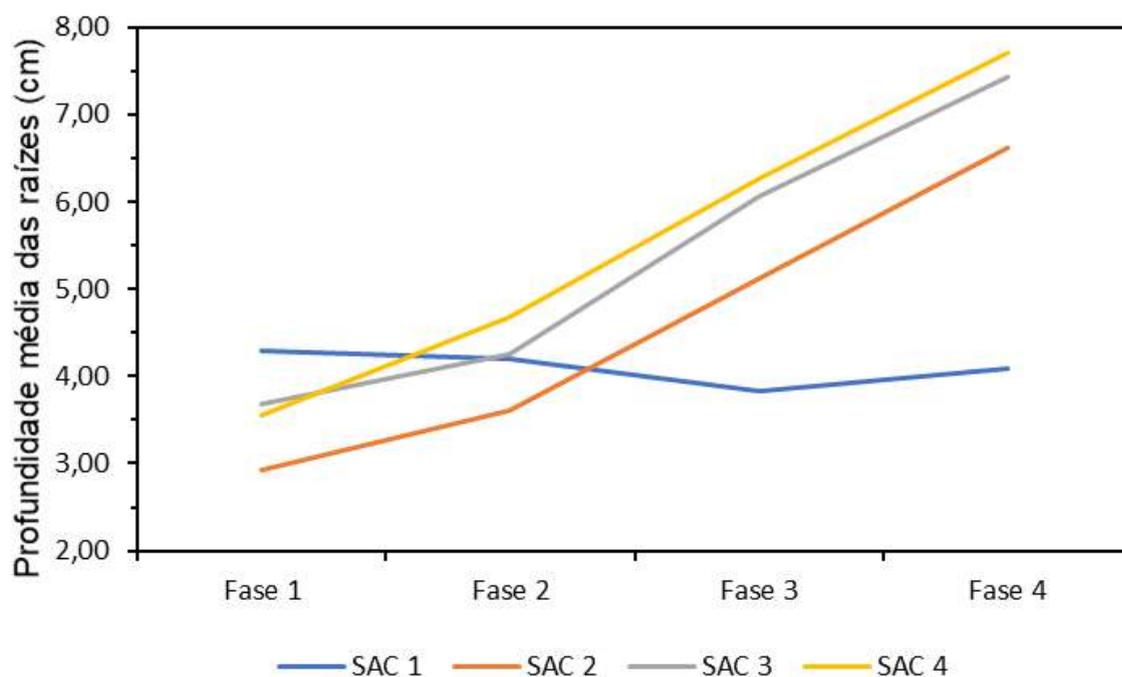
Um dos principais contribuições da planta em SACs é de proporcionar a extração de poluentes, sendo que as espécies vegetais utilizam nutrientes presentes na água residuária para o seu desenvolvimento. Azara (2021) encontrou que o capim-vetiver utilizado em SACs-EHSS, após fase de aclimatação com variação de

nível, possui capacidade de extração de 643 e 741 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> de N e de 174 a 200 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> de P. De acordo com os valores obtidos por Azara (2021), verifica-se que a quantidade de P estaria aquém da capacidade da cultura poderia extrair, o que proporcionaria elevadas eficiências de remoção do macronutriente e/ou limitação ao crescimento da cultura cultivada. Isso pelo fator de que se sabe que maiores cargas aplicadas, até certo limite, pode resultar em maior produtividade da cultura (GARCIA et al., 2015). Por outro lado, deve-se ressaltar que a autora utilizou efluente após tratamento biológico, quando o fósforo passa a estar mais disponível para absorção. Mais discussões acerca do efeito da carga de nutrientes aportada poderão ser feitas após apresentação de dados de desenvolvimento da cultura, que estão inseridas a seguir.

#### 4.2. Avaliação do crescimento radicular vertical

Com base em medições semanais da profundidade das raízes em cada um dos 12 tubos de cada SAC-BR, foi calculada a profundidade média das raízes dos SACs-BR nas 4 fases de aclimação do capim-vetiver (Figura 5).

