



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE VEGETAL**

FELIPE JOÃO CARVALHO FILHO

Características anatômicas da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.)

Roberty submetida a esgoto sanitário

Goiânia

Março, 2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)

C331c Carvalho Filho, Felipe João.
Características anatômicas da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty submetida a esgoto sanitário [manuscrito] / Felipe João Carvalho Filho. - 2014.
xv, 113 f. : il., figs, tabs.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Dalva Graciano-Ribeiro; Co-orientador: Prof. Dr. Rogério de Araújo Almeida
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Instituto de Ciências Biológicas, 2014.
Bibliografia.
Inclui lista de figuras, abreviaturas, siglas e tabelas.
Apêndices.

1. Vetiver – Raízes – Oxigênio. 2. Vetiver – Desenvolvimento. I. Título.

CDU: 582.542.11

FELIPE JOÃO CARVALHO FILHO

Características anatômicas da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.)

Roberty submetida a esgoto sanitário

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Goiás, como requisito necessário à obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a. Dalva Graciano-Ribeiro

Co-orientador: Prof. Dr. Rogério de Araújo Almeida

Goiânia

Março, 2014

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS (TEDE) NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: ☒ **Dissertação** ☐ **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor (a):	Felipe João Carvalho Filho		
E-mail:	yukengetto@gmail.com		
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página?	☒ Sim	☐ Não	
Vínculo empregatício do autor			
Agência de fomento:		Sigla:	
País:		UF:	
		CNPJ:	
Título:	Características anatômicas da raiz de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty submetida a esgoto sanitário		
Palavras-chave:	capim vetiver, poaceae, ETE, aerênquima, oxigênio		
Título em outra língua:	Anatomical characteristics of root <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty subjected to wastewater		
Palavras-chave em outra língua:	vetiver grass, poaceae, SST, aerenchyma, oxygen		
Área de concentração:	Botânica		
Data defesa: (dd/mm/aaaa)	31/03/2014		
Programa de Pós-Graduação:	Biodiversidade Vegetal		
Orientador (a):	Dra. Dalva Graciano-Ribeiro		
E-mail:	dalvagraciano@gmail.com		
Co-orientador (a):*	Dr. Rogério de Araújo Almeida		
E-mail:	rogerioufg@gmail.com		

*Necessita do CPF quando não constar no SisPG

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento ☐ SIM ☒ NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação.

O sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.

Assinatura do (a) autor (a) _____ Data: ____ / ____ / ____

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

FELIPE JOÃO CARVALHO FILHO

Características anatômicas da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.)

Roberty submetida a esgoto sanitário

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Vegetal, área de concentração Botânica, do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Goiás, para obtenção do título de Mestre, aprovada em 31 de Março de 2014, pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes membros: Prof^a. Dr^a. Dalva Graciano-Ribeiro (Presidente/ICB-Botânica/UFG); Prof. Dr. Alexandre Antônio Alonso (Membro titular/ICB-Botânica/UFG); Prof. Dr. Evaristo Mauro de Castro (Membro titular/DBI/UFLA); Prof. Dr. Heleno Dias Ferreira (Membro suplente/ICB-Botânica/UFG).

“Nas grandes batalhas da vida, o primeiro passo para a vitória é o desejo de vencer”.

Mahatma Gandhi

AGRADECIMENTOS

À Deus, meu suporte e guia em mais essa etapa da minha vida. Obrigado a ti senhor, pela capacitação, paciência e sabedoria que o senhor me proporciona a cada dia!

A Universidade Federal de Goiás pela nova oportunidade concedida em contribuir de forma significativa no aperfeiçoamento da minha formação pessoal e profissional.

À minha orientadora Prof^ª. Dr^ª. Dalva Graciano Ribeiro pelos ensinamentos, paciência, confiança e ajuda na realização desse trabalho. Muito obrigado!

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Rogério de Araújo Almeida pela amizade, confiança, apoio e contribuições durante todo esse tempo, por me apresentar este projeto que mudou a minha vida e me fez perceber como nossa pesquisa pode contribuir para a promoção da saúde e de um ambiente sustentável.

À Prof^ª. Dr^ª. Maria Tereza Faria pelos ensinamentos, sugestões, ajuda, amizade durante toda essa trajetória! Tereza, não tenho palavras para expressar o quanto sou grato e o quanto me ajudou nas horas mais difíceis! Obrigado por tudo!

Aos técnicos do LAMAGRI, Jorge Wanderson e Washington, que me ajudaram desde a confecção dos flutuadores e durante todo o processo de coleta das amostras na ETE. Valeu!

À Saneamento de Goiás - SANEAGO pela autorização da realização da pesquisa na ETE Samambaia e ao Sr. Geraldo e todos os funcionários da ETE que sempre foram solícitos e prestativos durante todas as minhas visitas.

À FAPEG pela concessão de bolsa para a realização da pesquisa.

Ao Prof. Marcos José da Silva e ao Rodrigo Carvalho pela ajuda nas análises estatísticas.

À Prof^ª. Dr^ª. Letícia de Almeida Gonçalves, Prof^ª. Dr^ª. Maria Helena Rezende e o Prof^º. Dr^º. Heleno Ferreira Dias pelas importantes contribuições e ajuda! Meus sinceros agradecimentos.

À minha mãe Claudinéia Carvalho por sempre acreditar em mim, me dar suporte, força, apoio, ser meu refúgio e por me ouvir nas horas mais difíceis. Obrigado por todo o sacrifício e pela luta durante todos esses anos para dar a mim e a minha irmã a educação e formação que tivemos! Espero poder retribuir pelo menos um pouco do que a senhora já fez por nós!

Ao meu pai Felipe Carvalho que apesar da distância, torce por mim e contribuiu com a minha formação educacional.

À minha avó Regina Oliveira e a minha tia Meliza Fernandes pelas orações, suporte, ajuda e por sempre acreditarem em mim! Amo vocês!

À minha irmã Flavianne Carvalho pela torcida e pelo apoio durante todo esse período.

Ao Rafael Felix pelo companheirismo, ajuda e compreensão durante toda essa jornada.

Aos meus colegas de mestrado, a turma 2 é a melhor, que desde quando nos conhecemos nos demos muito bem, nos ajudamos e sempre pudemos contar uns com os outros!

À Raquel Moraes, Yanne Fernandes, Viviane Ovídio, Taíza Moura, Vinicius Pina, Laís Nabuco, Bárbara Regina, Cíntia Silva, Elga de Fátima, pelo companheirismo e amizade! Não tenho palavras para expressar o quanto foram importantes para mim e tornaram essa jornada excepcional. Nunca esquecerei vocês e espero que estejamos sempre em contato!

À Dr^a. Divina Vilhalva pelo apoio e pela ajuda nos vários momentos de aflições. Obrigado!

À todos os funcionários e professores do programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal que contribuíram de forma significativa para essa conquista!

Peço desculpas a todas as pessoas que não citei e que de forma direta ou indireta ajudaram na realização e conclusão desse trabalho. Muito obrigado!

SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	9
Lista de Quadros.....	12
Lista de Tabelas.....	13
Lista de Siglas e Abreviações.....	14
Lista de Anexos.....	15
Lista de Apêndices.....	16
RESUMO.....	17
ABSTRACT.....	18
INTRODUÇÃO.....	19
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
Poaceae.....	20
<i>Chrysopogon</i>	21
Anatomia Vegetal.....	24
HIPÓTESE.....	26
OBJETIVOS.....	26
Objetivo geral.....	26
Objetivos específicos.....	26
JUSTIFICATIVA.....	26
MATERIAL E MÉTODOS.....	27
Local do experimento.....	27
Descrição da unidade experimental.....	27
Coletas.....	28
Microscopia óptica.....	28
Análise estatística.....	29
RESULTADOS.....	29
Morfologia Externa da raiz de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty.....	29
Morfologia Interna da raiz de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty.....	30
Coleta 1 (controle).....	30
Coleta 2.....	31
Coleta 3.....	31
Coleta 4.....	32

Coleta 5.....	32
Coleta 6.....	32
Coleta 7.....	33
Delineamento estatístico.....	33
DISCUSSÃO.....	34
CONCLUSÃO.....	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40
ILUSTRAÇÃO E TABELAS.....	50
ANEXO.....	85
APÊNDICES.....	95

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Sistema radicular de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty.....	23
FIGURA 2: Plantio das mudas de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty.....	50
FIGURA 3: Desenvolvimento inicial de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty.....	51
FIGURA 4: Transferência dos flutuadores de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty para as lagoas de esgoto.....	52
FIGURA 5: Coletas 2 e 3 (após 28 e 56 dias) da raiz de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty. Detalhe da raiz dos indivíduos do flutuador 8 (controle) em caixa de água e dos indivíduos na lagoa 1.....	53
FIGURA 6: Coletas 2 e 3 (após 28 e 56 dias) da raiz de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty. Detalhe da raiz dos indivíduos na lagoa 2.....	54
FIGURA 7: Coletas 6 e 7 (após 140 e 168 dias) da raiz de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty. Detalhe da raiz dos indivíduos do flutuador 8 (controle) em caixa de água.....	55
FIGURA 8: Coletas 6 e 7 (após 140 e 168 dias) da raiz de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty. Detalhe da raiz dos indivíduos na lagoa 1.....	56
FIGURA 9: Coletas 6 e 7 (após 140 e 168 dias) da raiz de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty. Detalhe da raiz dos indivíduos na lagoa 2.....	57
FIGURA 10: Secções transversais da raiz de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty – controle - região proximal.....	58
FIGURA 11: Secções transversais da raiz de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty – controle - região distal.....	59
FIGURA 12: Secções transversais da raiz de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty – Coleta 2 - região proximal – Flutuador 3 (lagoa 1).....	60
FIGURA 13: Secções transversais da raiz de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty – Coleta 2 - região distal – Flutuador 3 (lagoa 1).....	61
FIGURA 14: Secções transversais da raiz de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty – Coleta 2 - região proximal – Flutuador 6 (lagoa 2).....	62

FIGURA 15: Secções transversais da raiz de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty – Coleta 2 - região distal – Flutuador 6 (lagoa 2).....	63
FIGURA 16: Secções transversais da raiz de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty – Coleta 4 - região distal – Flutuador 3 (lagoa 1).....	64
FIGURA 17: Secções transversais da raiz de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty – Coleta 4 - região proximal – Flutuador 5 (lagoa 2).....	65
FIGURA 18: Secções transversais da raiz de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty – Coleta 4 - região distal – Flutuador 5 (lagoa 2).....	66
FIGURA 19: Secções transversais da raiz de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty – Coleta 7 - região distal – Flutuador 3 (lagoa 1).....	67
FIGURA 20: Secções transversais da raiz de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty – Coleta 7 - região proximal – Flutuador 7 (lagoa 2).....	68
FIGURA 21: Secções transversais da raiz de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty – Coleta 7 - região distal – Flutuador 7 (lagoa 2).....	69
FIGURA 22: <i>Box-plot</i> da variável comprimento total externo (cm).....	70
FIGURA 23: <i>Box-plot</i> da variável diâmetro total externo (mm).....	70
FIGURA 24: <i>Box-plot</i> da variável diâmetro total (área) - região distal da raiz (μm) de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty.....	71
FIGURA 25: <i>Box-plot</i> da variável diâmetro total (área) - região proximal da raiz (μm) de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty.....	71
FIGURA 26: <i>Box-plot</i> da variável espessura da epiderme - região distal da raiz (μm) de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty.....	72
FIGURA 27: <i>Box-plot</i> da variável espessura da epiderme - região proximal da raiz (μm) de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty.....	72
FIGURA 28: <i>Box-plot</i> da variável espessura do córtex (total) - região distal da raiz (μm) de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty.....	73
FIGURA 29: <i>Box-plot</i> da variável espessura do córtex (total) - região proximal da raiz (μm) de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty.....	73

FIGURA 30: <i>Box-plot</i> da variável espessura do aerênquima/parênquima - região distal da raiz (μm) de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty.....	74
FIGURA 31: <i>Box-plot</i> da variável espessura do aerênquima/parênquima - região proximal da raiz (μm) de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty.....	74
FIGURA 32: <i>Box-plot</i> da variável espessura da endoderme - região distal da raiz (μm) de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty.....	75
FIGURA 33: <i>Box-plot</i> da variável espessura da endoderme - região proximal da raiz (μm) de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty.....	75
FIGURA 34: <i>Box-plot</i> da variável diâmetro do cilindro vascular - região distal da raiz (μm) de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty.....	76
FIGURA 35: <i>Box-plot</i> da variável diâmetro do cilindro vascular - região proximal da raiz (μm) de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty.....	76
FIGURA 36: <i>Box-plot</i> da variável diâmetro dos elementos (metaxilema) - região distal da raiz (μm) de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty.....	77
FIGURA 37: <i>Box-plot</i> da variável diâmetro dos elementos (metaxilema) - região proximal da raiz (μm) de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty.....	77
FIGURA 38: <i>Box-plot</i> da variável quantidade de elementos (metaxilema) - região distal da raiz (μm) de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty.....	78
FIGURA 39: <i>Box-plot</i> da variável quantidade de elementos (metaxilema) - região proximal da raiz (μm) de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty.....	78

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: Características de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty.....	22
QUADRO 2: Presença/Ausência das regiões proximal e distal da raiz de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty.....	79
QUADRO 3: Características anatômicas da raiz de <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty (Corte transversal).....	80

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Dados quantitativos.....	83
TABELA 2: Resultados do delineamento estatístico.....	83
TABELA 3: Medidas de concentração de oxigênio dissolvido (OD) na caixa com água (controle) e ao longo das 2 lagoas de esgoto na ETE Samambaia.....	84

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

DR	Região Distal da Raiz
EPTEP	Estação de Pesquisas em Tratamento de Esgoto por Plantas
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
F	Flutuador
L1	Lagoa 1
L2	Lagoa 2
OD	Oxigênio dissolvido
PR	Região Proximal da Raiz
Saneago	Saneamento de Goiás S/A
TCR	Taxa de Crescimento Relativo
UFG	Universidade Federal de Goiás

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1: Artigo – Desenvolvimento de flutuador para pesquisas com plantas não aquáticas (<i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty) em lagoas de tratamento de esgoto.....	86
--	----

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A: Dados quantitativos da variável comprimento total externo.....	96
APÊNDICE B: Dados quantitativos da variável diâmetro total externo.....	96
APÊNDICE C: Dados quantitativos da variável diâmetro total (área) - região distal.....	96
APÊNDICE D: Dados quantitativos da variável diâmetro total (área) - região proximal.....	97
APÊNDICE E: Dados quantitativos da variável espessura da epiderme - região distal.....	98
APÊNDICE F: Dados quantitativos da variável espessura da epiderme - região proximal.....	99
APÊNDICE G: Dados quantitativos da variável espessura do córtex (total) - região distal.....	100
APÊNDICE H: Dados quantitativos da variável espessura do córtex (total) - região proximal.....	101
APÊNDICE I: Dados quantitativos da variável espessura do aerênquima/parênquima - região distal.....	102
APÊNDICE J: Dados quantitativos da variável espessura do aerênquima/parênquima - região proximal.....	103
APÊNDICE K: Dados quantitativos da variável espessura da endoderme - região distal.....	104
APÊNDICE L: Dados quantitativos da variável espessura da endoderme - região proximal.....	106
APÊNDICE M: Dados quantitativos da variável diâmetro do cilindro vascular - região distal.....	107
APÊNDICE N: Dados quantitativos da variável diâmetro do cilindro vascular - região proximal.....	108
APÊNDICE O: Dados quantitativos da variável diâmetro dos elementos (metaxilema) - região distal.....	109
APÊNDICE P: Dados quantitativos da variável diâmetro dos elementos (metaxilema) - região proximal.....	110
APÊNDICE Q: Dados quantitativos da variável quantidade de elementos (metaxilema) - região distal.....	111
APÊNDICE R: Dados quantitativos da variável quantidade de elementos (metaxilema) - região proximal.....	112

RESUMO

Características anatómicas da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty submetida a esgoto sanitário

O capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) é uma planta de origem asiática utilizada para produção de perfumes (a partir de um óleo extraído de suas raízes), controle de erosão, recuperação de áreas degradadas, artesanato, fitorremediação, alimentação de animais e tratamento de esgoto em regiões onde falta saneamento básico. O presente trabalho avaliou a morfologia e anatomia da raiz de *C. zizanioides* submetida ao esgoto, com o intuito de, confirmar a hipótese de alterações no seu desenvolvimento devido as diferentes concentrações de oxigênio. O experimento foi realizado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Samambaia, localizada no *campus* II da Universidade Federal de Goiás (UFG). A estação está dividida em lagoa 1 (facultativa - 186 m de comprimento) e lagoa 2 (maturação - 112,90 m de comprimento), nas quais foram distribuídos sete flutuadores a cada 40 metros, um flutuador permaneceu em uma caixa com água potável (controle); em cada flutuador foram plantados três indivíduos. Foram efetuadas sete coletas durante o período de seis meses a cada 28 dias. Foram realizadas as seguintes medidas: comprimento e diâmetro total externo; em secção transversal diâmetro total (área), espessura da epiderme, espessura do córtex (total), espessura do aerênquima/parênquima, espessura da endoderme, diâmetro do cilindro vascular, diâmetro dos elementos (metaxilema) e quantidade de elementos (metaxilema), em ambas as regiões distal e proximal. Para a caracterização anatômica foram realizadas secções transversais na região proximal e distal das raízes. A raiz apresenta epiderme uniestratificada; córtex com anel esclerenquimático, parênquima fundamental, aerênquima e endoderme; cilindro central com periciclo uniestratificado, xilema e floema e uma região medular composta por células parenquimáticas. Ocorreram diferenças no desenvolvimento do aerênquima, além do aumento no espessamento das paredes celulares nas células do anel esclerenquimático, da endoderme e dos elementos de vaso; assim como na quantidade de camadas do córtex e número de elementos de vaso. A análise estatística mostrou que há diferenças significativas em oito das dez variáveis analisadas. Na lagoa 1 (facultativa) há uma alta concentração de matéria orgânica e baixa taxa de oxigênio dissolvido, o que afetou diretamente o desenvolvimento das raízes, sendo que a partir da 4ª coleta, as raízes antigas senesceram e novas se formaram, entretanto, não desenvolveram a região proximal devido às condições desfavoráveis. Na lagoa 2 (maturação) há baixa concentração de matéria orgânica e maior taxa de oxigênio dissolvido, o que permitiu o desenvolvimento tanto da região distal quanto da proximal, entretanto, não atingiram o desenvolvimento apresentado pelas raízes do controle. As raízes tiveram o seu desenvolvimento afetado na morfologia e anatomia, entretanto, não apresentam modificações estruturais. O capim vetiver poderá contribuir no processo de tratamento de esgoto se os indivíduos forem colocados no mínimo a 160 metros do lançamento de esgoto bruto, distância na qual a concentração de oxigênio dissolvido passa a não interferir na formação e desenvolvimento das raízes.

Palavras-chave: capim vetiver, poaceae, ETE, aerênquima, oxigênio

ABSTRACT

Anatomical characteristics of root *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty subjected to wastewater

The vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) is a plant of Asian origin used for production of perfumes (from an oil extracted from its roots), erosion control, restoration of degraded areas, crafts, phytoremediation, feeding animals and sewage treatment in areas where lack basic sanitation. This study evaluated the morphology and anatomy of the root of *C. zizanioides* submitted to the waste, in order to confirm the hypothesis that changes in their development due to different oxygen concentrations. The experiment was conducted at the Sewage Treatment Plant (STP) Samambaia, located on *campus* II of the Universidade Federal de Goiás (UFG). The station is divided into Pond 1 (facultative - 186 m length) and Pond 2 (maturation - 112,90 m in length), in which seven floats were distributed every 40 meters, a float remained in a box with potable water (control); each float three individuals were planted. Seven collections were taken during the six-month period every 28 days. The following measurements were taken: total length and outer diameter; the total cross sectional diameter (area), thickness of the epidermis, cortical thickness (total), thickness aerenchyma/parenchymal, thickness of endoderm, cylinder vascular diameter, diameter of the elements (metaxylem) and number of elements (metaxylem) in both proximal and distal regions. To characterize the anatomical cross-sections in the proximal and distal roots were performed. The roots have a uniseriate epidermis; cortex sclerenchymatous ring, fundamental parenchyma, aerenchyma and endoderm; central cylinder unistratified pericycle, xylem and phloem and medullary region composed of parenchyma cells. There were differences in the development of aerenchyma, besides the increase in thickening of the cell walls of the cells sclerenchymatous ring, and endoderm vessel element; as well as the number of layers of the cortex and the number of vessel elements. The statistical analysis showed that there are significant differences in eight of the ten variables. In Pond 1 (facultative) there is a high concentration of organic matter and low rate of dissolved oxygen, which directly affected the development of the roots, and from the 4th collection, the ancient roots senescence and new were formed, however, did not develop the proximal region due to unfavorable conditions. In pond 2 (maturity) there is a low concentration of organic matter and higher rate of dissolved oxygen, which allowed the development of both the distal region and the proximal, however, have not reached the development presented by the roots of control. The roots were affected development in their morphology and anatomy, however, does not have structural modifications. Vetiver grass can contribute in wastewater treatment process if individuals are placed at least 160 meters from the release of raw wastewater, distance at which the concentration of dissolved oxygen shall not interfere in the formation and development of roots.

Keywords: vetiver grass, poaceae, STP, aerenchyma, oxygen.

INTRODUÇÃO

O capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) é uma gramínea originária do sul da Ásia e tem sido utilizado para diversas finalidades, como aromatizantes, perfumes finos, planta medicinal, protetores do solo, artesanato, fabricação de materiais de construção e tratamento de esgoto (PEREIRA, 2006).

Conhecido na Ásia como capim milagroso (CARDOSO, 2011) devido às suas inúmeras utilidades, tem sido difundido e utilizado no Brasil principalmente na vegetação de encostas com o objetivo de controlar processos erosivos (OROZCO, 2009).

No âmbito mundial, sabe-se que o saneamento básico é um problema extremamente grave e de enorme preocupação pelos sistemas de saúde, pois a correta destinação e tratamento da água e do esgoto são importantes para garantir a saúde da população. Neste aspecto, além das inúmeras utilidades práticas conhecidas, o capim vetiver tem se destacado também, em países como China, Tailândia e Austrália, como uma planta promissora em auxiliar no processo de tratamento de esgotos (UCKER, 2012).

As Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) são extremamente eficientes para o processamento do esgoto, mas a sua implantação nem sempre é possível e nesse sentido novas soluções devem ser encontradas para suprir essa carência, auxiliando a sociedade e o ambiente.

O tratamento de efluentes pelo sistema de alagados construídos constitui uma nova opção, reconhecida e recomendada, sendo efetivo na redução da matéria orgânica, na assimilação de nutrientes de plantas e retenção ou eliminação de substâncias tóxicas que, de outra maneira, seriam lançadas no meio ambiente (ARIAS; BRIX, 2003). Tal sistema caracteriza-se pela presença de vegetais que, com a ação conjunta de microrganismos e a interação com o substrato, realizam a degradação da matéria orgânica por meio da liberação de oxigênio por suas raízes, além da fixação de nutrientes por plantas e microorganismos (UCKER, 2012).

O capim vetiver possui um desenvolvido sistema radicular, tolerância a altos níveis de metais como Al, Cd, Hg, alta eficiência na remoção de nutrientes como N e P, além disso, possui sua reprodução por mudas, caracterizando-se assim como uma planta não invasora (TRUONG; HART, 2001), bastante resistente a variações climáticas, portanto, é uma opção viável para utilização no tratamento de esgoto no Brasil.

Em decorrência dessas inúmeras características favoráveis, esta gramínea apresenta um potencial enorme para utilização no tratamento terciário de esgotos (remoção de nutrientes) (SPERLING, 1996), todavia, em testes realizados na estação de pesquisas em tratamento de

esgotos com plantas – EPTEP/UFG, as raízes apresentaram modificações morfo-anatômicas, reduzindo drasticamente o comprimento e aumentando o diâmetro (ALMEIDA, 2005).

De acordo com Londoño (2011) a anatomia tem desempenhado um papel importante em estudos de Poaceae, tornando-se uma ferramenta básica nos sistemas de classificação. Estudos anatômicos são altamente significativos, especialmente quando associados a estudos fisiológicos, ecológicos e comparativos (Metcalf e Chalk, 1979).

Em relação à anatomia das raízes de *C. zizanioides*, apesar de raros, alguns trabalhos foram realizados, com destaque para Delistonianov e Toledo (1960), que investigaram a localização do óleo aromático e Alencar et al. (2005), que visaram obter parâmetros para controle de qualidade das raízes.

A realização do estudo morfo-anatômico das raízes do capim vetiver poderá contribuir para favorecer a sua utilização no tratamento de esgoto, fornecendo informações relevantes do seu comportamento e desenvolvimento quando submetidas ao esgoto.

Desta forma, este trabalho visa caracterizar as modificações morfo-anatômicas das raízes da espécie *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty sob o efeito de diferentes concentrações de oxigênio dissolvido no esgoto.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Poaceae

Poaceae (=Gramineae), representada por capins, bambus e cereais, constitui uma das principais famílias dentre as angiospermas. Pertence a ordem Poales, que engloba outras famílias importantes de monocotiledôneas como Bromeliaceae, Cyperaceae e Eriocaulaceae (JUDD et al., 2009). Possui distribuição cosmopolita. No Brasil, grande parte da diversidade concentra-se nos domínios fitogeográficos do Cerrado, Pampa e Mata Atlântica (BURMAN, 1985). Inclui cerca de 700 gêneros e 10.000 espécies, sendo que no Brasil ocorrem cerca de 170 gêneros e 1.500 espécies (SOUZA; LORENZI, 2008). Com relação ao número de espécies só não ultrapassa Asteraceae, Orchidaceae e Fabaceae, mas as supera em termos de importância econômica (JUDD et al., 2009).

Do ponto de vista econômico, esta é, indubitavelmente, a principal família de Angiospermas, não apenas pelo número de espécies utilizadas pelo homem, mas também pela importância de algumas delas (SOUZA; LORENZI, 2008). Na produção mundial, as gramíneas se destacam, sendo as quatro maiores culturas, cana-de-açúcar, trigo, arroz e milho, com

evidência para o centeio e o sorgo que estão entre os primeiros doze cultivos mundiais (JUDD et al., 2009).

As gramíneas constituem uma parte importante da paisagem urbana e suburbana em grande parte do mundo. Os membros da família também são dominantes ecológicos, cobrindo aproximadamente 20% da superfície terrestre do planeta (SHANTZ, 1954). É considerado o componente básico de diversos ecossistemas terrestres, desempenhando papéis ecológicos diversos e contribuindo significativamente com a biodiversidade local (VIANA; FILGUEIRAS, 2008).

Este grupo apresenta-se dominante em savanas tropicais, como o cerrado brasileiro (JACOBS; KINGSTON; JACOBS, 1999). Neste bioma possui 510 espécies, divididos em 91 gêneros (MENDONÇA et al., 2008). Além disso, constitui o principal componente das pastagens naturais, e consequentemente, o principal elemento da dieta dos bovinos em área de pastagem (HEIZEN; RAMOS; TIVANO, 2002). As gramíneas forrageiras se destacam, pois contribuem para o aumento da produtividade nos inúmeros componentes da cadeia de produção de carne bovina e, por consequência, maiores ganhos para os que se dedicam à pecuária (VALLS; PEÑALOZA, 2004).

Chrysopogon

Chrysopogon possui quatro espécies distintas. No norte da Índia encontra-se *Chrysopogon lawsonii* (Hook. f.) Veldkamp, silvestre, normalmente diploide de sementes férteis e sistema radicular escasso. No sul da Índia existem diversos acessos de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty, planta domesticada, poliploide de sementes inférteis e de extenso sistema radicular. Já *Chrysopogon nemoralis* (Balansa) Holttum distribui-se amplamente nas terras bem drenadas da Tailândia, Laos e Vietnã estendendo ao Camboja e Mianmar, apresenta sementes férteis e folhas estreitas. E *Chrysopogon nigritanus* (Benth.) Veldkamp é nativa do continente africano e tem seu uso restrito ao continente (TROUNG et al., 2006).

O capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) é uma planta perene, cespitosa, com 1,5-2,0 m de altura, rizoma lenhoso, esponjoso, pardacento, flexível, fortemente aromático, comprido e muito fino, revestido de epiderme amarelo-pálido (CORRÊA, 1984), folhas mais ou menos basilares, invaginantes no caule, estreitas, lineares, agudas no ápice, eretas, às vezes dobradas com até 70 cm comprimento, lisas, inodoras, glabras, escabrosas e serradas nas margens. Inflorescência em panícula ampla, terminal, ereta, cônica, com 15-35 cm de comprimento, esverdeadas, compostas de numerosos racimos espiciformes, 8-12 verticilados,

tendo os interiores mais de 20 raios; espigas formadas por espiqueiras violáceas compostas de 2 flores e reunidas em grupos de 2-3; glumas coriáceas, espinescentes sobre uma das palhas e ciliadas sobre a outra; fruto cariopse oblongo, livre entre as glumelas. Também conhecido como capim verde, capim de cheiro, grama das índias, falso patchuli e raiz de cheiro (BARROS, 2008).

Tornou-se conhecido em nível mundial por meio do óleo ou essência, extraído por destilação de suas raízes. Na Índia, esta planta é muito utilizada para diversos tratamentos como estimulante, anti-séptico, febrífugo, tônico, calmantes de enxaquecas e das nevralgias (CORRÊA, 1984), além da fabricação de artesanatos, como bolsas, chinelos, chapéus, cestas, estofados para bancos de carros e persianas (TRUONG, 2011).

Na Ásia é conhecido como capim milagroso por apresentar características morfológicas, fisiológicas e ecológicas exclusivas, que o tornam uma planta excelente para conservação do solo e da água. Não é considerado uma planta invasora, pois não apresenta sementes férteis ou estolões, sua perpetuação em outras áreas depende do plantio manual/mecânico de mudas (PEREIRA, 2006).

Estudos demonstram que o capim vetiver possui uma ampla faixa de adaptação às mais diversas condições edafoclimáticas. A planta sobrevive em condições de secas prolongadas, incêndios, inundações, temperaturas extremas (-15°C a +55°C) e quando submetida ao intenso tráfego/pressão de pastoreio, soterramento por sedimentos ou poda severa rapidamente se recompõem emitindo novos perfilhos. Toleram solos sódicos, salinos, alcalinos, uma ampla faixa de pH (3,3 a 12,5), altos níveis de saturação de Al, Mn e metais pesados tais como: As, Cd, Cr, Ni, Pb, Hg, Se e Zn (TRUONG et al., 2006).

Quadro 1 Características de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty. Adaptado de Truong e Hart (2001) e Orozco (2009).

Características	Vantagens
Morfológicas	Possui sistema radicular abundante e profundo (Figura 1).
	Resiste a secas e inundações.
	Reforça a infiltração de água no solo.
Fisiológicas	Resiste a ampla faixa de pH (entre 3,0 e 10,5).
	Tolera altos níveis de metais, como Al, Cd, Hg e Pb.
	Tem alta eficiência na remoção de N e P em águas poluídas.
	Tolera altos níveis de herbicidas e pesticidas.

Ecológicas	Reproduz-se exclusivamente por mudas, sendo assim uma planta não invasora.
-------------------	--



Figura 1: Sistema radicular de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty. Fonte: Perfumes BigHouse – Vetiver. Disponível em: <<http://perfumesbighouse2.blogspot.com/2010/08/vetiver.html>>. Acesso em 29 out. 2013.

