

EDCÁSSIO DIAS ARAÚJO

**EFEITOS DO ÁCIDO GIBERÉLICO NO CAPIM-TIFTON-85 CULTIVADO
EM SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS OPERADOS EM
BATELADAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

A663e
2017

Araújo, Edcássio Dias, 1991-
Efeitos do ácido giberélico no capim-tifton-85 cultivado em sistemas alagados construídos operados em bateladas / Edcássio Dias Araújo. – Viçosa, MG, 2017.
xvi, 46f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Alisson Carraro Borges.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.38-41.

1. Águas residuais - Purificação - Tratamento biológico.
2. Ácido giberélico. 3. Produtividade. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22 ed. 628.3

EDCÁSSIO DIAS ARAÚJO

**EFEITOS DO ÁCIDO GIBERÉLICO NO CAPIM-TIFTON-85 CULTIVADO
EM SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS OPERADOS EM
BATELADAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 23 de fevereiro de 2017.



André Pereira Rosa



Fernando França da Cunha



Marcos Alves de Magalhães



Dimas Mendes Ribeiro
(Coorientador)



Alisson Carraro Borges
(Orientador)

A Deus,

Aos meus pais José e Ilda,

Aos meus irmãos William e Lays,

À minha namorada Francielle,

Aos meus familiares,

Pela vida,

Pelo apoio e carinho,

Pelo amor fraterno,

Pelo companheirismo,

Pela motivação,

Dedico.

“Ainda que eu fale as línguas dos homens e dos anjos, se não tiver amor,
serei como o bronze que soa ou como o címbalo que retine”.

1 Coríntios 13:1

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me guiar no caminho da vida e ser provedor de todas as coisas;

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola pela oportunidade de ensino;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos;

Ao professor Alisson Carraro Borges pelo acolhimento, confiança, orientação e ensinamentos transmitidos;

Ao professor Dimas Mendes Ribeiro pela coorientação e auxílio nos trabalhos;

Aos professores, Cecília de Fátima Souza, Leda Rita Dantonino Faroni, Silvio Bueno Faroni e Fernando França da Cunha, por disponibilizarem os laboratórios para a realização das análises;

Aos amigos e companheiros de laboratório, Francisco (Chicão), Gilberto (Gil), Policarpo, Neriamara, Simão, Tamara, Suymara, Erlon, Denis, Gustavo, Magno, Fernanda(s), Yara e Felipe, entre outros que passaram pelo laboratório, pelo convívio, alegrias, brincadeiras e pela colaboração na realização dos trabalhos;

Aos meus pais José de Souza Araújo e Ilda Antunes Dias Araújo pelo incentivo e apoio incondicional;

Aos meus irmãos William Dias Araújo e Lays Dias Araújo pelo carinho e amor fraterno;

À minha namorada Francielle de Matos Feitosa pelo companheirismo e carinho de longa data;

Aos meus familiares, por estarem sempre presentes em minha vida, me motivando e me dando forças para continuar;

Ao amigo André pelo acolhimento em Viçosa e companheirismo;

Aos amigos que fiz em Viçosa, pelo carinho, atenção e momentos de lazer;

À Igreja Presbiteriana de Viçosa, pelas orações e aprendizado;

A todos que de alguma forma participaram desta etapa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	ix
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xv
1. INTRODUÇÃO	1
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivos específicos	3
2. MATERIAL E MÉTODOS	3
2.1. Caracterização da área experimental.....	3
2.2. Tratamentos e delineamento experimental.....	4
2.3. Aplicação do ácido giberélico	5
2.4. Esgoto sanitário sintético (ESS) e funcionamento dos SACs	5
2.5. Desenvolvimento do experimento.....	8
2.6. Avaliações experimentais.....	9
2.6.1. Avaliações laboratoriais	10
2.6.2. Avaliações agronômicas.....	11
2.7. Análises estatísticas.....	12
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
3.1. Produtividade e desenvolvimento vegetativo do capim-tifton-85	13
3.2. Absorção de nutrientes e sódio pelo capim-tifton-85	18
3.3. Eficiência dos SACs na remoção de poluentes do esgoto sanitário sintético ..	24
4. CONCLUSÕES	36
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	37
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
APÊNDICE	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Esquema do sistema operacional, 1 - corte transversal e 2 - vista superior do sistema.....	4
Figura 2:	Temperatura e umidade relativa dentro da casa de vegetação.	9
Figura 3:	Altura de plantas em função das doses de GA ₃ (ciclo I e II).....	14
Figura 4:	Capim-tifton-85 tratado com diferentes doses de GA ₃ (ciclo II). Os tratamentos foram NC = 0; N1 = 5; N2 = 25; N3 = 50 e N = 100 µM de GA ₃	15
Figura 5:	Produtividade de matéria seca do capim-tifton-85 em função das diferentes doses de GA ₃ (ciclo I).	16
Figura 6:	Índice SPAD em função das diferentes doses de GA ₃ (ciclo I). .	17
Figura 7:	Teor de Na na matéria seca do capim-tifton-85 em função das diferentes doses de GA ₃ (ciclo II).	20
Figura 8:	Acúmulo e taxa de absorção de N _T da parte aérea do capim-tifton-85 em função das diferentes doses de GA ₃ (ciclo I).	23
Figura 9:	Potencial redox do efluente sanitário tratado para os diferentes tratamentos. NC = 0; N1 = 5; N2 = 25; N3 = 50 e N = 100 µM de GA ₃ ; NC* testemunha extra sem o cultivo de capim-tifton-85.	25
Figura 10:	Potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica dos efluentes para os diferentes tratamentos. NC = 0; N1 = 5; N2 = 25; N3 = 50 e N = 100 µM de GA ₃ ; NC* testemunha extra sem o cultivo de capim-tifton-85.	26
Figura 11:	Evaporação e Evapotranspiração para os diferentes tratamentos. NC = 0; N1 = 5; N2 = 25; N3 = 50 e N = 100 µM de GA ₃ ; NC* testemunha extra sem o cultivo de capim-tifton-85.....	27
Figura 12:	Concentração de N _T e P _T corrigido em função da ET do efluente para os diferentes tratamentos. NC = 0; N1 = 5; N2 = 25; N3 = 50 e N = 100 µM de GA ₃ ; NC* testemunha extra sem o cultivo de capim-tifton-85.	28
Figura 13:	Concentração média do P _T no efluente para as diferentes doses de GA ₃ (ciclo I).....	30

Figura 14:	Taxas médias de remoções do N_T do esgoto sanitário sintético para as diferentes doses de GA_3 (ciclo I e II).....	31
Figura 15:	Taxas médias de remoções do P_T e Na do esgoto sanitário sintético para as diferentes doses de GA_3 (ciclo I).	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Tratamentos com aplicação de GA ₃	5
Tabela 2:	Composição teórica e respectivas concentrações para a produção de 1 litro de esgoto sanitário sintético. Fonte: Adaptado de Nopens et al. (2001).	6
Tabela 3:	Parâmetros do esgoto sanitário sintético afluente.....	7
Tabela 4:	Taxas médias de carregamento do esgoto sanitário sintético.	8
Tabela 5:	Parâmetros analisados durante o monitoramento dos SACs e métodos.....	10
Tabela 6:	Parâmetros agronômicos analisados e métodos.....	12
Tabela 7:	Resumo da análise de variância para os parâmetros altura de plantas (AP), produtividade de matéria seca da parte aérea das plantas (PMS), índice SPAD (SPAD), número de entrenós (NEnt.) do primeiro e segundo ciclo de cultivo.....	13
Tabela 8:	Resumo da análise de variância para os parâmetros teores de nitrogênio total (N _T), potássio (K), fósforo total (P _T) e sódio (Na) da parte aérea do capim-tifton-85 no primeiro e segundo ciclo de cultivo.	18
Tabela 9:	Teor de N _T da parte aérea do capim-tifton-85 e teste Dunnet para comparação de médias da testemunha com as doses de GA ₃	19
Tabela 10:	Resumo da análise de variância para os parâmetros acúmulo de nitrogênio total (AN _T), potássio (AK), fósforo total (AP _T) e sódio (ANa), taxa de absorção diária de nitrogênio total (TN _T), potássio (TK), fósforo total (TP _T) e sódio (TNa) da parte aérea do capim-tifton-85 no primeiro e segundo ciclo de cultivo.	22
Tabela 11:	Acúmulo de fósforo total da parte aérea do capim-tifton-85 e teste Dunnet para comparação de médias das testemunhas com as doses de GA ₃	24
Tabela 12:	Concentrações médias dos poluentes do efluente sanitário sintético e teste Dunnet para comparação de médias das testemunhas com as doses de GA ₃ . ..	29
Tabela 13:	Revisão de taxas de carregamento e remoção de N _T (g m ⁻² d ⁻¹) de águas residuárias tratadas em SACs com o cultivo do capim-tifton-85.	32
Tabela 14:	Revisão de taxas de aplicações e remoções de P _T (g m ⁻² d ⁻¹) pelo capim-tifton-85 em SACs cultivados com o capim-tifton-85.....	34

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

°C	Graus Celsius
μM	Micromolar
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AK	Acúmulo de potássio
ANa	Acúmulo de sódio
ANOVA	Análise de variância
AN _T	Acúmulo de nitrogênio total
AP	Altura de plantas
APHA	American Public Health Association
AP _T	Acúmulo de fósforo total
ARL	Água residuária de laticínios
ARS	Água residuária da suinocultura
Asup	Área da superfície livre do meio suporte (m ²)
C ₀	Concentração do afluente
C _e	Concentração do efluente
CE	Condutividade elétrica
CV	Coefficiente de variação
Cwa	Clima temperado húmido com inverno seco e verão quente
DBC	Delineamento em blocos casualizados
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DEA	Departamento de Engenharia Agrícola
DQO	Demanda Química de Oxigênio
Eh	Potencial de oxirredução

ER	Eficiência de remoção
ESS	Esgoto sanitário sintético
ET	Evapotranspiração
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
Ev	Evaporação
GA ₃	Ácido giberélico
K	Potássio
KCl	Cloreto de potássio
KH ₂ PO ₄	Fosfato de potássio
LQA	Laboratório de qualidade de água
LSRS	Laboratório de solos e resíduos sólidos
MAP	Fosfato monoamônico
MG	Minas Gerais
MgSO ₄	Sulfato de magnésio
MS	Matéria seca
N	Nitrogênio
N1	Sistema alagado com capim-tifton-85 e 5 µM de GA ₃
N2	Sistema alagado com capim-tifton-85 e 25 µM de GA ₃
N3	Sistema alagado com capim-tifton-85 e 50 µM de GA ₃
N4	Sistema alagado com capim-tifton-85 e 100 µM de GA ₃
Na	Sódio
N _{amon}	Nitrogênio amoniacal
NC	Sistema alagado com capim-tifton-85 e 0 µM de GA ₃
NC*	Sistema alagado sem plantas

N _{Ent}	Número de entrenós
N _T	Nitrogênio total
NTK	Nitrogênio total kjeldahl
P	Fósforo
pH	Potencial hidrogeniônico
PMS	Produtividade de matéria seca da parte aérea
P _T	Fósforo total
Q	Vazão
S	South
SAC	Sistema Alagado Construído
SAC–EHSS Subsuperficial	Sistema Alagado Construído de Escoamento Horizontal Subsuperficial
SAC–ES	Sistema Alagado Construído de Escoamento Superficial
SAC–EVSS Subsuperficial	Sistema Alagado Construído de Escoamento Vertical Subsuperficial
SDT	Sólidos dissolvidos totais
SPAD	Soil Plant Analysis Development
SST	Sólidos suspensos totais
SSV	Sólidos suspensos voláteis
t _c	Tempo de ciclo
TCO	Taxa de carregamento orgânico
TK	Taxa de absorção de potássio pelas plantas
TMáx	Temperatura máxima
TMéd	Temperatura média
TMín	Temperatura mínima

TNa	Taxa de absorção de sódio pelas plantas
TN _T	Taxa de absorção de nitrogênio total pelas plantas
T _{Nutri}	Teor de nutrientes
TP _T	Taxa de absorção de fósforo total pelas plantas
TRH	Tempo de retenção hidráulica
UFV	Universidade Federal de Viçosa
UR _{máx}	Umidade Relativa máxima
UR _{méd}	Umidade Relativa média
UR _{min}	Umidade Relativa mínima
USEPA	United States Environmental Protection Agency
V	Volume
V _a	Volume total aplicado
ε	Eficiência

RESUMO

ARAÚJO, Edcássio Dias, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2017. **Efeitos do ácido giberélico no capim-tifton-85 cultivado em sistemas alagados construídos operados em bateladas.** Orientador: Alisson Carraro Borges. Coorientadores: Dimas Mendes Ribeiro e Cecília de Fátima Souza.

Os sistemas alagados construídos (SACs) são sistemas de tratamento que podem ser usados para depuração de diversas águas residuárias (ARs) e apresentam boa eficiência para remoção de cargas orgânicas. Contudo, são pouco eficientes na remoção de nitrogênio (N) e fósforo (P). As plantas cultivadas nestes sistemas, extraem o N e P das ARs e usam nos seus diversos metabolismos para o seu crescimento e acúmulo de biomassa. Com base nestas informações, o uso de fitohormônios de crescimento, como o ácido giberélico (GA_3) poderia ser uma alternativa promissora para potencializar o acúmulo de biomassa e consequentemente promover uma maior remoção de N e P das ARs. Neste contexto, objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de diferentes doses de GA_3 na produtividade e absorção de nutrientes e sódio pelo capim-tifton-85, cultivado em SACs operando em batelada. O trabalho constituiu na aplicação de cinco doses do fitohormônio no capim-tifton-85: 0, 5, 25, 50 e 100 μM de GA_3 , no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, totalizando vinte parcelas experimentais. Cada parcela experimental foi estabelecida por um vaso de 10 L, preenchidos com britas e cultivados com o capim-tifton-85 para o tratamento do esgoto sanitário de origem sintética (ESS), a troca do ESS era efetuado com um tempo de ciclo de 3,5 dias. O sistema operacional ficou em estabilização por um período de 48 dias e não efetuou a aplicação do GA_3 , ao final deste período realizou-se o corte do capim e a pulverização do GA_3 , iniciando assim o primeiro ciclo que durou 18 dias. O segundo ciclo de cultivo iniciou-se após o final do primeiro ciclo, caracterizado também pela aplicação do GA_3 e permaneceu por 23 dias, o final de cada ciclo foi padronizado com o início do tombamento do capim. Avaliou-se em cada ciclo de cultivo a produtividade em matéria seca e a extração de nutrientes e sódio pelo capim-tifton-85. Constatou-se no primeiro ciclo de cultivo que as doses de GA_3 promoveram um incremento na produtividade do capim-tifton-85, visto que o tratamento controle (0 μM de GA_3) possibilitou uma produtividade de 2682,6 kg ha⁻¹, ou seja, 33,8% inferior a produtividade obtida com o tratamento de 50 μM de GA_3 . Em função dessa maior produtividade, observou-se uma maior absorção de N_T pela parte aérea do capim-tifton-85. O GA_3 estimula a divisão celular e o alongamento das células, e a adição

exógena desse fitohormônio promove um aumento do crescimento das plantas, melhorando a disponibilidade de GA₃ endógeno. No segundo ciclo de cultivo não houve efeito significativo do fitohormônio para a produtividade e absorção de nutrientes. Justifica-se que uma das possíveis causas dessa ausência de efeito pode estar relacionada à restrição do crescimento radicular promovida pela parcela experimental. Portanto, conclui-se que a aplicação de 50 µM de GA₃ proporcionou maior produtividade em matéria seca e remoção de N pela biomassa vegetal do capim-tifton-85 em SACs, para o primeiro ciclo de cultivo. A adição de fitohormônio apresenta-se como uma alternativa promissora para potencializar a remoção de poluentes pelas plantas cultivadas em SACs.