Figura 5. Profundidade radicular do capim-vetiver nas fases de aclimação.



Fonte: Do Autor (2022).

Com base no gráfico apresentado é possível observar que no SAC-BR 1 houve um decréscimo da profundidade alcançada pelas raízes nas três primeiras fases, fato que pode ser explicado devido ao nível do esgoto ter se mantido o mesmo, sem rebaixamento, não havendo estímulo para que a raiz se aprofunde. Notou-se em campo que as raízes estavam se espalhando horizontalmente no SAC-BR 1, diferentemente dos outros SACs, onde o crescimento era, em maior parte, vertical. Juntamente a isso, pode-se levantar a hipótese de que o período de adaptação foi curto, fazendo com que as raízes ainda estejam se estabilizando como pode ser observado na fase 4.

Ramos et al. (2017) e Morais (2019) notaram que devido a abundante disponibilidade de água e nutrientes em sistemas alimentados continuamente por efluentes, as raízes do capim-vetiver alcançam profundidades de 20 a 60 cm e geralmente não chegavam até o fundo dos reatores. Moura (2013), por outro lado, analisou o comportamento do capim-vetiver em Neossolo Flúvico, sendo que o sistema radicular foi mais expressivo nos primeiros 20 cm, porém se desenvolveu verticalmente até 60 cm. Essa é uma resposta da planta para enfrentar problemas com menor disponibilidade de água e nutrientes, havendo maior desenvolvimento em profundidade para enfrentar o veranico (DEFLOR, 2006).

De acordo com Santos e Carlesso (1998), plantas submetidas a condições de déficit hídrico gradual e no início do seu ciclo, como é o caso da fase de aclimação da operação de SACs, tende a ter maior resistência à ocorrência de estresse para a planta. Dessa forma, as plantas cultivadas no SAC 1 poderiam apresentar menor tolerância para quaisquer choques de cargas e flutuações na alimentação dos reatores. Rosolem e Marcello (1998), por sua vez, verificaram que menor disponibilidade de nutrientes induziu maior crescimento radicular da soja.

Girardello (2015) utilizou o capim-vetiver hidropônico para remoção de nutrientes em uma lagoa facultativa e constatou que o crescimento radicular se estabilizou em 20 cm, mesmo após 90 dias de inserção do sistema. Conforme citado anteriormente, apesar das raízes desta espécie poderem atingir de 3 a 5 m de profundidade, nota-se que em sistemas onde as raízes ficam expostas a um constante nível de efluente, o crescimento vertical radicular tende a se estabilizar em menores profundidades. Dessa forma, verifica-se a necessidade de se estimular o

crescimento do sistema radicular, já que a densidade de raízes tem influência direta sobre a remoção de nutrientes (UCKER, 2013).

Tabela 3. Taxa de crescimento radicular vertical em cada fase de aclimação.

Aclimação	Semanal (mm)				Diária (mm)			
	SAC 1	SAC 2	SAC 3	SAC 4	SAC 1	SAC 2	SAC 3	SAC 4
<b>Fase 2</b>	-1,08	6,90	5,60	11,33	-0,15	0,99	0,80	1,62
<b>Fase 3</b>	-3,58	15,10	18,20	15,92	-0,51	2,16	2,60	2,27
<b>Fase 4</b>	2,50	15,00	13,70	14,33	0,36	2,14	1,96	2,05

Fonte: Do Autor (2022).

Conforme observado na Tabela 3 e na Figura 5, as taxas de crescimento dos SACs-BR 2 e 3 foram bastante parecidas, principalmente na fase 2 de aclimação, isso pode ser atribuído ao mesmo rebaixamento (10 cm) que as unidades foram submetidas. Já na fase 3, os SACs-BR 3 e 4 tiveram o nível do esgoto rebaixado em 15 cm, mostrando uma maior taxa de aprofundamento das raízes. Por fim, na quarta fase, o SAC-BR 4, que teve a lâmina de líquido abaixada em 20 cm, apresentou maiores valores de profundidade. Castro (2022), em um projeto de estabilização de taludes utilizando o capim-vetiver, registrou taxas de crescimento radicular de 1,26 mm d<sup>-1</sup>, valor que foi ultrapassado pelos SACs nos quais houve rebaixamento de nível (SACs 2, 3 e 4).