Até meados da década de 1980 a utilização do capim vetiver praticamente limitava-se a produção do óleo essencial. No decorrer desta década os centros de investigações na Índia realizaram os primeiros projetos de conservação do solo/água utilizando a Tecnologia do Capim Verde (TCV). A TCV é baseada no cultivo em curva de nível, formando um cordão vegetativo que reduz intensamente o escoamento superficial da água e promove a agregação do solo devido ao intenso desenvolvimento horizontal do seu sistema radicular (GRIMSHAW, 2006). Estudos realizados com *C. zizanioides* e com *C. nemoralis* comprovaram maior eficiência na conservação do solo da primeira em relação à segunda (TROUNG et al., 2006).

No início da década de 1990, pesquisadores verificaram que o vetiver possuía uma característica “super absorvente”, adequada para o tratamento de esgoto e de lixiviados gerados a partir de aterros sanitários, sendo uma tecnologia de fitorremediação inovadora, que remove grandes quantidades de nutrientes (TRUONG; HART, 2001).

Após o tratamento do esgoto, este pode continuar a beneficiar o homem. Sua parte aérea, principalmente, pode servir para diversos fins, dentre os quais se destacam a agropecuária, fonte de energia, materiais de construção, além de outros usos (PEREIRA, 2006). Em países como China, Austrália, Índia e Vietnã após a parte aérea ser cortada, tem dois usos prioritários: servir como alimento para animais e ser usada como cobertura de solo contra o efeito erosivo causado pela chuva (TRUONG, 2011).

No Brasil, o uso desta para o tratamento de esgoto ainda não é uma prioridade de estudo, sendo geralmente utilizada em casos de recuperação de áreas degradadas, proteção de cursos d’água, aumento da infiltração de água no solo, confecção de artesanatos, como tapetes, cestas e persianas (UCKER, 2012). Em aplicações medicinais, seu óleo e suas raízes são utilizados em tratamentos terapêuticos e estéticos, bem como na fabricação de perfumes e para odorizar guarda-roupas, armários (PEREIRA, 2006).

Anatomia vegetal

As gramíneas possuem sistema radicular fasciculado ou em cabeleira, não se distinguindo a raiz principal da secundária, sendo todas igualmente desenvolvidas e de origem adventícia. Em muitas espécies, as raízes alcançam uma profundidade de 2 metros ou mais, sendo que anualmente são repostas cerca da metade das raízes existentes, em decorrência da morte e formação de novas raízes. A profundidade máxima é frequentemente alcançada no primeiro ano (PEDREIRA, 1975).

A anatomia da raiz de Poaceae apresenta epiderme constituída por uma camada de células vivas, o córtex está constituído por células de parênquima cuja camada mais interna é a endoderme, formada por células com paredes que apresentam algumas zonas suberificadas, a parte externa da zona cortical pode designar-se de exoderme, podendo apresentar camadas de células compactadas, o cilindro central, apresenta uma camada exterior de células de parênquima, formando o periciclo, tecidos vasculares (feixes de xilema e de floema) e, nas raízes desenvolvidas, observa-se uma medula na zona central da estrutura, preenchida por células de parênquima (METCALFE, 1960).

Um dos primeiros trabalhos relativos à anatomia do capim vetiver é de Delistonianov e Toledo (1960), que estudaram a anatomia das raízes de *C. zizanioides*, procurando a localização do óleo aromático, de grande valor econômico para a indústria de perfumaria.

A lâmina foliar de *C. zizanioides* (Gramínea C₄) apresenta anatomia Kranz, mas possui características morfo-fisiológicas exclusivas em comparação com outras gramíneas do tipo C₄. Não apresenta cutícula espessa, na face superior tem alta densidade estomática em comparação com a face inferior, diferentes tipos de estômatos, espaços de ar volumosos, sistema de organização das nervuras eficiente que faz com que esta planta seja diferente de outras plantas C₄, sendo talvez esta razão que justifique a sua sobrevivência em ambientes com condições adversas (CHAUDHRY; SARWAR, 2010).

Posteriormente Alencar et al. (2005), realizaram um estudo anatômico da raiz de *C. zizanioides* visando obter parâmetros para o seu controle de qualidade, no qual identificaram uma raiz fasciculada com coloração castanha e de odor aromático, epiderme, anel esclerenquimático, aerênquima, cilindro central constituído por elementos de metaxilema e uma região medular composta de células contendo grãos de amido, fenóis e terpenos.

Quando a planta enfrenta períodos relativamente longos de alagamento ou encharcamento do solo, uma das respostas morfo-anatômicas mais comuns à hipóxia e à anoxia é a formação de aerênquima e raízes adventícias, que visam à captura e ao transporte de oxigênio para os tecidos submersos (ARMSTRONG et al., 1994).

Espécies de ambientes sujeitos a alagamento frequente têm maior proporção de aerênquimas do que aquelas que nunca ou raramente sofrem alagamento. Além disso, espécies de ambientes frequentemente alagados mostram maior habilidade em responder ao alagamento, aumentando a proporção de aerênquimas (FABBRI et al., 2005; JUSTIN; ARMSTRONG, 1987). Esse comportamento sugere que o aerênquima tenha valor adaptativo.

Entre as plantas cultivadas, o milho é classificado como uma das mais sensíveis à condição de anoxia, de forma que, em áreas sujeitas ao alagamento, o cultivo desse cereal é restringido. Drew et al. (2000) em seus ensaios laboratoriais confirmaram que em condições de boa oxigenação da raiz, não há formação de aerênquimas no milho. Já quando essas raízes são submetidas a hipóxia, o aerênquima lisígeno aparece no córtex.

Para o milho “Saracura” (milho BRS 4154), espécie desenvolvida pela Embrapa Milho e Sorgo, tolerante à inundação do solo, foi verificado um aumento progressivo do aparecimento de aerênquima tanto na parte aérea quanto nas raízes, em resposta a períodos crescentes de hipóxia (PEREIRA et al., 2008). Considerando que a presença de aerênquimas confere às plantas maior adaptação à baixa disponibilidade de oxigênio (PEREIRA et al., 2010), o milho “Saracura”

reagiu eficientemente a esse estresse, podendo valer-se desse recurso para manter-se vivo por mais tempo (PEREIRA et al., 2008; PEREIRA et al., 2010).

Estudos realizados por Fabbri et al. (2005) demonstraram que duas espécies de *Paspalum*, *P. modestum* Mez e *P. wrightii* Hitchc. & Chase, aumentaram a porcentagem de espaço aerênquimatoso em resposta à inundação. Este comportamento, bem como a ocorrência de um número significativo de aerênquimas constitutivo, é típico de plantas capazes de sobreviver e competir com sucesso em ambientes inteiramente inundados (JUSTIN; ARMSTRONG, 1987; LAAN et al., 1989).

HIPÓTESE

Acredita-se que ocorrerão modificações morfo-anatômicas nas raízes do capim vetiver em decorrência das diferenças nas concentrações de oxigênio dissolvido nas lagoas de uma estação de tratamento de esgoto.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Realizar o estudo da morfologia externa e interna da raiz de *C. zizanioides* submetida ao esgoto em diferentes concentrações de oxigênio dissolvido.

Objetivos específicos

- Caracterizar a morfologia externa das raízes;
- Descrever a anatomia das raízes;
- Avaliar quantitativamente os tecidos;
- Avaliar comparativamente os tecidos.

JUSTIFICATIVA

Sabe-se das várias utilizações práticas de plantas, mas nos últimos anos, um novo campo de pesquisa tem se destacado que é o processo de fitorremediação, que consiste basicamente em

se utilizar plantas para remover, imobilizar ou tornar inofensivos ao ecossistema, contaminantes orgânicos e inorgânicos presentes no solo e na água (ROONGTANAKIAT, 2009).

O vetiver, além das inúmeras utilidades já conhecidas, tem grande potencial para ser utilizado na fitorremediação, pois é altamente tolerante a metais pesados, no entanto, para a fitorremediação ter sucesso, vários aspectos devem ser analisados como o seu comportamento, suas propriedades físicas e químicas no crescimento, práticas agronômicas e as características específicas do local (ROONGTANAKIAT, 2009).

Com base no estudo realizado por Ucker (2012) e devido à escassez de estudos que relatam características de plasticidade anatômica sobre as raízes do capim vetiver, o presente estudo tem por objetivo verificar se suas raízes sofrem modificações morfo-anatômicas quando submetidas a diferentes concentrações de oxigênio dissolvido nas lagoas de uma estação de tratamento de esgoto.

MATERIAL E MÉTODOS

Local do experimento

O experimento foi realizado na Universidade Federal de Goiás (UFG), nas lagoas de tratamento de esgoto da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Samambaia, que é operada pela Saneamento de Goiás S.A. (Saneago), no município de Goiânia, Goiás. Situada na latitude 16°36' Sul e longitude 49°17' Oeste, a ETE encontra-se no *Campus* II da UFG, e realiza a captação e tratamento do esgoto produzido unicamente neste *campus* universitário.

A distribuição dos flutuadores ao longo das duas lagoas, lagoa 1 (186 m de comprimento) - facultativa e lagoa 2 (112,90 m de comprimento) - maturação, foi feita seguindo a ordem crescente, com placas identificadoras, a cada 40 metros, sendo flutuadores 1 ao 4 distribuídos na lagoa 1 (lagoa facultativa), flutuadores 5 ao 7 na lagoa 2 (lagoa de maturação) e flutuador 8, externo às lagoas, em uma caixa com água potável servindo como controle.

Descrição da unidade experimental

A unidade experimental possui 8 flutuadores (ver anexo 1), em cada um foram plantados 3 indivíduos do capim Vetiver (Figura 2). Estes indivíduos foram obtidos a partir de uma touceira extraída da Escola de Agronomia – EA localizada no *Campus* II da UFG.

Após o plantio das mudas realizado no substrato Terral Solo, os flutuadores, numerados com placas identificadores de 1 ao 8, foram encaixados em um suporte metálico e ficaram

suspensos dentro de uma caixa de plástico com água potável durante o período de 45 dias (Figura 3) para o desenvolvimento de novas raízes.

Após 45 dias, os flutuadores tiveram encaixadas no suporte de PVC, garrafas PET com meia pedra de gelo seco, que garantiram a sua flutuabilidade e estabilidade. Foi realizada uma coleta de raízes para controle e comparação, seguido da transferência para as lagoas da ETE (Figura 4).

Em cada flutuador foi amarrado uma corda de Nylon com 2 metros de comprimento fixada em uma garrafa PET de 2 litros cheia de água para suporte externo, que impediu seu deslocamento (Figura 4).

Coletas

Foram realizadas sete (7) coletas: uma (1) coleta controle (dia 10/05/2013), na água potável, e seis (6) coletas nas lagoas de esgoto (dias 07/06/2013; 05/07/2013; 02/08/2013; 30/08/2013; 27/09/2013 e 25/10/2013).

Para cada coleta foram realizados cortes transversais nas regiões proximal e distal da raiz, respectivamente, a partir de 3 cm do suporte do flutuador e 3 cm da extremidade da raiz, sendo extraído 1 amostra da região proximal da raiz de cada indivíduo e 1 amostra da região distal da raiz de 1 indivíduo aleatoriamente em cada flutuador, a cada coleta foram extraídas 32 amostras de raízes. Além disso, medidas do teor de oxigênio foram realizadas com a utilização de um oxímetro Quimis Q758P.

As coletas foram realizadas com auxílio de tripé, no qual o flutuador é retirado das lagoas e encaixado neste para a extração das amostras, sendo imediatamente devolvido para o seu local de origem (Figura 4). Medidas do comprimento e do diâmetro das raízes foram realizadas para análise da morfologia externa (Figuras 5 a 9).

Para os protocolos de microscopia óptica, as amostras foram fixadas em FAA 50, posteriormente preservadas em álcool etílico 70% (JENSEN, 1962) e permaneceram imersas nesta solução até etapas posteriores.

Microscopia óptica

Secções transversais das raízes foram realizadas na região mediana da região proximal e distal em micrótomo de mesa (R. Jungag Heidelberg), clarificadas com hipoclorito de sódio 20% e 50% (KRAUS; ARDUIN, 1997), submetidas à dupla coloração com azul de astra 1% e fucsina

básica 1%, na proporção de 3:3 (KRAUS et al., 1998), desidratadas em série etílica, diafanizadas em acetato de butila e montadas em resina sintética (PAIVA et al., 2006).

Os caracteres analisados foram os indicados no roteiro desenvolvido por Graciano-Ribeiro, Filgueiras e Gonçalves (2006). As fotomicrografias foram obtidas com auxílio do fotomicroscópio Leica DMX 500.

Foram realizadas as análises quantitativas das seguintes variáveis: comprimento total externo, diâmetro total externo, diâmetro total (área) - região distal e região proximal, espessura da epiderme - região distal e região proximal, espessura do córtex (total) - região distal e região proximal, espessura do aerênquima/parênquima - região distal e região proximal, espessura da endoderme - região distal e região proximal, diâmetro do cilindro vascular - região distal e região proximal, diâmetro dos elementos (metaxilema) - região distal e região proximal e quantidade de elementos (metaxilema) - região distal e região proximal.

A avaliação quantitativa dos tecidos foi realizada com auxílio do *software* de análise de imagens ANATI-QUANTI (AGUIAR et al., 2007).

Análise estatística

As análises foram realizadas seguindo-se o delineamento inteiramente casualizado, com os dados obtidos submetidos a análise de variância (ANOVA) e suas médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância (SANTOS et al., 2008) utilizando o programa estatístico R (R CORE TEAM, 2013).

RESULTADOS

Morfologia Externa da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty

C. zizanioides possui raiz fasciculada (com numerosas raízes primárias e suas ramificações) variando de 2 cm até 2 metros de comprimento e de 0,7 até 1,6 mm de diâmetro, coloração castanha e odor característico aromático (Figuras 5 a 9).

Nas plantas submetidas à água potável (controle) após 45 dias apresentaram desenvolvimento significativo com média de 1 metro de comprimento e 1,2 mm de diâmetro. Ao término do experimento, 210 dias, as plantas continuaram com seu desenvolvimento e apresentaram em média 2 metros de comprimento e 1,6 mm de diâmetro.

Nas plantas que estavam na lagoa 1, a partir da 4ª coleta (84 dias) o desenvolvimento das raízes foi afetado pela poluição, as raízes existentes sofreram senescência e novas raízes se

formam mas não conseguem se desenvolver completamente devido as condições desfavoráveis, as raízes apresentaram em média 2 cm de comprimento e 0,8 mm de diâmetro.

Enquanto que as plantas que estavam na lagoa 2, apresentaram o desenvolvimento da raiz, sem no entanto atingir o desenvolvimento do controle mantido em água potável, as raízes apresentaram em média 20 cm de comprimento e 1,4 mm de diâmetro.

Morfologia Interna da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty

Coleta 1 (controle) - material coletado na caixa com água potável após 45 dias do plantio

Na região proximal, as raízes possuem formato cilíndrico, epiderme unisseriada constituída por células epidérmicas comuns com paredes delgadas e formato arredondado a irregular (Figura 10 A-C).

O córtex externo é composto por parênquima e anel esclerenquimático. O parênquima externo é do tipo fundamental apresentando em média duas camadas de células predominantemente arredondadas e espessamento de parede variando de delgado a espessado, sem espaços intercelulares; podem apresentar cristais. O anel esclerenquimático, possui uma a duas camadas de células, de paredes espessadas, tamanho e formato variado (Figura 10 C).

A região do córtex interno é composta por aerênquima, parênquima fundamental e endoderme (Figura 10 B).

O aerênquima ocupa praticamente toda a extensão do córtex, sendo constitutivo e desenvolvido pela lise das células, dando origem a formação esquizolisígena. As células são arredondadas de parede delgada, possuem em média dez camadas.

O parênquima fundamental apresenta uma a duas camadas de células arredondadas, espaços intercelulares em losango, espessamento delgado (Figura 10 B).

A endoderme é uniestratificada com células retangulares a irregulares, espessamento na parede periclinal interna (Figura 10 D).

O cilindro vascular é formado por periciclo, floema primário e xilema primário (Figura 10 D). O periciclo é contínuo, contendo apenas uma camada de células variando de quadrado-arredondadas a irregulares, com paredes espessadas. O floema e xilema primário estão envolvidos por células parenquimáticas com paredes espessadas (Figura 10 D).

O floema primário está disposto periféricamente (próximo ao periciclo), constituído por elemento de tubo crivado, células companheiras e fibras.

O xilema primário encontra-se intercalado com o floema, dividindo-se em protoxilema e metaxilema (Figura 10 D). Os elementos de vaso do metaxilema, alguns geminados, apresentam parede celular espessada. O número de metaxilema varia de 11 a 25.

Todos os indivíduos apresentam medula parenquimática maciça com células de formato isodiamétrico, parede celular delgada e espaços intercelulares triangulares.

Já na região distal, o córtex externo, observa-se um anel esclerenquimático que possui uma a duas camadas de células, de paredes delgadas, tamanho e formato variado (Figura 11 C).

No córtex interno, indivíduos podem apresentar ausência de aerênquima, ou início da formação de aerênquima e fileiras inteiras de células de parênquima com cavidades aeríferas, o parênquima fundamental apresenta em média até quatorze camadas de células arredondadas, espaços intercelulares em losango, espessamento delgado. Na endoderme há ausência de espessamento na parede periclinal interna (Figura 11 D).

No cilindro vascular, o periciclo é contínuo, contendo apenas uma camada de células variando de quadrado-arredondadas a irregular, sem paredes espessadas. O floema e xilema primário estão envolvidos por células parenquimáticas com parede celular delgada (Figura 11D).

Coleta 2 - material coletado após 28 dias nas lagoas

A região proximal das raízes dos indivíduos colocados na Lagoa 1 não apresenta diferenças quando comparada com o controle (Figura 12 A-D). A região distal das raízes dos indivíduos colocados na Lagoa 1 apresentam ausência de aerênquima quando comparada com o controle (Figura 13 B). O número de metaxilema varia de 11 a 22.

A região proximal das raízes dos indivíduos colocados na Lagoa 2 não apresenta diferenças quando comparada com o controle (Figura 14 A-D). A região distal das raízes dos indivíduos colocados na Lagoa 2 apresentam início da formação de aerênquima e fileiras inteiras de células de parênquima com cavidades aeríferas quando comparada com o controle (Figura 15 A-B). O número de metaxilema varia de 17 a 23.

Coleta 3 - material coletado após 56 dias nas lagoas

A região proximal das raízes dos indivíduos colocados na Lagoa 1 não apresenta diferenças quando comparada com o controle. A região distal das raízes dos indivíduos colocados na Lagoa 1 apresentam ausência de aerênquima ou início da formação de aerênquima

e fileiras inteiras de células de parênquima com cavidades aeríferas quando comparada com o controle. O número de metaxilema varia de 17 a 27.

A região proximal das raízes dos indivíduos colocados na Lagoa 2 não apresenta diferenças quando comparada com o controle. A região distal das raízes dos indivíduos colocados na Lagoa 2 apresentam início da formação de aerênquima e fileiras inteiras de células de parênquima com cavidades aeríferas quando comparada com o controle. O número de metaxilema varia de 12 a 25.

Coleta 4 - material coletado após 84 dias nas lagoas

A partir da coleta 4, nos indivíduos da Lagoa 1 não foi possível realizar a coleta das raízes na região proximal da raiz, PR, devido à ausência do seu desenvolvimento (Quadro 2). Enquanto que, os indivíduos da Lagoa 2 apresentavam o desenvolvimento das duas regiões da raiz, PR e DR. As raízes, na Lagoa 1, tinham aproximadamente 2 cm de comprimento e 0,8 mm de diâmetro.

A região distal das raízes dos indivíduos colocados na Lagoa 1 apresentam ausência de aerênquima quando comparada com o controle (Figura 16 A-B). O número de metaxilema varia de 10 a 30.

A região proximal das raízes dos indivíduos colocados na Lagoa 2 não apresenta diferenças quando comparada com o controle (Figura 17 A-D). A região distal das raízes dos indivíduos colocados na Lagoa 2 apresentam ausência de aerênquima quando comparada com o controle (Figura 18 A-B). O número de metaxilema varia de 16 a 22.

Coleta 5 - material coletado após 112 dias nas lagoas

A região distal das raízes dos indivíduos colocados na Lagoa 1 apresentam ausência de aerênquima quando comparada com o controle. O número de metaxilema varia de 10 a 18.

A região proximal das raízes dos indivíduos colocados na Lagoa 2 não apresenta diferenças quando comparada com o controle. A região distal das raízes dos indivíduos colocados na Lagoa 2 apresentam início da formação de aerênquima e fileiras inteiras de células de parênquima com cavidades aeríferas quando comparada com o controle. O número de metaxilema varia de 13 a 17.

Coleta 6 - material coletado após 140 dias nas lagoas

A região distal das raízes dos indivíduos colocados na Lagoa 1 apresentam ausência de aerênquima quando comparada com o controle. O número de metaxilema varia de 3 a 11.

A região proximal das raízes dos indivíduos colocados na Lagoa 2 não apresenta diferenças quando comparada com o controle. A região distal das raízes dos indivíduos colocados na Lagoa 2 apresentam início da formação de aerênquima e fileiras inteiras de células de parênquima com cavidades aeríferas quando comparada com o controle. O número de metaxilema varia de 10 a 19.

Coleta 7 - material coletado após 168 dias nas lagoas

A região distal das raízes dos indivíduos colocados na Lagoa 1 apresentam ausência de aerênquima quando comparada com o controle (Figura 19 A-B). O número de metaxilema varia de 4 a 15.

A região proximal das raízes dos indivíduos colocados na Lagoa 2 não apresenta diferenças quando comparada com o controle (Figura 20 A-D). A região distal das raízes dos indivíduos colocados na Lagoa 2 apresentam início da formação de aerênquima e fileiras inteiras de células de parênquima com cavidades aeríferas quando comparada com o controle (Figura 21 A-B). O número de metaxilema varia de 11 a 19.

Delineamento estatístico

A análise estatística mostrou que 8 variáveis tiveram diferenças significativas.

A variável comprimento total externo apresentou diferença significativas entre L1-Controle / L2-Controle / L2-L1 (Tabela 2).

As variáveis diâmetro total externo, espessura da epiderme - região proximal, espessura do córtex (total) - região distal e região proximal e espessura do aerênquima/parênquima - região distal e região proximal apresentaram diferenças significativas entre L2-Controle / L2-L1 (Tabela 2).

As variáveis diâmetro total (área) - região distal, diâmetro do cilindro vascular - região distal e quantidade de elementos (metaxilema) - região distal apresentaram diferenças significativas entre L2-L1 (Tabela 2).

As variáveis diâmetro total (área) - região proximal e espessura da epiderme - região distal apresentaram diferenças significativas entre L2-Controle (Tabela 2).

Já as variáveis espessura da endoderme - região distal e região proximal, diâmetro do cilindro vascular - região proximal, diâmetro dos elementos (metaxilema) - região distal e região proximal e quantidade de elementos (metaxilema) - região proximal não apresentam diferenças significativas nos testes estatísticos realizados (Tabela 2).

DISCUSSÃO

O comprimento e diâmetro externo das raízes de *C. zizanioides* apresentam variações significativas entre controle, L1 e L2 devido à ação do esgoto (Figuras 22 e 23). Costa et al. (2012) afirmam que há aumento no tamanho da raiz das mudas que não receberam efluente doméstico na irrigação confirmando nossos resultados quanto ao maior crescimento das raízes no controle em relação aos indivíduos mantidos nas lagoas de esgoto.

Em secção transversal, a raiz de *C. zizanioides* apresenta-se circular conforme Metcalfe (1960) descreveu para as gramíneas com diâmetro total variando significativamente entre L2-L1 e L2-Controle influenciado pela poluição das lagoas de tratamento de esgoto (Figuras 24 e 25).

A epiderme apresenta parede celular periclinal externa delgada. De acordo com Esau (1977) esta é uma característica comum para raízes em crescimento primário. As células epidérmicas apresentaram tamanhos e formatos variáveis, variando significativamente entre L2-Controle e L2-L1 (Figuras 26 e 27). Alves et al. (2008) afirmam que o material acumulado nos vacúolos celulares provoca um aumento na espessura deste tecido, devido ao aumento de suas células, visando a manutenção da integridade das mesmas, por consequência garante uma maior chance de tolerância à toxicidade. Em *Oryza sativa* (L.) (Clark e Harris, 1981), algumas espécies de Bambusoideae (Rachael e Curtis, 1990) e outros grupos de monocotiledôneas (Marques e Moscheta, 2010) as células epidérmicas também apresentaram tamanho e formatos variáveis.

Os constituintes do córtex em Vetiver: anel esclerenquimático; parênquima cortical, frequentemente com células colapsadas formando um vasto aerênquima; e endoderme (Delistoianov e Toledo, 1960; Alencar et al., 2005), também foram apresentados em nossos estudos.

Smirnoff e Crawford (1983) citam que é comum a ocorrência de um anel esclerenquimático entre monocotiledôneas. Soper (1959) afirma que esta região auxilia no reforço da raiz, possuindo importância na prevenção do colapso do órgão quando este se encontra submerso. Ranathunge et al. (2003) ainda acrescentam que esta camada pode impedir o fluxo de água apoplástico no interior da raiz. Em nosso estudo, nota-se que na região proximal

das raízes há um espessamento na parede celular das células do anel esclerenquimático, o que não acontece na região distal da raiz.

Para os indivíduos examinados, a maior porção do córtex é composta por células parenquimáticas de parede celular delgada e amplos espaços intercelulares, que frequentemente formam o aerênquima (ALENCAR et al. 2005), que apresenta diferenças significativas entre L2-Controle e L2-L1 (Figuras 30 e 31). Aerênquima é um tecido de aparência esponjosa em virtude de grandes espaços intracelulares que oferecem baixa resistência à troca de gases entre a parte aérea aeróbica e as raízes em ambiente anaeróbico (JACKSON; ARMSTRONG, 1999).

A formação de aerênquima na planta facilita a troca gasosa entre a parte aérea e o sistema radicular (e vice-versa), melhorando a difusão de gases pela planta, principalmente o oxigênio e o etileno (DREW, 1997; SURALTA; YAMAUCHI, 2008; YIN et al., 2010). Essa característica também foi observada por Graciano-Ribeiro (2002) nas espécies de *Otachyrium* (Panicoideae) e por Seago Jr. et al. (2005) estudando a família Acoraceae (*Acorus calamus*) que é basal das monocotiledôneas. Dessa forma, ainda que o ambiente externo esteja hipóxico, ou mesmo anóxico, internamente a raiz encontra-se aerada (TAIZ; ZEIGER, 1998), uma maior quantidade de aerênquima promove uma melhor difusão de oxigênio para as raízes, conseqüentemente, há um menor número de células capazes de absorver e acumular material que não seria característica de interesse para a fitorremediação.

De acordo com Levitt (1980) a presença do aerênquima aumenta a resistência ao estresse hídrico, Coelho et al. (2006) afirmam que o aerênquima caracteriza-se por ser constitutivo e desenvolve-se pela lise das células parenquimáticas, dando origem a formação esquizolisígena.

Aerênquima esquizo-lisígeno encontrado em *Chrysopogon* também foram observados em *Sorghum bicolor* (L.) Moench. (SANGSTER, 1978), *Cyperus giganteus* Vahl (RODRIGUES; ESTELITA, 2004) e *Typha glauca* Godr. (SEAGO et al., 2005). O padrão radiado assemelha-se ao encontrado em muitas gramíneas (METCALFE, 1960; JUSTIN; ARMSTRONG, 1987; SEAGO et al., 2005).

Em *Chrysopogon*, o experimento induziu um relativo aumento no número de camadas das células de aerênquima nos indivíduos das lagoas de esgoto, no controle temos em média de 10 camadas enquanto nas lagoas 15 camadas, o que também foi observado em espécies submetidas ao alagamento, com mudanças morfológicas em *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex. A. Rich.) Stapf e *Paspalum fasciculatum* (Will. ex. Fluegg), como o desenvolvimento de aerênquimas, com evidente emissão de raízes adventícias (RAMOS et al., 2010). As raízes de *Echinochloa pyramidalis* (Lam.) Hitchc. & Chase (canarana), *Setaria anceps* Stapf ex Massey (setária) e *Paspalum paniculatum* (L.) apresentaram aumento na percentagem da área de

aerênquima no tratamento do sistema radicular submerso em comparação com o tratamento irrigado (controle) (SILVA et al., 2003).

As células da região distal da raiz não colapsadas encontradas na região periférica do córtex em *Chrysopogon* são similares às encontradas em *Otachyrium* (GRACIANO-RIBEIRO, 2002), algumas espécies de Cyperaceae (RODRIGUES; ESTELITA, 2004; LEITE et al., 2009) e Bromeliaceae (LOBO et al., 2008). O arranjo das células desta região do córtex foi utilizado por Goller (1977) apud McDonalds et al. (2002) para dividir Poaceae em dois grupos: tipo ‘festucóide’ cujas células são hexagonais e possuem espaços intercelulares losangos e o tipo ‘panicóide’ cujas células são cuboides e possuem espaços intercelulares quadrados. De acordo com esta classificação os indivíduos de *Chrysopogon* analisados são do tipo ‘festucóide’.

Em relação à área total do córtex, observa-se que entre os indivíduos submetidos a diferentes concentrações de oxigênio nas lagoas de tratamento de esgoto, há uma variação no número de camadas das células, apresentando diferenças significativas entre L2-Controle e L2-L1 (Figuras 28 e 29). Nas raízes com desenvolvimento inicial, caracterizado pela região DR, temos um córtex com área total menor (494,12 μm) quando comparamos com a raiz desenvolvida, região PR (556,47 μm). Insausti et al. (2001) afirmam que, para *Paspalum dilatatum* Poir. sujeitas a alagamento, o menor comprimento do córtex refere-se à diminuição do número de camadas celulares e à formação de maiores espaços intercelulares, que auxiliam na manutenção de um sistema de difusão de gases contínuo ao aerênquima formado.

Internamente ao córtex, a endoderme forma uma bainha em torno do cilindro vascular (VAN FLEET, 1961; ENSTONE et al., 2003). Nos indivíduos estudados observou-se endoderme uniestratificada e com células retangulares a irregular, com ou sem espessamento conforme descrito por Delistoianov e Toledo (1960).

Espessamento na parede periclinal interna das células da endoderme, encontrado em alguns indivíduos estudados, é uma característica comum entre as gramíneas (METCALFE, 1960) e de outros grupos de monocotiledôneas (COAN et al., 2002; LOBO et al., 2008; MOREIRA e ISAÍAS, 2008; SILVA e SCATENA, 2011; SILVA et al. 2010). Em raízes com desenvolvimento inicial, na região DR, não há espessamento na parede periclinal interna das células. Apesar da diferença encontrada quanto ao espessamento, na análise estatística não há diferenças significativas (Figuras 32 e 33).

Embora o periciclo em gramíneas comumente é pluriestratificado (WILLIAMS, 1947; FAHN, 1990) os indivíduos analisados apresentam periciclo uniestratificado.

A raiz de *Chrysopogon* avaliada é poliarca. Graciano-Ribeiro (2002) ao estudar *Otachyrium* verificou que o número de polos do metaxilema varia de acordo com o diâmetro do estelo em conformidade com nossos estudos que apresentaram alterações significativas no número de polos do metaxilema entre L2-L1 (Figuras 38 e 39), por consequência, os elementos tóxicos encontrados nas lagoas podem alterar o balanço de fitormônios, que estão diretamente relacionados à morfogênese destes tecidos (ALVES, et al., 2008; SOUZA et al., 2009).

Melo et al. (2007) verificaram que em *Paspalum* houve diminuição do diâmetro do metaxilema nas condições de deficiência hídrica. Provavelmente a redução no diâmetro do metaxilema é uma resposta comum em plantas submetidas a condições de estresse e as diferenças no diâmetro dos vasos têm um valor adaptativo, uma vez que o menor diâmetro possivelmente seria uma resposta para garantir o fluxo de água e evitar a embolia dos vasos (CARLQUIST, 2001), o que não observamos em nossos estudos, em todos os indivíduos analisados não há variações significativas no diâmetro do metaxilema (Figuras 36 e 37).