ABSTRACT

ARAÚJO, Edeássio Dias, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2017. **Effects of gibberellic acid on tifton 85 bermudagrass grown on batch-operated constructed wetland systems.** Advisor: Alisson Carraro Borges. Co-advisors: Dimas Mendes Ribeiro and Cecília de Fátima Souza.

Constructed wetland systems (CWs) are treatment systems that can be used to purify several wastewater (WW) and have good efficiency for organic loads removal. However, they are inefficient in the removal of nitrogen (N) and phosphorus (P). Plants grown in these systems extract N and P from WW and use them in their metabolism for growth and biomass accumulation. Based on this information, the use of growth phytohormones, such as gibberellic acid (GA₃), could be a promising alternative to potentiate biomass accumulation and consequently promote greater removal of N and P from WW. In this context, the objective of this study was to evaluate the effect of different doses of GA₃ on productivity and absorption of nutrients and sodium by tifton 85 bermudagrass, cultivated in CWs operating in batch. The work consisted in the application of five doses of the phytohormone in tifton 85 bermudagrass: 0, 5, 25, 50 and 100 µM of GA₃, in a randomized block design with four replications, totaling twenty experimental plots. Each experimental plot was established by a 10 L container, filled with gneissic gravel and cultivated with tifton 85 bermudagrass for the treatment of synthetic wastewater (SWW), the exchange of SWW was effected in a cycle time of 3,5 days. The operating system was stabilized for a period of 48 days when GA₃ was not applied. At the end of this period the grass was cut and GA₃ was sprayed, thus initiating the first cycle, which lasted 18 days. The second cycle of cultivation started after the end of the first cycle, also characterized by the application of GA₃ and remained for 23 days. The end of each cycle was standardized with the beginning of the tipping of the grass. Dry matter yield and nutrients and sodium removal by Tifton 85 bermudagrass were evaluated in each crop cycle. It was observed in the first crop cycle that the doses of GA₃ promoted increase in productivity of tifton 85 bermudagrass, since the control treatment (0 µM of GA₃) allowed a productivity of 2682.6 kg ha⁻¹, that is, 33.8% lower than the productivity obtained with the 50 µM treatment of GA₃. As a result of higher productivity, there was higher uptake of TN by the aerial part of tifton 85 bermudagrass. GA₃ stimulates cell division and cell elongation, and the exogenous addition of this phytohormone promotes increase in plant growth, improving the availability of endogenous GA₃. In the second crop cycle

there was no significant effect of phytohormone on productivity and nutrient uptake. One of the possible causes of the absence of effect may be related to the restriction of root growth promoted by the experimental plot. Therefore, it was concluded that the application of 50 μM of GA_3 provided higher dry matter yield and N removal by plant biomass of tifton 85 bermudagrass in CWs, for the first cycle of cultivation. The addition of phytohormones presents a promising alternative to potentiate the removal of pollutants by plants cultivated in CWs.

1. INTRODUÇÃO

A disposição de águas residuárias em rios, lagos e outros corpos de água reduz a qualidade dos recursos hídricos, que são de primordial importância para os seres humanos e a vida aquática. A descarga de esgotos contendo níveis elevados de compostos orgânicos, nitrogenados e fosfatados, possibilita o crescimento de algas e plantas aquáticas, que são responsáveis pela eutrofização dos corpos hídricos.

Os sistemas alagados construídos (SACs) ou sistemas *wetlands*, são estruturas planejadas e dimensionadas para utilizar espécies vegetais cultivadas em substratos (meio suporte), geralmente constituídos por brita. Nos SACs, em condições ambientais apropriadas, ocorrem processos físicos, químicos e bioquímicos de tratamento de esgotos sanitários, efluentes industriais e águas residuárias diversas (Matos *et al.*, 2011). Muitos países tem adotado, em escalas variadas, esse sistema (Çakir *et al.*, 2015), pois requerem reduzido custo de investimento aliado a sua eficiência e facilidade de utilização (Shutes, 2001).

A eficiência de tratamento dos esgotos sanitários usando os SACs é obtida por meio da interação hidráulica do sistema-substrato-planta-microrganismos e a radiação solar. A remoção de poluentes se dá no meio suporte, que é responsável pela filtração e pela formação do biofilme junto às raízes das plantas. Os microrganismos aderidos ao biofilme degradam a matéria carbonácea e nitrogenada e as plantas absorvem os nutrientes e metais pesados, dessa forma, promovendo a fitorremediação (Kadlec e Wallace, 2008).

As condições criadas nos SACs possibilitam elevada eficiência de remoção e apropriada qualidade dos efluentes para a disposição final, especialmente para os poluentes orgânicos (DBO₅, DQO, SSV, óleos e graxas). No entanto, para a remoção de nitrogênio (N) e fósforo (P) essa eficiência é relativamente menor (Çakir *et al.*, 2015).

A escolha da espécie vegetal para sistemas alagados é de grande importância para o sucesso do tratamento, pois as plantas utilizam os macro e micronutrientes presente nos esgotos sanitários para o seu desenvolvimento. Os macronutrientes N e P são essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. O N além de constituir as proteínas, tem como função a participação na molécula de clorofila. O fósforo, por sua vez, é importante para a reserva de energia e a integridade estrutural dos tecidos.

Entre as plantas estudadas nesse tipo de sistema de tratamento, encontra-se o caniço (*Phragmites australis*), taboa (*Typha* spp.), junco (*Schoenoplectus lacustris*) e *Canna indica* (Choudhary *et al.*, 2011). Visando aproveitar esses sistemas para obter algum retorno econômico, em alguns trabalhos são utilizadas espécies ornamentais (Zurita *et al.*, 2009), ou ainda espécies de interesse zootécnico, tais como o capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) e o capim-tifton-85 (*Cynodon* sp.) (Matos *et al.*, 2010a).

O capim-tifton-85 é uma espécie de elevado potencial zootécnico e econômico, pois apresenta boa palatabilidade, digestibilidade e teores expressivos de proteína bruta. Além disso apresenta um valor comercial atrativo para a produção de feno, aproximadamente 1,00 R\$/kg de feno processado (MFRURAL, 2017), podendo chegar a valores superiores em regiões com pouca disponibilidade de forragem. Esse capim possui características interessantes para o tratamento de esgotos em SACs, pois é uma cultura perene que apresenta elevada taxa de crescimento e além disso permite cortes frequentes o que possibilita extrair grandes quantidades de nutrientes do sistema (Matos *et al.*, 2010b).

Uma das principais formas responsáveis pela remoção de N do esgoto sanitário em SACs é a assimilação pelas plantas, quando realizados cortes frequentes (Dunne e Reddy, 2005). Portanto, é importante criar condições favoráveis para as espécies vegetais, tais como condições climáticas adequadas, densidade de plantio, altura de corte e emprego de práticas culturais que estimulem o crescimento e desenvolvimento das plantas para potencializar a extração de nutrientes do esgoto sanitário, gerando assim um efluente de melhor qualidade.

Nesse contexto, como a remoção de nutrientes é em função do rápido crescimento das plantas e produção de matéria seca, faz-se necessário buscar alternativas que potencializam a taxa de crescimento das plantas.

A taxa de crescimento das plantas pode ser aumentada com o emprego de substâncias reguladoras de crescimento (Coelho *et al.*, 1983). O ácido giberélico (GA₃) é umas das classes de fitohormônios de crescimento que têm efeito no desenvolvimento vegetal, aumentando a alongação e divisão celular, o que é evidenciado pelo aumento do comprimento e do número de células (Taiz e Zeiger, 2013a). Entretanto, o efeito do GA₃ é influenciado por diversos fatores, como condições ambientais, concentração do GA₃, número de aplicações, época de aplicação e espécie ou cultivar (Coelho *et al.*, 1983).

Neste panorama, um dos papéis das plantas cultivadas nos SACs é remover nutrientes, e o aumento da extração está relacionado com a taxa de crescimento. Somado a isso, não existem referências na literatura a respeito do efeito do GA₃ em plantas cultivadas em SACs. Dessa forma, faz-se necessário o conhecimento da interferência destas práticas em características produtivas do capim e eficiência de remoção de poluentes do esgoto sanitário em SACs.

1.2. Objetivos

Avaliar o efeito da aplicação de diferentes doses de ácido giberélico na produtividade e absorção de nutrientes e sódio pelo capim-tifton-85, cultivado em sistemas alagados construídos operando em batelada.

1.2.1. Objetivos específicos

- Determinar a produtividade do capim-tifton-85 cultivado em sistemas alagados construídos, pulverizados com diferentes doses de ácido giberélico.
- Determinar o acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio e sódio do capim-tifton-85 cultivado em sistemas alagados construídos, pulverizado com diferentes doses de ácido giberélico.
- Avaliar a influência da aplicação do ácido giberélico no capim-tifton-85 na remoção de nitrogênio, fósforo, potássio e sódio e de matéria orgânica (DQO), no tratamento do esgoto sanitário sintético.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área experimental

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação, localizada na Área Experimental do Centro de Referência em Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – Minas Gerais, cujas coordenadas geográficas são: latitude 20°45'14" S, longitude 42°52'53" W, altitude

média de 650 m. O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo Cwa (clima temperado húmido com inverno seco e verão quente).

O sistema experimental constituiu de um conjunto de recipientes de polietileno de capacidade de 10 L com 26,50 cm de altura, 23,58 cm de diâmetro, com área superficial de 0,0437 m², cultivados com a espécie vegetal *Cynodon* sp. (capim-tifton-85), os quais receberam aplicação de esgoto sanitário sintético (ESS) (Figura 1).

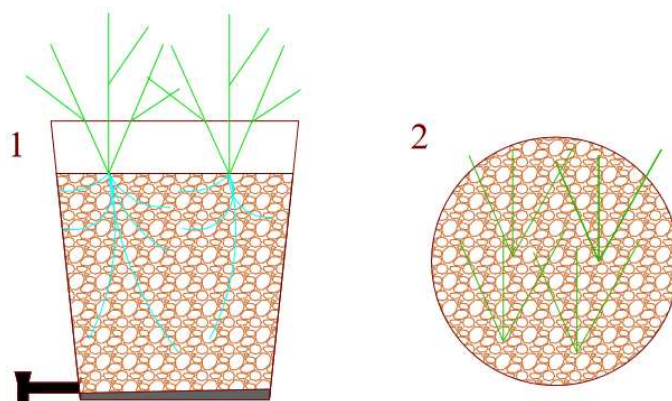


Figura 1: Esquema do sistema operacional, 1 - corte transversal e 2 - vista superior do sistema.

Os SACs foram preenchidos até 21,2 cm de altura com brita gnáissica “número 0” (meio suporte), de diâmetro D60 igual a 7 mm, coeficiente de uniformidade (D60/D10) de 1,6 e volume de vazios de 45,8%, deixando uma borda livre de 5,3 cm. Antes do preenchimento a brita foi mergulhada em água sanitária e lavada em água corrente.

2.2. Tratamentos e delineamento experimental

Na tabela 1 são apresentados os tratamentos e as diferentes doses de ácido giberélico (GA₃), respectivamente.

Tabela 1: Tratamentos com aplicação de GA₃.

Tratamentos	Doses de ácido giberélico (μM)
Nível Controle com capim (NC)	0
Nível 1 (N1)	5
Nível 2 (N2)	25
Nível 3 (N3)	50
Nível 4 (N4)	100
Nível Controle sem capim (NC*) ¹	0

¹ Testemunha sem o cultivo de capim-tifton-85, para avaliação do efluente.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições (os blocos foram as 3 bancadas na casa de vegetação), totalizando 20 parcelas experimentais com o capim-tifton-85 e aplicação de diferentes doses de GA₃. Apenas para avaliação do efluente considerou o nível controle sem capim, totalizando 24 parcelas experimentais.

2.3. Aplicação do ácido giberélico

Após o corte de uniformização (48 dias após o plantio), foram aplicadas as diferentes doses de GA₃ mais o espalhante Tween 80[®] na concentração de 0,1% (v/v) (2 gotas para 25 mL da solução) para facilitar o contato e a absorção do fitohormônio pelas plantas. A segunda aplicação foi realizada uma semana após o corte do capim, sendo as aplicações efetuadas no final da tarde para evitar que altas temperaturas e a radiação solar degradassem a molécula de GA₃.

2.4. Esgoto sanitário sintético (ESS) e funcionamento dos SACs

O ESS foi utilizado no experimento para obter-se maior controle dos componentes químicos e orgânicos, além disso, por questão sanitárias, pois o manejo para o preenchimento e retirada do ESS no sistema operacional foi realizado manualmente.

No presente estudo para simular o esgoto sanitário, utilizou-se a solução de origem sintética (Nopens *et al.*, 2001), as concentração de DQO, N e P estão de acordo com as faixas recomendadas por von Sperling (2005) para esgoto sanitário

municipal, e no presente estudo adaptou-se as concentrações de potássio para valores próximos ao encontrado por Santos *et al.* (2016). Os sais e ingredientes foram diluídos em água de abastecimento. Os compostos utilizados para o preparo desse ESS são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Composição teórica e respectivas concentrações para a produção de 1 litro de esgoto sanitário sintético. Fonte: Adaptado de Nopens *et al.* (2001).