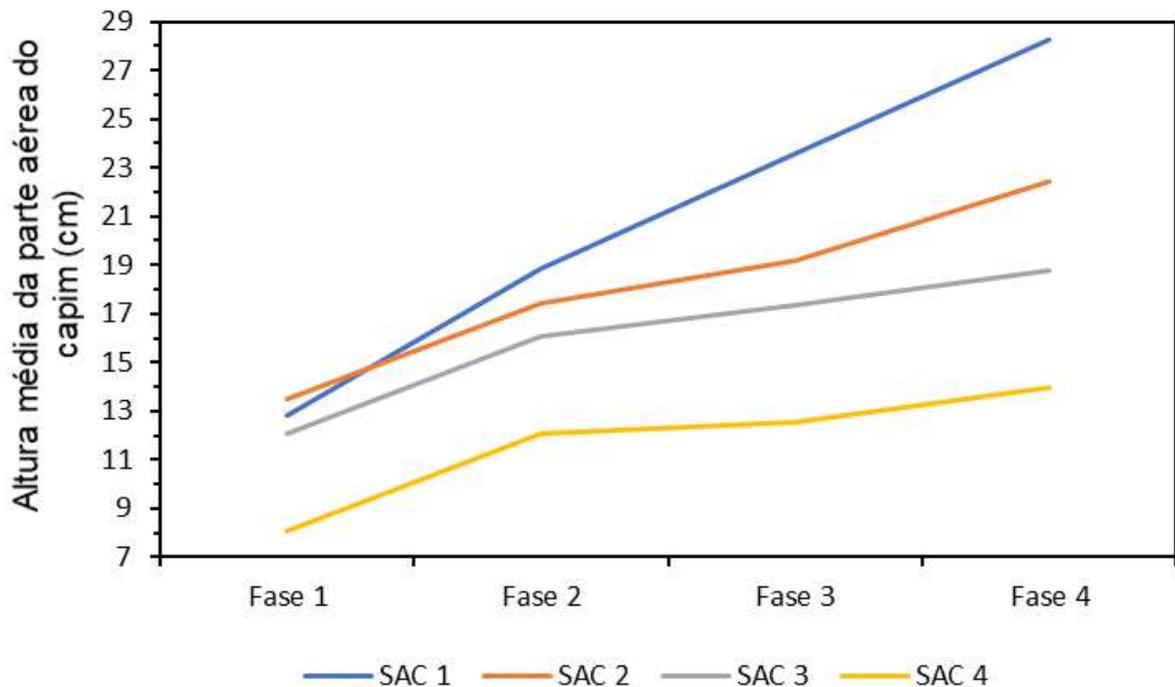
De modo geral, verificou-se que o SAC-BR 4 obteve a maior profundidade radicular alcançada, seguido dos SACs-BR 3, 2 e 1. Assim, constata-se que há indícios de que há relação entre o rebaixamento do nível do esgoto e o crescimento vertical do sistema radicular das plantas. Azara (2021) monitorou o crescimento radicular do capim-vetiver e relacionou o efeito do nível do esgoto em sistemas alagados construídos. A autora registrou (percepção visual) que o SAC com maior rebaixamento do nível de líquido teve um maior número de raízes que cresceram até a parte inferior do tanque.

Truong e Hart (2001), por sua vez, realizaram um experimento em sistema hidropônico, que se assemelha a SACs, com utilização de mudas de capim-vetiver que eram alimentados com águas residuárias provenientes de tanque séptico. Com base nas observações, os autores chegaram à conclusão de que os exemplares que possuíam a maior profundidade de raízes (78 cm) apresentaram maiores remoções de nutrientes (94% para nitrogênio total e 90% para fósforo total), corroborando Ucker (2013). Essa também foi a percepção de Morais (2019), que teve no SAC de maior profundidade e maior crescimento radicular, as maiores remoções de nutrientes, que foram de 41% para nitrogênio e 38% para fósforo. No experimento do autor, foi explorado outro limitante ao crescimento das plantas, que é a limitação física. Havendo estímulo, as raízes podem crescer até que alcancem o fundo.