Pereira et al. (2008) observaram que o córtex é uma das estruturas anatômicas da raiz mais sensíveis às mudanças no ambiente, enquanto o cilindro vascular praticamente não sofre mudanças. Entretanto, em *Chrysopogon* há diferenças significativas no diâmetro do cilindro vascular na região distal da raiz entre L2-L1 (Figuras 34 e 35). Queiroz-Voltan et al. (1998) ainda citam que maior compactação do córtex em cana-de-açúcar, que contém um aerênquima bem desenvolvido, poderia favorecer a aeração radicular. Diante disso, podemos inferir que a ocupação quase na totalidade do córtex pelo aerênquima no capim vetiver favorece a aeração dos tecidos mantendo o metabolismo em funcionamento, o que favorece o uso dessa planta no tratamento de esgoto.

Na L1, que recebe o esgoto bruto, há uma alta concentração de matéria orgânica e baixa taxa de OD dissolvido, que afetou diretamente o desenvolvimento das raízes, sendo que a partir da 4ª coleta, não há formação da região PR, ou seja, ocorre senescência nas raízes existentes e novas raízes se formam mas não conseguem se desenvolver completamente devido as condições desfavoráveis (Tabela 3).

Na L2, etapa final do tratamento do esgoto, há baixa concentração de matéria orgânica e maior taxa de OD dissolvido, o que permitiu o desenvolvimento das raízes, com formação tanto da região DR e PR, sem no entanto, atingir o desenvolvimento do controle mantido em água potável (Tabela 3).

Nota-se que o desenvolvimento das raízes foi influenciado pela diferença nas concentrações de oxigênio dissolvido nas lagoas de esgoto, sendo que nos indivíduos colocados na L1, há uma concentração quase nula, o que impossibilitou o seu crescimento e nos indivíduos

colocados na L2, há um percentual considerável, que dificultou esse crescimento conforme variações significativas fornecidas pelas análises estatísticas.

Segundo Dias-Filho e Carvalho (2000) plantas adaptadas ao alagamento modificam a maioria das suas funções fisiológicas, refletindo diretamente na TCR (taxa de crescimento relativo).

A diminuição da TCR pelo alagamento pode ser reflexo da redução da energia metabólica disponível para o processo de crescimento, da redução na translocação de fotoassimilados através do floema, da deficiência de nutrientes e da alteração no balanço hormonal (JACKSON; COLMER, 2005), respostas observadas em plantas sensíveis ao alagamento, além da morte do sistema de raízes original, como observado nessas plantas durante o período experimental.

Com base no estudo realizado por Ucker (2012) e nos resultados do experimento, o capim vetiver poderá contribuir no processo de tratamento de esgoto se os indivíduos forem colocados a uma distância no mínimo de 160 metros do lançamento do esgoto bruto, distância na qual a concentração de OD dissolvido passa a não interferir na formação e desenvolvimento das raízes. Recomenda-se que novos estudos sejam realizados com o objetivo de verificar a eficiência no tratamento de esgoto e absorção de nutrientes, e se há uma forma de aumentar essa eficiência.

CONCLUSÃO

C. zizanioides teve o desenvolvimento morfo-anatômico afetado nas suas raízes em decorrência das diferenças nas concentrações de oxigênio dissolvido nas lagoas de esgoto. O crescimento das raízes foi prejudicado por variações na concentração de OD, sendo que nos indivíduos da L1, não houve desenvolvimento da região PR a partir da 4ª coleta devido senescência das raízes, e nos indivíduos da L2, apesar do desenvolvimento das raízes, não se chegou ao nível do controle. A região proximal da raiz, PR, sofre menos influência da poluição encontrada nas lagoas do que a região distal da raiz, DR, apesar das variações observadas nos indivíduos da L1 e L2 e no grau de desenvolvimento das regiões PR e DR, não houve modificações estruturais na morfologia e anatomia das raízes.

As raízes do capim vetiver tiveram o seu desenvolvimento afetado na morfologia e anatomia, não apresentando modificações estruturais, devido a diferenças nas concentrações de oxigênio dissolvido nas lagoas de esgoto.

As modificações anatômicas compõem os mecanismos de tolerância da espécie ao meio com condições adversas, lagoas de esgoto, com destaque para presença de aerênquima que demonstra a plasticidade da espécie à condição de estresse.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, T.V.; SANT'ANNA-SANTOS, B.F.; AZEVEDO, AA.; FERREIRA, R.S. 2007. ANATI QUANTI: software de análises quantitativas para estudos em anatomia vegetal. **Planta daninha**. Viçosa, v. 25, n. 4. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s0100-83582007000400001&script=sci_arttext> Acesso: 05/01/2014.
- ALENCAR, R. G.; PRADO, C. C.; OLIVEIRA, L. M. G.; FREITAS, M. R. F.; SILVA, L. N. M.; NOGUEIRA, J. C. M.; PAULA, J. R.; BARA, M. T. F. 2005. Estudo farmabotânico e fitoquímico da raiz de *Vetiveria zizanioides* L. Nash (Vetiver). **Revista Eletrônica de Farmácia**. v. 2, nº 2, p. 1-4.
- ALMEIDA, R. A. 2005. **Substratos e plantas no tratamento de esgoto por zona de raízes**. Originalmente apresentada como tese de doutorado. Universidade Federal de Goiás – UFG, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos. 108 p.
- ALVES, J. C.; SOUZA, A. P.; PÔRTO, M. L.; ARRUDA, J. A.; JÚNIOR, U. A. T.; SILVA, G. B.; ARAÚJO, R. C.; SANTOS, D. 2008. Absorção e distribuição de chumbo em plantas de vetiver, jureminha e algaroba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. n.32. p.1329-1336.
- ARIAS, C. A; BRIX, H. 2003. Humedales artificiales para el tratamiento de águas residuales. **Revista Ciência e Ingeniería Neogranadina**, Bogotá, Colombia. v.13, p. 17-24.
- ARMSTRONG, W.; BRÄNDLE, R.; JACKSON, M. B. 1994. Mechanisms of flood tolerance in plants. **Acta Botanica Neerlandica**. v. 43, n. 4. p.307-358.
- BARROS, G. C. de. 2008. **Estudo fitoquímico e avaliações da toxicidade aguda e atividades biológicas da raiz do Vetiver (*Vetiveria zizanioides* L. Nash)**. Apresentada como dissertação no Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas. Universidade Federal de Goiás – UFG. 98 p.
- BARUCH, Z.; MÉRIDA, T. 1995. Effects of drought and flooding on root anatomy in four tropical forage grasses. **International Journal of Plant Sciences** 156 (4): 514-521.

BURMAN, A. G. 1985. Nature and composition of the grass flora of Brazil. **Willdenowia**, v. 15, p. 211-233.

CARDOSO, C. H. S. 2011. **Desenvolvimento de um protocolo para micropropagação de Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty)**. Apresentada como relatório de conclusão de curso de graduação em Agronomia. Centro de Ciências Agrárias – Agronomia - Universidade Federal de Santa Catarina. 53 p.

CARLQUIST, S. 2001. **Comparative wood anatomy**: systematic, ecological and evolutionary aspects of dicotyledon wood. 2ed. Berlin: Springer.

CHAUDHRY, M. S.; SARWAR, G. 2010. **Leaf anatomy of miracle C4 grass: *Vetiveria zizanioides* L. Nash**. Cholistan Institute of Desert Studies, The Islamia University of Bahawalpur, Pakistan. Disponível em <<http://prvn.rdpb.go.th/files/EB18.pdf>> Acessado em 31/08/2012.

CLARCK, L.H.; HARRIS, W.H. 1981. Observations on the root anatomy of rice (*Oryza sativa* L.). **American Journal of Botany** 68:154-161.

COAN, A. I.; SCATENA, V. L.; GIULIETTI, A. M. 2002. Anatomia de algumas espécies aquáticas de Eriocaulaceae brasileiras. **Acta Botanica Brasilica** 16 (4): 371-384.

COELHO, G.T.C.P.; SOUZA, I.R.P.; CARNEIRO, N.P.; SCHAFFERT, R.E.; BRANDÃO, R.L.; ALVES, V.M.C.; PAIVA, L.V.; CARNEIRO, A.A. 2006. Formação de aerênquima em raízes de milho sob estresse de fósforo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. v.5, n.3. p.443-449.

CORRÊA, M.P. 1984. **Dicionário das Plantas úteis do Brasil e das Exóticas cultivadas**, Imprensa Nacional, Rio de Janeiro. vol. 1.

COSTA, M.S.; ALVES, S.M.C.; NETO, M.F.; BATISTA, R.O.; COSTA, L.L.B.; OLIVEIRA, W.M. 2012. Produção de mudas de Timbaúba sob diferentes concentrações de efluente doméstico tratado. **Irriga**. Botucatu, Edição Especial, p. 408-422.

DELISTOIANOV, J.; TOLEDO, A. P. 1960. Estudo anatômico para localização do óleo em raiz de *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. **BRAGANTIA**. Boletim Técnico do Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo. v. 19, nº 55, p. 891-896.

DIAS-FILHO, M.B.; CARVALHO, C.J.R. 2000. Physiological and morphological responses of *Brachiaria* spp to flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.10, p. 1959-1966.

DREW, M.C. 1997. Oxygen deficiency and root metabolism: Injury and acclimatation under hypoxia and anoxia. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. v.48. p.223-250.

DREW, M.C.; HE, C.J.; MORGAN, P.W. 2000. Programmed cell death and aerenchyma formation in roots. **Trends in Plants Science** 5: 123-127.

ENSTONE, E. D.; PETERSON, C. A.; MA, F. 2003. Root endodermis and exodermis: structure, function, and responses to the environment. **Journal of Plant Growth Regulation** 21: 335–351.

ESAU, K. 1977. **Anatomy of seed plants**. 2d ed., New York, John Wiley. 576 p.

FABBRI, L.T.; RUA, G.H.; BARTOLONI, N. 2005. Different patterns of aerenchyma formation in two hygrophytic species of *Paspalum* (Poaceae) as response to flooding. **Flora** 200: 354–360.

FAHN, A. 1990. **Plant anatomy**. 4 ed. Oxford, Pergamon Press. 600p.

GRACIANO-RIBEIRO, D. 2002. **Caracteres anatômicos aplicados à taxonomia e variações ambientais das espécies de Otachyrium da América do Sul**. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GRACIANO-RIBEIRO, D.; FILGUEIRAS, T. S.; GONÇALVES, A. P. S. 2006. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE BAMBU, 1, 2006, *Anais do I Seminário Nacional do Bambu: estruturação da rede de pesquisa e desenvolvimento*. Brasília, p. 67-71.

GRIMSHAW, R. G. 2006. Vetiver System: A Green Investment for Sustainable Development. **The Fourth International Conference on Vetiver**. Caracas, Venezuela. Disponível em: <<http://www.vetiver.org/ICV4pdfs/P02.pdf>> Acesso: 23/08/2012.

HEIZEN, F.; RAMOS, J.; TIVANO, J. C. 2002. Anatomia quantitativa comparada de algumas espécies de gramíneas de la província de Santa Fe. **Revista FAVE**, v. 1, n. 2, p. 57-63.

INSAUSTI, P.; GRIMOLDI, A. A.; CHANETON, E. J.; VASELLATI, V. 2001. Flooding induces a suite of adaptive plastic responses in the grass *Paspalum dilatatum*. **New Phytologist** **152**: 291–299.

JACOBS, B. F.; KINGSTON, J. D.; JACOBS, L. L. 1999. The Origin of Grass-Dominated Ecosystems. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 86, no 2, p. 590-643.

JACKSON, M. B.; ARMSTRONG, W. 1999. Formation of aerenchyma and the processes of plant ventilation in relation to soil flooding and submergence. **Plant Biology**, v. 1, n. 3, p. 274-287, Maio.

JACKSON, M.B.; COLMER, T.D. 2005. Response and adaptation by plants to flooding stress. **Annals of Botany**, v.95, n.4, p. 501-505.

JENSEN, W. A. 1962. **Botanical histochemistry: principles and practices**. São Francisco: W. H. Freeman. 480p.

JUDD, W. S.; CAMPBELL, C.S.; KELLOGG, E. A.; STEVENS, P. F.; DONOGHUE, M. J. 2009. **Sistemática Filogenética: um enfoque filogenético**. Porto Alegre: Artmed. 612 p.

JUSTIN, S.H.F.W.; ARMSTRONG, W. 1987. The anatomical characteristics of roots and plant response to soil flooding. **New Phytologist** **106**: 465–495.

KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. 1997. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Seropédica: Edur, 198 p.

KRAUS, J. E.; SOUSA, H. C. de; REZENDE, M. H.; CASTRO, N. M.; VECCHI, C.; LUQUE, R. 1998. Astra blue and basic fuchsin double staining methods for plant materials. **Biotechnic and Histochemistry**. **73** (2): 235-243.

LAAN, P.; SMOLDERS, A.; BLOM, C. ARMSTRONG, W. 1989. The relative roles of internal aeration, radial oxygen losses, iron exclusion and nutrient balances in flood tolerance of rumex species. **Acta Botanica Neerlandica** 38: 131–145.

LEITE, K. R. B.; FRANÇA, F.; SCATENA, V. L. 2009. Anatomia de espécies anfíbias de Cyperaceae de lagoas do semi-árido, BA, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** **23**(3): 786- 796.

LEWITT, J. 1980. **Responses of plants to environmental stresses:** water, radiation, salt and other stresses. Vol II. Orlando, Academic Press, Inc. London. 497 p.

LOBO, G. M.; VOLTOLINI, C. H.; REIS, A.; SANTOS, M. 2008. Morfoanatomia de raízes adventícias das reófitas *Dyckia brevifoia* Baker e *D. distachaya* Hassler (Bromeliaceae). **INSULA** **37**: 81-94.

LONDOÑO, X. 2011. **Distribucion, morfologia, taxonomia, anatomia, silvicultura y usos de los bambues del nuevo mundo**. <http://www.hof-landlust.de/scb/taller.html> (acesso 25/06/2012).

MCDONALD, M. P.; GALWEY, N. W.; COLMER, T. D. 2002. Similarity and diversity in adventitious root anatomy as related to root aeration among a range of wetland and dryland grass species. **Plant, Cell and Environment** **25**: 441–451.

MARQUES, A. M. M. S.; MOSCHETA, I. S. 2010. Anatomy of the root of eight species of emergent aquatic macrophytes from the upper Paraná river, Paraná State, Brazil floodplain. **Acta Scientiarum Biological Sciences** **32** (3): 297-304.

MELO, H. C.; CASTRO, E. M.; SOARES, A. M.; MELO, L. A.; ALVES, J. D. 2007. Alterações anatômicas e fisiológicas em *Setaria anceps* Stapf ex Massey e *Paspalum paniculatum* L. sob condições de déficit hídrico. **Hoehnea** **34** (2): 145-153.

MENDONÇA, R.C.; FELFILI, J. M.; WWALTER, B. M. T.; SILVA-JUNIOR, M. C.; REZENDE, A.V.; FILGUEIRAS, T. S. NOGUEIRA, P. E.; FAGG, C. W. 2008. Flora Vascular do Bioma **Cerrado**: Checklist com 12.356 espécies. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. Cerrado: Ecologia e Flora. Brasília: Embrapa informação tecnológica. Cap. 15, v. 2, p. 423-442.

METCALFE, C. R. 1960. **Anatomy of the monocotyledons: I Gramineae**. New York: Clarendon Press. 731p.

METCALFE, C. R.; CHALK, L. 1979. **Anatomy of the dicotyledons: Systematic anatomy of the leaf and stem**. 2 ed. New York: Oxford science publications.

MOREIRA, A. S. F. P.; ISAIAS, R. M. S. 2008. Comparative anatomy of the absorption roots of terrestrial and epiphytic orchids. **Brazilian Archives of Biology and Technology** **51** (1): 83-93.

OROZCO, M. M. D. 2009. **Caracterização da gramínea *Vetiveria zizanioides* para aplicação na recuperação de áreas degradadas por erosão**. Belo Horizonte, MG: Universidade Federal de Minas Gerais. Apresentada como dissertação no Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. 96 p.

PAIVA, J. G. A.; FRANK-DE-CARVALHO, S. M.; MAGALHÃES, M. P.; GRACIANO-RIBEIRO, D. 2006. Verniz vitral incolor 500®: uma alternativa de meio de montagem economicamente viável. **Acta Botânica Brasílica**, v. 20, nº 2, p. 257-264.

PEDREIRA, J.V.S. 1975. **Desenvolvimento Morfológico de Gramíneas Forrageiras**. Apostila Curso de Pós-Graduação em Nutrição Animal e Pastagens, ESALQ/USP - Piracicaba, SP. 17p.

PEREIRA, A. R. 2006. **Uso do vetiver na estabilização de taludes e encostas**. Boletim técnico. Ano 01 – nº 003. Setembro.

PEREIRA, F.J.; CASTRO, E.M.; SOUZA, T.C.; MAGALHÃES, P.C. 2008. Evolução da anatomia radicular do milho 'Saracura' em ciclos de seleção sucessivos. **Pesquisa agropecuária brasileira**. v.43, n.12. p.1649-1656.

- PEREIRA, F.J.; MAGALHÃES, P.C.; SOUZA, T.C.; CASTRO, E.M.; ALVES, J.D. 2010. Atividade do sistema antioxidante e desenvolvimento de aerênquima em raízes de milho ‘Saracura. **Pesquisa agropecuária brasileira**. v.45, n.5. p.450-456.
- QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; PRADO, H.; MORETTI, F. C. 1998. Aspectos estruturais de raízes de cana-de-açúcar sob o efeito da compactação do solo. **Bragantia** **57** (1): 49-55.
- R Core Team. 2013. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- RACHAEL, L. J.; CURTIS, J. D. 1990. Root anatomy of the Bambusoideae (Poaceae). **American Journal of Botany** **77**(4): 475-482.
- RAMOS, T.J.N.; CARVALHO, C.J.R.; SOUZA, C.M.A.; VASCONCELOS, S.S. 2010. Alterações morfológicas e crescimento de duas espécies gramíneas sob alagamento. **Revista de Ciências Agrárias**. n.53. v.1. p.5-11.
- RANATHUNGE, K.; STEUDLE, E.; LAFITTE, R. 2003. Control of water uptake by rice (*Oryza sativa* L.): role of the outer part of the root. **Planta** **217**: 193–205.
- RODRIGUES, A. C.; ESTELITA, M. E. M. 2004. Anatomia da raiz de *Cyperus giganteus* Vahl (Cyperaceae) em desenvolvimento. **Revista Brasileira de Botânica** **27** (4): 629-638.
- ROONGTANAKIAT, N. 2009. Vetiver Phytoremediation for heavy metal decontamination. **Pacific Rim Vetiver Network**. Boletim técnico no 2009/1. Thailand. p. 1-20.
- SANGSTER, A. G. 1978. Silicon in the roots of higher plants reviewed. **American Journal of Botany** **65** (9): 929-935.
- SANTOS, J. W.; ALMEIDA, F. A. C.; BELTRÃO, N. E. M.; CAVALCANTI, F. B. 2008. **Estatística experimental aplicada**. 2a ed. Campina Grande: Embrapa Algodão/ UFCC. 461 p.

SEAGO JR, J.L.; MARSH, L.C.; STEVENS, K.J.; SOUKUP, A.; VOTRUBOVÁ, O.; ENSTONE, D.E. 2005. A Re-examination of the Root Cortex in Wetland Flowering Plants With Respect to Aerenchyma. **Annals of Botany** **96**: 565–579.

SHANTZ, H. L. 1954. The Place of Grasslands in the Earth's Cover. **Ecology**, v. 35, no 2, p. 143-145.

SILVA, I. V.; SCATENA, V. L. 2011. Anatomia de raízes de nove espécies de Bromeliaceae (Poales) da região amazônica do estado de Mato Grosso, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** **25**(3): 618-627.

SILVA, I. V.; MEIRA, R. M. S. A.; AZEVEDO, A. A. 2010. Anatomia de raízes de espécies de Orchidaceae do Parque Estadual da Serra do Brigadeiro, Minas Gerais. **Hoehnea** **37**(1): 147-161.

SILVA, S.; CASTRO, E.M.; SOARES, A.M. 2003. Effects of diferente water regimes on the anatomical characteristics of roots of grasses promising for revegetation of areas surrounding hydroelectric reservoirs. **Ciência e Agrotecnologia**. v.27. n.2. p.393-397.

SMIRNOFF, N.; CRAWFORD, R. M. M. 1983. Variation in the structure e response to flooding of root aerenchyma in some wetle plants. **Annals of Botany** **51**: 237-249.

SOPER, K. 1959. Root anatomy of grasses and clovers. **New Zealand Journal of Agricultural Research** **2** (2): 329-341.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. 2008. **Botânica Sistemática**: Guia ilustrado para identificação das famílias Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, Baseado em APG II. 2a ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora. 704 p.

SOUZA, V. L.; SILVA, D. C.; SANTANA, K. B.; MIELKE, M. S.; ALMEIDA, A. A. F.; MANGABEIRA, P. A. O.; ROCHA, E. A. 2009. Efeitos do cádmio na anatomia e na fotossíntese de duas macrófitas aquáticas. **Acta Botanica Brasilica**. v. 23, n. 2. p.343-354.

SPERLING, M. von. 1996. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Princípios do Tratamento Biológico de águas residuárias. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1v.

SURALTA, R.R.; YAMAUCHI, A. 2008. Root growth, aerenchyma development, and oxygen transport in rice genotypes subjected to drought and waterlogging. **Environmental and Experimental Botany**. v. 64, n. 1. p.75-82.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. 1998. **Plant Physiology**. Redwood Benjamin/Cummings. 565p.

TRUONG, P. 2011. **Animal Feed in Australia, China, India and Vietnam**. Disponível em <http://vetiver.org/TVN_Animal_feed.pdf>. Acesso: 30/08/2012.

TRUONG P.; HART, B. 2001. **Vetiver System for Wastewater treatment**. Boletim técnico, nº.2, PRVN/ORDPB, Bangkok, Thailand. 26 p.

TRUONG, P.; VAN, T. V., PINNER, E. 2006. **Vetiver system applications: Technical Reference Manual**. Vietnam. Disponível em: http://www.vetiver.org/TVN-Manual_Vf.pdf. Acesso em 19/08/2012.

UCKER, F. E. 2012. **Eficiência do Capim Vetiver (*Vetiveria zizanioides* L. Nash) no tratamento de esgoto sanitário**. Apresentada como dissertação no Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente. Universidade Federal de Goiás – UFG. 102 p.

VAN FLEET, D. S. 1961. Histochemistry and function of the endodermis. **The Botanical Review** 27 (2): 165-220.

VALLS, J. F. M.; PEÑALOZA, A. D. P. S. 2004. **Recursos genéticos de gramíneas forrageiras para a pecuária**. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Brasília - DF. 15p.

VIANA, P. L.; FILGUEIRAS, T. S. 2008. Inventário e distribuição geográfica de gramíneas (Poaceae) na cadeia do Espinhaço, Brasil. **Megadiversidade**, v. 4, no 1-2, p. 71-88.

YIN, D.; CHEN, S.; CHEN, F.; GUAN, Z.; FANG, W. 2010. Morpho-anatomical and physiological responses of two *Dendranthema* species to waterlogging. **Environmental and Experimental Botany**. v. 68, n. 2. p.122-130.

WILLIAMS, B. C. 1947. The structure of the meristematic root tip and origin of the primary tissues in the roots of vascular plants. **American Journal of Botany** **34** (9): 455-462.

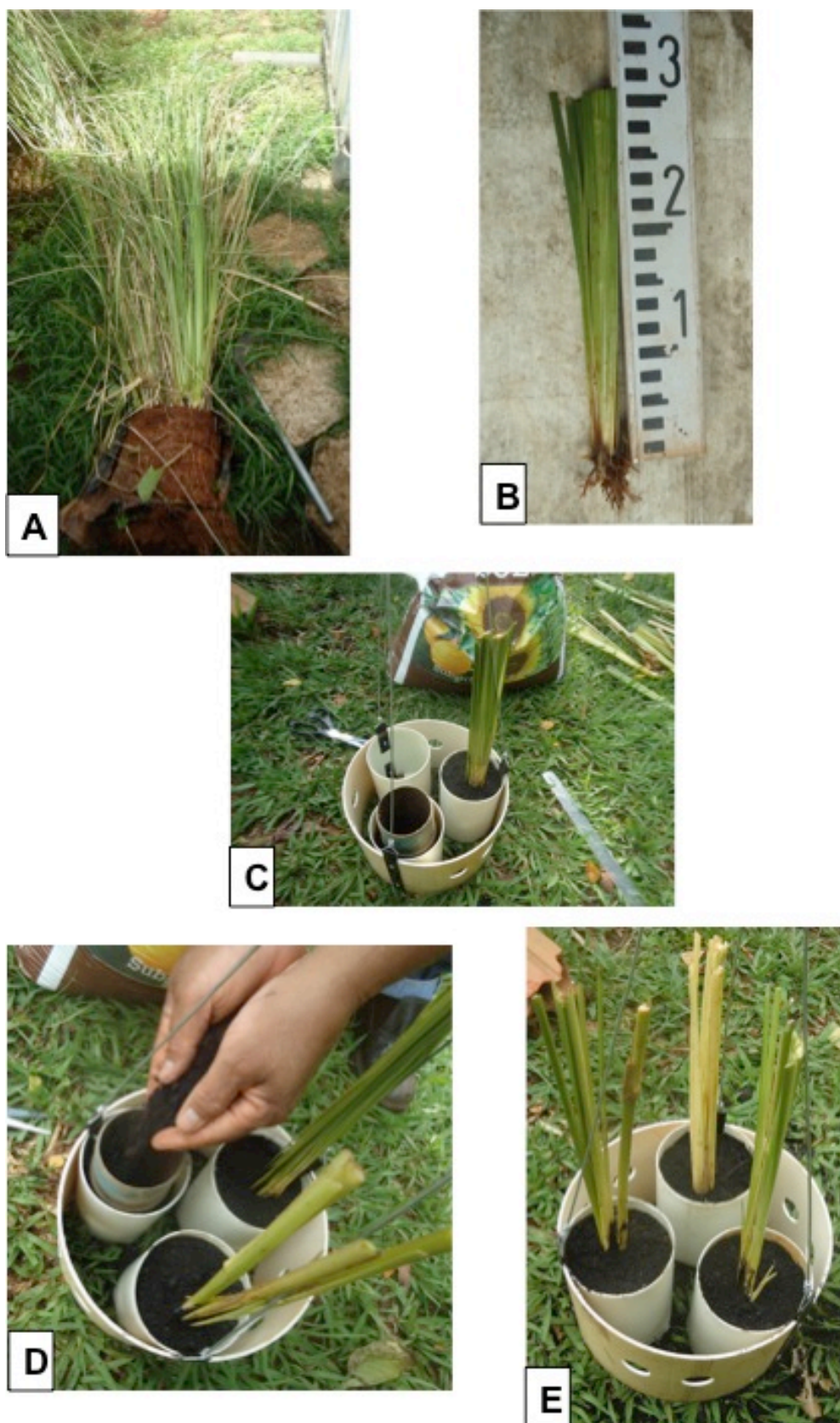


FIGURA 2: A-E. Plantio das mudas de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty. A. Touceira do capim vetiver. B. Padronização das mudas. C-E. Plantio das mudas nos flutuadores com substrato 50 Terral Solo.



FIGURA 3: A-F. Desenvolvimento inicial de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty. A-B. Flutuadores suspensos na caixa com água potável por um suporte de ferro. C. Detalhe do crescimento da raiz após 14 dias do plantio. D. Detalhe do crescimento da raiz após 45 dias do plantio. E. Coleta 1 (controle) realizada antes da transferência dos flutuadores para as lagoas de tratamento de esgoto. F. Encaixe de garrafas PET nos flutuadores.

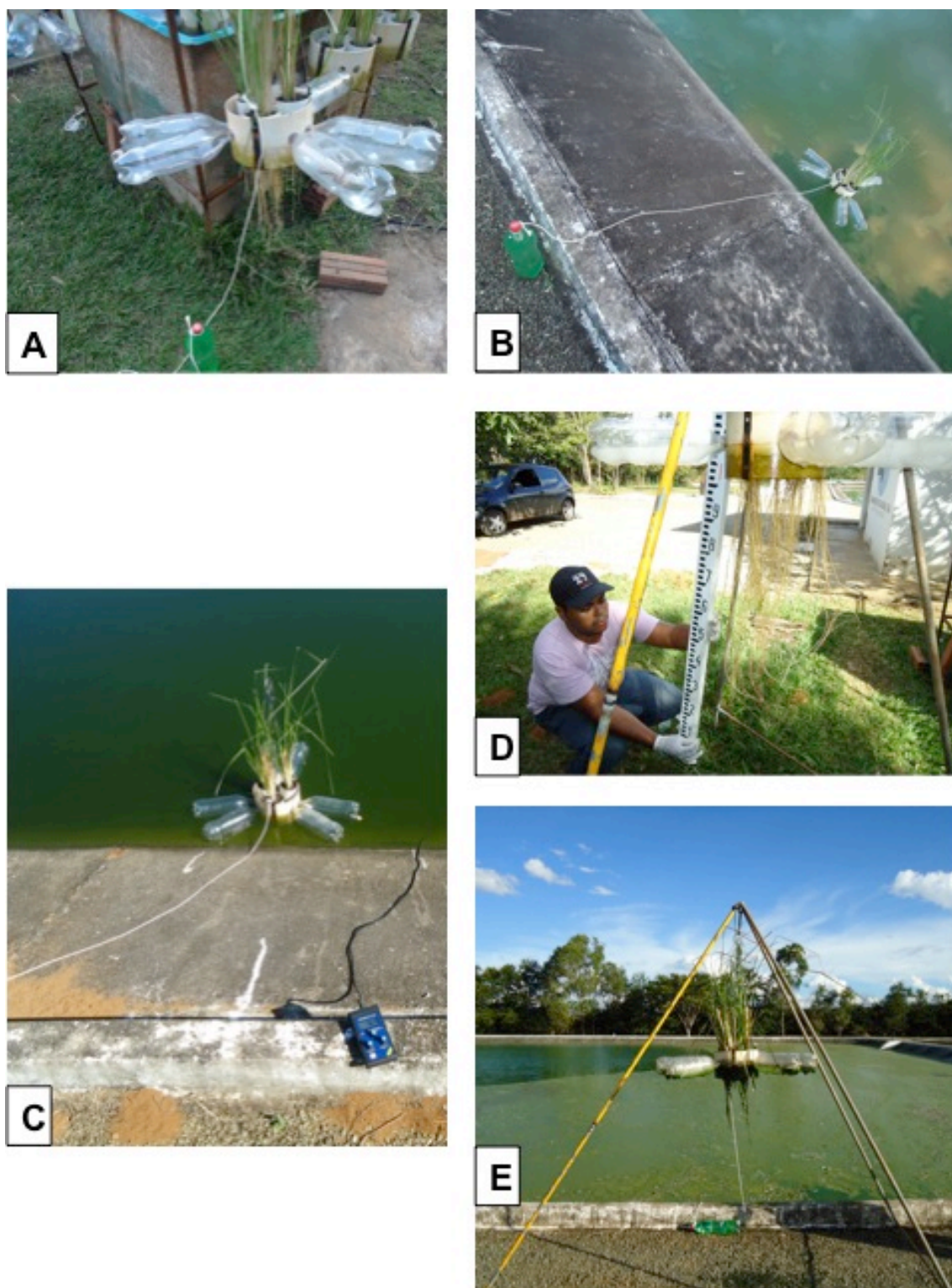


FIGURA 4: A-E. Transferência dos flutuadores de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty para as lagoas de esgoto. A. Flutuador com garrafas PET e suporte externo amarrado. B. Flutuador na lagoa. C. Medição de oxigênio nas lagoas realizado com o aparelho oxímetro. D. Detalhe do crescimento da raiz após 72 dias do plantio (controle) fora da lagoa. E. Tripé utilizado para as 52 coletas de amostras de raiz.