Sais	Quant. ¹	DQO ²	N ²	P ²	K ²
Ureia	92	23	43	0	0
MAP ³	13	0	1	3	0
Acetato de sódio ⁴	132	79	0	0	0
Peptona	17	17	1	0	0
MgSO ₄	20	0	0	0	0
KH ₂ PO ₄	23	0	0	5	7
KCl	25	0	0	0	13
Ingredientes					
Amido	122	122	0	0	0
Leite em pó	116	116	7	1	0
Fermento	52	52	6	0	0
Óleo de soja	29	29	0	0	0
Total		438	58	9	20

¹Quantidade em massa de sais e ingredientes para produção de 1 L de ESS; ²mg L⁻¹; ³ Fosfato Monoamônico; ⁴Acetato de sódio hidratado.

O esgoto sanitário é caracterizado pela elevada concentração de sais principalmente K e Na. As concentrações de K e Na no afluente do presente estudo são próximos ao encontrado por Santos *et al.* (2016), para a estação de tratamento de esgoto do município de Janaúba – MG. A concentração de Na no esgoto sanitário bruto é da ordem de 30 a 50 mg L⁻¹ (Matos, 2007).

Os SACs funcionaram como um sistema em bateladas, sendo alimentado pela parte superior. O ESS afluente foi aplicado até que houvesse o preenchimento dos vasos, atingindo-se a camada da brita, e com isso era anotado o volume de entrada de cada SAC, o sistema permaneceu durante um tempo de ciclo (t_c), para que então fosse realizado o esvaziamento do reator pela parte inferior, caracterizando um escoamento vertical.

O ESS foi trocado a cada 7 dias (tempo de ciclo) para o período de estabilização do experimento, após o período de estabilização, o t_c foi reduzido para

3,5 dias, sendo esse tempo de ciclo (batelada) análogo ao tempo de residência hidráulica (TRH) em sistemas contínuos.

Realizou-se a diluição dos sais e ingredientes com água de abastecimento para a produção de ESS e semanalmente foram realizadas avaliações dos parâmetros do afluente, totalizando 11 análises. Na Tabela 3 estão apresentadas as médias e desvios da composição real do ESS.

Tabela 3: Parâmetros do esgoto sanitário sintético afluente.

Parâmetros	Unidade	Médias	Desvio padrão
pH	-	6,7	0,4
CE	$\mu\text{S cm}^{-1}$	336,6	33,5
SDT	mg L^{-1}	224,7	24,9
DQO	mg L^{-1}	478,0	75,0
N-total	mg L^{-1}	56,0	3,6
P-total	mg L^{-1}	9,3	1,6
Potássio	mg L^{-1}	21,5	2,0
Sódio	mg L^{-1}	24,9	3,1

Condutividade elétrica (CE); sólidos dissolvidos totais (SDT); demanda química de oxigênio (DQO); nitrogênio total (N_T); fósforo total (P_T).

Com base nos parâmetros avaliados do afluente (Tabela 3) e as concentrações obtidas nos efluentes, corrigidas pela evapotranspiração, foi realizado o cálculo da eficiência de remoção dos poluentes do ESS, a eficiência foi calculada com o uso da Equação 1.

$$\varepsilon = \left(\frac{C_0 - C_e}{C_0} \right) * 100 \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

ε - Eficiência de Remoção em %;

C_0 - Concentração do afluente em mg L^{-1} ;

C_e - Concentração do efluente em mg L^{-1} .

Após o período de estabilização e iniciada a diferenciação dos tratamentos com o tc de 3,5 d, calculou-se as taxas médias de carregamento do ESS (Tabela 4).

Tabela 4: Taxas médias de carregamento do esgoto sanitário sintético.

Parâmetro	${}^1L_{sm}$ (g m ⁻² d ⁻¹)	${}^2L_{sha}$ (kg ha ⁻¹ d ⁻¹)	3L_v (kg m ⁻³ d ⁻¹)
SDT	4,1	41,3	0,0227
DQO	8,8	87,8	0,0483
N _T	1,0	10,3	0,0057
P _T	0,2	1,7	0,0009
K	0,4	3,9	0,0022
Na	0,5	4,6	0,0025

¹L_{sm} – taxa de aplicação superficial por metro quadrado; ²L_{sm} – taxa de aplicação superficial por hectare; ³L_v – taxa de aplicação volumétrica por metros cúbicos.

2.5. Desenvolvimento do experimento

As mudas de capim-tifton-85 foram coletadas do campo agrostológico da UFV, e o plantio foi realizado no dia 14 de setembro de 2016, com quatro mudas por vaso, cada uma formada por um segmento de estolão com duas gemas. As mudas foram padronizadas em 0,10 m, com a retirada das folhas e raízes.

O período de estabilização durou 48 dias, no final desse período as plantas foram cortadas a 0,10 m de altura em relação ao nível do meio suporte com o objetivo de uniformizá-las. Nos dias que foram realizado o corte de uniformização e o corte do capim no final do primeiro ciclo, efetuou-se a aplicação das diferentes doses de GA₃. O primeiro e o segundo ciclo duraram 18 e 23 dias, respectivamente. O final de cada ciclo foi definido a partir do início do acamamento do capim-tifton-85, ambos os ciclos receberam duas aplicações das diferentes doses do GA₃, a segunda aplicação foi sete dias após o corte do capim.

O monitoramento das condições climáticas (Figura 2) com suas temperaturas máximas, mínimas e médias foram efetuadas com dois termo-higrômetros instalados no centro da casa de vegetação, sendo possível verificar o comportamento do clima em todas as etapas do experimento. Com o monitoramento foi possível verificar máximas acima de 50° C e mínimas próximas de 10° C.

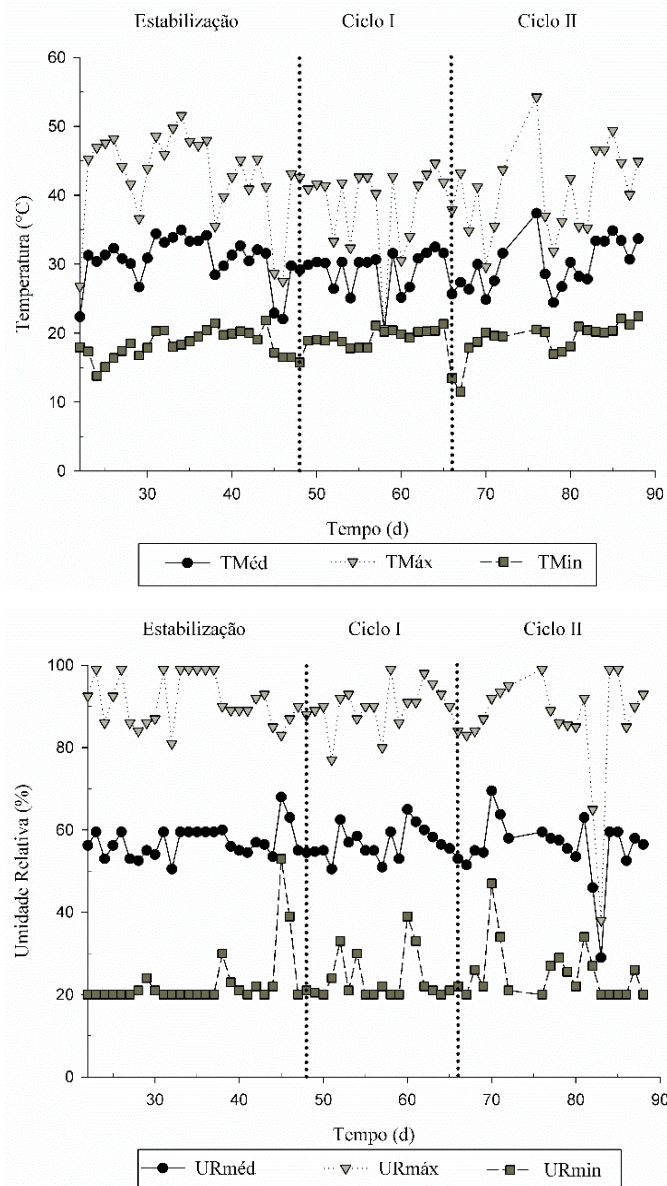


Figura 2: Temperatura e umidade relativa dentro da casa de vegetação.

2.6. Avaliações experimentais

Nos experimentos foram avaliados o afluente e o efluente semanalmente, ou seja, a cada dois ciclos (t_c de 3,5 d), um era avaliado. Determinou-se a evapotranspiração diária em cada parcela e após cada corte (0,10 m) foram realizadas análises nutricionais e de rendimento agrônômico do capim-tifton-85.

2.6.1. Avaliações laboratoriais

As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Qualidade de Água (LQA) e no Laboratório de Solos e Resíduos Sólidos (LSRS) pertencentes ao DEA/UFV.

Semanalmente e a cada corte do capim-tifton-85, foram realizadas coletas dos efluentes e procedeu-se as análises de nitrogênio total (N_T), fósforo total (P_T), potássio (K), sódio (Na), demanda química de oxigênio (DQO), potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), potencial de oxirredução (Eh) e sólidos dissolvidos totais (SDT) com a finalidade de entender as reações vigentes e as eficiências de remoção dos poluentes nos SACs.

Para se obter o valor real de remoção dos poluentes, foram calculadas as diferenças mássicas do elemento, ou seja, as concentrações dos parâmetros analisados foram compensadas de acordo com o volume perdido, devido à evapotranspiração ou evaporação em cada SAC. Os parâmetros analisados estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Parâmetros analisados durante o monitoramento dos SACs e métodos.

Parâmetros	Método
Demanda Química de Oxigênio	Refluxo fechado
Nitrogênio total	Processo semimicro Kjeldahl
Fósforo total	Espectrofotometria
Potássio	Fotômetro de chama
Sódio	Fotômetro de chama
Potencial hidrogeniônico	MP Series Hach
Potencial de oxirredução	MP Series Hach
Condutividade elétrica	MP Series Hach
Sólidos dissolvidos totais	MP Series Hach
Evapotranspiração	Método do balanço de volumes

As análises de DQO, PT, K e Na foram efetuadas segundo o *Standard Methods for the Examination Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2012).

O N_T foi quantificado de acordo com o processo semimicro Kjeldahl com adição de ácido salicílico. Esse procedimento consiste na digestão da amostra para conversão de todo o nitrogênio presente em amônio (NH_4^+) e, posteriormente, em amônia (NH_3), e foi quantificado por titulação do ácido bórico com a solução de ácido sulfúrico.

Para as análises das plantas, após o corte do capim, foram encaminhadas para o LSRS/DEA, secados em estufa com recirculação de ar, sob temperatura de 65 °C por 72 horas, para posterior trituração em moinho tipo Wiley. As análises seguiram os métodos sugeridos por Silva (2009).

O N_T na parte aérea das plantas foi quantificado pelo método semimicro Kjeldahl com adição de ácido salicílico, adaptado de Kiehl (1985).

Com base nas análises nutricionais, foi realizado o cálculo da taxa de absorção diária de nitrogênio pelo capim-tifton-85, sendo que a taxa de absorção foi calculada com o uso da Equação 2.

$$TN_T = \frac{\left(\frac{TN_{Nutri} \times MS}{Asup}\right)}{Pc} \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

TN_T - Taxa de absorção de nitrogênio em $g\ m^{-2}\ d^{-1}$;

T_{Nutri} - Teor do nutriente ou sódio na matéria seca da parte aérea do capim-tifton-85 em $g\ g^{-1}$;

MS - Matéria seca da parte aérea do capim-tifton-85 em g;

Asup - Área superficial do SAC em m^2 ;

Pc – Período de cultivo em d.

2.6.2. Avaliações agronômicas

Na Tabela 6 são apresentados os parâmetros analisados no capim-tifton-85 e as respectivas metodologias. A produção da forrageira foi avaliada nos dois ciclos, realizando os cortes a 0,10 m ao nível do meio suporte. A parte aérea desse material

foi coletado e levado para secar em estufa com ventilação forçada, a temperatura de 65°C, por 72 horas.

Tabela 6: Parâmetros agronômicos analisados e métodos.

Parâmetros	Método
Matéria Seca	Estufa com ventilação forçada
Clorofila	SPAD-502
Altura das plantas	Fita métrica
Número de entrenós	Contagem

Determinou-se no final de cada ciclo a estimativa do teor de clorofila das folhas com o Chlorophyll Meter SPAD-502, primeiramente o Chlorophyll Meter SPAD-502 foi calibrado de acordo com as especificações do equipamento. Posteriormente, procedeu-se as leituras na parte central da lâmina foliar que se encontrava no terço médio da haste, no qual foi padronizado uma folha por haste e duas hastes por vaso.

No final dos ciclos avaliou-se duas hastes de capim de cada vaso para os parâmetros: alturas das plantas e número de entrenós.

2.7. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância por meio do programa de análise estatística GENES[®] (Cruz, 2013), quando significativo até o nível de 5%, procedeu-se a análise de regressão e adotou-se o modelo com maior coeficiente de determinação (R^2) e que expressasse o comportamento do fenômeno. Os coeficientes das regressões foram submetidos ao teste t em nível de 5% de significância, quando o modelo apresentou o nível acima de 5% colocou-se a probabilidade encontrada para o modelo.

Quando o modelo de regressão não explicou o fenômeno, realizou-se o teste de Dunnett para comparação dos tratamentos de GA₃ com as testemunhas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Produtividade e desenvolvimento vegetativo do capim-tifton-85

Na Tabela 7 é apresentado o resumo da análise de variância para os parâmetros de produtividade e desenvolvimento vegetativo dos dois ciclos de cultivo do capim-tifton-85. Observa-se que no primeiro ciclo, os parâmetros altura de plantas, produtividade de matéria seca (kg ha⁻¹) e índice SPAD foram significativamente influenciados pelas diferentes doses de GA₃. No segundo ciclo constatou-se efeito significativo das diferentes doses testados de GA₃ no parâmetro altura de plantas. Os parâmetros produtividade, índice SPAD e números de entrenós no segundo ciclo não foram influenciados significativamente pelas doses de GA₃.

Tabela 7: Resumo da análise de variância para os parâmetros altura de plantas (AP), produtividade de matéria seca da parte aérea das plantas (PMS), índice SPAD (SPAD), número de entrenós (NEnt.) do primeiro e segundo ciclo de cultivo.

FV	GL	AP	PMS	SPAD	NEnt.
1º Ciclo					
Blocos	3	27,82	78442,96	6,46	0,25
Tratamentos	4	219,31**	1244664,33**	70,48**	0,33 ^{ns}
Resíduo	12	10,91	202104,57	10,14	0,27
Média		49,21	3634,93	38,14	4,48
CV(%)		6,71	12,37	8,35	11,54
2º Ciclo					
Blocos	3	45,60	33247,67	0,84	0,83
Tratamentos	4	61,65**	304445,23 ^{ns}	2,91 ^{ns}	0,18 ^{ns}
Resíduo	12	5,81	126623,44	4,12	0,46
Média		44,54	4830,43	36,4	4,3
CV(%)		5,41	7,37	5,58	15,74

(**) Significativo a 1%, (*) significativo a 5% e (^{ns}) não significativo, pelo teste F.