#### **4.3. Avaliação do crescimento da parte aérea do capim-vetiver**

O mesmo método do crescimento radicular foi utilizado para calcular a altura média da parte aérea da planta e gerar o gráfico (Figura 6) para as quatro fases de aclimação.

Figura 6. Altura média da parte aérea do capim-vetiver.



Fonte: Do Autor (2022).

Conforme observado na Figura 6, no SAC-BR 1 (sem rebaixamento de nível) houve o maior desenvolvimento da parte aérea do capim, enquanto que as taxas de crescimento nos SACs 2, 3 e 4 foram semelhantes e menores do que no primeiro SAC. Isso pode ser explicado pelo estresse causado na planta pela diminuição da lâmina do líquido. Notou-se que o rebaixamento de 10 cm foi muito brusco para o tempo de adaptação utilizado, resultando na reação da planta, tendo menor taxa de crescimento da parte aérea. Observou-se que na fase 4 o SAC-BR 2 obteve um aumento no crescimento aéreo, pode-se explicar esse fato baseado em um maior período de adaptação após o rebaixamento de 10 cm. Azara (2021) também observou que o desenvolvimento vegetal foi menor no SAC no qual houve maior redução do nível de esgoto, reforçando a suposição. Outra hipótese levantada é a de que o estresse causado nos SACs estimulou mais o crescimento radicular, com as plantas concentrando a reserva energética no desenvolvimento do sistema radicular.

Santos (2012) realizou um experimento visando avaliar o desenvolvimento do capim-vetiver em SACs, e constatou um crescimento na parte aérea de 21 cm após 37 dias, chegando a uma taxa de crescimento de 0,56 cm por dia. Esse valor, quando comparado às taxas obtidas no experimento (Tabela 4), mostra que apenas o SAC-BR 1 obteve o desenvolvimento da parte aérea como o esperado. Dreifus (2012), por sua vez, analisou o desempenho do capim-vetiver em sistemas alagados construídos e registrou que a altura média das plantas foi de 20 cm após 95 dias, uma taxa de 0,21 cm por dia, menores que os reportados por Santos (2012). Ainda assim, os SACs-BR 3 e 4 na terceira fase de aclimação tiveram desenvolvimento inferior ao valor encontrado pelo autor.

Já Morais (2019) verificou que no SAC com maior profundidade do meio suporte, as taxas de desenvolvimento da parte aérea foram superiores aos demais com 0,57 cm por dia para crescimento, maior que nas outras duas unidades avaliadas que tiveram taxas de crescimento de 0,48 e 0,50 cm por dia; número bem parecido com os resultados obtidos pelos SACs 2, 3 e 4 na segunda fase de aclimação.

Tabela 4. Taxa de crescimento da parte aérea em cada fase de aclimação.

	Semanal (cm)				Diária (cm)			
	SAC 1	SAC 2	SAC 3	SAC 4	SAC 1	SAC 2	SAC 3	SAC 4
<b>Aclimação</b>								
<b>Fase 2</b>	6,03	3,9	3,95	4,03	0,86	0,56	0,56	0,58
<b>Fase 3</b>	4,75	1,78	1,33	0,45	0,68	0,25	0,19	0,06
<b>Fase 4</b>	4,66	3,26	1,41	1,41	0,67	0,47	0,20	0,20

Fonte: Do Autor (2022).