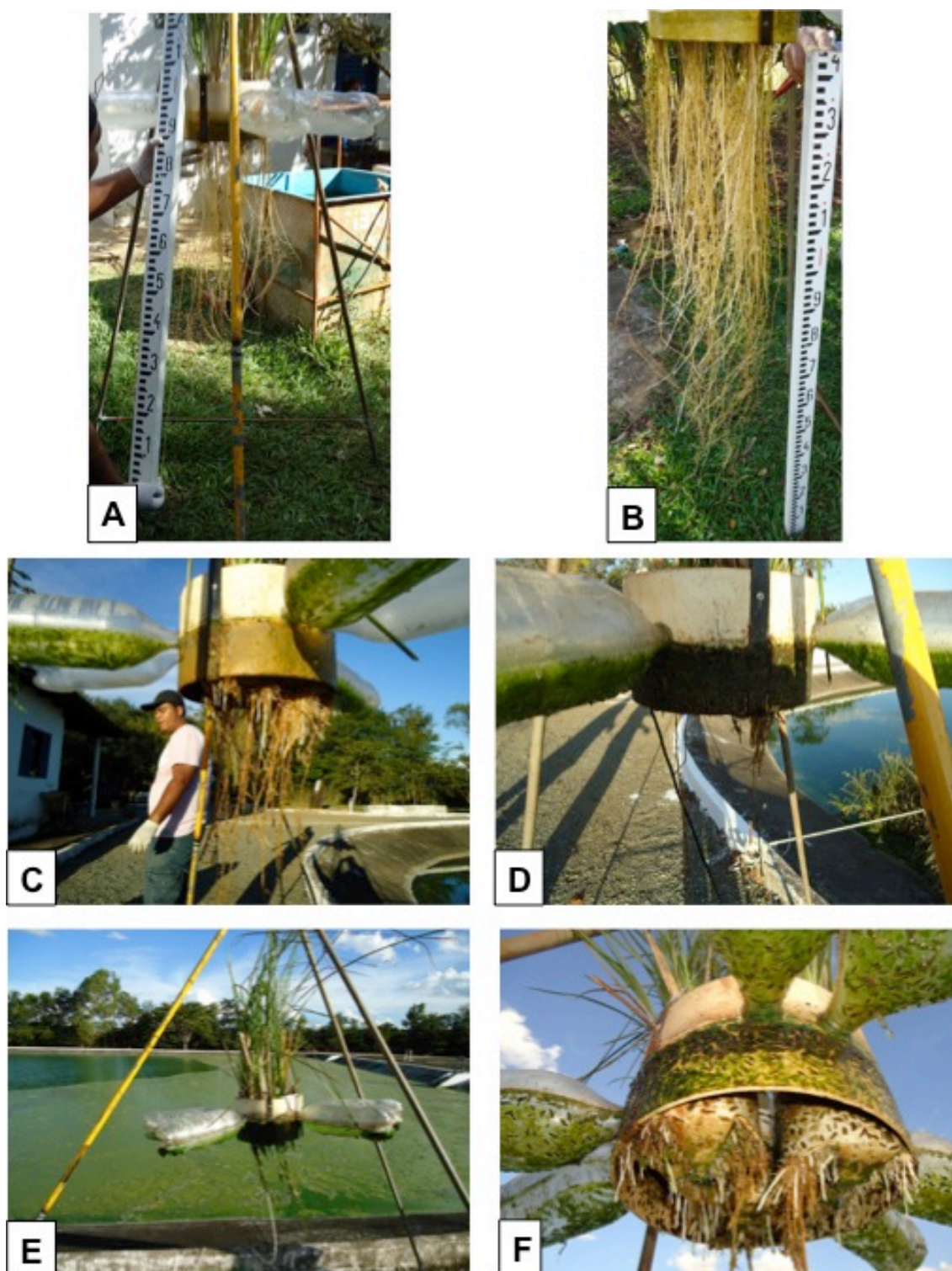


FIGURA 5: A-F. Coletas 2 e 3 (após 28 e 56 dias) da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty. A – B. Detalhe da raiz dos indivíduos do flutuador 8 (controle) em caixa de água. C – F. Detalhe da raiz dos indivíduos na lagoa 1. C – D. Flutuador 1 a 0 m. E – F. Flutuador 4 a 120 m.



FIGURA 6: A-D. Coletas 2 e 3 (após 28 e 56 dias) da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty. Detalhe da raiz dos indivíduos na lagoa 2. A – B. Flutuador 6 a 40 m. C – D. Flutuador 7 a 80 m.



FIGURA 7: A-D. Coletas 6 e 7 (após 140 e 168 dias) da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty. Detalhe da raiz dos indivíduos do flutuador 8 (controle) em caixa de água. A – B. Flutuador 8 (controle).

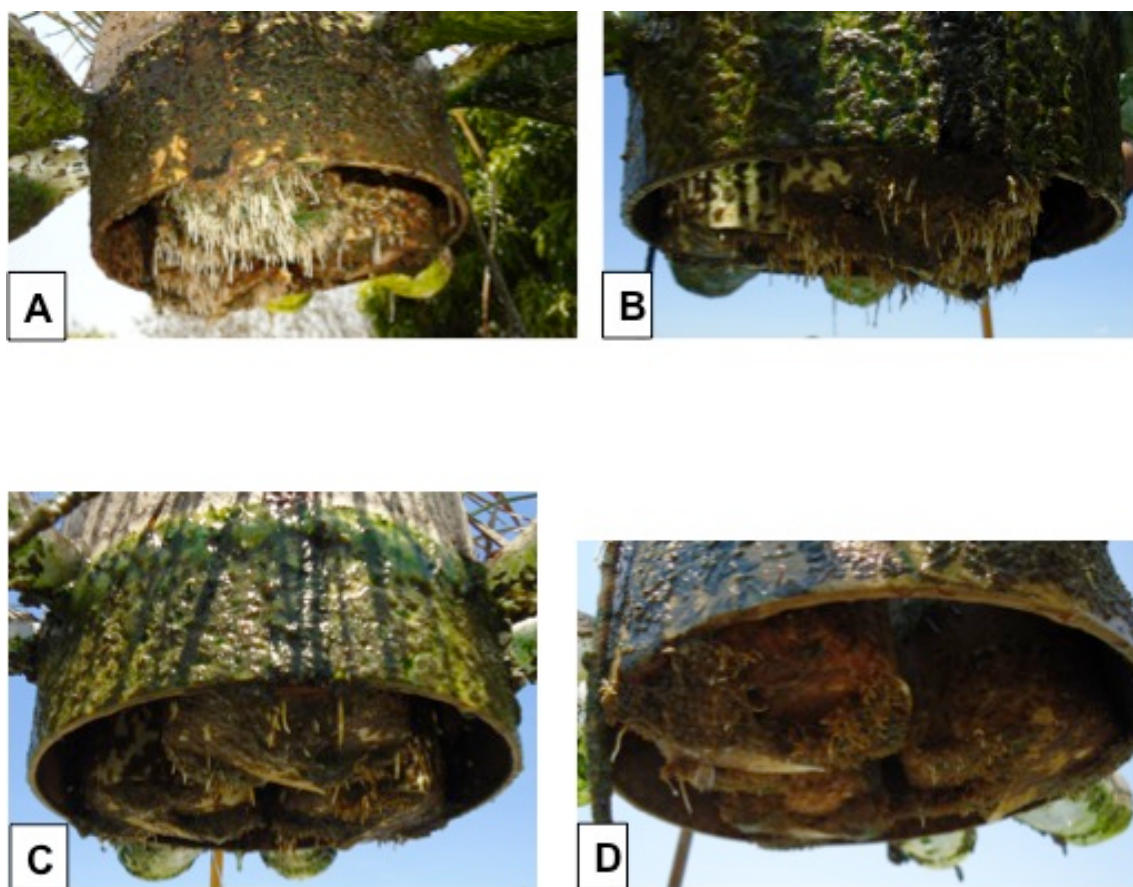


FIGURA 8: A-D. Coletas 6 e 7 (após 140 e 168 dias) da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty. Detalhe da raiz dos indivíduos na lagoa 1. A – B. Flutuador 1 a 0 m. C – D. Flutuador 4 a 120 m. Observa-se a senescência das raízes nos indivíduos na lagoa 1.



FIGURA 9: A-D. Coletas 6 e 7 (após 140 e 168 dias) da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty. Detalhe da raiz dos indivíduos na lagoa 2. A – B. Flutuador 6 a 40 m. C – D. Flutuador 7 a 80 m. Percebe-se o desenvolvimento das raízes na Lagoa 2, entretanto, menor do que aquele presente nos indivíduos controle.

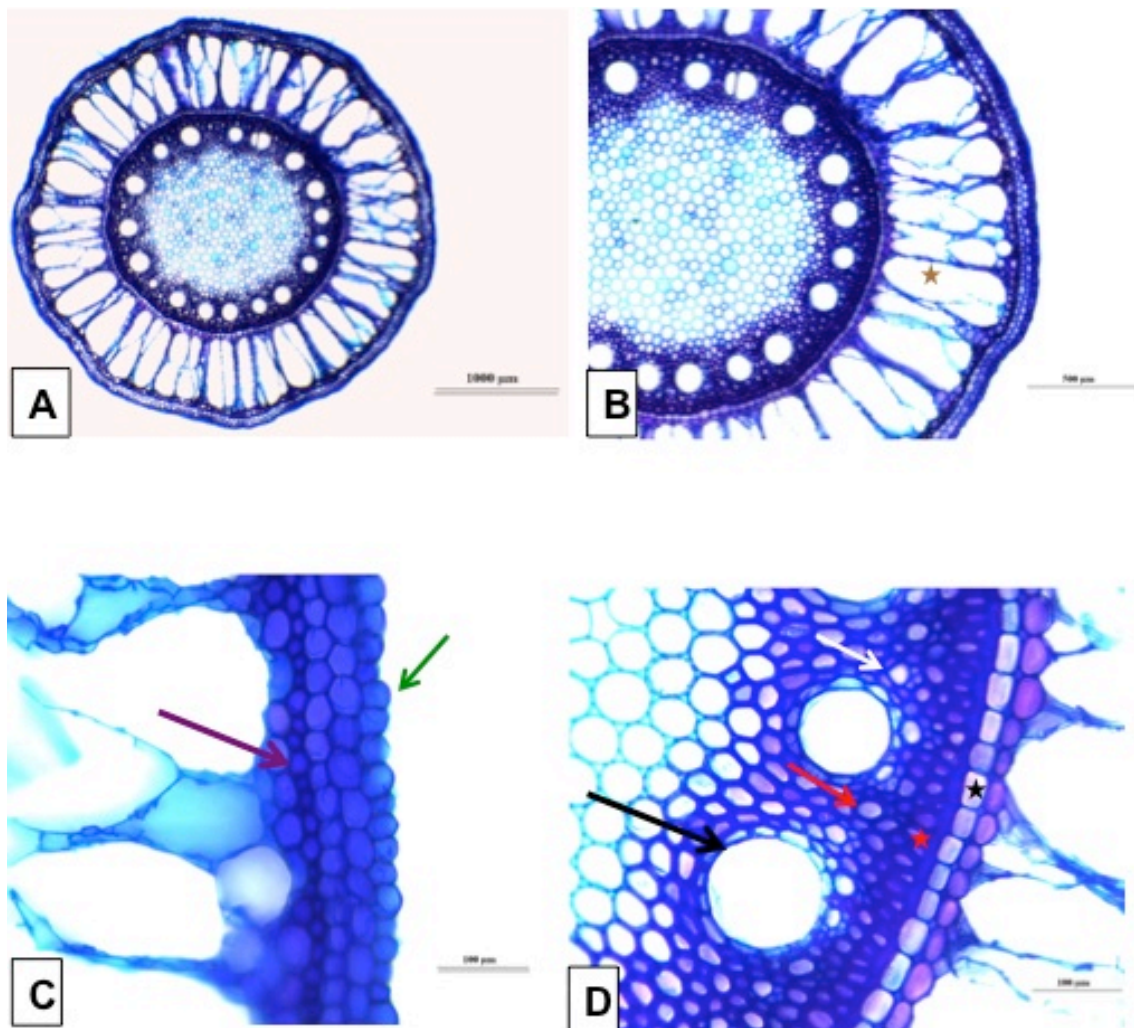


FIGURA 10: Secções transversais da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty – controle - região proximal. A. Vista geral. B. Detalhe da raiz. Aerênquima esquizolisígeno (asterisco marrom). C. Epiderme com células cujas paredes periclinais externas são delgadas (seta verde) e esclerênquima (seta roxa). D. Detalhe da endoderme com espessamento na parede periclinal interna (asterisco preto), do periciclo (asterisco vermelho), do protoxilema (seta vermelha), metaxilema (seta preta) e floema primário (seta branca).

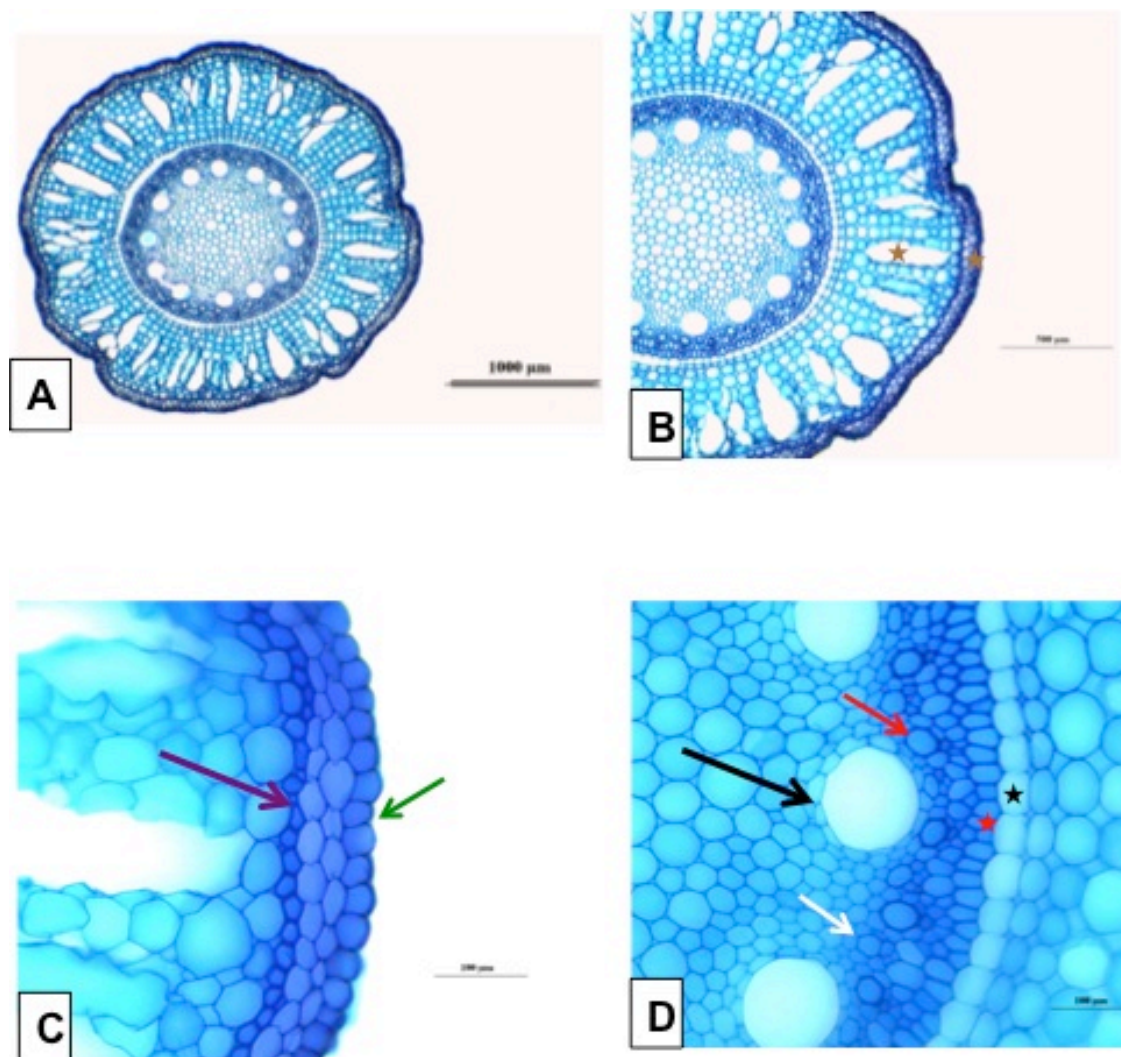


FIGURA 11: Secções transversais da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty – controle - região distal. A. Vista geral. B. Detalhe da raiz. Aerênquima (asterisco marrom). C. Epiderme com células cujas paredes periclinais externas são delgadas (seta verde) e esclerênquima (seta roxa). D. Detalhe da endoderme sem espessamento na parede periclinal interna (asterisco preto), do periciclo (asterisco vermelho), do protoxilema (seta vermelha), do metaxilema (seta preta) e floema primário (seta branca).

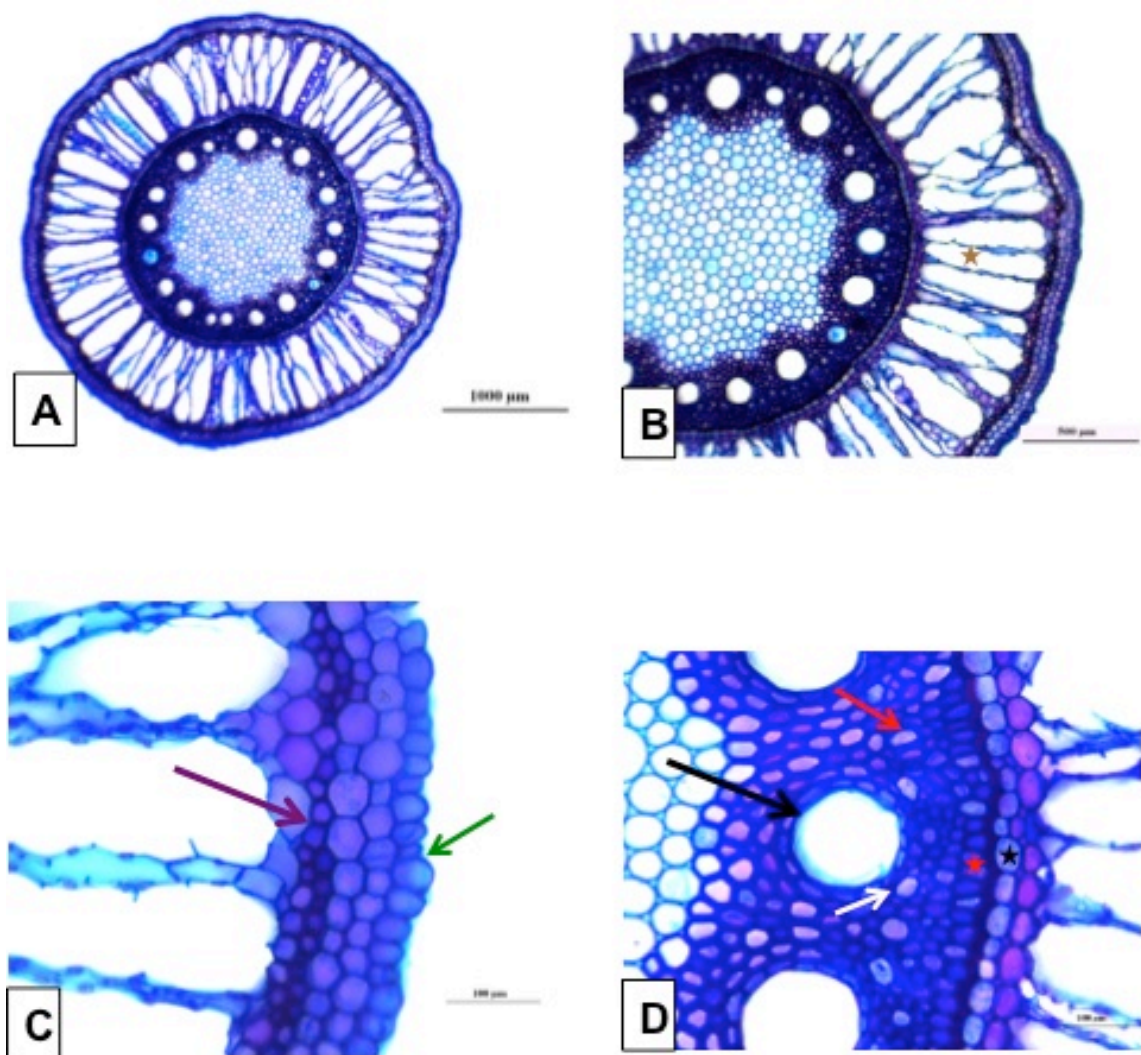


FIGURA 12: Secções transversais da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty – Coleta 2 - região proximal – Flutuador 3 a 80 m (lagoa 1). A. Vista geral. B. Detalhe da raiz. Aerênquima (asterisco marrom). C. Epiderme com células cujas paredes periclinais externas são delgadas (seta verde) e esclerênquima (seta roxa). D. Detalhe da endoderme com espessamento na parede periclinal interna (asterisco preto), do periciclo (asterisco vermelho), do protoxilema (seta vermelha), do metaxilema (seta preta) e floema primário (seta branca).

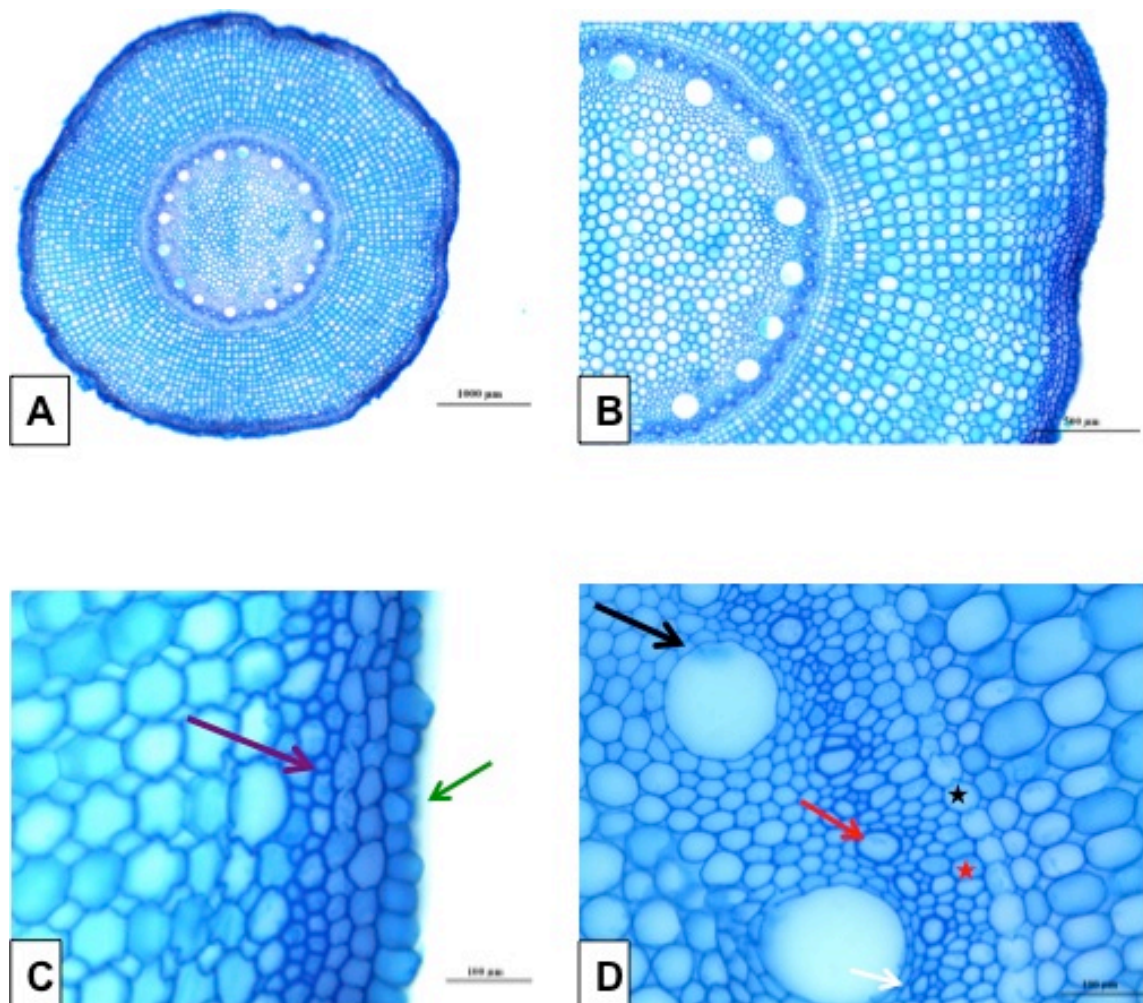


FIGURA 13: Secções transversais da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty – Coleta 2 - região distal – Flutuador 3 a 80 m (lagoa 1). A. Vista geral. B. Detalhe da raiz. C. Epiderme com células cujas paredes periclinais externas são delgadas (seta verde) e esclerênquima (seta roxa). D. Detalhe da endoderme sem espessamento na parede periclinal interna (asterisco preto), do periciclo (asterisco vermelho), do protoxilema (seta vermelha), do metaxilema (seta preta) e floema primário (seta branca). Ressalta-se ausência de aerênquima, maior número de polos de metaxilema em relação aos indivíduos controle.

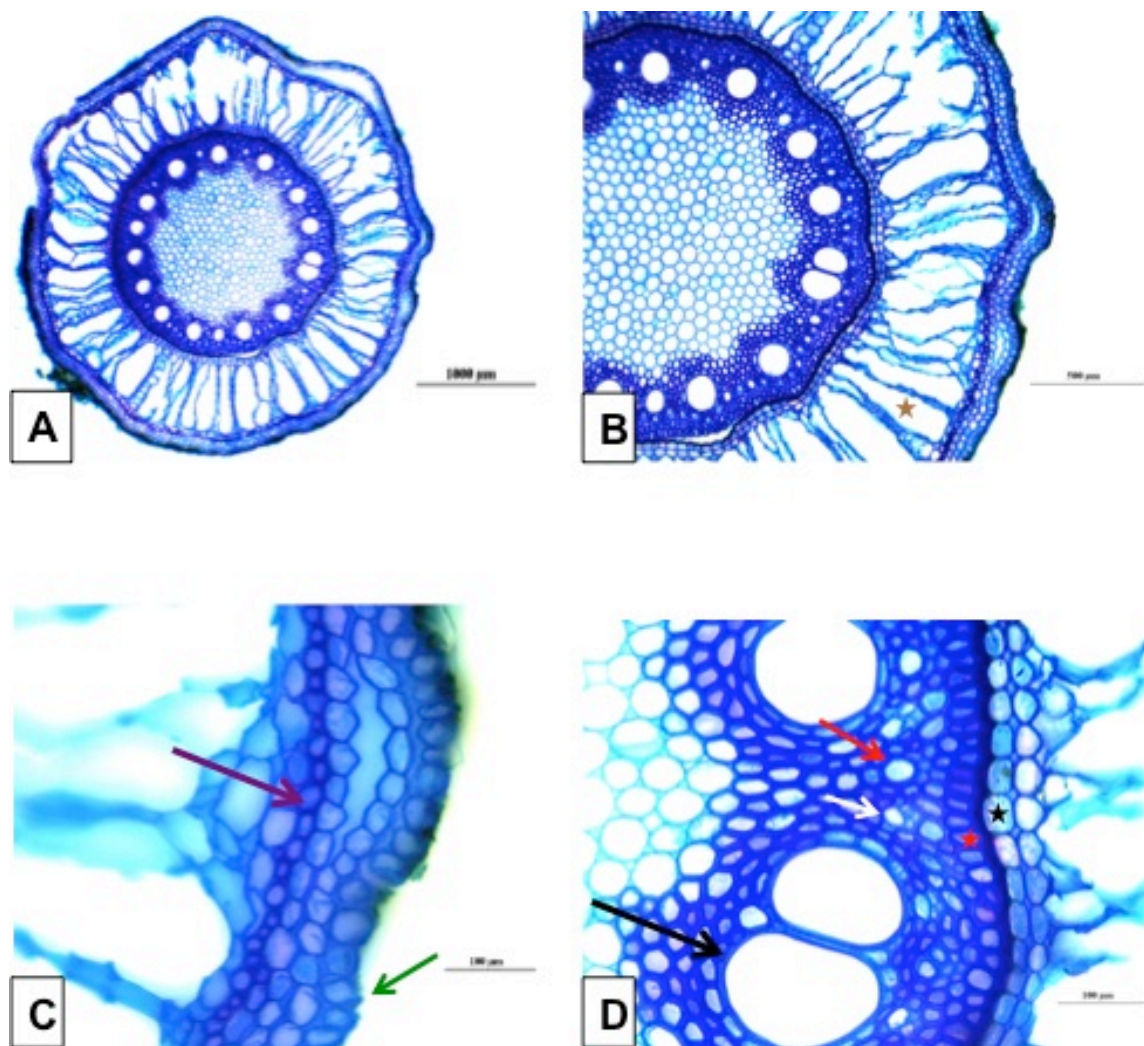


FIGURA 14: Secções transversais da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty – Coleta 2 – região proximal – Flutuador 6 a 40 m (lagoa 2). A. Vista geral. B. Detalhe da raiz. Aerênquima (asterisco marrom). C. Epiderme com células cujas paredes periclinais externas são delgadas (seta verde) e esclerênquima (seta roxa). D. Detalhe da endoderme com espessamento na parede periclinal interna (asterisco preto), do periciclo (asterisco vermelho), do protoxilema (seta vermelha), do metaxilema (seta preta) e floema primário (seta branca).

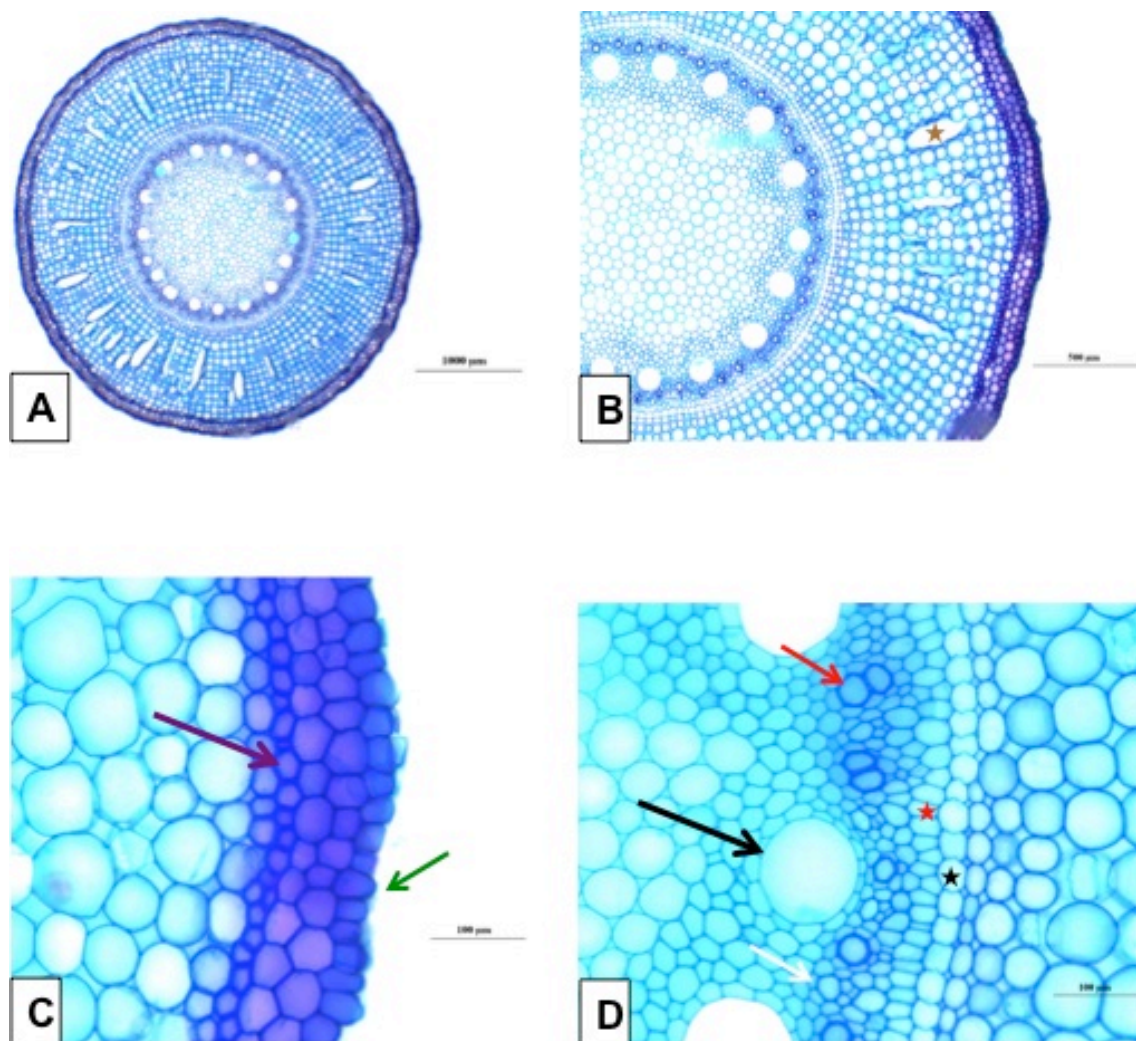


FIGURA 15: Secções transversais da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty – Coleta 2 – região distal – Flutuador 6 a 40 m (lagoa 2). A. Vista geral. B. Detalhe da raiz. Aerênquima (asterisco marrom). C. Epiderme com células cujas paredes periclinais externas são delgadas (seta verde) e esclerênquima (seta roxa). D. Detalhe da endoderme sem espessamento na parede periclinal interna (asterisco preto), do periciclo (asterisco vermelho), do protoxilema (seta vermelha), do metaxilema (seta preta) e floema primário (seta branca). Observa-se fileiras inteiras de célula de parênquima com cavidades aeríferas e desenvolvimento inicial de aerênquima, maior quantidade de polos de metaxilema em relação aos indivíduos controle.