Na Figura 3 são apresentados os valores das alturas do capim-tifton-85 dos dois ciclos de cultivo. Com efeito positivo para o crescimento em função das doses de GA₃, ajustaram-se para os ciclos um modelo de regressão em raiz quadrada. Para o primeiro ciclo o modelo apresentou um p = 0,1192 pelo teste *t*.

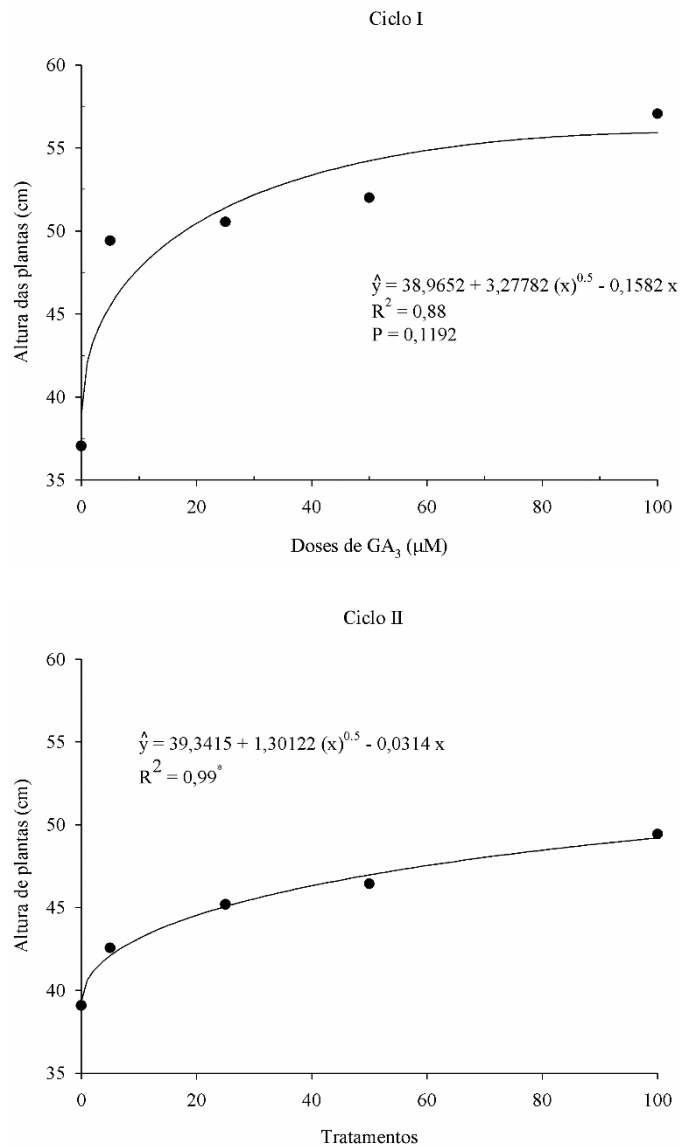


Figura 3: Altura de plantas em função das doses de GA₃ (ciclo I e II).

Um dos papéis do GA₃ é promover a alongação do caule (Taiz e Zeiger, 2013a), foi possível observar esse efeito no presente estudo para a altura das plantas do capim-tifton-85 (Figuras 3 e 4). O incremento na altura das plantas deve-se ao alongamento dos internódios do colmo, pois não houve diferença no número de entrenós (Tabela 7). Comparando o melhor tratamento para a altura (100 μM de GA₃) com o controle observa-se um aumento de 35,1% e 20,9% na altura das plantas para o primeiro e segundo ciclo, respectivamente.



Figura 4: Capim-tifton-85 tratado com diferentes doses de GA₃ (ciclo II). Os tratamentos foram NC = 0; N1 = 5; N2 = 25; N3 = 50 e N = 100 μM de GA₃.

Observou-se nos dois ciclos que a testemunha sem a aplicação do GA₃ apresentou menor crescimento do que nos demais tratamentos (Figura 3). O capim-tifton-85 adapta-se bem às condições dos SACs, podendo desenvolver aerênquimas em condições de hipóxia (Hameed *et al.*, 2010). Contudo, não é considerado uma planta aquática e no tratamento de esgotos sanitários é cultivado em meios com concentrações elevadas de sais (K e Na), é possível inferir que o capim está crescendo em condições de estresse abiótico. As plantas quando cultivadas em estresse abiótico desenvolvem níveis alterados de fitohormônios e consequentemente respondem com a redução do seu crescimento (Atkinson e Urwin, 2012).

Um indicativo do desbalanço do GA₃ endógeno na planta pode ser observado na Figura 3, principalmente no primeiro ciclo, com a menor concentração de GA₃ (5 μM de GA₃) aplicado nas plantas foi possível verificar um aumento de 25,1% na altura média das plantas.

Martins *et al.* (2012), estudando o efeito da aplicação exógena do GA₃ no arroz anão, observaram aumento significativo da altura das plantas em comparação ao tratamento sem o fitohormônio.

O incremento da altura do capim-tifton-85 no primeiro ciclo foi da ordem de $3,3 x^{0,5}$, sendo x as doses de GA₃, entretanto o incremento do mesmo parâmetro para o segundo ciclo foi de $1,3 x^{0,5}$. Essa redução da resposta ao GA₃ pode estar associado com a idade das plantas, pois a resposta do GA₃ em tecido mais velho é menos proeminente. As giberelinas são produzidas em tecidos jovens do sistema caulinar e sementes em desenvolvimento (Pires e Maia, 2012).

A produtividade de matéria seca da parte aérea do capim-tifton-85 no primeiro ciclo apresenta um comportamento em raiz quadrada para as diferentes doses de GA₃ (Figura 5). A maior produtividade encontrada no modelo de regressão foi de 4097,7 kg ha⁻¹ em função da dose ideal de 53 μM de GA₃. Foi observado no tratamento controle (0 μM de GA₃) uma produtividade de 2682,6 kg ha⁻¹, ou seja, 33,8% inferior a produtividade obtida com o tratamento de 50 μM de GA₃.

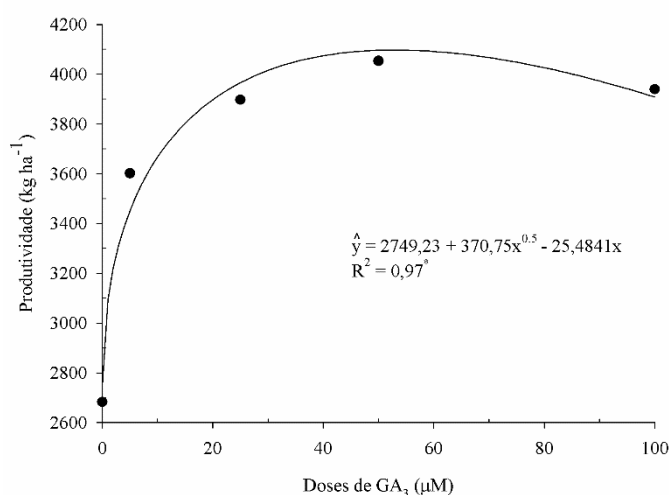


Figura 5: Produtividade de matéria seca do capim-tifton-85 em função das diferentes doses de GA₃ (ciclo I).

O aumento da matéria seca da parte aérea do capim-tifton-85 com a aplicação exógena de doses crescentes de GA₃, pode indicar que esse fitohormônio desempenha um papel importante na absorção de água e nutrientes e na transformação para acúmulo de carboidratos entre os órgãos das plantas. O mesmo foi observado por Zang *et al.* (2016), com a aplicação foliar de GA₃ e avaliação da matéria seca das folhas de Mirtilo.

O GA₃ estimula a divisão celular e o alongamento das células, e a adição exógena desse fitohormônio promove um aumento do crescimento das plantas,

melhorando a disponibilidade de GA₃ endógeno, esta visão é apoiada por Kaur *et al.* (1998) e Tuna *et al.* (2008), trabalhando com grão-de-bico e milho, respectivamente.

Resultados semelhantes ao presente estudo foram observados na cultura do milho, cultivado em casa de vegetação com e sem aplicação de GA₃, os autores constataram uma elevação de 49% da matéria seca da parte aérea do milho quando aplicado o GA₃ na concentração de 0,3 mg planta⁻¹ (Alvarenga *et al.*, 2017).

Donga *et al.* (2016), trabalhando com a aplicação do GA₃ em quatro variedades de arroz colhidas em dois tempos diferentes, observaram efeito do fitohormônio no aumento da produtividade em matéria seca da palhada, assim como efeito positivo para a produção de grãos quando comparado com o tratamento controle.

Tuna *et al.* (2008) verificaram efeito positivo do GA₃ no cultivo do milho em condições de estresse abiótico (salinidade), e observaram maior produtividade de matéria seca da parte aérea para o tratamento com aplicação exógena de GA₃.

Para o índice SPAD avaliado no primeiro ciclo (Figura 6) observou-se um comportamento crescente e linear em relação às doses de GA₃, indicando um menor teor de clorofila para o tratamento sem a aplicação exógena de GA₃.

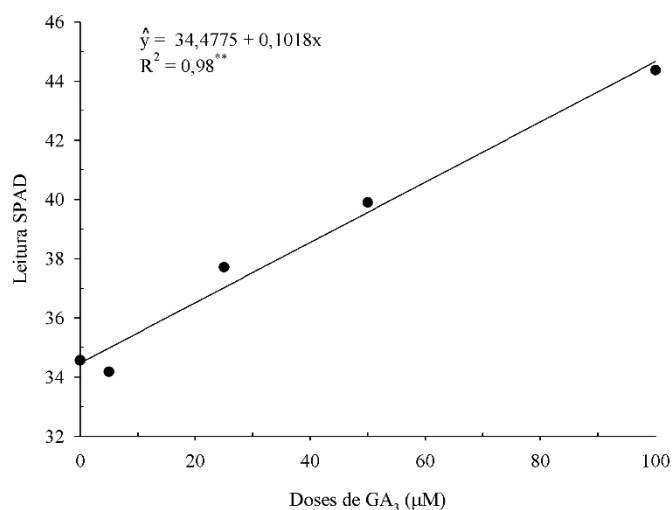


Figura 6: Índice SPAD em função das diferentes doses de GA₃ (ciclo I).

Como as plantas foram cultivadas em condições adversas (meio alagado e na presença de sais), essa menor quantidade de clorofila na testemunha pode ser atribuída a formação de enzimas proteolíticas como a clorofilase, que é responsável pela degradação da clorofila (Sabater e Rodriguez, 1978; Tuna *et al.*, 2008), podendo

danificar o sistema fotossintético. A aplicação de GA₃ melhora os níveis de clorofila nas plantas cultivadas em SACs.

A ausência de efeito do GA₃ para a PMS e índice SPAD do capim-tifton-85 no segundo ciclo pode estar relacionada com o período de aplicação do fitohormônio. Parsons *et al.*, 2013, por exemplo, observaram que o GA₃ aplicado ao longo da primavera promove um elevado crescimento da forragem e essa reposta ao hormônio é reduzida no verão, em função das altas temperaturas. Como pode ser observado na Figura 1, as temperaturas máximas e médias do segundo ciclo foram de 40,1 e 30,1 °C (próximo da estação do verão), superando as temperaturas do primeiro ciclo que foram 37,1 e 27,9 °C, respectivamente. Outros fatores que podem ter influenciado a ausência de efeito do GA₃ no segundo ciclo são: idade da planta, restrição do espaço para o crescimento das raízes e, como salientado anteriormente, uma menor resposta do GA₃ em tecidos mais velhos.

3.2. Absorção de nutrientes e sódio pelo capim-tifton-85

Na Tabela 8 é apresentado um resumo da análise de variância dos dois ciclos de cultivo do capim-tifton-85.

Tabela 8: Resumo da análise de variância para os parâmetros teores de nitrogênio total (N_T), potássio (K), fósforo total (P_T) e sódio (Na) da parte aérea do capim-tifton-85 no primeiro e segundo ciclo de cultivo.

FV	GL	dag kg ⁻¹			
		N _T	K	P _T	Na
1º Ciclo					
Blocos	3	0,0461	0,1293	0,0008	0,0002
Tratamentos	4	0,0903 ^{ns}	0,1530 ^{ns}	0,0096 ^{ns}	0,0002 ^{ns}
Resíduo	12	0,311	0,2377	0,0044	0,0005
Média		3,23	2,28	0,53	0,14
CV(%)		17,26	21,38	12,66	15,66
2º Ciclo					
Blocos	3	0,0187	0,0818	0,0004	0,0004
Tratamentos	4	0,2301 ^{**}	0,0633 ^{ns}	0,0018 ^{ns}	0,0014 ^{**}
Resíduo	12	0,0378	0,0306	0,0007	0,0002
Média		3,06	1,99	0,49	0,18
CV(%)		6,36	8,81	5,5	8,17

(**) Significativo a 1%, (*) significativo a 5% e (^{ns}) não significativo, pelo teste F.

No primeiro ciclo os parâmetros teores de nutrientes e Na da parte aérea das plantas não foram influenciados pelos níveis testados de GA₃ em relação ao tratamento sem a aplicação do fitohormônio (Tabela 8). Contudo, no segundo ciclo observa-se efeito significativo das diferentes doses de GA₃ nos parâmetros teores de N_T e Na.

As médias dos teores de N_T na parte aérea do capim-tifton-85 são apresentadas na Tabela 9, e foram comparados com a testemunha pelo teste de Dunnett, pois não foi possível ajustar um modelo de regressão significativo que explicasse o fenômeno, onde apenas o nível 1 (5 µM de GA₃) diferiu do nível controle sem aplicação de GA₃.

Tabela 9: Teor de N_T da parte aérea do capim-tifton-85 e teste Dunnett para comparação de médias da testemunha com as doses de GA₃.

Tratamentos	Ciclo II
	N _T
N1	3,42
N2	2,96 ^a
N3	2,90 ^a
N4	3,17 ^a
NC	2,83 ^a

Médias de tratamento seguidas da letra (^a) não diferiram da testemunha NC pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de significância. N_T – Teor de nitrogênio total (dag kg⁻¹).