O acompanhamento e registro visual dos SACs-BR (Figura 7 a 14) foi realizado três vezes por semana e foi possível observar a mudança nos sistemas em que houve o rebaixamento de 10 cm, ocorreu a murcha, secagem e mudança da cor das folhas, além disso, três exemplares morreram no SAC 4 e dois no SAC 3. O

SAC-BR 2 teve um maior tempo para se recuperar da diminuição da lâmina de esgoto de 10 cm, mostrando melhoras nos aspectos visuais conforme é possível perceber na análise das figuras 13 e 14.

O SAC-BR 1, por sua vez, é o que apresenta melhores características visuais em todas as fases de aclimatação, diferentemente dos SACs 3 e 4, que sofreram maiores impactos devido ao estresse hídrico provocado, corroborando a discussão do desenvolvimento da parte aérea. Os aspectos visuais observados ao longo do experimento confirmaram as taxas de crescimento vertical e resultados obtidos através de medidas e análises quantitativas, mostrando-se uma variável para análise complementar.

Figura 7. SACs-BR após a fase de adaptação (30/03/2022).



Fonte: Do Autor (2022).

Figura 8. SACs-BR na fase 1 da aclimação (04/04/2022).



Fonte: Do Autor (2022).

Figura 9. SACs-BR na fase 1 da aclimação (06/04/2022).



Fonte: Do Autor (2022).

Figura 11. SACs-BR na fase 2 da aclimatação (11/04/2022).



Fonte: Do Autor (2022).

Figura 12. SACs-BR na fase 2 da aclimatação (13/04/2022).



Fonte: Do Autor (2022).

Figura 13. SACs-BR na fase 3 da aclimatação (18/04/2022).



Fonte: Do Autor (2022).

Figura 14. SACs-BR na fase 3 da aclimatação (20/04/2022).



Fonte: Do Autor (2022).

Figura 15. SACs-BR na fase 4 da aclimatação (26/04/2022).



Fonte: Do Autor (2022).

Em SACs, um dos fatores a serem considerados na escolha da espécie vegetal é a sua produtividade, em razão da tendência de apresentar maior capacidade de extração de poluentes (MATOS; MATOS, 2021). Porém, como discutido essa condição também é alcançada com maior desenvolvimento radicular (UCKER, 2013). Assim, a questão da variação do nível de esgoto na fase de aclimação precisa ser mais investigada, verificando se esse procedimento implica em melhoria no desempenho das culturas. Azara (2021), por exemplo, não verificou diferença significativa nas eficiências de remoção das variáveis monitoradas.

#### **4.4. Avaliação da biomassa vegetal gerada e volume de raízes**

Ao final do experimento, foi realizada a pesagem do conjunto bombonas + tubos + plantas com o objetivo de mensurar a biomassa produzida durante a pesquisa realizada. A metodologia utilizada foi escolhida por permitir quantificar tanto a produção vegetal aérea quanto radicular, ao contrário do corte da parte aérea, sem que seja necessário causar mais estresse vegetal à planta em aclimação às condições de SACs. Ao final dessa etapa, é recomendado fazer o corte da parte aérea, antes de iniciar o monitoramento do desempenho das unidades, como realizado em diversas pesquisas como de Azara (2021).

Para calcular essa biomassa, subtraiu-se o peso final da pesagem realizada no início do experimento, estando os resultados apresentados na Tabela 4. Também foram incluídos na tabela, o volume médio de raízes em SAC-BR.

Tabela 5. Biomassa e volume de raízes em cada SAC-BR.

<b>SAC-BR</b>	<b>Biomassa produzida (kg)</b>	<b>Produção biomassa (kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)</b>	<b>Volume de raízes (cm<sup>3</sup>)</b>
SAC 1	1,830	406,67	3,08
SAC 2	1,265	281,11	3,75
SAC 3	1,520	337,78	4,17
SAC 4	1,920	426,67	4,33

Fonte: Do Autor (2022).