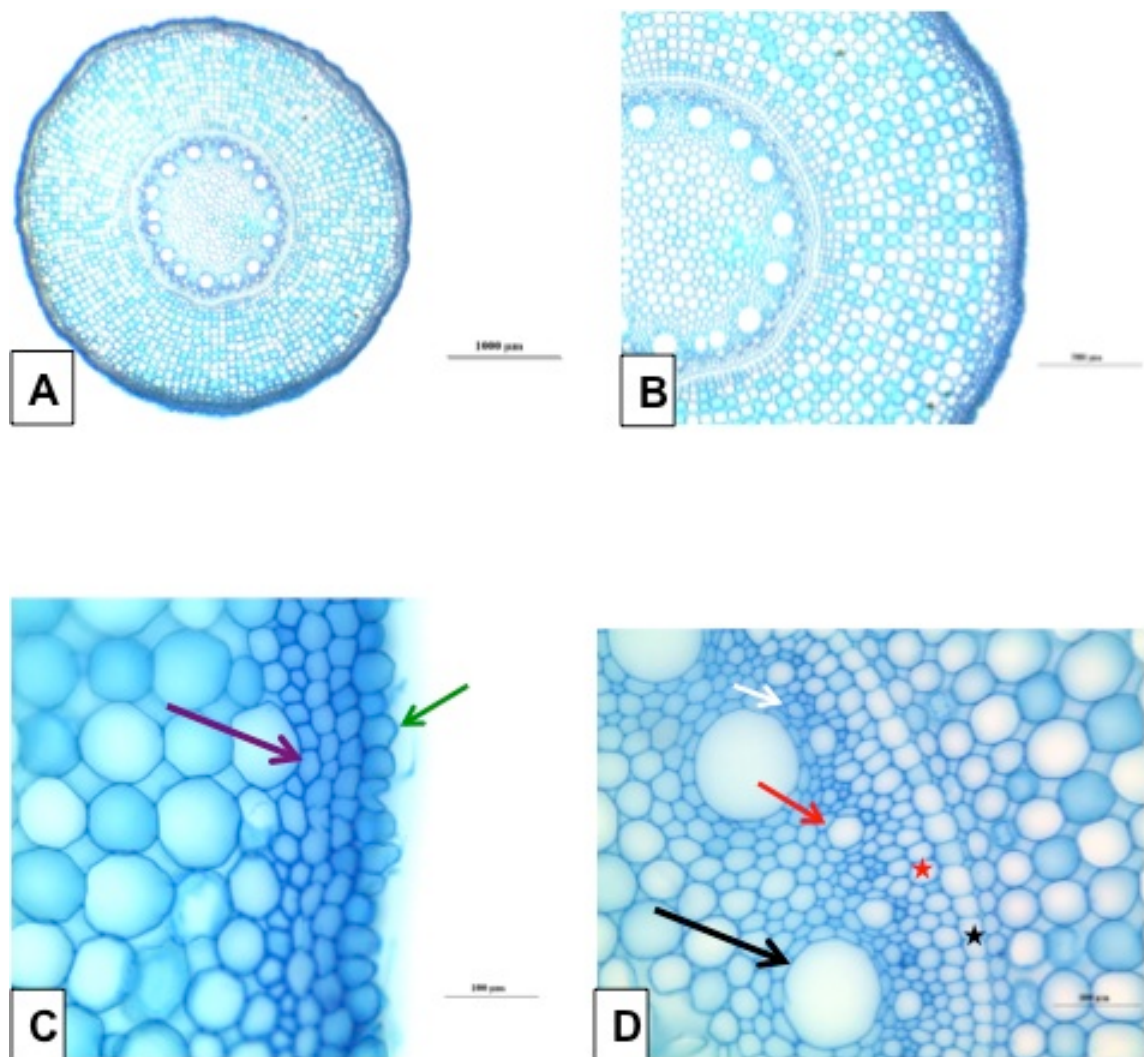


FIGURA 16: Secções transversais da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty – Coleta 4 – região distal – Flutuador 3 a 80 m (lagoa 1). A. Vista geral. B. Detalhe da raiz. C. Epiderme com células cujas paredes periclinais externas são delgadas (seta verde) e esclerênquima (seta roxa). D. Detalhe da endoderme sem espessamento na parede periclinal interna (asterisco preto), do periciclo (asterisco vermelho), do protoxilema (seta vermelha), do metaxilema (seta preta) e floema primário (seta branca). Percebe-se ausência de aerênquima, esclerênquima com células de parede delgada em relação aos indivíduos controle.

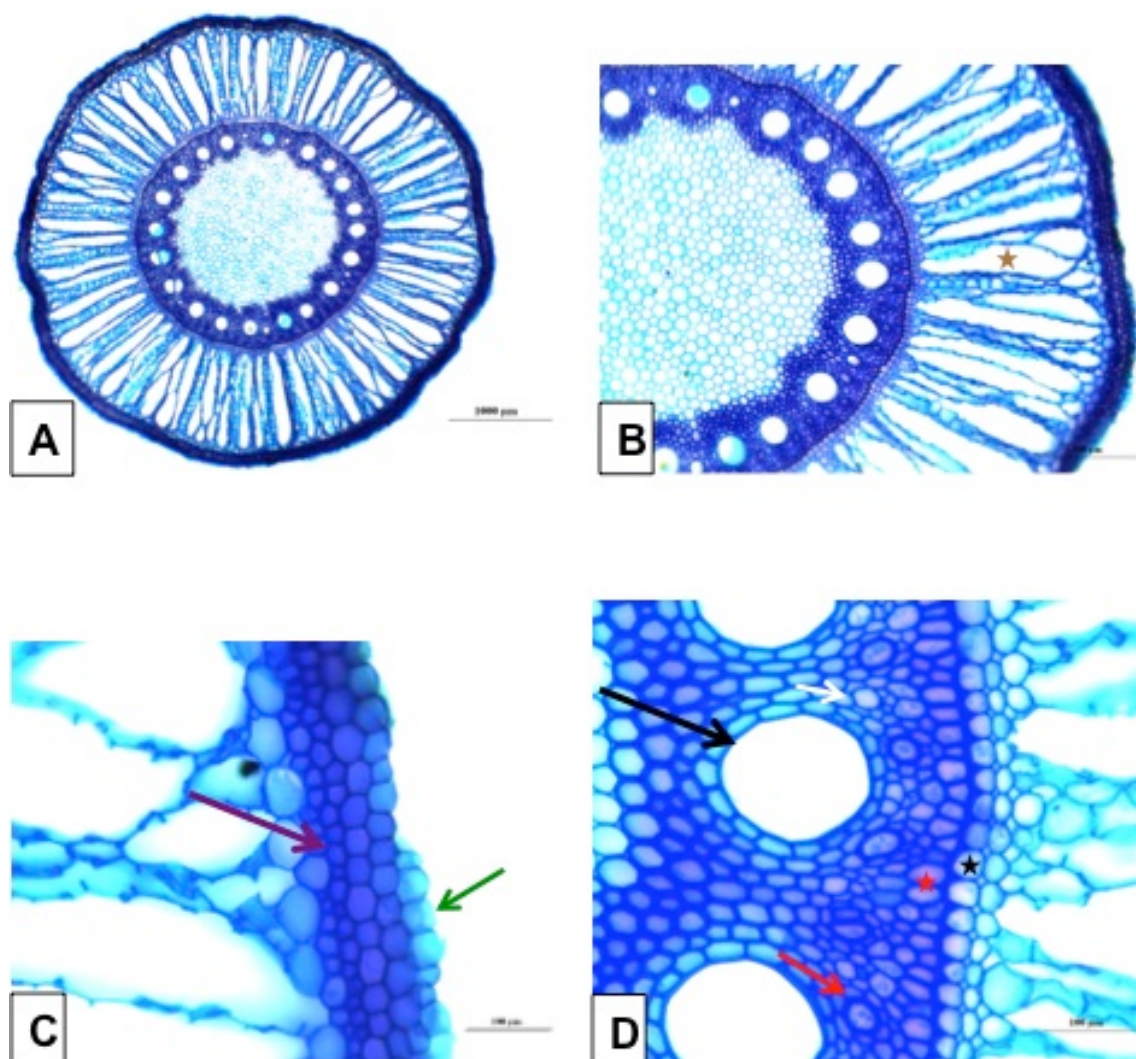


FIGURA 17: Secções transversais da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty – Coleta 4 – região proximal – Flutuador 5 a 0 m (lagoa 2). A. Vista geral. B. Detalhe da raiz. Aerênquima (asterisco marrom). C. Epiderme com células cujas paredes periclinais externas são delgadas (seta verde) e esclerênquima (seta roxa). D. Detalhe da endoderme com espessamento na parede periclinal interna (asterisco preto), do periciclo (asterisco vermelho), do protoxilema (seta vermelha), do metaxilema (seta preta) e floema primário (seta branca). Ressalta-se fileiras inteiras de célula de parênquima com cavidades aeríferas alternando com aerênquima desenvolvido, maior quantidade de polos de metaxilema, maior porção do córtex em relação aos indivíduos controle.

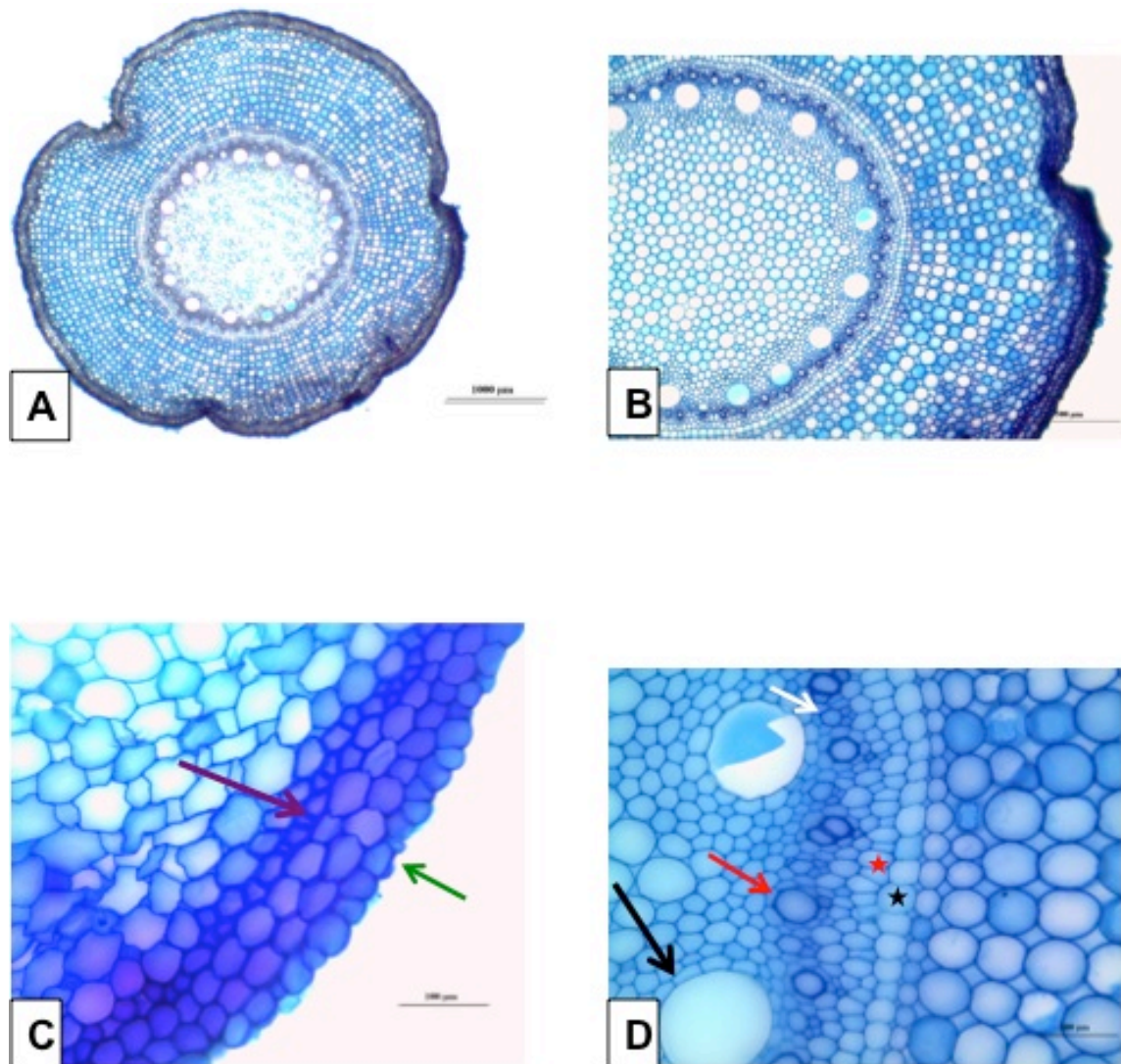


FIGURA 18: Secções transversais da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty – Coleta 4 – região distal – Flutuador 5 a 0 m (lagoa 2). A. Vista geral. B. Detalhe da raiz. C. Epiderme com células cujas paredes periclinais externas são delgadas (seta verde) e esclerênquima (seta roxa). D. Detalhe da endoderme sem espessamento na parede periclinal interna (asterisco preto), do periciclo (asterisco vermelho), do protoxilema (seta vermelha), do metaxilema (seta preta) e floema primário (seta branca). Observa-se ausência de aerênquima, maior quantidade de polos de metaxilema, células de parênquima com formato irregular em relação aos indivíduos controle.

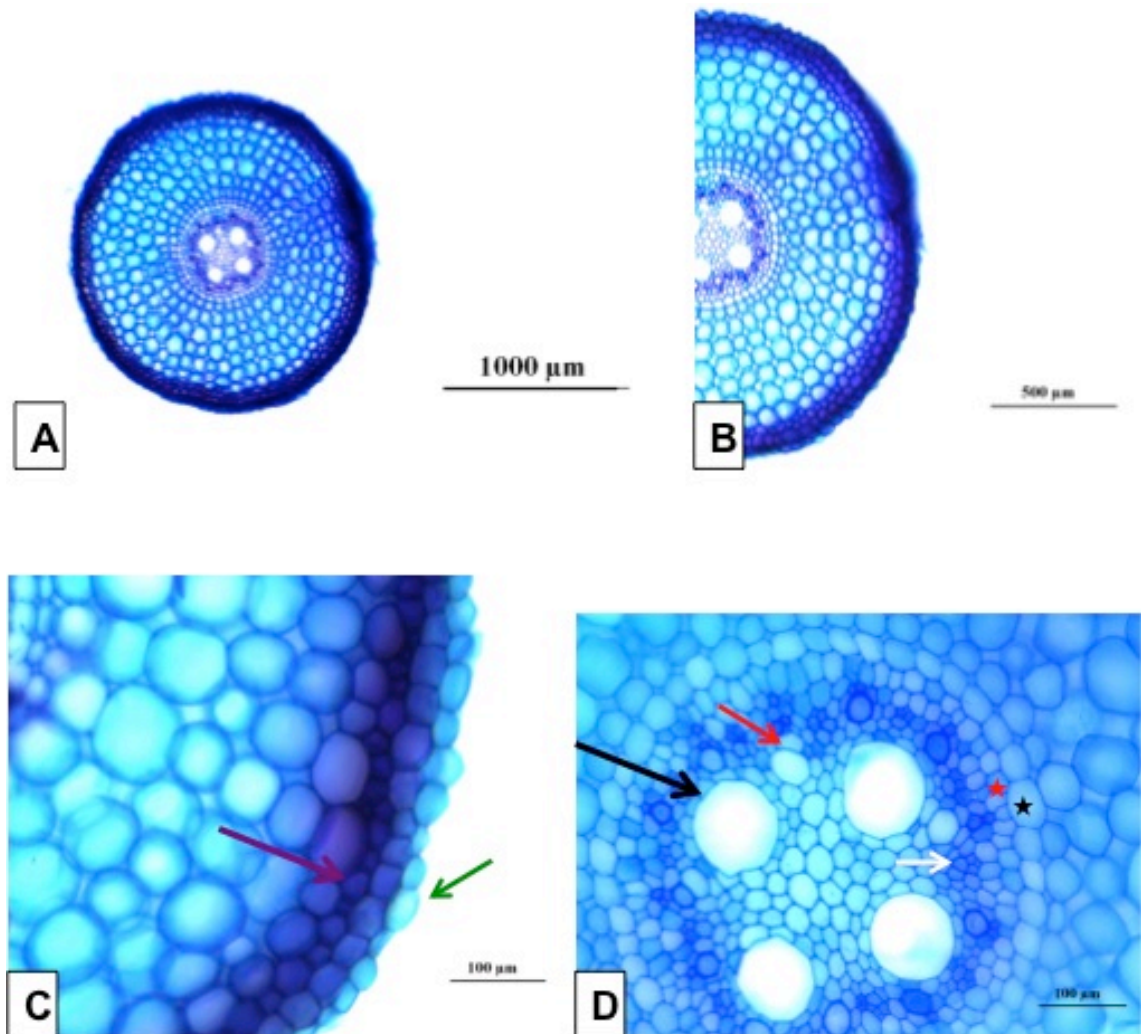


FIGURA 19: Secções transversais da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty – Coleta 7 – região distal – Flutuador 3 a 80 m (lagoa 1). A. Vista geral. B. Detalhe da raiz. C. Epiderme com células cujas paredes periclinais externas são delgadas (seta verde) e esclerênquima (seta roxa). D. Detalhe da endoderme sem espessamento na parede periclinal interna (asterisco preto), do periciclo (asterisco vermelho), do protoxilema (seta vermelha), do metaxilema (seta preta) e floema primário (seta branca). Percebe-se ausência de aerênquima, menor porção do córtex, parênquima, quantidade de metaxilema em relação aos indivíduos controle.

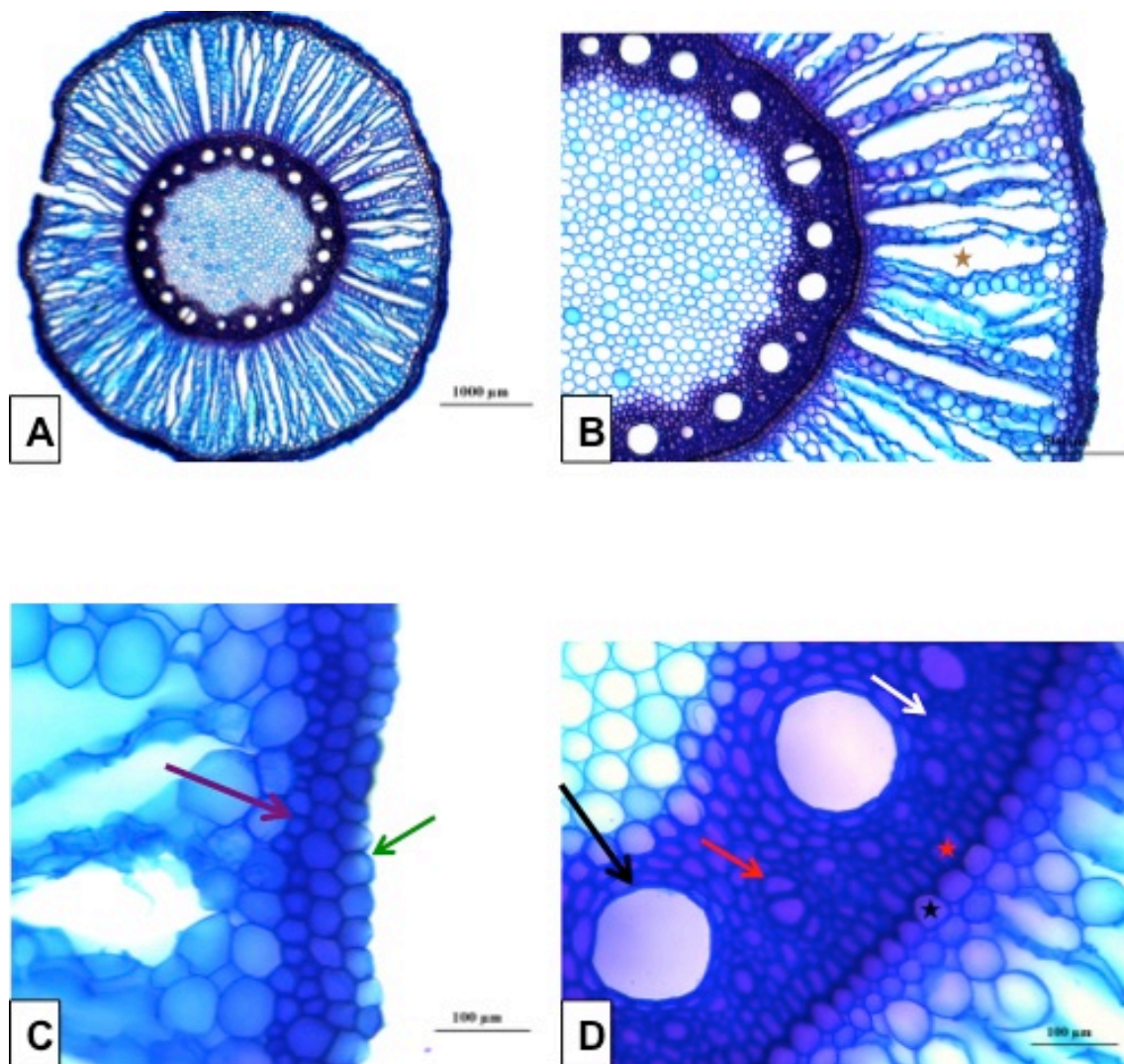


FIGURA 20: Secções transversais da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty – Coleta 7 – região proximal – Flutuador 7 a 80 m (lagoa 2). A. Vista geral. B. Detalhe da raiz. Aerênquima (asterisco marrom). C. Epiderme com células cujas paredes periclinais externas são delgadas (seta verde) e esclerênquima (seta roxa). D. Detalhe da endoderme com espessamento na parede periclinal interna (asterisco preto), do periciclo (asterisco vermelho), do protoxilema (seta vermelha), do metaxilema (seta preta) e floema primário (seta branca). Ressalta-se fileiras inteiras de célula de parênquima com cavidades aeríferas alternando com aerênquima desenvolvido, esclerênquima com células de parede delgada, maior quantidade de polos de metaxilema, maior porção do córtex em relação aos indivíduos controle.

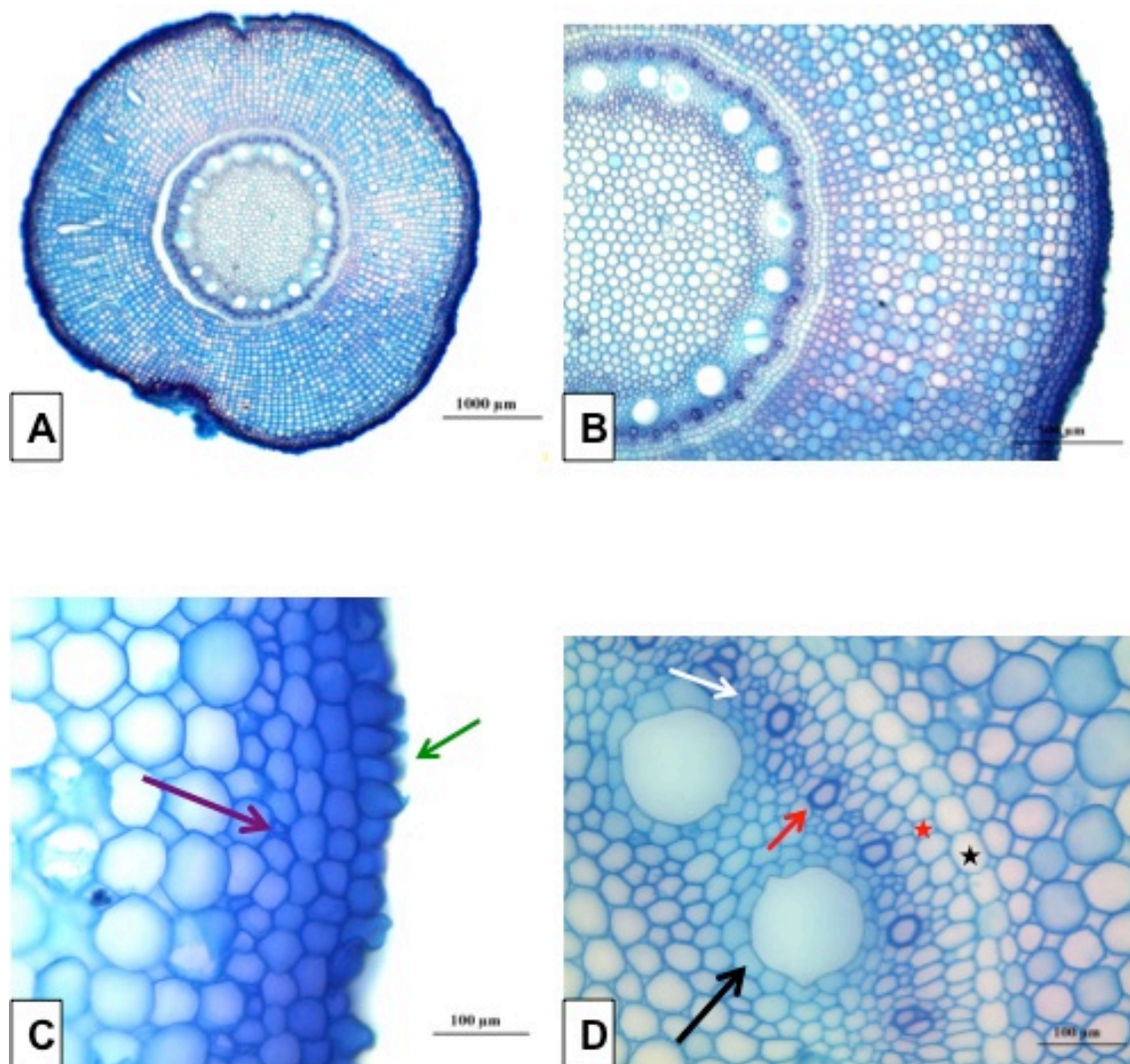


FIGURA 21: Secções transversais da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty – Coleta 7 – região distal – Flutuador 7 a 80 m (lagoa 2). A. Vista geral. B. Detalhe da raiz. C. Epiderme com células cujas paredes periclinais externas são delgadas (seta verde) e esclerênquima (seta roxa). D. Detalhe da endoderme sem espessamento na parede periclinal interna (asterisco preto), do periciclo (asterisco vermelho), do protoxilema (seta vermelha), do metaxilema (seta preta) e floema primário (seta branca). Observa-se fileiras inteiras de célula de parênquima com cavidades aeríferas, esclerênquima com células de parede delgada, maior quantidade de polos de metaxilema, maior porção do córtex em relação aos indivíduos controle.

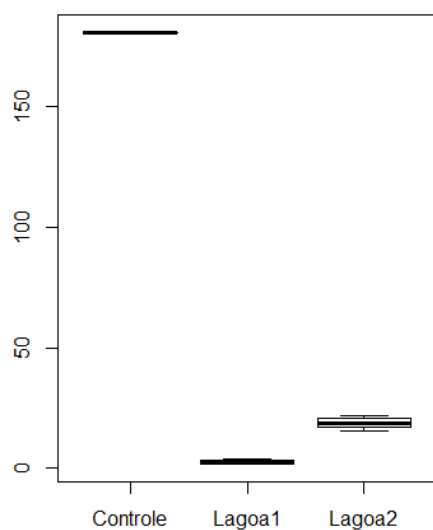


FIGURA 22: *Box-plot* da variável comprimento total externo (cm) de *C. zizanioides* desenvolvida em água potável (controle), lagoa 1 (facultativa) e lagoa 2 (maturação). Há diferença significativa entre L1-Controle / L2-Controle / L2-L1. O *box-plot* apresenta a mediana, 25% interquartil e valores máximos e mínimos.

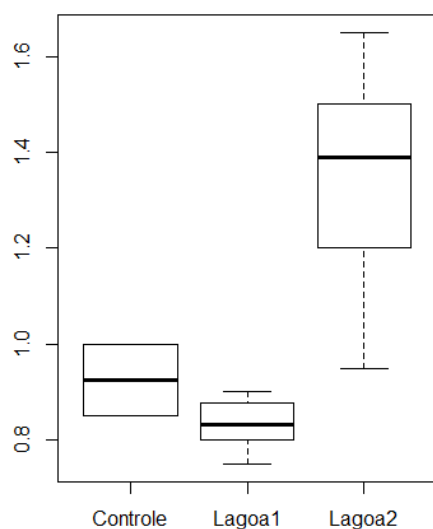


FIGURA 23: *Box-plot* da variável diâmetro total externo (mm) de *C. zizanioides* desenvolvida em água potável (controle), lagoa 1 (facultativa) e lagoa 2 (maturação). Há diferença significativa entre L2-Controle / L2-L1. O *box-plot* apresenta a mediana, 25% interquartil e valores máximos e mínimos.

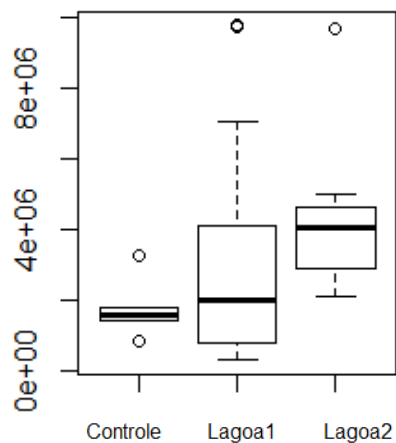


FIGURA 24: *Box-plot* da variável diâmetro total (área) - região distal da raiz (μm) de *C. zizanioides* desenvolvida em água potável (controle), lagoa 1 (facultativa) e lagoa 2 (maturação). Há diferença significativa entre L2-L1. O *box-plot* apresenta a mediana, 25% interquartil e valores máximos e mínimos.