Conforme os resultados da Tabela 9 e confrontando os dados da Figura 5 é possível inferir que o estímulo exógeno do nível 1 (5 µM de GA₃) foi suficiente para elevar o nível endógeno de GA₃ e com isso reduzir as respostas negativas aos estresses salino e hipóxico, o que poderia ser tanto em relação a redução do crescimento do capim, assim como a redução da absorção de nitrogênio o que resultaria em menor teor de N_T. Todavia, constatou-se que com o aumento das doses de GA₃ não houve diferença no teor de N_T em relação a testemunha, e verificando a Figura 5 depreende-se que a plantas continuaram aumentando a sua biomassa nas doses crescentes e em função disso proporcionou um efeito de diluição do N_T interno das plantas.

Geralmente com a aplicação exógena do GA₃ esperasse um maior acúmulo N_T em função do maior rendimento produtivo em biomassa, contudo para o teor de N_T

normalmente o que poderia ocorrer seria uma redução neste teor em função de uma diluição interna na planta.

Em contraste a este estudo, Bai *et al.* (2016) observaram que aplicações de 5 μM de GA_3 reduziu a concentração de N_T na parte aérea das mudas de *Cucumis sativus* L., mas em função do aumento do rendimento da parte aérea constaram um aumento no acúmulo de N_T na parte aérea das plantas.

Matos *et al.* (2008) trabalhando com SACs de escoamento horizontal subsuperficial para o tratamento de água residuária de laticínio, obtiveram teores de N_T na parte aérea do capim-tifton-85 em torno de 2,9 a 4,0 dag kg^{-1} , semelhante ao encontrado no presente estudo. Com isso, é possível compreender que os valores de teores de N_T estão adequados e o mais importante como resultado seria o maior rendimento produtivo em biomassa, pois permite assim um maior acúmulo e/ou extração de poluentes do esgoto sanitário.

Ajustou-se para o teor de Na na parte aérea do capim-tifton-85 um modelo em raiz quadrada (Figura 7), onde inicialmente tem-se um crescimento até a dose de 15 μM de GA_3 e a partir dessa dose o efeito no teor de Na foi decrescente. O teor médio de Na na parte aérea das plantas foi de 0,18 dag kg^{-1} e no melhor tratamento observou-se um teor de 0,20 dag kg^{-1} .

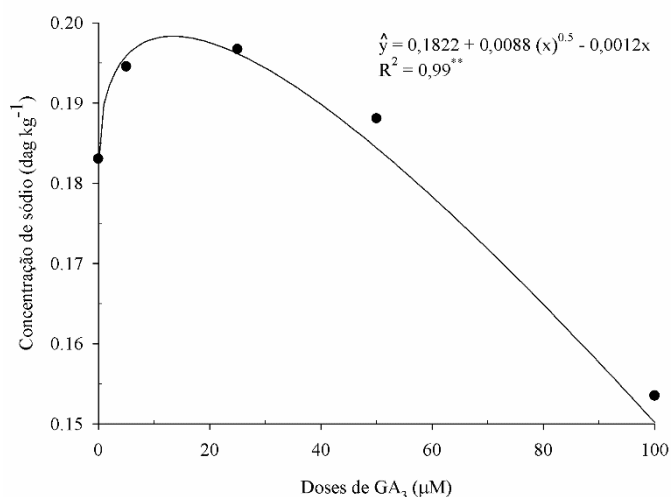


Figura 7: Teor de Na na matéria seca do capim-tifton-85 em função das diferentes doses de GA_3 (ciclo II).

Como pode ser observado na Figura 7, as doses iniciais de GA₃ promoveram um pequeno aumento no teor de Na na parte aérea do capim-tifton-85. Ashraf *et al.* (2002), estudando duas cultivares de trigo tratadas com GA₃ exógeno obtiveram maiores teores de Na e Cl⁻ na parte aérea e raízes quando comparado ao tratamento sem aplicação de GA₃.

As maiores doses de GA₃ promoveram uma redução no teor de Na na parte aérea das plantas, do ponto de vista agrônômico é interessante essa redução, pois a presença de Na em grandes concentrações pode provocar uma redução no teor de clorofila, como pode ser observado para testemunha e os tratamentos com doses iniciais de GA₃ (Figura 5), esse efeito também foi relatado por Tuna *et al.* (2008) no cultivo de milho.

No primeiro ciclo não foi observado efeito significativo das doses de GA₃ para o parâmetro teor de Na, as razões não são claras, possivelmente o Na no segundo ciclo pode ter substituído o K em algumas funções, tais como a regulação do potencial osmótico (Taiz e Zeiger, 2013b), pois a relação média dos teores de Na/K do primeiro ciclo foi de 1/16 e no segundo ciclo essa relação foi reduzida para 1/11, possibilitando a verificação do efeito entre os tratamentos para o teor de Na na parte aérea do capim-tifton-85.

O maior teor de Na nos tratamentos que receberam GA₃ não resultaram em maior taxa de remoção deste elemento (TNa) para nenhum dos ciclos avaliados. Um dos fatores que pode ter inibido a expressão significativa da remoção do Na seria o efeito do crescimento das plantas (Figura 4) que variou para as diferentes doses testadas com a tendência de crescimento positivo (Figura 3), já para o teor de Na da parte aérea o efeito predominante foi decrescente com o aumento das doses (Figura 7). A média da TNa foi de 0,035 g m⁻² d⁻¹ para os dois ciclos avaliados.

O teor médio de P da parte aérea do capim-tifton-85 nos dois ciclos de cultivo foi de 0,09 dag kg⁻¹. Esse teor foi menor do que a encontrada por Matos *et al.* (2008), 0,36 dag kg⁻¹ para o mesmo capim no tratamento de água residuária de laticínio, essa diferença pode ser em função das diferentes taxas de carregamento de P aplicadas em cada experimento.

Os parâmetros AN_T, AP_T e TN_T do primeiro ciclo de cultivo do capim-tifton-85 foram influenciados significativo pelas diferentes doses de GA₃. No segundo ciclo de cultivo não observou efeito significativo da aplicação das diferentes doses de GA₃ para os parâmetros AN_T, AP_T e TN_T (Tabela 10), essa ausência de significância

pode ser correlacionada com a ausência de efeito do GA₃ para os parâmetros produtivos do segundo ciclo.

Tabela 10: Resumo da análise de variância para os parâmetros acúmulo de nitrogênio total (AN_T), potássio (AK), fósforo total (AP_T) e sódio (ANa), taxa de absorção diária de nitrogênio total (TN_T), potássio (TK), fósforo total (TP_T) e sódio (TNa) da parte aérea do capim-tifton-85 no primeiro e segundo ciclo de cultivo.

FV	GL	g				g m ⁻³ d ⁻¹			
		AN _T	AK	AP _T	ANa	TN _T	TK	TP _T	TNa
1° Ciclo									
Blocos	3	0,004	0,002	0,0001	0	0,174	0,071	0,002	0,0001
Trat.	4	0,02**	0,02 ^{ns}	0,0009*	0,00 ^{ns}	0,99**	1,03 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,002 ^{ns}
Resíduo	12	0,004	0,011	0,0003	0	0,182	0,508	0,013	0,002
Média		0,51	0,36	0,08	0,02	3,55	2,55	0,58	0,15
CV(%)		11,85	28,32	19,79	18,9	12,03	27,93	19,83	25,71
2° Ciclo									
Blocos	3	0,002	0,002	0	0,0001	0,054	0,600	0,0002	0,0011
Trat.	4	0,001 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,0001 ^{ns}	0,0001 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,003 ^{ns}
Resíduo	12	0,002	0,003	0	0	0,059	0,104	0,001	0,0009
Média		0,64	0,42	0,10	0,04	3,52	2,30	0,56	0,21
CV(%)		6,86	13,81	6,30	16,77	6,93	13,98	6,45	14,35

(*) Significativo a 1%, (**) significativo a 5% e (^{ns}) não significativo, pelo teste F.

A ausência significativa dos parâmetros avaliados no segundo ciclo de cultivo pode ter ocorrido pela restrição do espaço para o crescimento das raízes em função da idade das plantas, sendo que a altura do meio suporte foi de 21,2 cm, e Matos *et al.* (2008) cultivando o capim-tifton-85 em SACs relataram que as raízes chegaram a uma profundidade de 30 cm. Outro fator que pode ter influenciado é a menor resposta do GA₃ em tecidos mais velhos, visto que esse hormônio é produzido em tecidos jovens (Pires e Maia, 2012).

Vale ressaltar que o experimento visou verificar o efeito da aplicação GA₃ no mesmo estágio de corte da testemunha sem aplicação, mas uma das práticas adequadas de cultivo das forrageiras é estabelecer o corte pela altura e não pelo tempo de cultivo, assim seria possível realizar mais cortes quando aplicado o GA₃ o que resultaria em maiores remoções dos poluentes dos SACs.

Na Figura 8 os efeitos dos parâmetros AN_T e TN_T foram ajustados para o modelo de regressão em raiz quadrada com p = 0,1411 e p = 0,1417, respectivamente,

possibilitando compreender a relação entre as doses de GA₃ e a remoção de N pelas plantas.

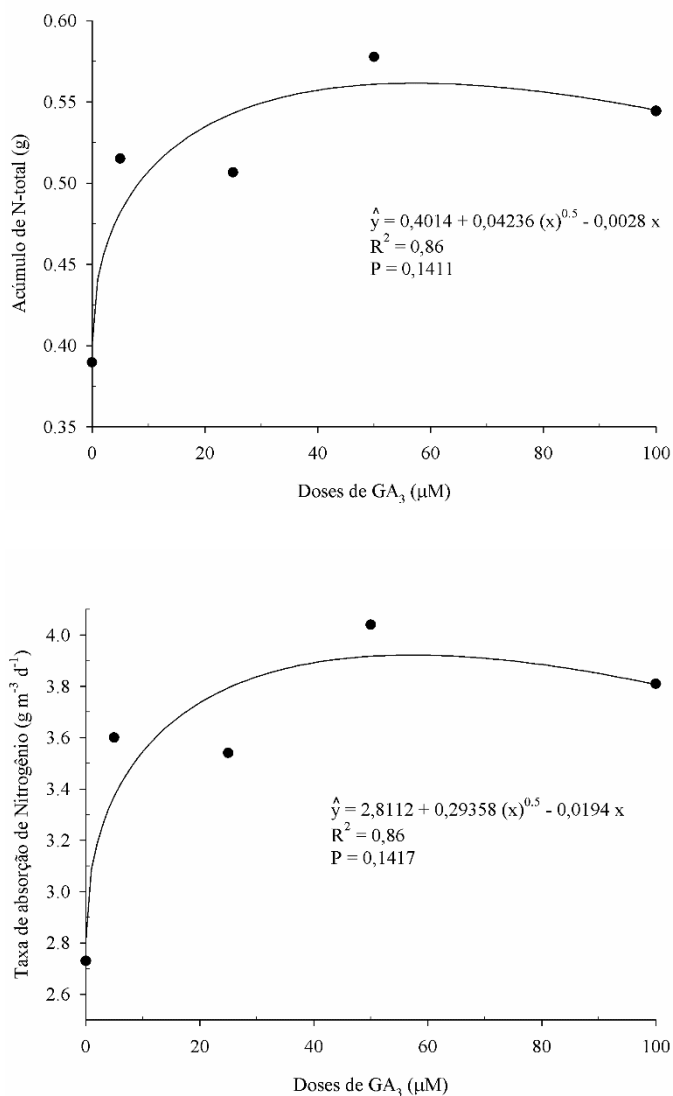


Figura 8: Acúmulo e taxa de absorção de N_T da parte aérea do capim-tifton-85 em função das diferentes doses de GA₃ (ciclo I).

Para o modelo gerado (Figura 8) o maior acúmulo e taxa de remoção de N_T foram de 0,56 g e 3,92 g m⁻³ d⁻¹ respectivamente, para a dose de 57 µM de GA₃.

No primeiro ciclo o GA₃ promoveu um aumento da produtividade em matéria seca da parte aérea das plantas, associado a esse efeito as plantas acumularam maiores quantidades de N o que resultou em maiores taxas de remoção deste nutriente (Figura 8). Khan *et al.* (2002) verificaram que as plantas de mostarda acumularam

maiores quantidade de nitrogênio na parte aérea e nas sementes nos tratamentos com a aplicação exógena de GA₃.

Bai *et al.* (2016) cultivando *Cucumis sativus* L. com uma temperatura radicular de 16 °C abaixo do ótimo, ou seja, em condições de estresse. Constataram que a aplicação da dose de 5 µM de GA₃ na parte aérea proporciona um maior acúmulo de N_T da planta quando comparado com o tratamento sem a aplicação.

O acúmulo de P_T na parte aérea do capim-tifton-85 é apresentado na Tabela 11, por não apresentar um modelo de regressão significativo para explicar o efeito das doses de GA₃, comparou-se os tratamentos com a testemunha pelo teste de Dunnett, onde apenas o nível 1 (5 µM de GA₃) diferiu do nível controle sem aplicação de GA₃.

Tabela 11: Acúmulo de fósforo total da parte aérea do capim-tifton-85 e teste Dunnett para comparação de médias das testemunhas com as doses de GA₃.

Tratamentos	Ciclo I
	AP _T
N1	0,10
N2	0,08 ^a
N3	0,09 ^a
N4	0,09 ^a
NC	0,06 ^a

As médias dos tratamento seguidas da letra (^a) não diferiram da testemunha NC pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de significância. AP_T – Acúmulo de fósforo total da parte aérea das plantas (g).

Tuna *et al.* (2008) observaram que o tratamento com aplicação exógena de GA₃, na cultura do milho em condições de salinidade, aumentou o P foliar.

3.3. Eficiência dos SACs na remoção de poluentes do esgoto sanitário sintético

O afluente em média apresentou um potencial redox de 127,2 mV, em apenas três picos (Figura 9) foi possível observar um potencial redox (Eh) acima do valor de entrada, indicando um pequeno efeito da oxigenação promovida pelo sistema radicular. Isso pode ser um indicativo da formação de aerênquimas pelas raízes do capim-tifton-85. Essa formação no tecido vegetal pode ser caracterizada como um mecanismo de adaptação em sistemas alagados. Barros (2005) e Hameed *et al.* (2010) descreveram e apresentaram cortes histológicos com a presença de aerênquimas em raízes do capim-tifton-85 em sistemas alagados.