Com base nos resultados apresentados na tabela, é possível notar que o volume de raízes foi maior no SAC-BR 4, corroborando os resultados obtidos no crescimento radicular e reforçando a relação entre o nível do esgoto e o desenvolvimento das raízes. Já para biomassa, a maior produção foi do SAC-BR 4, seguido do SAC-BR 1, que se mostra coerente com os dados obtidos de crescimento de raízes e da parte aérea, baseando-se na hipótese que a biomassa reflete o crescimento radicular (maior no SAC-BR 4) e aéreo (maior no SAC-BR 1). Como o capim-vetiver apresenta desenvolvimento radicular expressivo (TEIXEIRA et al., 2018), essa condição pode ter implicado em maiores biomassas (de raízes + parte aérea) em unidades com maior e menor rebaixamento do nível de esgotos.

Para outras espécies vegetais com menor desenvolvimento vertical, no entanto, o cenário pode ser diferente, como é o caso de espécies vegetais dotadas de rizomas, sendo um exemplo, o capim-tifton 85 (MATOS; MATOS, 2021). Para essas plantas, o estresse de alteração do nível de esgotos pode implicar em variação do crescimento radicular que não compense a queda do desenvolvimento da parte aérea. A biomassa produzida variou entre 281,11 e 426,67 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, valor próximo ao encontrado por Azara (2021) que obteve a produção de 301 - 544 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>. Ressalta-se, no entanto, que a autora avaliou somente a produtividade da parte aérea, sendo que os resultados poderiam ser superiores aos reportados no presente trabalho. Já Rocha et al. (2021) ao avaliarem alturas de corte do capim vetiver,

adubado em cobertura com doses de esterco, para utilizá-lo como planta de cobertura na agricultura orgânica, obteve a produção de 335 - 878 kg ha<sup>-1</sup>, faixa que engloba os dados obtidos. Comumente, dada a grande concentração de nutrientes e água disponível em SACs, a produtividade é superior ao encontrado no cultivo tradicional em solos, como será discutido abaixo.

Quando comparados a literatura, esses valores estão além dos encontrados por Ramos et al. (2017) em um experimento em sistemas alagados construídos plantados com capim-vetiver e por Avelar et al. (2015), Matos et al. (2010) e Fia et al. (2011) para outras espécies de gramíneas. Já quando comparados aos dados obtidos com capim tifton por Guimarães et al. (2018) e Fia et al. (2011), os valores foram semelhantes. Deve-se destacar, por outro lado, que as plantas utilizadas no presente estudo estavam em estágio inicial de crescimento, em um processo de estabelecimento na área, e sendo submetidas a condições de estresse no período de aclimação, podendo explicar as menores produtividades.

## 5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados, concluiu-se que:

- O SAC 1 foi a unidade de tratamento que apresentou maior crescimento da parte aérea e melhor aspecto visual, porém obteve a menor crescimento vertical das raízes, possivelmente devido à lâmina constante de esgoto.
- O SAC 4, unidade em que houve o maior rebaixamento do nível do efluente resultou em maiores profundidades do sistema radicular, além de maior produção de biomassa e volume de raízes.
- Foi possível observar o efeito da lâmina de esgoto na taxa de crescimento vertical das raízes do capim-vetiver. Com maiores profundidades de alcance radicular, seria possível construir unidades com maiores alturas, menor demanda de área e consequentemente maior eficiência.
- O rebaixamento de 10 cm e/ou o tempo insuficiente de adaptação a essa condição causou perdas de produtividade nos SACs 2, 3 e 4. Sugere-se para os próximos trabalhos uma redução gradual do nível do efluente e maior tempo de adaptação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Esgotos: despolição de bacias hidrográficas**. Brasília, 2017a. 88 p.

AVELAR, F.F. et al. Desempenho agronômico de *Mentha aquatica* cultivada em sistemas alagados construídos sob diferentes taxas de aplicação orgânica. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.2, p. 322-330, 2015.

AZARA, M. S. **Efeito do nível de esgoto no desenvolvimento do sistema radicular e na absorção de nutrientes em sistemas alagados construídos**. Lavras: Ed. UFLA, 2021.