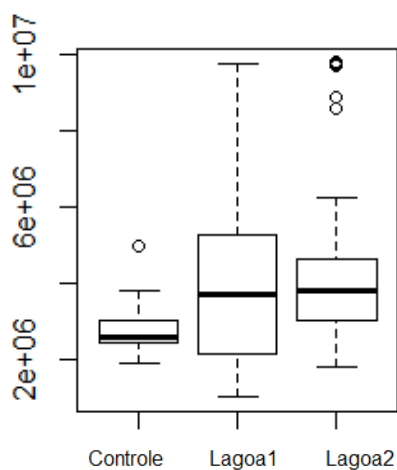


FIGURA 25: *Box-plot* da variável diâmetro total (área) - região proximal da raiz (μm) de *C. zizanioides* desenvolvida em água potável (controle), lagoa 1 (facultativa) e lagoa 2 (maturação). Há diferença significativa entre L2-Controle. O *box-plot* apresenta a mediana, 25% interquartil e valores máximos e mínimos.

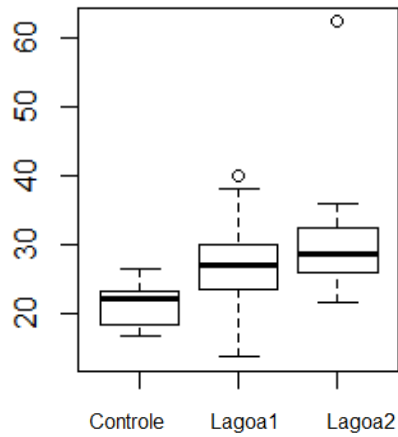


FIGURA 26: *Box-plot* da variável espessura da epiderme - região distal da raiz (μm) de *C. zizanioides* desenvolvida em água potável (controle), lagoa 1 (facultativa) e lagoa 2 (maturação). Há diferença significativa entre L2-Controle. O *box-plot* apresenta a mediana, 25% interquartil e valores máximos e mínimos.

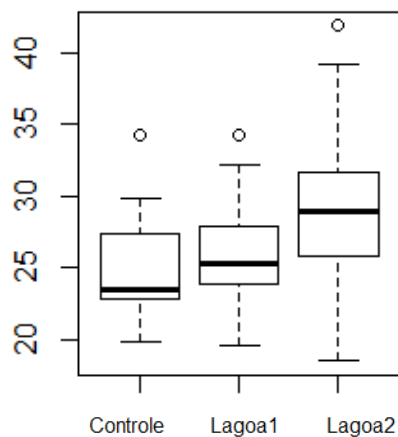


FIGURA 27: *Box-plot* da variável espessura da epiderme - região proximal da raiz (μm) de *C. zizanioides* desenvolvida em água potável (controle), lagoa 1 (facultativa) e lagoa 2 (maturação). Há diferença significativa entre L2-Controle / L2-L1. O *box-plot* apresenta a mediana, 25% interquartil e valores máximos e mínimos.

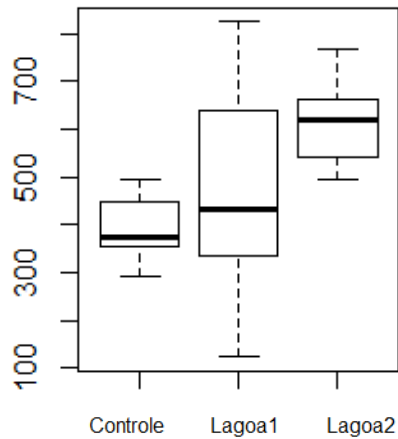


FIGURA 28: *Box-plot* da variável espessura do córtex (total) - região distal da raiz (μm) de *C. zizanioides* desenvolvida em água potável (controle), lagoa 1 (facultativa) e lagoa 2 (maturação). Há diferença significativa entre L2-Controle / L2-L1. O *box-plot* apresenta a mediana, 25% interquartil e valores máximos e mínimos.

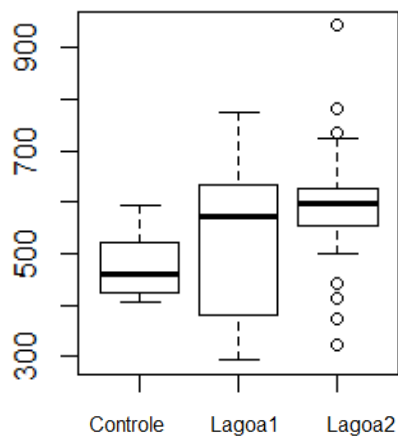


FIGURA 29: *Box-plot* da variável espessura do córtex (total) - região proximal da raiz (μm) de *C. zizanioides* desenvolvida em água potável (controle), lagoa 1 (facultativa) e lagoa 2 (maturação). Há diferença significativa entre L2-Controle / L2-L1. O *box-plot* apresenta a mediana, 25% interquartil e valores máximos e mínimos.

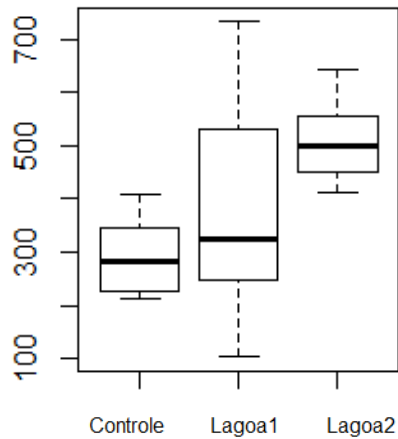


FIGURA 30: *Box-plot* da variável espessura do aerênquima/parênquima - região distal da raiz (μm) de *C. zizanioides* desenvolvida em água potável (controle), lagoa 1 (facultativa) e lagoa 2 (maturação). Há diferença significativa entre L2-Controle / L2-L1. O *box-plot* apresenta a mediana, 25% interquartil e valores máximos e mínimos.

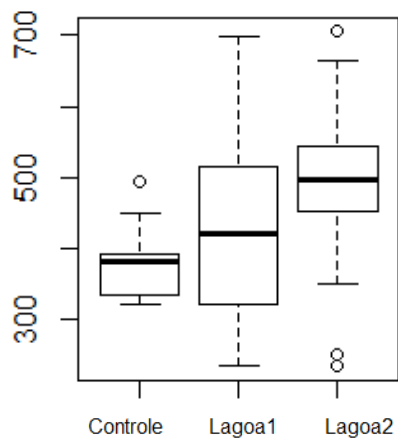


FIGURA 31: *Box-plot* da variável espessura do aerênquima/parênquima - região proximal da raiz (μm) de *C. zizanioides* desenvolvida em água potável (controle), lagoa 1 (facultativa) e lagoa 2 (maturação). Há diferença significativa entre L2-Controle / L2-L1. O *box-plot* apresenta a mediana, 25% interquartil e valores máximos e mínimos.

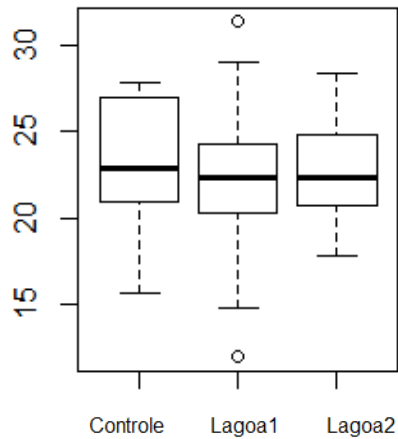


FIGURA 32: *Box-plot* da variável espessura da endoderme - região distal da raiz (μm) de *C. zizanioides* desenvolvida em água potável (controle), lagoa 1 (facultativa) e lagoa 2 (maturação). Não há diferença significativa. O *box-plot* apresenta a mediana, 25% interquartil e valores máximos e mínimos.

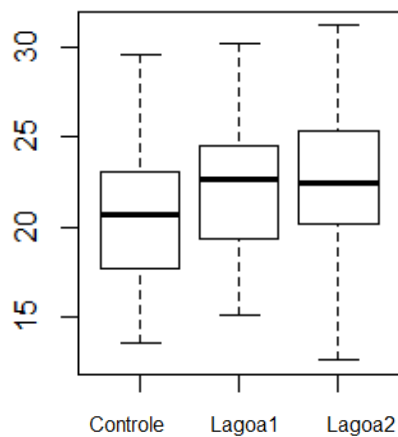


FIGURA 33: *Box-plot* da variável espessura da endoderme - região proximal da raiz (μm) de *C. zizanioides* desenvolvida em água potável (controle), lagoa 1 (facultativa) e lagoa 2 (maturação). Não há diferença significativa. O *box-plot* apresenta a mediana, 25% interquartil e valores máximos e mínimos.

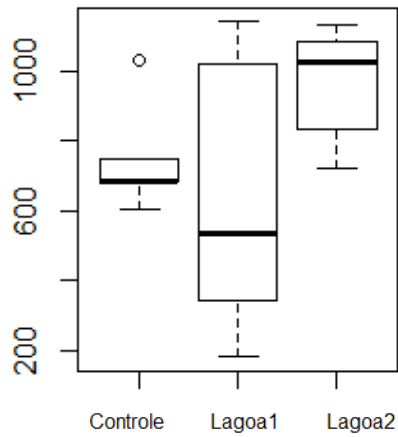


FIGURA 34: *Box-plot* da variável diâmetro do cilindro vascular - região distal da raiz (μm) de *C. zizanioides* desenvolvida em água potável (controle), lagoa 1 (facultativa) e lagoa 2 (maturação). Há diferença significativa entre L2-L1. O *box-plot* apresenta a mediana, 25% interquartil e valores máximos e mínimos.

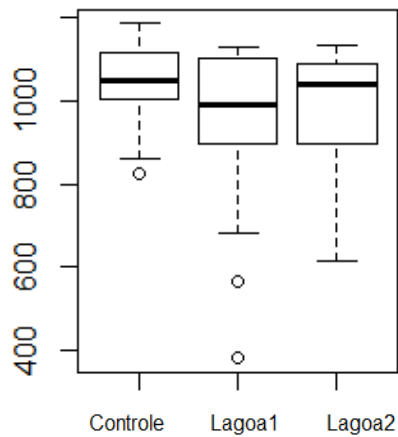


FIGURA 35: *Box-plot* da variável diâmetro do cilindro vascular - região proximal da raiz (μm) de *C. zizanioides* desenvolvida em água potável (controle), lagoa 1 (facultativa) e lagoa 2 (maturação). Não há diferença significativa. O *box-plot* apresenta a mediana, 25% interquartil e valores máximos e mínimos.

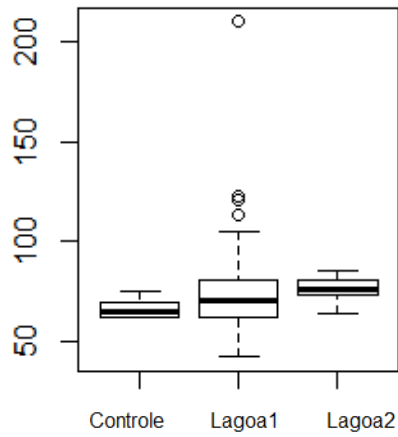


FIGURA 36: *Box-plot* da variável diâmetro dos elementos (metaxilema) - região distal da raiz (μm) de *C. zizanioides* desenvolvida em água potável (controle), lagoa 1 (facultativa) e lagoa 2 (maturação). Não há diferença significativa. O *box-plot* apresenta a mediana, 25% interquartil e valores máximos e mínimos.

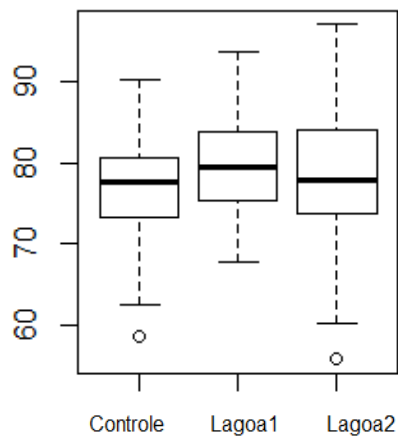


FIGURA 37: *Box-plot* da variável diâmetro dos elementos (metaxilema) - região proximal da raiz (μm) de *C. zizanioides* desenvolvida em água potável (controle), lagoa 1 (facultativa) e lagoa 2 (maturação). Não há diferença significativa. O *box-plot* apresenta a mediana, 25% interquartil e valores máximos e mínimos.

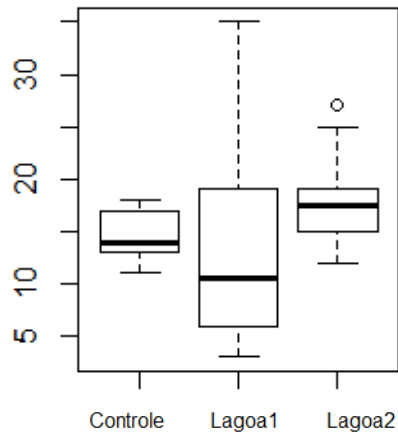


FIGURA 38: *Box-plot* da variável quantidade de metaxilema - região distal da raiz (μm) de *C. zizanioides* desenvolvida em água potável (controle), lagoa 1 (facultativa) e lagoa 2 (maturação). Há diferença significativa entre L2-L1. O *box-plot* apresenta a mediana, 25% interquartil e valores máximos e mínimos.

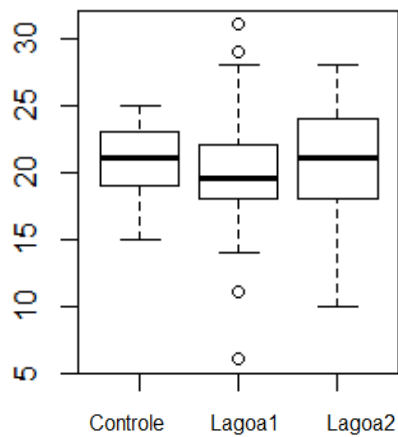


FIGURA 39: *Box-plot* da variável quantidade de metaxilema - região proximal da raiz (μm) de *C. zizanioides* desenvolvida em água potável (controle), lagoa 1 (facultativa) e lagoa 2 (maturação). Não há diferença significativa. O *box-plot* apresenta a mediana, 25% interquartil e valores máximos e mínimos.

QUADRO 2: Presença/Ausência das regiões proximal e distal da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty.

	Flutuadores	2ª coleta - 28 dias		3ª coleta - 56 dias		4ª coleta - 84 dias		5ª coleta - 112 dias		6ª coleta - 140 dias		7ª coleta - 168 dias	
		PR	DR	PR	DR	PR	DR	PR	DR	PR	DR	PR	DR
Lagoa 1	F1 - 0m**	+	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+
	F2 - 40m	+	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+
	F3 - 80m	+	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+
	F4 - 120m	+	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+
Lagoa 2	F5 - 0m	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	F6 - 40m	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	F7 - 80m	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Controle	F8	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

*(+) Presente, (-) Ausente. **Distância na distribuição dos flutuadores nas lagoas da Estação de Tratamento de Esgoto.

QUADRO 3: Características anatómicas da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty (Corte transversal).

continua

ESPÉCIE <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty		Controle		Lagoa 1		Lagoa 2	
GERAL	Formato	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico			
EPIDERMIE	C. E. C	Formato / Tamanho	Arredondado a irregular	Arredondado a irregular	Arredondado a irregular		
		Espessamento da parede	Delgado	Delgado	Delgado		
		Presença / ausência	Presença	Presença	Presença		
		nº de camadas	1 a raro 2	1 a raro 2	1 a raro 2		
		Formato das células	Arredondado a irregular	Arredondado a irregular	Arredondado a irregular		
		espessamento	Parede espessa	Parede espessa	Parede espessa		
		Tipo de espaço intercelular	Sem espaço intercelular	Sem espaço intercelular	Sem espaço intercelular		
CÓRTEX EXTERNO	Anel Esclerênqui mático	Observações	Na região distal, anel esclerenquimático céls. parede delgada	Na região distal, anel esclerenquimático céls. parede delgada	Na região distal, anel esclerenquimático céls. parede delgada		
		Tipo	Fundamental	Fundamental	Fundamental		
		nº de camadas	2	2	2		
		Formato	arredondada	arredondada	arredondada		
		Espessamento	Delgado a espessado	Delgado a espessado	Delgado a espessado		
		Tipo de espaço intercelular	Sem espaço intercelular	Sem espaço intercelular	Sem espaço intercelular		
		Parênquima					

QUADRO 3: Características anatómicas da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty (Corte transversal).

continuação

CÓRTEX INTERNO	Aerênquima	Presença / ausência	Presença	Presença / Ausência	Presença / Ausência
		Tipo de formação	Esquizolisígena	Esquizolisígena	Esquizolisígena
		nº de camadas	média 10 camadas	média 15 camadas	média 14 camadas
		Formato das células	arredondada ou filetes	arredondada ou filetes	arredondada ou filetes
		espessamento	Delgado	Delgado	Delgado
	Parênquima Fundamental	Observações	Formação de aerênquima na região distal.	Pode apresentar formação inicial de aerênquima na região distal.	Pode apresentar formação inicial de aerênquima na região distal.
		Tipo	Fundamental	Fundamental	Fundamental
		nº de camadas	1 a raro 2	1 a raro 2 / média de 13 camadas	1 a raro 2 / média de 14 camadas
		Formato	arredondada	arredondada	arredondada
		Espessamento	Delgado	Delgado	Delgado
Endoderme	Tipo de espaço intercelular	losango	losango	losango	
	Observações		Na ausência de aerênquima, média de 13 camadas de parênquima.	Na ausência de aerênquima, média de 14 camadas de parênquima.	
	nº de camadas	1	1	1	
Endoderme	Formato	retangulares a irregular	retangulares a irregular	retangulares a irregular	
	Observações	Com espessamento PR e sem espessamento DR.	Ausência ou presença de espessamento.	Ausência ou presença de espessamento.	

QUADRO 3: Características anatômicas da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty (Corte transversal).

continuação

TECIDO VASCULAR	Periciclo	Contínuo / interrompido	Contínuo	Contínuo	Contínuo
		nº de camadas	1	1	1
		Formato	quadrado-arredondadas a irregular	quadrado-arredondadas a irregular	quadrado-arredondadas a irregular
		Espessamento	Delgado a espessado	Delgado a espessado	Delgado a espessado
		Tipos celulares	variações de tecidos parenquimático e esclerenquimático	variações de tecidos parenquimático e esclerenquimático	variações de tecidos parenquimático e esclerenquimático
	Floema	Distribuição	Periféricamente	Periféricamente	Periféricamente
		Tipos celulares	elemento de tubo crivado, células companheiras e fibras.	elemento de tubo crivado, células companheiras e fibras.	elemento de tubo crivado, células companheiras e fibras
	Xilema	Distribuição	Poliarco	Poliarco	Poliarco
		Nº de arcos	até 25 proximal e 18 distal	até 35 proximal e 30 distal	até 28 proximal e 27 distal
		Parede celular	Delgado a espessado	Delgado a espessado	Delgado a espessado
MEDULA		Observações	Região DR, metaxilema apresenta parede celular mais delgada	Região DR, metaxilema apresenta parede celular mais delgada	Região DR, metaxilema apresenta parede celular mais delgada
		Presença / Ausência	Presença	Presença	Presença
		Tipos celulares	Parenquimáticas	Parenquimáticas	Parenquimáticas
		Formato	Isodiamétrico	Isodiamétrico	Isodiamétrico
		Espessamento da parede	Delgado	Delgado	Delgado
	Tipos dos espaços intercelulares		triangulares	triangulares	triangulares

TABELA 1: Dados quantitativos

Variável	Média
Comprimento total externo (cm)	68
Diâmetro total externo (mm)	1,18
Diâmetro total (área) - região distal (μm)	4154799,55
Diâmetro total (área) - região proximal (μm)	4244912,35
Espessura da epiderme - região distal (μm)	32,87
Espessura da epiderme - região proximal (μm)	104,78
Espessura do córtex (total) - região distal (μm)	494,12
Espessura do córtex (total) - região proximal (μm)	556,47
Espessura do aerênquima/parênquima - região distal (μm)	380,25
Espessura do aerênquima/parênquima - reg. prox. (μm)	453,61
Espessura da endoderme - região distal (μm)	25,47
Espessura da endoderme - região proximal (μm)	25,70
Diâmetro do cilindro vascular - região distal (μm)	883,43
Diâmetro do cilindro vascular - região proximal (μm)	1011,10
Diâmetro dos elementos (metaxilema) - região distal (μm)	75,41
Diâmetro dos elementos (metaxilema) - reg. prox. (μm)	83,37
Quantidade de elementos (metaxilema) - reg. distal (μm)	25
Quantidade de elementos (metaxilema) - reg. prox. (μm)	27

TABELA 2: Resultados do delineamento estatístico

Variável	Diferenças Significativas
Comprimento total externo	L1-Controle / L2-Controle / L2-L1
Diâmetro total externo	L2-Controle / L2-L1
Diâmetro total (área) - região distal	L2-L1
Diâmetro total (área) - região proximal	L2-Controle
Espessura da epiderme - região distal	L2-Controle
Espessura da epiderme - região proximal	L2-Controle / L2-L1
Espessura do córtex (total) - região distal	L2-Controle / L2-L1
Espessura do córtex (total) - região proximal	L2-Controle / L2-L1
Espessura do aerênquima/parênquima - região distal	L2-Controle / L2-L1
Espessura do aerênquima/parênquima - região proximal	L2-Controle / L2-L1
Espessura da endoderme - região distal	—
Espessura da endoderme - região proximal	—
Diâmetro do cilindro vascular - região distal	L2-L1
Diâmetro do cilindro vascular - região proximal	—
Diâmetro dos elementos (metaxilema) - região distal	—
Diâmetro dos elementos (metaxilema) - região proximal	—
Quantidade de elementos (metaxilema) - região distal	L2-L1
Quantidade de elementos (metaxilema) - região proximal	—

TABELA 3: Medidas de concentração de oxigênio dissolvido (OD) na caixa com água (controle) e ao longo das 2 lagoas de esgoto na ETE Samambaia. Parâmetro OD (mg L⁻¹).

Parâmetros	Média
Controle	11,0
L1	1,4
L2	3,3

ANEXO

1 **DESENVOLVIMENTO DE FLUTUADOR PARA PESQUISAS COM PLANTA NÃO**
2 **AQUÁTICA (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) EM LAGOAS DE TRATAMENTO**
3 **DE ESGOTO¹**

4 **RESUMO** - Algumas plantas, mesmo não sendo aquáticas, podem se estabelecer e sobreviver
5 em condições de hidroponia. Entretanto, para ser utilizadas diretamente em lagoas de
6 tratamento de esgoto, elas precisam de uma plataforma flutuante para crescer, uma vez que
7 não flutuam. O presente trabalho objetivou o desenvolvimento de um flutuador, simples e de
8 baixo custo, que permitisse o estabelecimento e crescimento do capim Vetiver para a
9 realização de pesquisas em lagoas de tratamento de esgoto. O flutuador foi idealizado para ser
10 resistente à ação do esgoto, simples, leve, estável e de fácil confecção e manuseio. Foram
11 realizados vários testes até se chegar a um flutuador com capacidade de cultivo simultâneo de
12 três plantas, confeccionado com material de fácil obtenção e baixo custo. Foram utilizados
13 tubos de PVC, arame galvanizado, garrafas PET, fitas de aço e rebites de alumínio. O
14 flutuador desenvolvido atendeu plenamente às expectativas e poderá ser utilizado para futuras
15 pesquisas.

16 **PALAVRAS-CHAVE:** plantas flutuantes, zona de raízes, alagados construídos.

17
18 **DEVELOPMENT FLOAT FOR RESEARCH WITH NOT AQUATIC PLANT**
19 **(*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) IN SEWAGE TREATMENT PONDS**

20 **ABSTRACT** - Some plants, although not aquatic, can settle and survive in conditions of
21 hydroponics. However, to be used directly in sewage treatment lagoons, they need a floating
22 platform to grow, since they don't float by themselves. This study aimed to develop a float,
23 simple and low cost, which would allow the establishment and growth of Vetiver grass for
24 conducting research in wastewater treatment ponds. The float was designed to be resistant to
25 the action of sewage, simple, lightweight, stable and easy to prepare and handle. Several tests
26 were performed until reaching a float capable of simultaneous cultivation of three plants,
27 made from easily obtainable and inexpensive materials. PVC pipes, galvanized wire, PET
28 bottles, steel strips and aluminum rivets were used. The developed float fully met the
29 expectations of the research.

30 **KEYWORDS:** floating plants, root zone, constructed wetlands.

31
32

¹ Trabalho redigido e submetido conforme normas da Revista Árvore (Qualis Capes B2).

33 1. INTRODUÇÃO

34 O capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) é uma gramínea originária do sul da
35 Ásia e tem sido utilizado para diversas finalidades, como produção de aromatizantes e
36 perfumes finos, planta medicinal, proteção do solo contra processos erosivos, confecção de
37 artesanatos, fabricação de materiais de construção e no tratamento de esgoto (PEREIRA,
38 2006).

39 Embora na Ásia o capim Vetiver seja conhecido como capim milagroso (CARDOSO, 2011),
40 devido à suas inúmeras utilidades, no Brasil ele tem sido utilizado principalmente na
41 vegetação de encostas com o objetivo de controlar a erosão (OROZCO, 2009). Todavia, em
42 países como China, Tailândia e Austrália, o capim Vetiver tem se destacado como uma planta
43 promissora no processo de tratamento de esgotos (UCKER, 2012).

44 Os tratamentos de esgoto com plantas representam uma tecnologia emergente que está se
45 revelando como uma alternativa eficiente e de baixo custo, aos sistemas convencionais. Esses
46 sistemas podem ser implementados no mesmo local onde o esgoto é produzido, serem
47 operados por pessoas de baixa escolaridade, com baixo gasto energético, sendo mais flexíveis
48 e menos susceptíveis a variações nas taxas de aplicação de esgoto (BRIX, 1993; SOLANO et
49 al., 2004; ALMEIDA; OLIVEIRA; KLIEMANN, 2007). Integram-se ao ambiente e são
50 caracterizados como uma tecnologia apropriada e auto sustentável (PRESZNHUK et al.,
51 2003).

52 No tratamento de esgotos utilizam-se plantas cujo *habitat* são ambientes aquáticos, como rios,
53 lagos, represas, ou que estão junto destes. Em função de sua localização e mobilidade, as
54 plantas são classificadas em: marginais ou de talude, flutuantes, submersas, e emergentes
55 (DEUBER, 1992). Nos sistemas de tratamento baseadas em macrófitas flutuantes livres
56 (BRIX, 1993), o esgoto é purificado ao escoar horizontalmente entre raízes de plantas
57 flutuantes em um reservatório raso.

58 Sabe-se das várias utilizações práticas de plantas, mas nos últimos anos, um novo campo de
59 pesquisa tem se destacado que é o processo de fitorremediação, que consiste basicamente em
60 se utilizar plantas para remover, imobilizar ou tornar inofensivos ao ecossistema,
61 contaminantes orgânicos e inorgânicos presentes no solo e na água (ROONGTANAKIAT,
62 2009).

63 O Vetiver, além das inúmeras utilidades já conhecidas, tem grande potencial para ser utilizado
64 na fitorremediação, pois é altamente tolerante a metais pesados, no entanto, para a
65 fitorremediação ter sucesso, vários aspectos devem ser analisados como o seu

comportamento, suas propriedades físicas e químicas, práticas agronômicas e as características específicas do local (ROONGTANAKIAT, 2009).

Dentre os elementos presentes no esgoto sanitário, o nitrogênio e o fósforo podem causar problemas de eutrofização nos corpos receptores e não são totalmente removidos nos processos convencionais de tratamento, o que obriga algumas estações de tratamento de esgoto a prover o tratamento a nível terciário (NUVOLARI, 2003), o que é oneroso para as empresas de saneamento.

O capim vetiver mostrou-se eficiente na remoção de nitrogênio e fósforo do esgoto sanitário em um sistema de alagados construídos de fluxo sub superficial vertical (UCKER et al., 2012), e sua utilização em lagoas de tratamento merece ser pesquisada.

Mesmo não sendo uma planta aquática, o Vetiver pode se estabelecer e sobreviver em condições de hidroponia. No entanto, para ser utilizado diretamente em lagoas de tratamento de esgoto, ele precisa de uma plataforma flutuante para crescer, uma vez que não flutua (GUPTA et al., 2012).

Assim, o presente trabalho objetivou o desenvolvimento de um flutuador, simples e de baixo custo, que permita o estabelecimento e crescimento do capim Vetiver para a realização de pesquisas em lagoas de tratamento de esgoto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Mecanização Agrícola (LAMAGRI) e na Estação de Pesquisas em Tratamento de Esgotos com Plantas (EPTEP), da Universidade Federal de Goiás (UFG), localizados no *Campus* Samambaia, no município de Goiânia, Goiás.

Inicialmente pesquisaram-se diferentes materiais para proporcionar a flutuabilidade do equipamento. Foram considerados, isopor, bambu, tubos de PVC, recipientes plásticos e garrafas PET.

Definido o elemento de flutuação (garrafas PET), partiu-se para a escolha de um gancho para içar o equipamento (por ocasião das avaliações e movimentação) e dos recipientes para o cultivo do capim Vetiver.

Como suporte de fixação foram utilizados 0,15 m de um tubo de PVC de 250 mm de diâmetro, perfurado seis vezes com uma serra copo com vistas a receber as garrafas PET flutuadoras (Figura 1).

A seguir foram confeccionados três recipientes (copinhos/vasos) para plantio e

desenvolvimento do capim *Vetiver*, a partir de pedaços de tubo de PVC de 100 mm de diâmetro. Em uma das extremidades dos tubos foram desenhados três triângulos a partir da divisão do perímetro em seis partes iguais. O tubo foi recortado com serra tico-tico, teve as pontas triangulares aquecidas e dobradas para dentro, de forma a fechar o fundo, deixando três aberturas para a saída das raízes do capim (Figura 2). O comprimento final dos recipientes é semelhante ao do suporte do flutuador.

Os copos/vasos de cultivo do capim *Vetiver* foram arrebitados ao suporte do flutuador. Para tanto foram utilizadas fitas de aço e rebites de alumínio. Os recipientes foram posicionados no interior do suporte, equidistantes entre si e no intervalo entre os furos destinados aos flutuadores e envoltos pela fita de aço. O conjunto foi preso por um alicate de pressão e perfurado com uma furadeira manual e uma broca de aço rápido, que perfurou a fita de aço, o suporte e o copo/vaso, que foram então unidos por dois rebites (Figura 3). A fita de aço foi dobrada para dentro, por cima e por baixo. Na parte de cima foi deixada uma folga de uns dois centímetros com vistas à fixação das três pernas do gancho que será utilizado para pendurar o flutuador por ocasião das avaliações das raízes das plantas.

O gancho para pendurar o equipamento por ocasião das avaliações e movimentação foi confeccionado com arame galvanizado, com três pernas, conforme utilizado para pendurar vasos de plantas ornamentais (Figura 4 - A).

Foram utilizadas seis garrafas PET de dois litros de capacidade volumétrica como elemento de flutuação. As garrafas foram presas ao suporte pelas próprias tampas, que foram lixadas para permitir uma perfeita vedação de gases e fixação ao suporte. Para garantir máxima flutuabilidade das garrafas elas foram preenchidas com CO₂, mediante utilização de uma pedra de gelo seco em cada garrafa.

Para o plantio das mudas do capim *vetiver* os recipientes foram preenchidos com substrato comercial, específico para produção de mudas de hortaliças. Para que o substrato não vaze pelo fundo dos recipientes, é necessária a utilização de uma tela de nylon.

O flutuador foi avaliado por um período de seis meses consecutivos flutuando em uma lagoa facultativa de tratamento de esgotos.

3. RESULTADOS

O flutuador desenvolvido (Figura 5) mostrou-se estável, funcional e de simples operação.