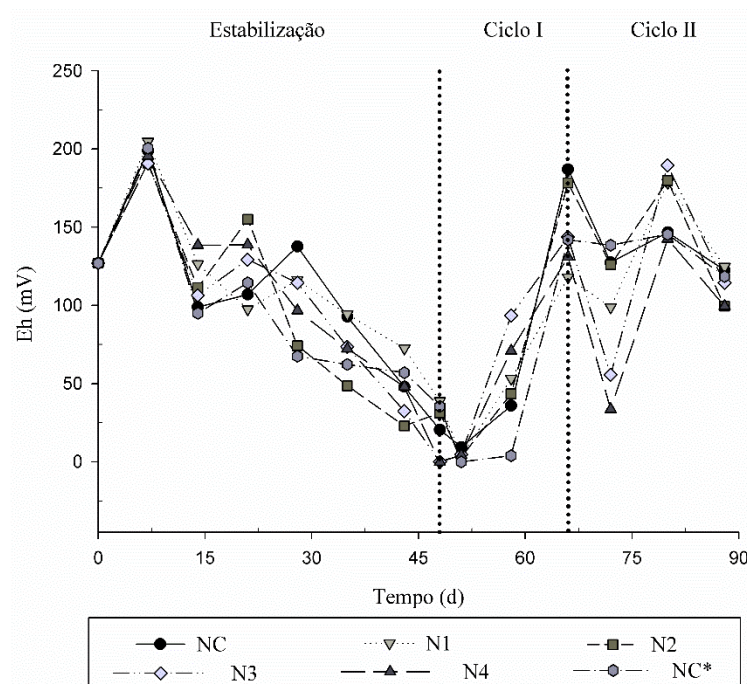


Figura 9: Potencial redox do efluente sanitário tratado para os diferentes tratamentos. NC = 0; N1 = 5; N2 = 25; N3 = 50 e N = 100 μM de GA_3 ; NC* testemunha extra sem o cultivo de capim-tifton-85.

O Eh avaliado em todo o período experimental manteve-se entre 0-204,75 mV. De acordo com Yu *et al.* (2007) um fator crítico para que haja nitrificação seria um Eh acima de 500 mV.

Em função do Eh avaliado no presente estudo é possível indicar que as condições dos SACs eram anóxicas/facultativas, Tian-Yen (1985) apresentaram uma classificação para o potencial redox do meio, Eh acima de 400 mV tem o predomínio de O_2 (meio oxidado), de 400-200 mV presença de O_2 e NO_3^- , e abaixo de 200 mV indica baixa presença de oxigênio tendendo para condições anóxicas/facultativas.

Após as coletas dos efluentes foram determinados o pH e a CE, cujos valores estão apresentados na Figura 10. O pH de entrada foi em média de 6,66 e a CE de 336,1 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Com exceção do NC*, os tratamentos apresentaram um comportamento similar para o parâmetro pH e CE. Nos dois ciclos o pH e a CE foram maiores para o NC*, isso permite compreender a importância de remoção dos poluentes (nutrientes e Na) e outros sais pelas plantas.

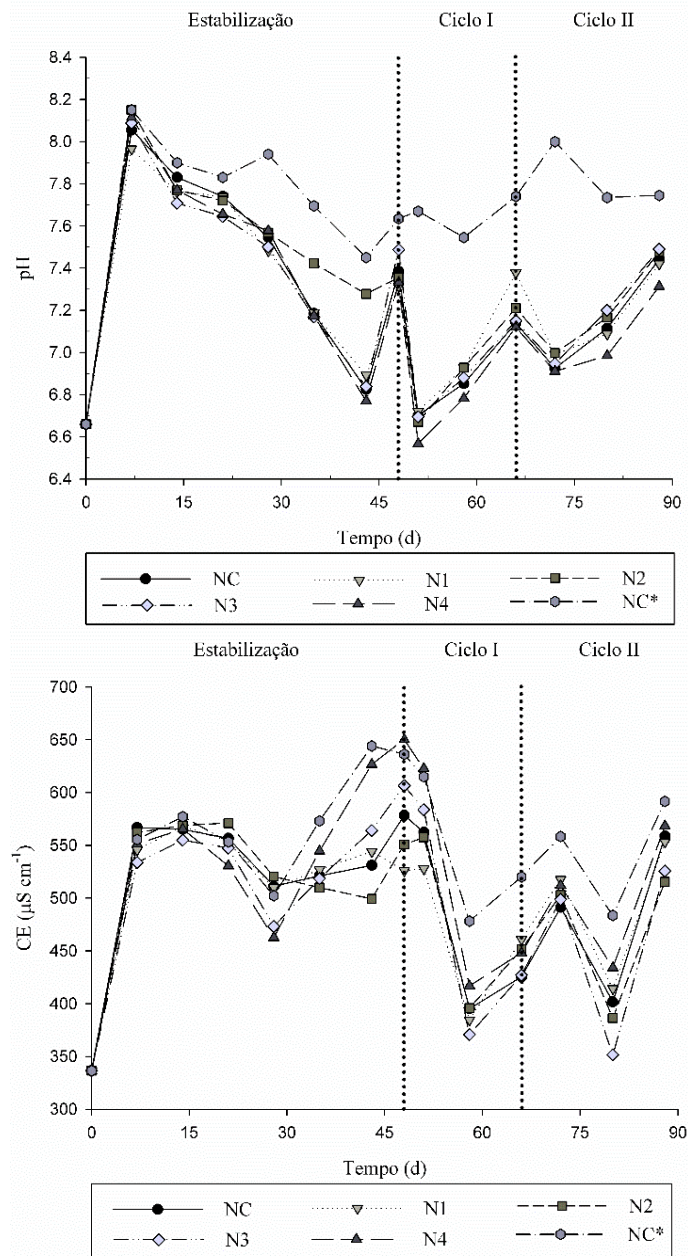


Figura 10: Potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica dos efluentes para os diferentes tratamentos. NC = 0; N1 = 5; N2 = 25; N3 = 50 e N = 100 μM de GA₃; NC* testemunha extra sem o cultivo de capim-tifton-85.

O aumento do pH nos diferentes tratamentos pode estar atrelado à utilização do dióxido de carbono pelas plantas e algas (Kadlec e Wallace, 2008).

Os níveis de tratamento e níveis de controle estiveram com o pH entre 6,5 a 8,2, ou seja, o esgoto sanitário sintético (ESS) afluente e efluente, apresentavam condições ideais para a sobrevivência dos microrganismos e para a degradação da matéria orgânica (Metcalf *et al.*, 2016). A faixa ótima para absorção de nutrientes fica

entre 5,5 e 6,5, o pH acima de 7,0 causa grande restrição na disponibilidade de micronutrientes e de fósforo (Martinez *et al.*, 1999).

Com a determinação do volume de entrada (afluente) e saída (efluente) foi possível calcular as médias diárias de evaporação e evapotranspiração (Figura 11).

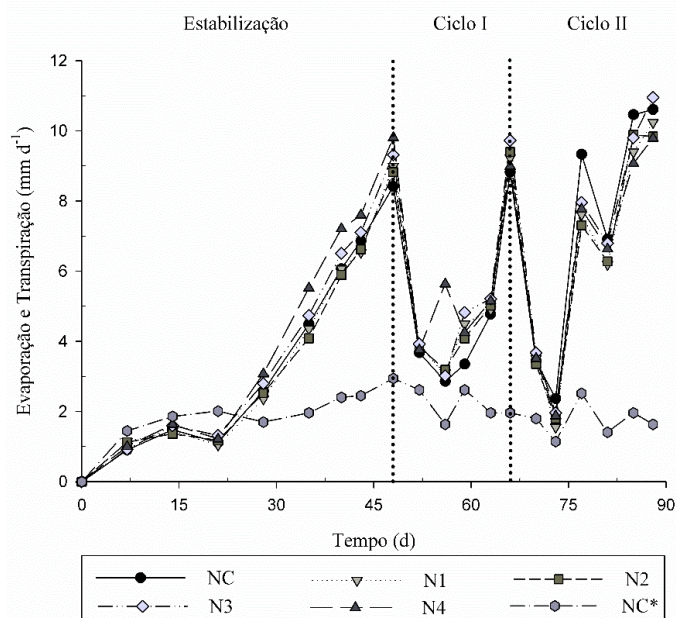


Figura 11: Evaporação e Evapotranspiração para os diferentes tratamentos. NC = 0; N1 = 5; N2 = 25; N3 = 50 e N = 100 μM de GA_3 ; NC* testemunha extra sem o cultivo de capim-tifton-85.

Com a determinação da evaporação e evapotranspiração foi possível calcular as diferenças mássicas, para expressar realmente a remoção de nutrientes e Na. O sistema sem capim-tifton-85 apresentou uma evaporação média de $2,0 \text{ mm d}^{-1}$ e nos sistemas com o cultivo do capim-tifton-85 observou-se uma evapotranspiração média dos tratamentos de $5,2 \text{ mm d}^{-1}$.

É possível observar nos SACs a importância do cultivo das plantas, pois transformam pela transpiração o ESS em água limpa para a atmosfera, ou seja, além de remover os poluentes (nutrientes) os SACs com plantas reduzem o volume de esgoto para a disposição final.

Os comportamentos das concentrações de N_T e P_T no efluente são apresentados na Figura 12. Primeiramente observou-se uma maior remoção de N e P pelas plantas em comparação com a testemunha sem plantas.

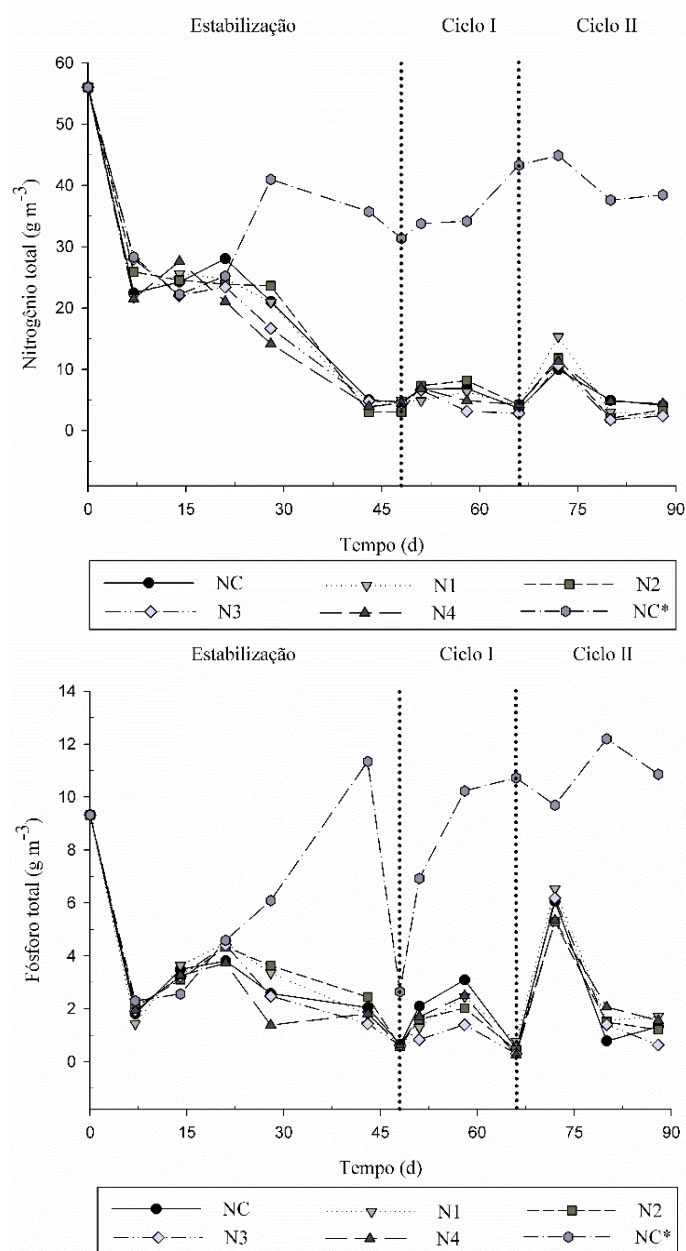


Figura 12: Concentração de N_T e P_T corrigido em função da ET do efluente para os diferentes tratamentos. NC = 0; N1 = 5; N2 = 25; N3 = 50 e N = 100 μM de GA_3 ; NC* testemunha extra sem o cultivo de capim-tifton-85.

A remoção desses poluentes do ESS reduz a disposição de N e P em rios e lagos, esses poluentes são nutrientes essenciais para o crescimento e multiplicação de algas que são responsáveis pela eutrofização dos corpos hídricos. Portanto, as plantas exercem um papel importante na absorção de N nas formas de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+), o íon amônio também pode ser adsorvido pelas suas raízes. A soma dessas formas nitrogenadas é descrita como nitrogênio total (Matos, 2015). Leverenz *et al.* (2010) e Herouvim *et al.* (2011) verificaram que a presença de plantas no SACs permite uma maior remoção de N das águas residuárias.

No primeiro ciclo, a remoção de DQO do ESS foi maior para o SAC sem a presença de plantas (NC*), e os SACs com os níveis de tratamento N3 e N4 foram os que apresentaram menores remoções de DQO comparados com as duas testemunhas (Tabela 12).

Tabela 12: Concentrações médias dos poluentes do efluente sanitário sintético e teste Dunnet para comparação de médias das testemunhas com as doses de GA₃.

Tratamentos	Ciclo I					
	DQO	N _T	P _T	K	Na	SDT
g m ⁻³						
Afluente	478	56,0	9,3	21,5	24,9	224,7
N1	96 ^a	5,22 ^a	1,60 ^a	3,65 ^a	20,29 ^a	205,75 ^a
N2	78 ^{ab}	6,72 ^a	1,42 ^a	3,92 ^a	20,00 ^a	212,48 ^a
N3	104	4,10 ^a	0,90	3,36 ^a	19,65	208,52 ^a
N4	115	5,29 ^a	1,58 ^a	4,83 ^a	21,16 ^a	234,59 ^a
NC	83 ^a	5,88 ^a	2,02 ^a	4,27 ^a	21,57 ^a	221,96 ^a
NC*	70 ^b	36,80 ^b	9,39 ^b	20,72 ^b	24,74 ^b	376,52 ^b
Ciclo II						
N1	123 ^a	7,07 ^a	3,19 ^a	5,22 ^a	22,35 ^a	219,76 ^a
N2	77 ^b	5,80 ^a	2,60 ^a	4,41 ^a	21,87 ^a	214,49 ^a
N3	90 ^{ab}	4,99 ^a	2,71 ^a	5,32 ^a	21,79 ^a	199,48 ^a
N4	114 ^a	6,81 ^a	2,88 ^a	5,62 ^a	22,56 ^a	223,13 ^a
NC	112 ^a	6,31 ^a	2,65 ^a	5,40 ^a	21,36 ^a	210,31 ^a
NC*	66 ^b	40,73 ^b	10,91 ^b	23,59 ^b	27,48 ^b	398,93 ^b

Para cada ciclo, médias de tratamento seguidas das letras (^a) e/ou (^b) não diferiram das testemunhas NC e/ou NC* respectivamente, pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de significância. DQO – Demanda química de oxigênio; N_T – Nitrogênio total; P_T – Fósforo total; K – Potássio; Na – Sódio; SDT – Sólidos dissolvidos totais. NC – 0, N1 – 5, N2 – 25, N3 – 50 e N4 – 100 μM de GA₃; NC* - sem plantas nos SACs.