CASELLES-OSORIO A.; PUIGAGUT J.; SEGÚ E.; VAELO N.; GRANÉS F.; GARCIA D.; GARCIA J. Solids accumulation in six full-scale subsurface flow constructed wetlands. **Water Research**, v.41, p.1388-1398, 2007.

CASTRO, G. L. GREEN STABILIZATION WITH USE OF THE RADICULAR SYSTEM/ESTABILIZAÇÃO VERDE COM USO DO SISTEMA RADICULAR. **Revista de Engenharia da Universidade Católica de Petrópolis**, v. 14, n. 2, p. 65-80, 2022.

DEFLOR, Uso do Vetiver na estabilização de taludes e encostas. Boletim técnico nº 003. **Deflor Bioengenharia**, 2006.

DREIFUS, T. V. **Tratamento de águas residuárias por alagados construídos de fluxo subsuperficial horizontal, utilizando Vetiver (*Chrysopogon zizanoides* L.): avaliação e desempenho de três leitos distintos**. 2012.

FIA, F.R.L.; MATOS, A.T.; FIA, R.; LAMBERT, T.F.; MATOS, M.P. Remoção de nutrientes por *Typha latifolia* e *Cynodon* spp. cultivadas em sistemas alagados construídos. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. v.6, n.1, 2011.

FIA, R. et al. Desempenho Agronômico de aveia e azévem cultivados em sistemas alagados construídos utilizados no tratamento de águas residuárias do

processamento dos frutos do cafeeiro. In: VI Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, **Anais..**, Embrapa – DF, 2011.

GARCIA, T. D. S. Relação entre usos e manejo e propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico no município de Ituiutaba - MG. 2015.

GUIMARÃES, J. D. J. et al. Utilização De Forrageira No Tratamento De Esgoto Doméstico. **IRRIGA**, v. 1, n. 1, p. 92-100, 2018.

GIRARDELLO, Ta. **Avaliação da eficiência do capim vetiver na remoção de nutrientes em lagoas de tratamento de efluente industrial.** 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2015.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9127-pesquisa-nacional-por-a-mostrade-domicilios.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 29 jan. 2022.

JAMSHIDI, S. et al. Wastewater treatment using integrated anaerobic baffled reactor and Bio-rack wetland planted with Phragmites sp. and Typha sp. **Journal of Environmental Health Science and Engineering**, v. 12, n. 1, p. 131, 2014.

JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A. Tratamento de esgotos domésticos, 6ª. Edição, Rio de Janeiro: ABES, 2011, 969 p.

KADLEC, R.H.; WALLACE, R.D. **Treatment Wetlands.** 2a. ed. Florida: CRC Press, 1016p., 2009

MARCHAND, L.; NSANGANWIMANA, F.; OUSTRIERE, N.; GREBEENSCHYKOVA, Z.; LIZAMA-ALLENDE, K.; MENCH, M. Copper removal from water using a bio-rack system either unplanted or planted with Phragmites australis, Juncus articulatus and Phalaris arundinacea. **Ecological Engineering**, v.64, p.291-300, 2014.

MATOS, A.T.; ABRAHÃO, S.S.; LO MONACO, P.A.V. Eficiência de sistemas alagados construídos na remoção de poluentes de águas residuárias de indústria de laticínios. **Engenharia Agrícola**, v.32, n.6, p.1144-1155, 2012.

MATOS, A. T. Manual de análise de resíduos sólidos e águas residuárias. **Editores UFV**, 1ª ed., Viçosa, MG. 150p., 2015.

MATOS, A. T.; MATOS, M. P. Disposição de Águas Residuárias no Solo e em Sistemas Alagados Construídos. 1ª Ed, **Editora UFV**, 2017, 371 p.

MATOS, A. T.; MATOS, M. P. Qualidade do efluente de sistemas alagados construídos, utilizados no tratamento de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 133-137, 2021.

MORAIS, C. J. et al. Influência da profundidade do meio suporte em wetlands construídos de fluxo vertical ascendente plantados com capim vetiver. 2019. Dissertação de Mestrado. **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**. 2019.