As garrafas PET foram fixadas no suporte do flutuador em uma posição tal que o nível do esgoto ficasse aproximadamente na metade da altura do substrato, permitindo que parte do

substrato tenha oxigênio suficiente para a respiração das raízes novas, até que haja o desenvolvimento das mudas.

A avaliação das raízes pode ser realizada de forma simples e rápida, mediante o içamento do flutuador pelo gancho de três pernas (Figura 4 - B).

Durante o período de avaliação do flutuador não houve danos à sua estrutura e tampouco houve algum comprometimento à flutuabilidade. Mesmo quando uma das garrafas foi mordida por um jacaré e foi preenchida com esgoto, o flutuador permaneceu flutuando e equilibrado.

4. DISCUSSÃO

O flutuador foi idealizado para ser resistente à ação do esgoto, simples, leve, estável e de fácil confecção e manuseio, o que resultou em um equipamento possível de ser confeccionado com um custo bastante reduzido e por qualquer pessoa. Os vários testes realizados até se chegar ao modelo de flutuador proposto, permitiram a obtenção de um produto que atendesse às necessidades da pesquisa com plantas não aquática, capim vetiver, numa lagoa de tratamento de esgotos. O número de garrafas PET utilizadas garantiu a flutuação do flutuador e o posicionamento das garrafas PET, de forma radial, permitindo um perfeito equilíbrio, garantindo que não tombasse.

5. CONCLUSÃO

O flutuador desenvolvido permite a realização de pesquisas com capim vetiver, assim como outras plantas não aquáticas, em lagoas de tratamento de esgoto.

6. AGRADECIMENTOS

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Goiás - FAPEG pelo apoio financeiro e aos técnicos do Laboratório de Mecanização Agrícola - LAMAGRI, da Universidade Federal de Goiás - UFG, pelo auxílio na confecção do flutuador.

7. REFERÊNCIAS

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

164 ARIAS, C.A.; BRIX, H. Humedales artificiales para el tratamiento de águas residuales.
 165 **Revista Ciência e Ingeniería Neogranadina**, v.13, p. 17-24, 2003.

166 BRIX, H. Wastewater treatment in constructed wetlands: system design, removal processes,
 167 and treatment performance. In: MOSHIRI, G. A. (Ed.) **Constructed wetlands for water**
 168 **quality improvement**. Boca Raton: CRC Press, 1993. p. 9-23.

169 CARDOSO, C.H.S. **Desenvolvimento de um protocolo para micropropagação de Vetiver**
 170 **(*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty)**. Originalmente apresentada como relatório de
 171 conclusão de curso. Centro de Ciências Agrárias – Agronomia - Universidade Federal de
 172 Santa Catarina. 2011. 53 p.

173 DEUBER, R. **Ciência das plantas daninhas: fundamentos**. Jaboticabal: Funep. 1992. 431 p.

174 GUPTA, P.; ROY, S.; MAHINDRAKAR, A.B. Treatment of water using water hyacinth,
 175 water lettuce and vetiver grass - A review. **Resources and Environment**, 2(5), 202-215.
 176 2012.

177 NUVOLARI, A. O lançamento in natura e seus impactos. In: NUVOLARI, A. (Coord.).
 178 **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. São Paulo: E. Blücher,
 179 2003. p. 171-208.

180 OROZCO, M.M.D. **Caracterização da gramínea *Vetiveria zizanioides* para aplicação na**
 181 **recuperação de áreas degradadas por erosão**. Belo Horizonte, MG: Universidade Federal
 182 de Minas Gerais. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade
 183 Federal de Minas Gerais – UFMG, 2009. 96 p.

184 PEREIRA, A.R. **Uso do vetiver na estabilização de taludes e encostas**. Boletim Técnico.
 185 Ano 01 – nº 003. Setembro 2006.

186 PRESZNHUK, R.A.O. et al. Tecnologia apropriada e saneamento: análise de eficiência de
 187 estações de tratamento de esgoto por meio de zona de raízes. In: SEMANA DE
 188 TECNOLOGIA: TECNOLOGIA PARA QUEM E PARA QUÊ? Um Olhar Interdisciplinar,
 189 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Cefet-PR, 2003. p. 336-340.

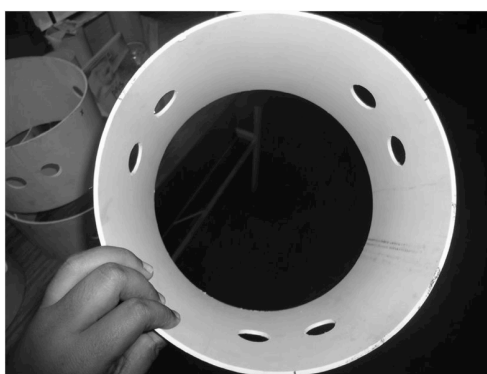
190 ROONGTANAKIAT, N. Vetiver Phytoremediation for heavy metal decontamination. **Pacific**
 191 **Rim Vetiver Network**. Boletim técnico nº 2009/1. 2009. Thailand. p. 1-20.

192 SOLANO, M.L.; SORIANO, P.; CIRIA, M.P. Constructed wetlands as a sustainable solution
 193 for wastewater treatment in small villages. **Biosystems Engineering**, London, v. 87, n. 1, p.
 194 109-118, 2004.

195 TRUONG P.; HART, B. **Vetiver system for wastewater treatment**. Technique Bulletin,
 196 No.2001/2, PRVN/ORDPB, Bangkok, Thailand. 2001.

197 UCKER, F.E. **Eficiência do Capim Vetiver (*Vetiveria zizanioides* L. Nash) no tratamento**
198 **de esgoto sanitário**. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade
199 Federal de Goiás – UFG, 2012. 102 p.
200 UCKER, F.E.; ALMEIDA, R.A.; KEMERICH, P.D.C. Remoção de nitrogênio e fósforo do
201 esgoto sanitário em um sistema de alagados construídos utilizando o capim vetiver. **Ambi-**
202 **Agua**, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 87-98, 2012. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.4136/ambi-](http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.925)
203 [agua.925](http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.925)>.

204



205

206 **Figura 1:** Tubo de PVC com diâmetro de 250 mm, perfurado para a fixação dos elementos
207 flutuadores (garrafas PET de 2 litros).

208 **Figure 1:** PVC pipe with a diameter of 250 mm, perforated for fixing the pontoon members
209 (2 liter PET bottles).



210 **Figura 2:** Detalhes do fundo do copo/vaso de cultivo do capim Vetiver com as aberturas para
211 saída das raízes.

212 **Figure 2:** Details of the bottom of the Vetiver grass cultivation cup/pot of with the openings
213 for roots exit.



Figura 3: Detalhe da fixação dos copos/vasos de cultivo do capim Vetiver ao suporte do flutuador, arrebitados em fitas de aço.

Figure 3: Detail of the Vetiver grass cultivation fixing cup/pot fixing to the float support, riveted on ribbons of steel.



Figura 4: A - Gancho de três pernas de arame galvanizado utilizado para pendurar o flutuador. B - Tripé utilizado para suportar o flutuador durante as coletas de amostras de raízes do capim Vetiver.

Figure 4: A - Three legs hook, made of galvanized wire, used for hanging the float. B - Tripod used for supporting the float during the sampling of the Vetiver grass roots.



225

226 **Figura 5:** Vista geral do flutuador desenvolvido para pesquisas com capim Vetiver em lagoas
227 de tratamento de esgoto.

228 **Figure 5:** Overview of the float developed for research on vetiver grass in wastewater
229 treatment ponds.

APÊNDICES

APÊNDICE A: Dados quantitativos da variável comprimento total externo (cm)

	y (cm)	x(local)	6	2	Lagoa1	12	18	Lagoa2
1	181	Controle	7	4	Lagoa1	13	20,8	Lagoa2
2	181	Controle	8	1,9	Lagoa1	14	17	Lagoa2
3	3,5	Lagoa1	9	1,7	Lagoa1	15	15,5	Lagoa2
4	1,9	Lagoa1	10	3,5	Lagoa1	16	22	Lagoa2
5	2,02	Lagoa1	11	19,5	Lagoa2			

APÊNDICE B: Dados quantitativos da variável diâmetro total externo (mm)

	y (mm)	x(local)	6	0.865	Lagoa1	12	1.38	Lagoa2
1	1	Controle	7	0.75	Lagoa1	13	1.4	Lagoa2
2	0.85	Controle	8	0.875	Lagoa1	14	0.95	Lagoa2
3	0.88	Lagoa1	9	0.9	Lagoa1	15	1.65	Lagoa2
4	0.8	Lagoa1	10	0.8	Lagoa1	16	1.5	Lagoa2
5	0.8	Lagoa1	11	1.2	Lagoa2			

APÊNDICE C: Dados quantitativos da variável diâmetro total (área) - região distal (µm)

	y (µm)	x (local)	16	1616830,641	Lagoa1	32	4301740,924	Lagoa1
1	1674936,554	Controle	17	3553787,828	Lagoa1	33	3138137,975	Lagoa1
2	1426096,71	Controle	18	4452572,422	Lagoa1	34	5888603,322	Lagoa1
3	1515666,367	Controle	19	687192,7419	Lagoa1	35	4215215,254	Lagoa1
4	849562,1398	Controle	20	1452188,14	Lagoa1	36	3895020,798	Lagoa1
5	3280679,289	Controle	21	1066767,347	Lagoa1	37	4463321,527	Lagoa1
6	1784826,08	Controle	22	4073843,327	Lagoa1	38	4124165,766	Lagoa1
7	5242987,245	Lagoa1	23	637033,7336	Lagoa1	39	4188673,457	Lagoa1
8	4552620,666	Lagoa1	24	601680,4909	Lagoa1	40	606658,034	Lagoa1
9	2038056,163	Lagoa1	25	790856,981	Lagoa1	41	9776189,522	Lagoa1
10	1310749,796	Lagoa1	26	1626737,967	Lagoa1	42	3857312,738	Lagoa1
11	9777430,55	Lagoa1	27	639493,4011	Lagoa1	43	5537401,459	Lagoa1
12	3690063,929	Lagoa1	28	800253,866	Lagoa1	44	1314497,506	Lagoa1
13	2795088,984	Lagoa1	29	768466,2456	Lagoa1	45	425541,134	Lagoa1
14	9773049,267	Lagoa1	30	294258,62	Lagoa1	46	1308128,937	Lagoa1
15	4928159,879	Lagoa1	31	4301740,924	Lagoa1	47	3564838,794	Lagoa1

48	2786565,968	Lagoa1	65	523071,1295	Lagoa1	82	3915020,522	Lagoa2
49	3856178,052	Lagoa1	66	598057,4066	Lagoa1	83	4302798,372	Lagoa2
50	3333088,266	Lagoa1	67	668387,0317	Lagoa1	84	4900858,764	Lagoa2
51	2653340,197	Lagoa1	68	2431303,713	Lagoa1	85	2722888,49	Lagoa2
52	1329241,332	Lagoa1	69	1088255,856	Lagoa1	86	2912923,177	Lagoa2
53	2065499,813	Lagoa1	70	695059,0511	Lagoa1	87	4239953,718	Lagoa2
54	7042548,942	Lagoa1	71	621027,2384	Lagoa1	88	3633348,295	Lagoa2
55	4322841,379	Lagoa1	72	938544,4922	Lagoa1	89	3271721,203	Lagoa2
56	2958547,173	Lagoa1	73	1958262,489	Lagoa1	90	2295033,208	Lagoa2
57	5310560,938	Lagoa1	74	828290,792	Lagoa1	91	4635181,838	Lagoa2
58	4423076,187	Lagoa1	75	1270480,203	Lagoa1	92	2748282,915	Lagoa2
59	976646,9507	Lagoa1	76	1120294,966	Lagoa1	93	9694757,065	Lagoa2
60	693915,0371	Lagoa1	77	351595,8873	Lagoa1	94	4995388,054	Lagoa2
61	1635621,426	Lagoa1	78	2742723,29	Lagoa1	95	2081224,223	Lagoa2
62	1161601,111	Lagoa1	79	1080687,304	Lagoa1	96	4239695,513	Lagoa2
63	719053,4957	Lagoa1	80	4192513,702	Lagoa2	97	4898608,049	Lagoa2
64	3540749,948	Lagoa1	81	3420129,6	Lagoa2			

APÊNDICE D: Dados quantitativos da variável diâmetro total (área) - região proximal (µm)

	y (µm)	x (local)	15	2454319,067	Controle	30	9771423,17	Lagoa1
1	2466430,84	Controle	16	2397161,648	Controle	31	3097143,019	Lagoa1
2	2645781,346	Controle	17	2394394,522	Controle	32	9715901,549	Lagoa1
3	2659975,926	Controle	18	2489552,162	Controle	33	4421263,153	Lagoa1
4	2385651,359	Controle	19	2959555,368	Lagoa1	34	3937044,471	Lagoa1
5	1879986,706	Controle	20	2000041,017	Lagoa1	35	3457641,768	Lagoa1
6	2471706,886	Controle	21	9541410,677	Lagoa1	36	1058701,041	Lagoa1
7	1886080,651	Controle	22	985934,882	Lagoa1	37	9700015,202	Lagoa1
8	3301425,271	Controle	23	1630360,305	Lagoa1	38	4552723,276	Lagoa1
9	3006261,439	Controle	24	4737543,483	Lagoa1	39	4011707,619	Lagoa1
10	2915506,723	Controle	25	2880336,314	Lagoa1	40	9754019,679	Lagoa1
11	2842687,58	Controle	26	2264564,973	Lagoa1	41	4787399,511	Lagoa1
12	4948277,511	Controle	27	2197674,852	Lagoa1	42	5695120,175	Lagoa1
13	3793193,848	Controle	28	1989518,774	Lagoa1	43	9771423,17	Lagoa2
14	3508632,855	Controle	29	2064866,24	Lagoa1	44	9777430,55	Lagoa2

45	4930385,594	Lagoa2	63	4007506,931	Lagoa2	81	2328117,826	Lagoa2
46	1798392,311	Lagoa2	64	3821193,834	Lagoa2	82	2601910,311	Lagoa2
47	2319482,871	Lagoa2	65	4480121,668	Lagoa2	83	4467447,589	Lagoa2
48	3029933,5	Lagoa2	66	4092682,619	Lagoa2	84	4015594,132	Lagoa2
49	6232109,023	Lagoa2	67	3664222,122	Lagoa2	85	2926358,812	Lagoa2
50	2554660,218	Lagoa2	68	5931208,704	Lagoa2	86	9718103,011	Lagoa2
51	3472740,813	Lagoa2	69	8566958,472	Lagoa2	87	3721882,893	Lagoa2
52	3959830,351	Lagoa2	70	3179601,581	Lagoa2	88	4349619,367	Lagoa2
53	9699654,759	Lagoa2	71	2200998,687	Lagoa2	89	2181406,421	Lagoa2
54	4622734,622	Lagoa2	72	5889433,535	Lagoa2	90	1837959,674	Lagoa2
55	3331054,712	Lagoa2	73	2758068,6	Lagoa2	91	2599839,444	Lagoa2
56	3315103,44	Lagoa2	74	3939597,421	Lagoa2	92	2356898,025	Lagoa2
57	5496267,326	Lagoa2	75	3297016,376	Lagoa2	93	3667480,659	Lagoa2
58	4020379,887	Lagoa2	76	3441889,747	Lagoa2	94	4360210,265	Lagoa2
59	9686560,91	Lagoa2	77	3786499,537	Lagoa2	95	4402672,365	Lagoa2
60	4741968,422	Lagoa2	78	3161763,022	Lagoa2	96	3387288,263	Lagoa2
61	2916750,736	Lagoa2	79	3758912,605	Lagoa2	97	2328117,826	Lagoa2
62	8872355,744	Lagoa2	80	3517976,755	Lagoa2			

APÊNDICE E: Dados quantitativos da variável espessura da epiderme - região distal (µm)

	γ (µm)	x (local)	13	28,88463182	Lagoa1	26	29,40066623	Lagoa1
1	26,56412075	Controle	14	35,75767618	Lagoa1	27	27,29835915	Lagoa1
2	21,79906552	Controle	15	40,17123141	Lagoa1	28	21,97579082	Lagoa1
3	18,4468265	Controle	16	13,77913705	Lagoa1	29	25,6897699	Lagoa1
4	22,49378359	Controle	17	19,68413982	Lagoa1	30	21,08722487	Lagoa1
5	23,47485429	Controle	18	14,84446467	Lagoa1	31	26,96592329	Lagoa1
6	16,84248986	Controle	19	30,00102779	Lagoa1	32	25,96178326	Lagoa1
7	30,94590383	Lagoa1	20	22,5145944	Lagoa1	33	21,97658011	Lagoa1
8	26,41022705	Lagoa1	21	23,41344527	Lagoa1	34	24,03346641	Lagoa1
9	24,71099905	Lagoa1	22	15,16811297	Lagoa1	35	32,45767379	Lagoa1
10	24,30760218	Lagoa1	23	24,80068427	Lagoa1	36	30,85384281	Lagoa1
11	23,73352199	Lagoa1	24	31,47884636	Lagoa1	37	30,29102184	Lagoa1
12	29,61053719	Lagoa1	25	25,42166943	Lagoa1	38	21,65696734	Lagoa1

39	15,16811297	Lagoa1	59	20,14662147	Lagoa1	79	29,37528648	Lagoa2
40	25,67964	Lagoa1	60	24,49314009	Lagoa1	80	27,58846945	Lagoa2
41	28,41359265	Lagoa1	61	24,14866643	Lagoa1	81	62,42758081	Lagoa2
42	37,08778457	Lagoa1	62	33,31528754	Lagoa1	82	28,5706591	Lagoa2
43	30,07032766	Lagoa1	63	25,42917378	Lagoa1	83	26,03583889	Lagoa2
44	29,34220087	Lagoa1	64	29,63513018	Lagoa1	84	33,71689057	Lagoa2
45	24,84749981	Lagoa1	65	29,39358572	Lagoa1	85	29,07138785	Lagoa2
46	28,32371178	Lagoa1	66	29,37410549	Lagoa1	86	32,56970567	Lagoa2
47	34,46533591	Lagoa1	67	38,32748871	Lagoa1	87	26,12163976	Lagoa2
48	32,07978671	Lagoa1	68	29,93678259	Lagoa1	88	32,81535808	Lagoa2
49	31,69848932	Lagoa1	69	22,46214512	Lagoa1	89	21,79906552	Lagoa2
50	24,1702053	Lagoa1	70	28,68335953	Lagoa1	90	35,95504681	Lagoa2
51	25,07334975	Lagoa1	71	31,00805831	Lagoa1	91	27,0590324	Lagoa2
52	35,23973319	Lagoa1	72	20,7489052	Lagoa1	92	24,14866643	Lagoa2
53	27,57148864	Lagoa1	73	30,85159399	Lagoa1	93	29,37410549	Lagoa2
54	21,46550122	Lagoa1	74	32,52813887	Lagoa1	94	22,83055852	Lagoa2
55	29,84800173	Lagoa1	75	22,84271132	Lagoa1	95	22,52768764	Lagoa2
56	33,31528754	Lagoa1	76	24,3589262	Lagoa1	96	32,63780314	Lagoa2
57	21,82053891	Lagoa1	77	27,38020398	Lagoa1	97	29,37528648	Lagoa2
58	17,80373446	Lagoa1	78	28,60888155	Lagoa1			

APÊNDICE F: Dados quantitativos da variável espessura da epiderme - reg. proximal (μm)

	y (μm)	x (local)	11	26,92214741	Lagoa1	22	22,91624972	Lagoa1
1	27,38020398	Controle	12	34,27558183	Lagoa1	23	23,67205124	Lagoa1
2	22,37859066	Controle	13	23,21704025	Lagoa1	24	24,67587723	Lagoa1
3	28,67428721	Controle	14	26,71842644	Lagoa1	25	24,74396811	Lagoa1
4	22,87230673	Controle	15	22,678099	Lagoa1	26	27,70704373	Lagoa1
5	23,69841537	Controle	16	22,8556166	Lagoa1	27	25,15071124	Lagoa1
6	23,18115146	Controle	17	28,83775383	Lagoa1	28	25,34171291	Lagoa1
7	23,03025974	Controle	18	19,87443932	Lagoa1	29	34,28823105	Lagoa1
8	23,32065665	Controle	19	31,12029241	Lagoa1	30	19,98497218	Lagoa1
9	29,81951276	Controle	20	21,75685241	Lagoa1	31	24,27975636	Lagoa1
10	25,20031821	Controle	21	25,59845647	Lagoa1	32	32,22706001	Lagoa1

33	28,15418076	Lagoa1	55	25,92099594	Lagoa2	77	32,62238726	Lagoa2
34	26,66774086	Lagoa1	56	24,98325478	Lagoa2	78	25,6897699	Lagoa2
35	24,21107638	Lagoa1	57	29,16550688	Lagoa2	79	29,84800173	Lagoa2
36	32,10356873	Lagoa1	58	26,17735892	Lagoa2	80	33,65252319	Lagoa2
37	19,67797049	Lagoa1	59	20,63069597	Lagoa2	81	25,85466316	Lagoa2
38	30,22222803	Lagoa1	60	31,93889507	Lagoa2	82	28,39527272	Lagoa2
39	25,36702555	Lagoa1	61	30,97559675	Lagoa2	83	19,21413877	Lagoa2
40	25,98048387	Lagoa1	62	31,44245781	Lagoa2	84	34,58591119	Lagoa2
41	21,50022004	Lagoa1	63	29,94952682	Lagoa2	85	25,6065864	Lagoa2
42	26,84407557	Lagoa1	64	39,19562737	Lagoa2	86	24,05294511	Lagoa2
43	30,15845404	Lagoa2	65	26,47516791	Lagoa2	87	31,61849646	Lagoa2
44	31,48215233	Lagoa2	66	30,63323979	Lagoa2	88	25,67964	Lagoa2
45	28,1301429	Lagoa2	67	27,10002707	Lagoa2	89	28,61433773	Lagoa2
46	18,5452953	Lagoa2	68	24,25187858	Lagoa2	90	29,69885983	Lagoa2
47	27,55827411	Lagoa2	69	33,7307778	Lagoa2	91	33,86062949	Lagoa2
48	22,41344287	Lagoa2	70	30,42814286	Lagoa2	92	26,84407557	Lagoa2
49	25,89555496	Lagoa2	71	31,87637898	Lagoa2	93	29,66087239	Lagoa2
50	28,32371178	Lagoa2	72	28,1301429	Lagoa2	94	20,93118313	Lagoa2
51	36,00855604	Lagoa2	73	34,83776096	Lagoa2	95	35,37532403	Lagoa2
52	24,54760944	Lagoa2	74	41,83127864	Lagoa2	96	29,59647488	Lagoa2
53	23,57513053	Lagoa2	75	26,87313704	Lagoa2	97	32,62238726	Lagoa2
54	30,31906776	Lagoa2	76	34,10308669	Lagoa2			

APÊNDICE G: Dados quantitativos da variável espessura do córtex (total) - reg. distal (μm)

	γ (μm)	x (local)	9	373,7152327	Lagoa1	18	694,5580145	Lagoa1
1	387,6025805	Controle	10	390,6327202	Lagoa1	19	251,5517216	Lagoa1
2	353,4032941	Controle	11	767,0195281	Lagoa1	20	425,3538353	Lagoa1
3	362,4598733	Controle	12	650,3930747	Lagoa1	21	343,3595998	Lagoa1
4	292,0117455	Controle	13	544,1818711	Lagoa1	22	583,3589029	Lagoa1
5	496,5043607	Controle	14	657,1969278	Lagoa1	23	235,2453793	Lagoa1
6	446,4600477	Controle	15	693,8690773	Lagoa1	24	290,5238682	Lagoa1
7	719,6273875	Lagoa1	16	505,8414813	Lagoa1	25	353,402505	Lagoa1
8	609,252398	Lagoa1	17	762,2735546	Lagoa1	26	463,429318	Lagoa1

27	327,5101413	Lagoa1	51	329,9584148	Lagoa1	75	371,3316619	Lagoa1
28	327,0389237	Lagoa1	52	503,415976	Lagoa1	76	222,1100554	Lagoa1
29	354,990577	Lagoa1	53	579,6335198	Lagoa1	77	521,0601924	Lagoa1
30	191,7117927	Lagoa1	54	613,1808063	Lagoa1	78	310,938831	Lagoa1
31	643,7469287	Lagoa1	55	643,114572	Lagoa1	79	584,617683	Lagoa2
32	378,6259405	Lagoa1	56	355,6584794	Lagoa1	80	530,9952313	Lagoa2
33	750,7920962	Lagoa1	57	260,1924302	Lagoa1	81	662,1443464	Lagoa2
34	637,5250625	Lagoa1	58	359,4684362	Lagoa1	82	611,9415896	Lagoa2
35	396,1655602	Lagoa1	59	345,9665898	Lagoa1	83	643,2082295	Lagoa2
36	626,6348961	Lagoa1	60	441,2350117	Lagoa1	84	495,7151409	Lagoa2
37	721,8143617	Lagoa1	61	432,9664096	Lagoa1	85	667,2281297	Lagoa2
38	642,2897107	Lagoa1	62	290,740725	Lagoa1	86	639,4660591	Lagoa2
39	122,7796121	Lagoa1	63	674,7474842	Lagoa1	87	572,8772007	Lagoa2
40	727,8302908	Lagoa1	64	260,7801848	Lagoa1	88	625,4178791	Lagoa2
41	599,4783153	Lagoa1	65	258,2387055	Lagoa1	89	498,9388725	Lagoa2
42	639,0053663	Lagoa1	66	272,5003436	Lagoa1	90	648,0873061	Lagoa2
43	373,0280771	Lagoa1	67	749,9001099	Lagoa1	91	542,2001463	Lagoa2
44	193,8944412	Lagoa1	68	378,1107463	Lagoa1	92	734,5125528	Lagoa2
45	399,9877851	Lagoa1	69	285,659641	Lagoa1	93	725,6172512	Lagoa2
46	691,3578071	Lagoa1	70	275,9832001	Lagoa1	94	493,1250538	Lagoa2
47	824,5822465	Lagoa1	71	405,8020672	Lagoa1	95	595,5494283	Lagoa2
48	668,9241439	Lagoa1	72	459,9992148	Lagoa1	96	766,1376988	Lagoa2
49	612,0623437	Lagoa1	73	358,5339382	Lagoa1	97	371,3316619	Lagoa2
50	502,1258023	Lagoa1	74	428,8835214	Lagoa1			

APÊNDICE H: Dados quantitativos da variável espessura do córtex (total) - reg. prox. (μm)

	y (μm)	x (local)	7	413,868855	Controle	14	577,1808637	Controle
1	507,0749071	Controle	8	539,7044904	Controle	15	592,3703274	Controle
2	459,1928021	Controle	9	436,0931824	Controle	16	424,2844712	Controle
3	404,4639096	Controle	10	523,4289804	Controle	17	438,8006639	Controle
4	416,4221801	Controle	11	482,5170805	Controle	18	480,5805043	Controle
5	419,7200757	Controle	12	558,068782	Controle	19	628,3148759	Lagoa1
6	447,5430996	Controle	13	460,9343138	Controle	20	383,1805812	Lagoa1

21	608,6671353	Lagoa1	47	374,4540081	Lagoa2	73	555,8009728	Lagoa2
22	292,7071205	Lagoa1	48	521,5159883	Lagoa2	74	584,569502	Lagoa2
23	325,2981419	Lagoa1	49	576,0859365	Lagoa2	75	552,8569215	Lagoa2
24	569,3154378	Lagoa1	50	412,3080329	Lagoa2	76	623,6616852	Lagoa2
25	444,007241	Lagoa1	51	500,2199835	Lagoa2	77	564,7603021	Lagoa2
26	404,6183262	Lagoa1	52	686,2024502	Lagoa2	78	598,5802813	Lagoa2
27	406,1997714	Lagoa1	53	620,5079654	Lagoa2	79	504,8741136	Lagoa2
28	379,3558878	Lagoa1	54	942,7107024	Lagoa2	80	594,2114999	Lagoa2
29	375,1006369	Lagoa1	55	547,1343741	Lagoa2	81	609,1429902	Lagoa2
30	348,8827632	Lagoa1	56	604,3315883	Lagoa2	82	619,1203744	Lagoa2
31	528,9303636	Lagoa1	57	617,068389	Lagoa2	83	593,0473887	Lagoa2
32	738,3886554	Lagoa1	58	576,4953267	Lagoa2	84	560,3388597	Lagoa2
33	575,414604	Lagoa1	59	562,3057576	Lagoa2	85	572,1080333	Lagoa2
34	671,1034814	Lagoa1	60	725,1693719	Lagoa2	86	627,8744274	Lagoa2
35	590,5470264	Lagoa1	61	558,3285724	Lagoa2	87	712,553597	Lagoa2
36	335,8889946	Lagoa1	62	680,0647397	Lagoa2	88	651,2239449	Lagoa2
37	694,9654311	Lagoa1	63	612,5473981	Lagoa2	89	498,7241953	Lagoa2
38	677,628248	Lagoa1	64	624,7482233	Lagoa2	90	443,2856128	Lagoa2
39	636,1504791	Lagoa1	65	622,8227025	Lagoa2	91	520,4947083	Lagoa2
40	772,8842243	Lagoa1	66	626,7060976	Lagoa2	92	555,2653451	Lagoa2
41	619,8815945	Lagoa1	67	677,7512887	Lagoa2	93	605,6218353	Lagoa2
42	606,312616	Lagoa1	68	653,0563374	Lagoa2	94	565,7554048	Lagoa2
43	608,4925467	Lagoa2	69	592,6734303	Lagoa2	95	780,5362038	Lagoa2
44	652,6629247	Lagoa2	70	656,6531244	Lagoa2	96	699,1573799	Lagoa2
45	736,5160111	Lagoa2	71	548,9215216	Lagoa2	97	555,8009728	Lagoa2
46	324,1714281	Lagoa2	72	589,0235343	Lagoa2			

APÊNDICE I: Dados quantitativos da variável espessura do aerênquima/parênquima - região distal (μm)

	y (μm)	x (local)	4	228,487195	Controle	8	547,686101	Lagoa1
1	322,2412618	Controle	5	408,8357891	Controle	9	293,9895601	Lagoa1
2	213,0980702	Controle	6	346,5376244	Controle	10	314,3098617	Lagoa1
3	243,8737833	Controle	7	579,045772	Lagoa1	11	608,197786	Lagoa1

12	575,6626911	Lagoa1	41	520,3323395	Lagoa1	70	221,1663744	Lagoa1
13	484,2587908	Lagoa1	42	551,1700759	Lagoa1	71	316,0493999	Lagoa1
14	539,9756986	Lagoa1	43	277,9807552	Lagoa1	72	365,2046796	Lagoa1
15	593,0097683	Lagoa1	44	145,8051826	Lagoa1	73	248,9530048	Lagoa1
16	300,005596	Lagoa1	45	103,2376909	Lagoa1	74	261,8335403	Lagoa1
17	394,3296702	Lagoa1	46	596,3365283	Lagoa1	75	324,0225675	Lagoa1
18	546,5101452	Lagoa1	47	645,4134771	Lagoa1	76	175,6946341	Lagoa1
19	194,6222828	Lagoa1	48	577,8255308	Lagoa1	77	442,6075452	Lagoa1
20	322,3078924	Lagoa1	49	533,0918595	Lagoa1	78	265,7703128	Lagoa1
21	265,8794182	Lagoa1	50	400,1209295	Lagoa1	79	513,7922559	Lagoa2
22	528,048607	Lagoa1	51	248,1586437	Lagoa1	80	458,4561463	Lagoa2
23	209,1592235	Lagoa1	52	514,20677	Lagoa1	81	465,666087	Lagoa2
24	248,4966697	Lagoa1	53	480,8566414	Lagoa1	82	513,7580599	Lagoa2
25	249,2429648	Lagoa1	54	528,7573999	Lagoa1	83	527,1495051	Lagoa2
26	405,0109957	Lagoa1	55	543,1785639	Lagoa1	84	424,2509485	Lagoa2
27	211,483603	Lagoa1	56	270,5118032	Lagoa1	85	429,045399	Lagoa2
28	265,1578617	Lagoa1	57	173,9206366	Lagoa1	86	600,377793	Lagoa2
29	265,0347808	Lagoa1	58	274,272213	Lagoa1	87	451,3998141	Lagoa2
30	131,4116309	Lagoa1	59	286,6585477	Lagoa1	88	543,4264853	Lagoa2
31	369,7564536	Lagoa1	60	344,3522894	Lagoa1	89	424,1188039	Lagoa2
32	283,945087	Lagoa1	61	317,2040854	Lagoa1	90	553,946413	Lagoa2
33	533,3664301	Lagoa1	62	228,7019065	Lagoa1	91	469,0262122	Lagoa2
34	524,9101543	Lagoa1	63	567,5310877	Lagoa1	92	600,3610709	Lagoa2
35	331,5040105	Lagoa1	64	187,1092966	Lagoa1	93	624,9053289	Lagoa2
36	575,8312517	Lagoa1	65	187,3044419	Lagoa1	94	411,5558956	Lagoa2
37	505,3406458	Lagoa1	66	206,332164	Lagoa1	95	485,3339148	Lagoa2
38	537,3602222	Lagoa1	67	486,954463	Lagoa1	96	641,6641756	Lagoa2
39	116,1067923	Lagoa1	68	306,8436219	Lagoa1	97	451,3998141	Lagoa2
40	732,1075653	Lagoa1	69	226,0465351	Lagoa1			