Os tratamentos N3 e N4 foram os que obtiveram maior altura e produtividade de matéria seca em comparação com NC (primeiro ciclo) (Tabela 12). Em função disso foi possível deduzir que esses tratamentos apresentaram um maior crescimento das raízes. A aplicação de GA₃ pode estimular o crescimento das raízes (Taiz e Zeiger, 2013a) aliado ao maior desenvolvimento da parte aérea, esses tratamentos podem ter liberado mais exsudatos via sistema radicular, resultando em maiores concentrações de DQO dos efluentes. Exsudatos são secreções que liberam

íons, oxigênio livre, água, enzimas, mucilagem e uma diversidade de metabólitos primários e secundários com carbono na sua composição (Bertin *et al.*, 2003).

No segundo ciclo o tratamento NC* apresentou uma menor concentração de DQO quando comparado com o N1 e N4. Os tratamentos que receberam aplicação exógena de GA₃ (5, 50 e 100 μM de GA₃) não diferenciaram da testemunha NC (Tabela 12), essa menor eficiência de remoção da DQO nos tratamentos com a presença do capim-tifton-85 pode estar relacionado com a liberação de exsudatos das raízes e senescências das mesmas.

Para os nutrientes, Na e SDT todos os tratamentos foram superiores a testemunha NC*, demonstrando a importância das espécies vegetais para a remoção de poluentes do ESS tratado em SACs (Tabela 12).

Para expressar o efeito da remoção do fósforo do esgoto sanitário sintético no primeiro ciclo ajustou-se uma regressão de modelo quadrático para as diferentes doses testadas de GA₃ (Figura 13) com um $p = 0,1069$. A dose ideal para remoção global de P foi de 54 μM de GA₃, o que teoricamente resultaria em uma eficiência de remoção de igual a 89,75%.

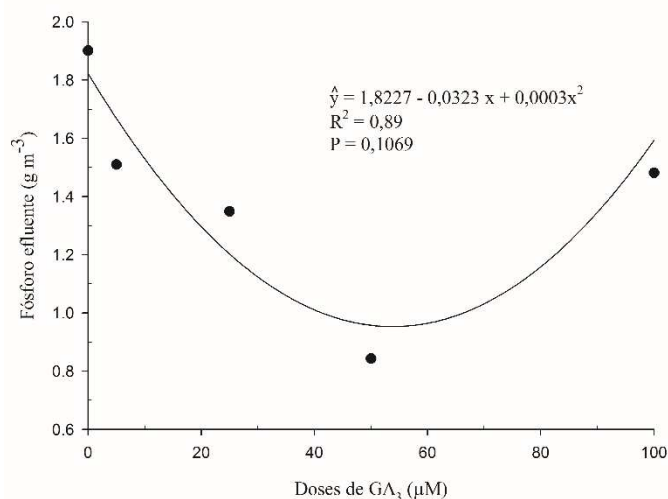


Figura 13: Concentração média do P_T no efluente para as diferentes doses de GA₃ (ciclo I).

Os valores destacados em verde nas barras da Figura 14 demonstram o papel das plantas nos SACs na remoção de N_T, P_T e Na do ESS, em função do acúmulo na biomassa da parte aérea do capim-tifton-85. Os “outros mecanismos” representados pela cor cinza, podem estar relacionados com a filtração e adsorção dos poluentes no

meio suporte, adsorção de íons no biofilme e raízes das plantas e degradação da matéria carbonácea e nitrogenada pelos microrganismos (Kadlec e Wallace, 2008).

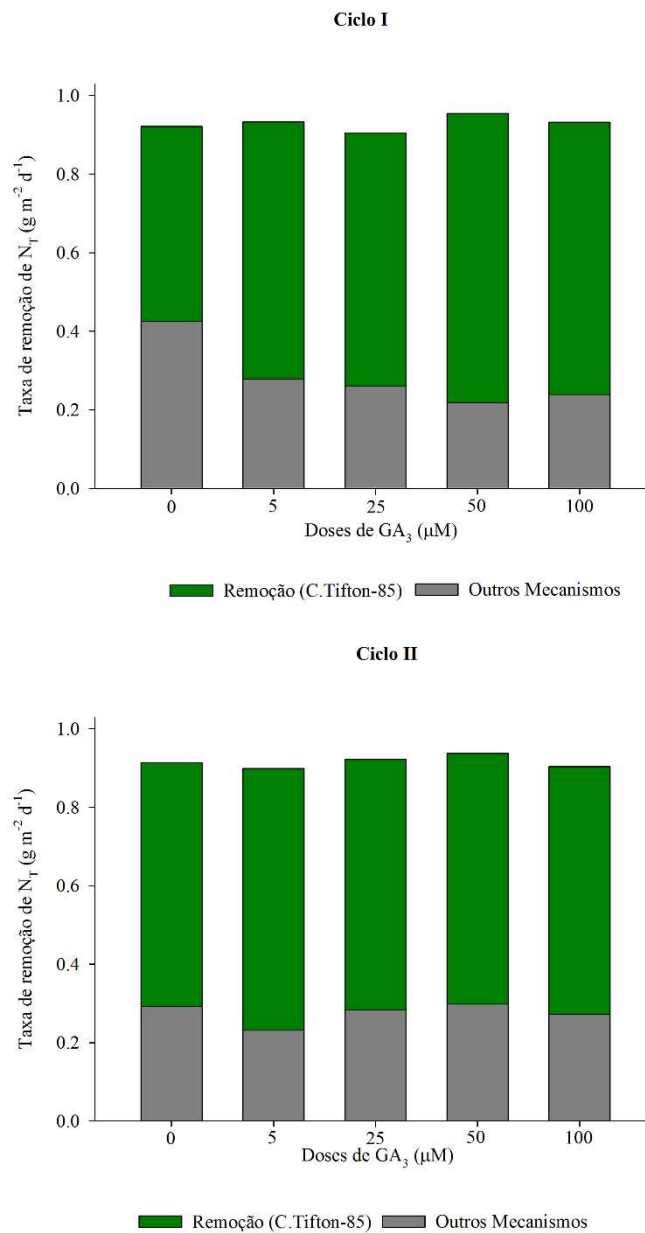


Figura 14: Taxas médias de remoções do N_T do esgoto sanitário sintético para as diferentes doses de GA₃ (ciclo I e II).

A eficiência total dos SACs é obtida por meio da interação sistema-substrato-planta-microrganismos e a radiação solar. No presente estudo a justificativa para a alta eficiência de remoção de nutrientes pelas plantas se deve a baixa taxa de carregamento. Mesmo assim essa carga foi suficiente para verificar o efeito do GA₃

sobre a remoção dos nutrientes pelas plantas, atendendo assim o objetivo inicial do trabalho.

O tratamento do ESS no presente estudo apresentou equilíbrio entre as remoções, quanto maior a remoção de N_T pelas plantas menor a remoção de N_T via outros mecanismos (Figura 14). O uso de GA_3 apresenta bom potencial para remoção de N_T via biomassa do capim-tifton-85 cultivado em SACs no tratamento de esgoto sanitário sintético, entretanto é interessante ser testado em campo com altas taxas de carregamento para que as plantas tratadas com GA_3 não seja um agente competidor por nutrientes no sistema.

Ucker *et al.* (2012) estudando a eficiência de tratamento do esgoto sanitário do SAC-EVSS cultivado com capim vetiver, observaram uma remoção de N_{amon} de 93,9% e para P_T de 90,5% para taxas de carregamento de 0,8 e 0,3 $g\ m^{-2}\ d^{-1}$, respectivamente. Essas eficiências e taxas de carregamento foram semelhantes ao presente estudo.

Na Tabela 13 é apresentada uma revisão dos valores encontrados na literatura para as taxas de carregamento e remoção de N_T pelo capim-tifton-85 no tratamento de diferentes águas residuárias.

Tabela 13: Revisão de taxas de carregamento e remoção de N_T ($g\ m^{-2}\ d^{-1}$) de águas residuárias tratadas em SACs com o cultivo do capim-tifton-85.

Referências	Afluente	Aplicação	Remoção	Cultivo
		(Ls)	(Ls)	d
		$g\ m^{-2}\ d^{-1}$		
Presente estudo ¹	ESS	1,02	0,69	41
Matos (2008) ²	ARL	0,61	0,37	112
Fia (2011) ³	ARS	25,70	0,42	120
Matos (2010a) ⁴	ARL	1,90	0,40	90
Jesus (2016) ⁵	ES	9,20	0,79	60

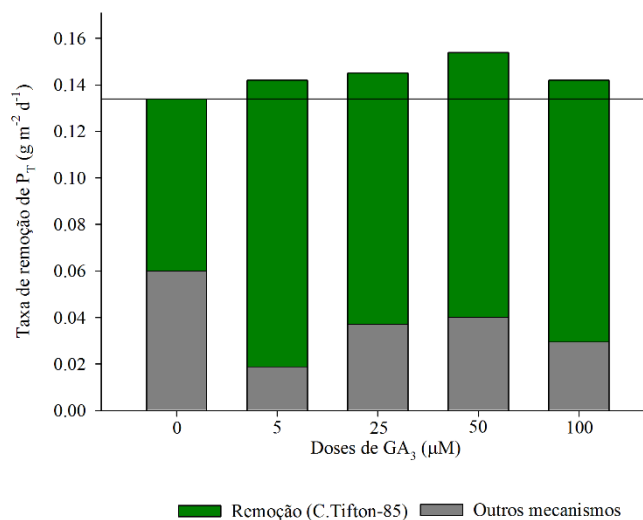
¹Presente estudo: dados médios do N3 (50 μM de GA_3); ²Matos *et al.* (2008) tratamento de água residuária de laticínio; ³Fia *et al.* (2011) tratando água residuária de suinocultura; ⁴Matos *et al.* (2010a) tratando água residuária de laticínio; ⁵Jesus (2016) tratando esgoto sanitário.

A remoção de N_T no presente estudo foi superior aos valores observados por Matos *et al.* (2008), Fia *et al.* (2011) e Matos *et al.* (2010a) esses autores encontraram remoções de 0,37, 0,42 e 0,40 $g\ m^{-2}\ d^{-1}$ de N_T da parte aérea do capim-

tifton-85, respectivamente. Apenas Fia *et al.* (2011) trabalharam com alta taxa de carregamento de N_T , em torno de $25,70 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ de N_T , via água residuária de suinocultura.

Jesus (2016) tratando esgoto sanitário com taxas de carregamento igual a $9,20 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ de N_T em SACs cultivados com capim-tifton-85 observou remoções na ordem de $0,79 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ de N_T , os valores de taxa de aplicação e remoção foram superiores ao presente trabalho.

Na Figura 15 apresenta a remoção global de P e Na do esgoto sanitário sintético (ESS). Para a remoção total de P e Na do sistema o tratamento N3 foi superior quando comparado com a testemunha NC (Tabela 12). O tratamento N1 apresentou maior remoção de P pela biomassa vegetal do capim-tifton-85, contudo observou-se uma menor remoção atribuída a outros mecanismos. Para o primeiro ciclo a aplicação exógena de GA_3 promoveu um maior potencial de remoção global de P e Na do ESS.



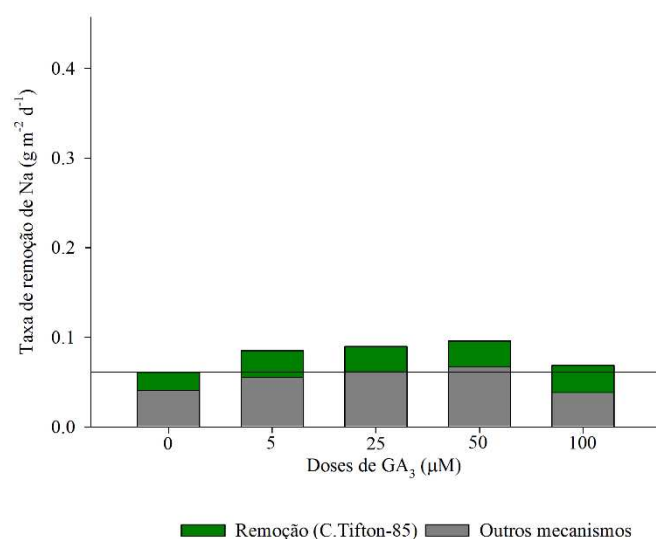


Figura 15: Taxas médias de remoções do P_T e Na do esgoto sanitário sintético para as diferentes doses de GA₃ (ciclo I).

Para as diferentes taxas de aplicações e diferentes afluentes (Tabela 14), a taxa de remoção de 0,11 g m⁻² d⁻¹ de P_T pelo capim-tifton-85 tratado com 50 μM de GA₃ foi superior ao observado por Matos *et al.* (2008), Fia *et al.* (2011), Matos *et al.* (2010a) e Jesus (2016). Esses autores verificaram remoções de 0,04, 0,08, 0,04 e 0,04 g m⁻² d⁻¹ de P_T da parte aérea do capim-tifton-85, respectivamente.

Tabela 14: Revisão de taxas de aplicações e remoções de P_T (g m⁻² d⁻¹) pelo capim-tifton-85 em SACs cultivados com o capim-tifton-85.

Referências	Afluente	Aplicação (L _s)	Remoção (L _s)	Cultivo
		g m ⁻² d ⁻¹		
Presente est. ¹	ESS	0,20	0,11	41
Matos (2008) ²	ARL	0,15	0,04	112
Fia (2011) ³	ARS	7,80	0,08	120
Matos (2010a) ⁴	ARL	0,46	0,04	90
Jesus (2016) ⁵	ES	1,30	0,04	60

¹Presente estudo: dados médios do N3 (50 μM de GA₃); ²Matos *et al.* (2008) tratamento de água residuária de laticínio; ³Fia *et al.* (2011) tratando água residuária de suinocultura; ⁴Matos *et al.* (2010a) tratando água residuária de laticínio; ⁵Jesus (2016) tratando esgoto sanitário.