MOURA, M. M., Holanda, F. S. R., Hermínio, A., Menezes, B., Cruz, J. F. V., Santana, I. D. M., & Santos, B. C. C. 2013. Comportamento do Capim-Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* L. Nash) em diferentes níveis de adubação fosfatada em Neossolo Flúvico do Baixo São Francisco. 2013.

RAMOS, N. F. S. et al. Tratamento de águas residuárias de suinocultura em sistemas alagados construídos, com *Chrysopogon zizanioides* e *Polygonum punctatum* cultivadas em leito de argila expandida. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, p. 123-132, 2017.

ROCHA, J. G. et al. Perfilhamento e produção de biomassa de *Chrysopogon zizanioides* (L.) submetido a alturas de corte e adubação orgânica. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 16, n. 4, p. 366-373, 2021.

ROSSI, C. Q. et al. Atributos químicos e físicos de solo cultivado com oleráceas em microbacia hidrográfica, após desastre ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1764-1775, 2015.

ROSOLEM, C. A.; MARCELLO, C. S. Crescimento radicular e nutrição mineral da soja em função da calagem e adubação fosfatada. **Scientia agricola**, v. 55, p. 448-455, 1998

SANTOS, L. M. **Avaliação do desenvolvimento e a eficiência do capim vetiver (*chrysopogon zizanioides*) em sistemas híbridos de alagados construídos.** 2012.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, p. 287-294, 1998.

SATHE, S. M.; MUNAVALLI, G. R. Domestic wastewater treatment by modified biorack wetland system. **Journal of Water Process Engineering**, v. 28, p. 240-249, 2019.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos** - 2019. Brasília: Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2019.

SOARES, J. S. S. **Avaliação Do Uso De Sistemas Alagados Construídos Do Tipo Bio-Rack Como Tratamento Simplificado Para Soluções Individuais**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2021.

TAYLOR, C.R.; HOOK, P.B.; STEIN, O.R.; ZABINKSI, C.A. Seasonal effects of 19 plant species on COD removal in subsurface treatment wetland microcosms. **Ecological Engineering**, v.37, n.5, p.703–710, 2011.

TONETTI, A. L.; BRASIL, A.L.; MADRID, F.J.P.L.; FIGUEIREDO, I.C.S.; SCHNEIDER, J.; CRUZ, L.M.O.; DUARTE, N.C.; FERNANDES, P.M.; COASACA, R.L.; GARCIA, R.S.; MAGALHÃES, T.M. Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções. **Biblioteca/Unicamp. Campinas, São Paulo**, 153 p, 2018.

TRUONG P; HART, B. **Vetiver System for Wastewater treatment**. Boletim técnico, n. 2, PRVN/ORDPB, Bangkok, Thailand. 2001.

TRUONG, P; VAN, TRAN T; PINNERS, E. Sistema de aplicação Vetiver: manual de referência técnica. 2ª Edição: **Rede Internacional de Vetiver**, 2008.

UCKER, F. E. **Eficiência do capim Vetiver (Vetiveria zizanioides L. Nash) no tratamento de esgoto sanitário**. 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, 2013.

VALIPOUR, A.; RAMAN, V. K.; GHOLE, V. S. A new approach in wetland systems for domestic wastewater treatment using *Phragmites* sp. **Ecological Engineering**, v. 35, n. 12, p. 1797-1803, 2009.

VON SPERLING, M. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. v.1, 4ª edição, **Editora UFMG**, 2017, 472 p.

VYMAZAL, J. Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. **Ecological Engineering**, v.25, p.478–490, 2005;

WIESSNER, A.; KAPPELMEYER, U.; KUSCHK, KASTNER, M. Influence of the redox condition dynamics on the removal efficiency of a laboratory-scale constructed wetland. **Water Research**, v.39, p.248-256, 2005.

WU, H.; ZHANG, J.; NGO, H. H.; GUO, W.; HU, Z.; LIANG, S.; FAN, J.; LIU, H. A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: Design and operation. **Bioresource Technology**, v.175, p.594–601, 2015.