APÊNDICE J: Dados quantitativos da variável espessura do aerênquima/parênquima - região proximal (μm)

	y (μm)	x (local)	1	373,502499	Controle	2	388,2467041	Controle
--	-----------------------	-------------	---	------------	----------	---	-------------	----------

3	331,7865467	Controle	35	503,4807857	Lagoa1	67	531,6990471	Lagoa2
4	320,2846627	Controle	36	285,1525187	Lagoa1	68	566,6183494	Lagoa2
5	329,2925861	Controle	37	549,8190036	Lagoa1	69	542,7758996	Lagoa2
6	388,5970724	Controle	38	423,5878381	Lagoa1	70	466,0677569	Lagoa2
7	331,2961591	Controle	39	587,9587252	Lagoa1	71	453,4192068	Lagoa2
8	384,8617234	Controle	40	698,0979707	Lagoa1	72	566,8009162	Lagoa2
9	394,8342962	Controle	41	497,6763178	Lagoa1	73	519,2926212	Lagoa2
10	379,640275	Controle	42	418,287113	Lagoa1	74	494,9060679	Lagoa2
11	392,751553	Controle	43	510,7136312	Lagoa2	75	451,5202689	Lagoa2
12	493,0860311	Controle	44	562,5070764	Lagoa2	76	508,4561923	Lagoa2
13	335,1808687	Controle	45	530,431401	Lagoa2	77	498,0493731	Lagoa2
14	399,2047522	Controle	46	250,9879126	Lagoa2	78	493,5772662	Lagoa2
15	448,6931531	Controle	47	354,2009741	Lagoa2	79	409,169209	Lagoa2
16	372,3037006	Controle	48	426,0947067	Lagoa2	80	475,7332985	Lagoa2
17	382,8274411	Controle	49	482,5072551	Lagoa2	81	532,814007	Lagoa2
18	372,9443369	Controle	50	350,3241847	Lagoa2	82	537,9079764	Lagoa2
19	369,7662582	Lagoa1	51	400,5806691	Lagoa2	83	521,5844302	Lagoa2
20	353,2730668	Lagoa1	52	547,1588391	Lagoa2	84	474,5753186	Lagoa2
21	500,3270127	Lagoa1	53	497,8544782	Lagoa2	85	453,0481813	Lagoa2
22	234,099805	Lagoa1	54	507,3388225	Lagoa2	86	532,5292017	Lagoa2
23	306,6390628	Lagoa1	55	437,8717957	Lagoa2	87	562,7212085	Lagoa2
24	526,7134095	Lagoa1	56	704,9596285	Lagoa2	88	551,7627517	Lagoa2
25	368,838949	Lagoa1	57	463,5664995	Lagoa2	89	391,0009213	Lagoa2
26	302,1803298	Lagoa1	58	424,7672985	Lagoa2	90	374,4540081	Lagoa2
27	323,9029132	Lagoa1	59	235,7260812	Lagoa2	91	461,8892559	Lagoa2
28	404,6341781	Lagoa1	60	600,3592128	Lagoa2	92	480,7667402	Lagoa2
29	316,6620574	Lagoa1	61	465,8481085	Lagoa2	93	497,4672623	Lagoa2
30	254,3004842	Lagoa1	62	580,1802975	Lagoa2	94	472,9394774	Lagoa2
31	444,2759801	Lagoa1	63	511,487887	Lagoa2	95	582,2200336	Lagoa2
32	615,1981623	Lagoa1	64	663,9297997	Lagoa2	96	595,1418992	Lagoa2
33	434,5383844	Lagoa1	65	624,6915307	Lagoa2	97	531,6990471	Lagoa2
34	568,3815236	Lagoa1	66	455,1895479	Lagoa2			

APÊNDICE K: Dados quantitativos da variável espessura da endoderme - região distal (μm)

	y (μm)	x (local)	33	21,87135459	Lagoa1	66	19,96413098	Lagoa1
1	26,92987774	Controle	34	22,17145634	Lagoa1	67	23,07315017	Lagoa1
2	23,82324655	Controle	35	26,5667325	Lagoa1	68	20,16383345	Lagoa1
3	27,80141426	Controle	36	20,89385857	Lagoa1	69	15,54983141	Lagoa1
4	21,90622198	Controle	37	27,38020398	Lagoa1	70	21,30571725	Lagoa1
5	20,97009563	Controle	38	22,9706827	Lagoa1	71	14,91091971	Lagoa1
6	15,67758713	Controle	39	21,01058725	Lagoa1	72	26,22502397	Lagoa1
7	25,85734657	Lagoa1	40	24,14220102	Lagoa1	73	23,18115146	Lagoa1
8	23,15344922	Lagoa1	41	19,98497218	Lagoa1	74	20,46609009	Lagoa1
9	22,35765326	Lagoa1	42	29,01046527	Lagoa1	75	23,62584323	Lagoa1
10	27,47127762	Lagoa1	43	24,05294511	Lagoa1	76	14,83160574	Lagoa1
11	24,44422678	Lagoa1	44	21,65856913	Lagoa1	77	20,77146427	Lagoa1
12	26,27260254	Lagoa1	45	18,25304697	Lagoa1	78	19,07188034	Lagoa1
13	21,19225139	Lagoa1	46	21,85628101	Lagoa1	79	23,01820596	Lagoa2
14	27,15118338	Lagoa1	47	21,75685241	Lagoa1	80	20,67436953	Lagoa2
15	22,54385114	Lagoa1	48	21,63933985	Lagoa1	81	18,04373475	Lagoa2
16	19,43583908	Lagoa1	49	24,70748912	Lagoa1	82	28,42091731	Lagoa2
17	24,59208554	Lagoa1	50	24,30760218	Lagoa1	83	27,03017079	Lagoa2
18	23,45415597	Lagoa1	51	23,47485429	Lagoa1	84	24,84749981	Lagoa2
19	22,32659879	Lagoa1	52	23,21704025	Lagoa1	85	19,87443932	Lagoa2
20	23,2752415	Lagoa1	53	24,47046781	Lagoa1	86	22,35765326	Lagoa2
21	22,37859066	Lagoa1	54	31,35517426	Lagoa1	87	21,31467078	Lagoa2
22	24,16805228	Lagoa1	55	23,38898484	Lagoa1	88	26,22502397	Lagoa2
23	22,72394426	Lagoa1	56	22,04828717	Lagoa1	89	17,7715546	Lagoa2
24	16,92570374	Lagoa1	57	17,7803367	Lagoa1	90	21,79190302	Lagoa2
25	25,42166943	Lagoa1	58	24,3589262	Lagoa1	91	25,6897699	Lagoa2
26	19,37863792	Lagoa1	59	19,67797049	Lagoa1	92	20,09662336	Lagoa2
27	22,17145634	Lagoa1	60	22,04828717	Lagoa1	93	23,62584323	Lagoa2
28	19,15808649	Lagoa1	61	20,87392484	Lagoa1	94	22,08994336	Lagoa2
29	23,92568761	Lagoa1	62	15,70963976	Lagoa1	95	23,6566586	Lagoa2
30	11,93344612	Lagoa1	63	26,55889647	Lagoa1	96	22,24565429	Lagoa2
31	21,59922388	Lagoa1	64	19,19878588	Lagoa1	97	21,79190302	Lagoa2
32	28,14678668	Lagoa1	65	18,8201104	Lagoa1			

APÊNDICE L: Dados quantitativos da variável espessura da endoderme - reg. prox. (μm)

	y (μm)	x (local)	33	25,09478618	Lagoa1	66	24,38241361	Lagoa2
1	23,03854306	Controle	34	25,53332379	Lagoa1	67	20,79483301	Lagoa2
2	21,86421577	Controle	35	21,61848883	Lagoa1	68	22,1048576	Lagoa2
3	16,3915494	Controle	36	23,38898484	Lagoa1	69	21,34882241	Lagoa2
4	23,48445803	Controle	37	18,9834554	Lagoa1	70	27,86435788	Lagoa2
5	15,60328272	Controle	38	23,04230722	Lagoa1	71	24,25974479	Lagoa2
6	20,73134229	Controle	39	28,13877424	Lagoa1	72	24,47401174	Lagoa2
7	21,09627113	Controle	40	25,70192051	Lagoa1	73	19,4866425	Lagoa2
8	20,23339225	Controle	41	24,81327026	Lagoa1	74	28,1301429	Lagoa2
9	29,5166619	Controle	42	30,16247981	Lagoa1	75	20,79483301	Lagoa2
10	15,27295767	Controle	43	25,58422286	Lagoa2	76	20,92786808	Lagoa2
11	13,58644782	Controle	44	27,70704373	Lagoa2	77	18,79244054	Lagoa2
12	20,98084592	Controle	45	17,39272131	Lagoa2	78	24,06231812	Lagoa2
13	20,6710133	Controle	46	16,6279403	Lagoa2	79	18,71845426	Lagoa2
14	23,91771153	Controle	47	21,26252471	Lagoa2	80	20,10352704	Lagoa2
15	20,17157405	Controle	48	22,42814199	Lagoa2	81	28,5074496	Lagoa2
16	19,32036965	Controle	49	31,15315999	Lagoa2	82	26,79103804	Lagoa2
17	23,07841192	Controle	50	20,24024928	Lagoa2	83	25,33692118	Lagoa2
18	17,74224954	Controle	51	20,14662147	Lagoa2	84	23,03703722	Lagoa2
19	22,20741473	Lagoa1	52	19,842121	Lagoa2	85	19,96413098	Lagoa2
20	23,377858	Lagoa1	53	30,4030503	Lagoa2	86	24,70748912	Lagoa2
21	20,70036185	Lagoa1	54	17,87374395	Lagoa2	87	20,17157405	Lagoa2
22	16,01798	Lagoa1	55	23,41566768	Lagoa2	88	23,95828935	Lagoa2
23	15,16125009	Lagoa1	56	21,95683936	Lagoa2	89	22,66891882	Lagoa2
24	24,26903793	Lagoa1	57	25,8352001	Lagoa2	90	20,55657549	Lagoa2
25	20,92786808	Lagoa1	58	16,57674674	Lagoa2	91	25,94373776	Lagoa2
26	20,79483301	Lagoa1	59	26,79103804	Lagoa2	92	18,17400229	Lagoa2
27	16,64670655	Lagoa1	60	25,31500461	Lagoa2	93	19,55594909	Lagoa2
28	19,75538769	Lagoa1	61	12,60079191	Lagoa2	94	22,37006297	Lagoa2
29	17,95217829	Lagoa1	62	24,68712165	Lagoa2	95	22,35066976	Lagoa2
30	18,00909444	Lagoa1	63	26,08775222	Lagoa2	96	25,78748714	Lagoa2
31	23,84144196	Lagoa1	64	22,72318093	Lagoa2	97	24,38241361	Lagoa2
32	23,89013733	Lagoa1	65	21,85628101	Lagoa2			

APÊNDICE M: Dados quantitativos da variável diâmetro do cilindro vascular - reg. distal

	y (µm)	x (local)	33	983,4867588	Lagoa1	66	313,6668281	Lagoa1
1	681,1116636	Controle	34	1082,799519	Lagoa1	67	613,020241	Lagoa1
2	685,0513657	Controle	35	515,0526653	Lagoa1	68	387,7061725	Lagoa1
3	749,9280005	Controle	36	1059,983646	Lagoa1	69	294,385802	Lagoa1
4	604,6157804	Controle	37	1109,291484	Lagoa1	70	278,3967779	Lagoa1
5	1027,068745	Controle	38	842,4313986	Lagoa1	71	313,820601	Lagoa1
6	684,7170671	Controle	39	631,0284541	Lagoa1	72	417,5717929	Lagoa1
7	1133,992425	Lagoa1	40	1088,472636	Lagoa1	73	300,7585275	Lagoa1
8	1076,511737	Lagoa1	41	1041,327443	Lagoa1	74	449,0311359	Lagoa1
9	1120,882002	Lagoa1	42	1115,593993	Lagoa1	75	353,4032941	Lagoa1
10	901,315691	Lagoa1	43	579,8874966	Lagoa1	76	211,8380248	Lagoa1
11	1138,745738	Lagoa1	44	250,8823353	Lagoa1	77	614,4379481	Lagoa1
12	959,018815	Lagoa1	45	493,0600142	Lagoa1	78	389,2338186	Lagoa1
13	810,8220474	Lagoa1	46	849,2525686	Lagoa1	79	1020,932969	Lagoa2
14	1134,753791	Lagoa1	47	737,8733206	Lagoa1	80	1027,368735	Lagoa2
15	1057,957208	Lagoa1	48	998,2759068	Lagoa1	81	1025,027295	Lagoa2
16	605,6798525	Lagoa1	49	933,3523736	Lagoa1	82	1084,268614	Lagoa2
17	1093,538869	Lagoa1	50	539,2128688	Lagoa1	83	1129,313686	Lagoa2
18	1112,258545	Lagoa1	51	310,971117	Lagoa1	84	902,3475951	Lagoa2
19	394,4258392	Lagoa1	52	740,8696196	Lagoa1	85	952,3999542	Lagoa2
20	528,4197467	Lagoa1	53	1045,575564	Lagoa1	86	1080,812763	Lagoa2
21	417,6205429	Lagoa1	54	1091,581368	Lagoa1	87	910,9514424	Lagoa2
22	1042,693165	Lagoa1	55	690,9704615	Lagoa1	88	817,5917664	Lagoa2
23	298,8245844	Lagoa1	56	450,4374931	Lagoa1	89	724,6969728	Lagoa2
24	282,6950151	Lagoa1	57	363,0533594	Lagoa1	90	1040,449203	Lagoa2
25	304,6554925	Lagoa1	58	365,4489535	Lagoa1	91	718,5399428	Lagoa2
26	458,4342473	Lagoa1	59	343,900906	Lagoa1	92	1118,246361	Lagoa2
27	313,820601	Lagoa1	60	454,7794967	Lagoa1	93	1093,898134	Lagoa2
28	268,1198166	Lagoa1	61	439,5613787	Lagoa1	94	833,3217135	Lagoa2
29	289,1064753	Lagoa1	62	344,1756964	Lagoa1	95	808,2521802	Lagoa2
30	181,6030932	Lagoa1	63	756,2823378	Lagoa1	96	1090,453875	Lagoa2
31	1096,894122	Lagoa1	64	245,5739875	Lagoa1	97	952,3999542	Lagoa2
32	438,3759191	Lagoa1	65	287,3882257	Lagoa1			

APÊNDICE N: Dados quantitativos da variável diâmetro do cilindro vascular - região proximal (μm)

	$y (\mu\text{m})$	x (local)	32	1110,558062	Lagoa1	64	864,037408	Lagoa2
1	1078,134263	Controle	33	1094,448657	Lagoa1	65	1079,719225	Lagoa2
2	1115,713227	Controle	34	947,9711199	Lagoa1	66	1069,302744	Lagoa2
3	1019,327459	Controle	35	821,241156	Lagoa1	67	947,7325097	Lagoa2
4	1022,912799	Controle	36	379,696833	Lagoa1	68	1094,157118	Lagoa2
5	1000,214153	Controle	37	1108,588602	Lagoa1	69	1094,711588	Lagoa2
6	1142,338329	Controle	38	959,6371289	Lagoa1	70	998,7317117	Lagoa2
7	940,9412107	Controle	39	1131,405319	Lagoa1	71	808,1911069	Lagoa2
8	1108,07002	Controle	40	1113,2089	Lagoa1	72	1124,127862	Lagoa2
9	1004,485118	Controle	41	1116,742053	Lagoa1	73	843,4583057	Lagoa2
10	1082,047213	Controle	42	1083,231085	Lagoa1	74	828,2570646	Lagoa2
11	1185,519535	Controle	43	1040,714254	Lagoa2	75	948,4628617	Lagoa2
12	1100,825255	Controle	44	1072,579373	Lagoa2	76	898,12717	Lagoa2
13	823,8060485	Controle	45	1084,355287	Lagoa2	77	739,2145566	Lagoa2
14	1186,088429	Controle	46	807,8173206	Lagoa2	78	904,1528296	Lagoa2
15	860,7869376	Controle	47	1043,831638	Lagoa2	79	1001,716115	Lagoa2
16	1138,424389	Controle	48	1048,624247	Lagoa2	80	1025,308028	Lagoa2
17	1012,063845	Controle	49	1132,773223	Lagoa2	81	721,5133308	Lagoa2
18	1018,955313	Controle	50	1060,023899	Lagoa2	82	612,94199	Lagoa2
19	1081,990769	Lagoa1	51	1114,954866	Lagoa2	83	1034,162804	Lagoa2
20	903,7039421	Lagoa1	52	1078,926518	Lagoa2	84	1097,959378	Lagoa2
21	985,7299706	Lagoa1	53	1113,280795	Lagoa2	85	1105,486072	Lagoa2
22	564,9962856	Lagoa1	54	1112,348804	Lagoa2	86	1087,565284	Lagoa2
23	806,1471477	Lagoa1	55	1037,471119	Lagoa2	87	986,3035483	Lagoa2
24	1090,160244	Lagoa1	56	1072,510729	Lagoa2	88	1069,722028	Lagoa2
25	1098,92819	Lagoa1	57	1086,952009	Lagoa2	89	829,4504807	Lagoa2
26	996,9103186	Lagoa1	58	1088,621226	Lagoa2	90	845,5308064	Lagoa2
27	1106,077977	Lagoa1	59	1123,629606	Lagoa2	91	861,8851639	Lagoa2
28	943,3476874	Lagoa1	60	1117,125809	Lagoa2	92	765,056583	Lagoa2
29	886,4608103	Lagoa1	61	916,7784589	Lagoa2	93	1128,152217	Lagoa2
30	683,7205323	Lagoa1	62	1071,621092	Lagoa2	94	968,8428984	Lagoa2
31	932,570417	Lagoa1	63	882,5322764	Lagoa2	95	1131,440073	Lagoa2

96	902,0573465	Lagoa2	97	829,4504807	Lagoa2
----	-------------	--------	----	-------------	--------

APÊNDICE O: Dados quantitativos da variável diâmetro dos elementos (metaxilema) - região distal (μm)

	y (μm)	x (local)	29	55,32888123	Lagoa1	58	77,70050678	Lagoa1
1	61,86489719	Controle	30	42,23116846	Lagoa1	59	65,42450997	Lagoa1
2	63,73860847	Controle	31	85,09780868	Lagoa1	60	85,14895489	Lagoa1
3	75,08341132	Controle	32	70,86822948	Lagoa1	61	70,95188737	Lagoa1
4	69,18084918	Controle	33	77,17209567	Lagoa1	62	68,75657014	Lagoa1
5	65,25142053	Controle	34	67,33751074	Lagoa1	63	72,72105826	Lagoa1
6	62,22302514	Controle	35	72,56704851	Lagoa1	64	56,54567303	Lagoa1
7	97,72669017	Lagoa1	36	72,63919915	Lagoa1	65	57,76355849	Lagoa1
8	68,8866211	Lagoa1	37	83,19351102	Lagoa1	66	59,39917975	Lagoa1
9	74,6817529	Lagoa1	38	78,20649851	Lagoa1	67	57,86436652	Lagoa1
10	55,93407373	Lagoa1	39	209,8369796	Lagoa1	68	73,23255869	Lagoa1
11	82,34287421	Lagoa1	40	93,25473048	Lagoa1	69	58,79218719	Lagoa1
12	65,16976063	Lagoa1	41	90,75923157	Lagoa1	70	51,63346038	Lagoa1
13	72,83164837	Lagoa1	42	120,5397428	Lagoa1	71	61,07592875	Lagoa1
14	89,57208873	Lagoa1	43	82,33781844	Lagoa1	72	74,21694812	Lagoa1
15	75,85428626	Lagoa1	44	57,64301815	Lagoa1	73	68,59087803	Lagoa1
16	80,08145307	Lagoa1	45	89,12772328	Lagoa1	74	47,07110071	Lagoa1
17	64,77973404	Lagoa1	46	75,75474967	Lagoa1	75	70,68810339	Lagoa1
18	105,1638334	Lagoa1	47	73,86718834	Lagoa1	76	52,31096681	Lagoa1
19	69,6717876	Lagoa1	48	77,49776699	Lagoa1	77	61,22116413	Lagoa1
20	62,38894756	Lagoa1	49	69,26028433	Lagoa1	78	64,36390336	Lagoa1
21	63,42159808	Lagoa1	50	75,27398979	Lagoa1	79	73,99857129	Lagoa2
22	83,25041116	Lagoa1	51	65,96971815	Lagoa1	80	66,08399473	Lagoa2
23	66,06168036	Lagoa1	52	113,3340343	Lagoa1	81	63,76608828	Lagoa2
24	49,2507798	Lagoa1	53	122,588013	Lagoa1	82	73,53676054	Lagoa2
25	57,32951635	Lagoa1	54	85,13428661	Lagoa1	83	74,43817966	Lagoa2
26	63,85416153	Lagoa1	55	72,59405367	Lagoa1	84	78,53119325	Lagoa2
27	54,74044882	Lagoa1	56	84,56188007	Lagoa1	85	76,00049391	Lagoa2
28	53,87939698	Lagoa1	57	62,40256921	Lagoa1	86	76,0657396	Lagoa2

87	69,41438416	Lagoa2	91	77,17366901	Lagoa2	95	81,82218501	Lagoa2
88	66,64228866	Lagoa2	92	84,85756047	Lagoa2	96	82,51311451	Lagoa2
89	75,53668527	Lagoa2	93	78,8908376	Lagoa2	97	78,53119325	Lagoa2
90	80,38519876	Lagoa2	94	85,0282739	Lagoa2			

APÊNDICE P: Dados quantitativos da variável diâmetro dos elementos (metaxilema) - região proximal (µm)

	y (µm)	x (local)	26	81,16726752	Lagoa1	52	93,49250995	Lagoa2
1	81,64476814	Controle	27	75,97606941	Lagoa1	53	82,57699542	Lagoa2
2	79,70890243	Controle	28	78,38793564	Lagoa1	54	71,82610283	Lagoa2
3	73,28559523	Controle	29	87,1120759	Lagoa1	55	65,5926473	Lagoa2
4	74,54366289	Controle	30	72,88521463	Lagoa1	56	81,66494856	Lagoa2
5	79,56405921	Controle	31	79,28889379	Lagoa1	57	89,20417409	Lagoa2
6	75,4116625	Controle	32	91,56749469	Lagoa1	58	63,08897485	Lagoa2
7	78,36912471	Controle	33	78,39125475	Lagoa1	59	84,29562172	Lagoa2
8	90,27710232	Controle	34	71,80871316	Lagoa1	60	76,14733199	Lagoa2
9	81,25974761	Controle	35	73,30523741	Lagoa1	61	80,14640646	Lagoa2
10	71,54954279	Controle	36	75,97995046	Lagoa1	62	74,62924372	Lagoa2
11	84,2970621	Controle	37	67,85533934	Lagoa1	63	85,96154148	Lagoa2
12	75,6768598	Controle	38	76,34570614	Lagoa1	64	82,05610076	Lagoa2
13	58,72960712	Controle	39	81,92070154	Lagoa1	65	75,54564035	Lagoa2
14	80,5177945	Controle	40	93,20226314	Lagoa1	66	76,41655895	Lagoa2
15	62,63783786	Controle	41	91,08202636	Lagoa1	67	61,48691414	Lagoa2
16	72,29236329	Controle	42	80,6512476	Lagoa1	68	76,28843082	Lagoa2
17	77,08033708	Controle	43	80,00343939	Lagoa2	69	75,33226664	Lagoa2
18	78,72356057	Controle	44	72,26380521	Lagoa2	70	77,2242235	Lagoa2
19	85,39894573	Lagoa1	45	72,46754456	Lagoa2	71	75,09080351	Lagoa2
20	93,53665543	Lagoa1	46	79,27248478	Lagoa2	72	91,50230779	Lagoa2
21	74,69684826	Lagoa1	47	83,94756217	Lagoa2	73	92,56059146	Lagoa2
22	69,03527382	Lagoa1	48	75,47948548	Lagoa2	74	81,65475276	Lagoa2
23	79,70455008	Lagoa1	49	74,39995459	Lagoa2	75	77,89848835	Lagoa2
24	80,65404345	Lagoa1	50	79,74871538	Lagoa2	76	81,88914678	Lagoa2
25	82,04151377	Lagoa1	51	87,76512408	Lagoa2	77	68,70912606	Lagoa2

78	86,91572351	Lagoa2	85	60,19168343	Lagoa2	92	76,55920069	Lagoa2
79	88,2328685	Lagoa2	86	87,99566045	Lagoa2	93	77,92030684	Lagoa2
80	84,82300847	Lagoa2	87	85,2737368	Lagoa2	94	68,76691264	Lagoa2
81	81,48144187	Lagoa2	88	79,75937231	Lagoa2	95	82,44308289	Lagoa2
82	96,93184966	Lagoa2	89	65,51458993	Lagoa2	96	63,65473539	Lagoa2
83	73,63411297	Lagoa2	90	55,84003213	Lagoa2	97	81,48144187	Lagoa2
84	73,49830267	Lagoa2	91	77,3041444	Lagoa2			

APÊNDICE Q: Dados quantitativos da variável quantidade de elementos (metaxilema) - região distal (μm)

	y (μm)	x (local)	23	4	Lagoa 1	46	15	Lagoa 1
1	17	Controle	24	7	Lagoa 1	47	6	Lagoa 1
2	13	Controle	25	6	Lagoa 1	48	18	Lagoa 1
3	15	Controle	26	7	Lagoa 1	49	19	Lagoa 1
4	11	Controle	27	7	Lagoa 1	50	9	Lagoa 1
5	18	Controle	28	5	Lagoa 1	51	6	Lagoa 1
6	13	Controle	29	5	Lagoa 1	52	11	Lagoa 1
7	19	Lagoa 1	30	4	Lagoa 1	53	23	Lagoa 1
8	23	Lagoa 1	31	22	Lagoa 1	54	21	Lagoa 1
9	19	Lagoa 1	32	11	Lagoa 1	55	13	Lagoa 1
10	18	Lagoa 1	33	17	Lagoa 1	56	7	Lagoa 1
11	26	Lagoa 1	34	27	Lagoa 1	57	8	Lagoa 1
12	18	Lagoa 1	35	10	Lagoa 1	58	5	Lagoa 1
13	17	Lagoa 1	36	29	Lagoa 1	59	8	Lagoa 1
14	27	Lagoa 1	37	23	Lagoa 1	60	6	Lagoa 1
15	22	Lagoa 1	38	17	Lagoa 1	61	11	Lagoa 1
16	11	Lagoa 1	39	7	Lagoa 1	62	6	Lagoa 1
17	22	Lagoa 1	40	35	Lagoa 1	63	16	Lagoa 1
18	30	Lagoa 1	41	22	Lagoa 1	64	3	Lagoa 1
19	7	Lagoa 1	42	20	Lagoa 1	65	4	Lagoa 1
20	10	Lagoa 1	43	11	Lagoa 1	66	8	Lagoa 1
21	9	Lagoa 1	44	4	Lagoa 1	67	11	Lagoa 1
22	22	Lagoa 1	45	6	Lagoa 1	68	7	Lagoa 1

69	4	Lagoa 1	79	19	Lagoa 2	89	14	Lagoa 2
70	6	Lagoa 1	80	19	Lagoa 2	90	17	Lagoa 2
71	5	Lagoa 1	81	22	Lagoa 2	91	12	Lagoa 2
72	6	Lagoa 1	82	17	Lagoa 2	92	27	Lagoa 2
73	4	Lagoa 1	83	22	Lagoa 2	93	18	Lagoa 2
74	12	Lagoa 1	84	13	Lagoa 2	94	16	Lagoa 2
75	6	Lagoa 1	85	16	Lagoa 2	95	13	Lagoa 2
76	3	Lagoa 1	86	25	Lagoa 2	96	19	Lagoa 2
77	16	Lagoa 1	87	18	Lagoa 2	97	14	Lagoa 2
78	6	Lagoa 1	88	15	Lagoa 2			

APÊNDICE R: Dados quantitativos da variável quantidade de elementos (metaxilema) - região proximal (μm)

	y (μm)	x (local)	20	19	Lagoa1	40	29	Lagoa1
1	22	Controle	21	21	Lagoa1	41	20	Lagoa1
2	20	Controle	22	11	Lagoa1	42	25	Lagoa1
3	18	Controle	23	14	Lagoa1	43	26	Lagoa2
4	24	Controle	24	26	Lagoa1	44	23	Lagoa2
5	21	Controle	25	18	Lagoa1	45	25	Lagoa2
6	24	Controle	26	19	Lagoa1	46	15	Lagoa2
7	17	Controle	27	20	Lagoa1	47	21	Lagoa2
8	25	Controle	28	18	Lagoa1	48	18	Lagoa2
9	21	Controle	29	21	Lagoa1	49	25	Lagoa2
10	23	Controle	30	14	Lagoa1	50	20	Lagoa2
11	19	Controle	31	19	Lagoa1	51	26	Lagoa2
12	23	Controle	32	28	Lagoa1	52	26	Lagoa2
13	15	Controle	33	22	Lagoa1	53	26	Lagoa2
14	21	Controle	34	19	Lagoa1	54	21	Lagoa2
15	16	Controle	35	14	Lagoa1	55	20	Lagoa2
16	22	Controle	36	6	Lagoa1	56	19	Lagoa2
17	19	Controle	37	31	Lagoa1	57	21	Lagoa2
18	20	Controle	38	20	Lagoa1	58	19	Lagoa2
19	22	Lagoa1	39	19	Lagoa1	59	25	Lagoa2

60	28	Lagoa2	73	21	Lagoa2	86	24	Lagoa2
61	17	Lagoa2	74	15	Lagoa2	87	26	Lagoa2
62	22	Lagoa2	75	19	Lagoa2	88	19	Lagoa2
63	17	Lagoa2	76	15	Lagoa2	89	16	Lagoa2
64	23	Lagoa2	77	14	Lagoa2	90	17	Lagoa2
65	21	Lagoa2	78	16	Lagoa2	91	17	Lagoa2
66	18	Lagoa2	79	24	Lagoa2	92	19	Lagoa2
67	22	Lagoa2	80	18	Lagoa2	93	21	Lagoa2
68	22	Lagoa2	81	11	Lagoa2	94	19	Lagoa2
69	24	Lagoa2	82	10	Lagoa2	95	27	Lagoa2
70	21	Lagoa2	83	21	Lagoa2	96	18	Lagoa2
71	18	Lagoa2	84	19	Lagoa2	97	24	Lagoa2
72	25	Lagoa2	85	24	Lagoa2			