As plantas de interesse zootécnicos cultivados em SACs são submetidas a condições de estresse abiótico, mesmo selecionando as espécies mais tolerantes como o caso do capim-tifton-85, as plantas podem responder ao estresse com o menor desenvolvimento e crescimento. Em função disso, é necessário criar condições que minimizem o estresse das plantas e permita um melhor desenvolvimento e crescimento da forrageira, e com isso promover uma maior absorção de macro e micronutrientes, sais e metais pesados, o que pode resultar em melhores níveis de tratamentos. Vale ressaltar que o crescimento do capim-tifton-85 pode ser tanto apical e/ou prostrado, como o GA₃ potencializa o crescimento e dominância apical é interessante escolher gramíneas que apresentam predominantemente esse tipo de crescimento.

van Rossum *et al.* (2013) relataram que uma aplicação de GA₃ na primavera e outra no outono resultaram em aumento da massa seca do azevém e trevo branco. Dessa forma, as respostas às giberelinas dependem fortemente da época do ano em que as plantas foram tratadas. Para as culturas perenes, como o capim-tifton-85, a GA₃ pode estar interagindo com uma estratégia fixa de crescimento sazonal das plantas (Whitehead e Edwards, 2015).

A ausência de efeito significativo das diferentes doses do GA₃ para os parâmetros avaliados no segundo ciclo para o capim-tifton-85, indica que culturas anuais poderiam apresentar melhores respostas de produtividade de matéria seca e conseqüentemente maiores remoções de nutrientes, pois seria mais fácil controlar uma dosagem de GA₃ para cada ciclo de cultivo isoladamente, evitando assim menores respostas do GA₃ quando aplicado em tecidos mais velhos.

4. CONCLUSÕES

- O ácido giberélico promoveu maior crescimento em altura do capim-tifton-85 em sistemas alagados.
- A aplicação de 50 μM de GA_3 proporcionou maior produtividade em matéria seca e remoção de nitrogênio pela biomassa vegetal do capim-tifton-85 em sistemas alagados, para o primeiro ciclo de cultivo.
- A aplicação de 50 μM de GA_3 foi a melhor dose para a remoção global de P e Na do esgoto sanitário sintético, no primeiro ciclo de cultivo do capim-tifton-85 em sistema alagado construído.
- As doses de 5 e 25 μM de GA_3 aumentaram a concentração de Na na parte aérea do capim-tifton-85, no segundo ciclo de cultivo.
- O ácido giberélico aplicado no segundo ciclo de cultivo não apresentou efeito para a produtividade de matéria seca e remoção de nutrientes do capim-tifton-85 em sistema alagado construído.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No presente estudo observou-se que a aplicação de GA₃ promove o crescimento e acúmulo de matéria seca do capim-tifton-85 cultivado em sistemas alagados construídos. Contudo, verificou-se que outros aspectos devem ser estudados e que pesquisas futuras poderão proporcionar melhores entendimentos sobre o efeito de fitohormônios em plantas cultivadas em SACs. Dessa maneira, as seguintes sugestões podem ser propostas para trabalhos futuros:

- Avaliar o efeito do GA₃ em outras espécies de plantas cultivadas em SACs, de preferência para plantas que apresentam hábito de crescimento com dominância apical, por exemplo o arroz e o capim elefante.
- Estudar a influência das estações do ano e a temperatura no efeito do GA₃ em plantas cultivadas nos SACs.
- Avaliar o efeito individual e conjunto de fitohormônios de crescimento (auxina, citocinina e giberelinas) em plantas cultivadas nos SACs.
- Avaliar o efeito do GA₃ nas plantas e verificar a remoção de nutrientes e sódio, no tratamento de diferentes águas residuárias e diferentes cargas de aplicação, principalmente do N que é um nutriente essencial para o crescimento das plantas.
- Avaliar a aplicação exógena de fitohormônio em plantas e avaliar a fitorremediação de metais pesados e compostos orgânicos persistentes.
- Estudar o número ideal de aplicações de fitohormônio e o momento mais apropriado para se obter elevada produtividade em plantas cultivadas nos diferentes tipos de SACs.
- Determinar o efeito do fitohormônios nos cultivos mistos de plantas nos SACs.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA [American Public Health Association]; AWWA [American Water Works Association]; WEF [Water Environment Federation]. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2012. p.1268.

ALVARENGA, R. et al. Induction of resistance of corn plants to *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) by application of silicon and gibberellic acid. **Bull Entomol Res**, p. 1-7, 2017.

ASHRAF, M.; KARIM, F.; RASUL, E. Interactive effects of gibberellic acid (GA3) and salt stress on growth, ion accumulation and photosynthetic capacity of two spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing in salt tolerance. **Plant Growth Regulation**, v. 36, n. 1, p. 49-59, 2002.

ATKINSON, N. J.; URWIN, P. E. The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field. **J Exp Bot**, v. 63, n. 10, p. 3523-43, 2012.

BAI L.; DENG H.; ZHANG X.; YU X.; LI Y. Gibberellin is involved in inhibition of cucumber growth and nitrogen uptake at suboptimal root-zone temperatures. **PLoS ONE**. v. 11, n. 5, p. 1 – 15, 2016.

BARROS, A.L. **Morfo-anatomia e teor de nutrientes em três espécies vegetais e cultivadas em sistemas “wetland construído”**. UFV - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 70 p. (Dissertação de Mestrado). 2005.

BERTIN, C.; YANG, X. H.; WESTON, L. A. The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere. **Plant and Soil**, v. 256, p. 67-83, 2003.

ÇAKIR, R.; GIDIRISLIOGLU, A.; ÇEBI, U. A study on the effects of different hydraulic loading rates (HLR) on pollutant removal efficiency of subsurface horizontal-flow constructed wetlands used for treatment of domestic wastewaters. **Journal of Environmental Management**, v. 164, p. 121-128, 2015.

CHOUDHARY, A. K.; KUMAR, S.; SHARMA, C. Removal of chlorinated resin and fatty acids from paper mill wastewater through constructed wetland. **Proc. World Acad. Sci. Eng. and Technol**, v. 80, p. 67-71, 2011.

COELHO, Y. D. S.; OLIVEIRA, A. A. R.; CALDAS, R. C. Efeitos do ácido giberélico (AG3) no crescimento de porta-enxertos para citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 18, n. 11, p. 1229-1232, 1983.

CRUZ, C.D. GENES - A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. v.35, n.3, p.271-276, 2013.

DONGA, C. et al. Suitable gibberellic acid treatment for double-purpose rice (*Oryza sativa* L.) varieties at different harvest times. **Field Crops Research**, v. 193, p. 178–185, 2016.

DUNNE, E.; REDDY, K. **Phosphorus biogeochemistry of wetlands in agricultural watersheds**. In: (Ed.). Nutrient management in agricultural watersheds: a wetland solution. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2005. p.105-119.

FIA, F. R. L. et al. Remoção de nutrientes por *Typha latifolia* e *Cynodon* spp. cultivadas em sistemas alagados construídos. **Revista Ambiente & Água**, v. 6, n. 1, p. 77, 2011.

HAMEED, M. et al. Anatomical adaptations of *Cynodon dactylon* (L.) Pers., from the salt range Pakistan, to salinity stress. I. Root and stem anatomy. **Pak J Bot**, v. 42, n. 1, p. 279-289, 2010.

HEROUVIM, E. et al. Treatment of olive mill wastewater in pilot-scale vertical flow constructed wetlands. **Ecological Engineering**, v. 37, n. 6, p. 931–939, 2011.

INOCENCIO, M. F.; CARVALHO, J. G. D.; NETO, A. E. F. Potássio, sódio e crescimento inicial de espécies florestais sob substituição de potássio por sódio. **Revista Árvore**, v. 38, n. 1, p. 113-123, 2014.

JESUS, F.L.F. **Desempenho e influência dos capins tifton 85 (*Cynodon* sp.) e vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) no tratamento de esgoto sanitário em sistemas alagados construídos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Viçosa, 110 p. Viçosa, 2016.

KADLEC, R. H.; WALLACE, S. **Treatment wetlands**. CRC press, 2008.

KAUR, S.; GUPTA, A. K.; KAUR, N. Gibberellin A3 reverses the effect of salt stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.) seedlings by enhancing amylase activity and mobilization of starch in cotyledons. **Plant Growth Regulation**, v. 26, n. 2, p. 85-90, 1998.

KHAN, N. A. et al. Effects of gibberellic acid spray on nitrogen yield efficiency of mustard grown with different nitrogen levels. **Plant Growth Regulation**, v. 38, n. 3, p. 243-247, 2002.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Ceres, 1985, 492p.

LEVERENZ, H. L. et al. Anoxic treatment wetlands for denitrification. **Ecological Engineering**, v. 36, n. s/n, p. 1544–1551, 2010.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, v. 5, p. 143-168, 1999.

MARTINS, R. G. et al. Fontes e doses de giberelina no desempenho de arroz anão em biotestes. **Comunicata Scientiae**, v. 3, n. 4, p. 306-309, 2012.

MATOS, A.T. Disposição de águas residuárias no solo. Viçosa, AEAMG/DEA/UFV. 141 p. (**Caderno didático, 38**), 2007.

MATOS, A.T. **Manual de análise de resíduos sólidos e águas residuárias**. Editora UFV, 1ª ed., Viçosa, MG. 2015, 149p.

MATOS, A. T. et al. Capacidade extratora de plantas em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias de laticínios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 12, p. 1311-1317, 2010a.

MATOS, A. T.; ABRAHÃO, S. S.; PEREIRA, O. G. Desempenho agronômico de capim Napier (*Pennisetum purpureum*) cultivado em sistemas alagados construídos. **Engenharia na Agricultura**, p. 469-477, 2011.

MATOS, A. T. D.; ABRAHÃO, S. S.; PEREIRA, O. G. Desempenho agronômico de capim tifton 85 (*cynodon spp*) cultivado em sistemas alagados construídos utilizados no tratamento de água residuária de laticínios. **Revista Ambiente e Água**, v. 3, n. 1, p. 43-53, 2008.

MATOS, A. T. D. et al. Tifton grass yield on constructed wetland used for swine wastewater treatment. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 5, p. 510-516, 2010b.

MERCADO FÍSICO RURAL (MFRURAL). **Preço do feno de capim-tifton-85**. Disponível em: <<http://www.mfrural.com.br/busca.aspx?palavras=feno+tifton>>. Acesso em: 12 fev 2017.

METCALF, E. et al. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. McGraw Hill, 2016.

NRC - National Research Council. **Nutrients requirements of beef cattle**. 6.ed. Washington: National Academy of Science, 1984. 90p

NOPENS, I.; CAPALOZZA, C.; VANROLLEGHEM, P. A. **Stability analysis of a synthetic municipal wastewater**. Department of Applied Mathematics Biometrics and Process Control, University of Gent, Belgium, 2001.

PARSONS, A. et al. Plant growth–resource or strategy limited: insights from responses to gibberellin. **Grass and Forage Science**, v. 68, n. 4, p. 577-588, 2013.

PIRES, E. J. P.; MAIA, J. D. G. **Uso de reguladores vegetais na videira Niágara**. p. 275-284, 2012.

SABATER, B.; RODRIGUEZ, M. A. T. Control of chlorophyll degradation in detached leaves of barley and oat through effect of kinetin on chlorophyllase levels. **Physiologia Plantarum**, v. 43, n. 3, p. 274-276, 1978.

SANTOS, S. R. et al. Crescimento e produção do algodoeiro fertirrigado com água residuária sanitária no semiárido de Minas Gerais. **Irriga**, v. 21, n. 1, p. 40-57, 2016.

SHUTES, R. B. Artificial wetlands and water quality improvement. **Environ Int**, v. 26, n. 5-6, p. 441-7, 2001.

SILVA, F. C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Giberelinas: Reguladores da altura das plantas e da germinação de sementes**. In: (Ed.). *Fisiologia Vegetal*. 5. Porto Alegre: Artmed, 2013a. p.582-617.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Nutrição mineral**. In: (Ed.). *Fisiologia Vegetal*. 5. Porto Alegre: Artmed, 2013b. p.107-126.

TIAN-YEN, Y. Soil and plants. **TIAN-YEN, Y., Physical chemistry of paddy soils**. Berlin: Springer-Verlag, p. 197-214, 1985.

TUNA, A. L. et al. The combined effects of gibberellic acid and salinity on some antioxidant enzyme activities, plant growth parameters and nutritional status in maize plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 62, n. 1, p. 1-9, 2008.

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.

VAN ROSSUM, M.; BRYANT, R.; EDWARDS, G. Response of simple grass-white clover and multi-species pastures to gibberellic acid or nitrogen fertilizer in autumn. **Proceedings of the New Zealand Grassland Association**, 2013. p.145-150.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**, v.1. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2005. 452p.

WHITEHEAD, D.; EDWARDS, G. R. Assessment of the application of gibberellins to increase productivity and reduce nitrous oxide emissions in grazed grassland. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 207, p. 40-50, 2015.

YU, K. et al. Major biogeochemical processes in soils-A microcosm incubation from reducing to oxidizing conditions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, n. 4, p. 1406-1417, 2007.

ZANG, Y.-X. et al. Effect of gibberellic acid application on plant growth attributes, return bloom, and fruit quality of rabbiteye blueberry. **Scientia Horticulturae**, v. 200, p. 13-18, 2016.

ZURITA, F.; DE ANDA, J.; BELMONT, M. Treatment of domestic wastewater and production of commercial flowers in vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetlands. **Ecological Engineering**, v. 35, n. 5, p. 861-869, 2009.

APÊNDICE



Figura 1: Casa de vegetação na Área Experimental do Centro de Referência em Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2017.



Figura 2: Nivelamento do fundo dos SACs, Viçosa – MG, 2017.



Figura 3: Plantio do capim-tifton-85 e aplicação do esgoto sanitário sintético no dia 15 de setembro de 2016, Viçosa – MG, 2017.



Figura 4: Disposição do experimento em blocos e a presença dos termohigrômetros no centro da casa de vegetação, 05 de outubro de 2016 (estabilização), Viçosa – MG, 2017.



Figura 5: Presença de *Spodoptera frugiperda* na área de cultivo, 15 de outubro de 2016 (estabilização), Viçosa – MG, 2017.



Figura 6: Último dia do período de estabilização do capim-tifton-85, 01 de novembro de 2016, Viçosa – MG, 2017.



Figura 7: Frascos contendo as diferentes doses de GA₃ e recipiente utilizado para a pulverização do GA₃ no capim-tifton-85, 01 de novembro de 2016, Viçosa – MG, 2017.



Figura 8: Aplicação do GA₃ com uma proteção para evitar deriva (01 de novembro de 2016) e padronização da altura de corte do capim-tifton-85 (19 de novembro de 2016), Viçosa – MG, 2017.



Figura 9: Desenvolvimento do capim-tifton-85 no primeiro ciclo de cultivo, 14 de novembro de 2016, Viçosa – MG, 2017.



Figura 10: Desenvolvimento do capim-tifton-85 no segundo ciclo de cultivo, 07 de dezembro de 2016, Viçosa – MG, 2017.