

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**Remoção/exportação de nutrientes de esgoto doméstico
utilizando plantas ornamentais: *Hedychium coronarium*,
Heliconia psittacorum, *Cyperus alternifolius* e *Colocasia
esculenta***

ROJANE MAGDA KLETECKE

Engenheira Agrônoma, MSc.

CAMPINAS

2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**Remoção/exportação de nutrientes de esgoto doméstico
utilizando plantas ornamentais: *Hedychium coronarium*,
Heliconia psittacorum, *Cyperus alternifolius* e *Colocasia
esculenta***

Tese de Doutorado submetida à banca
examinadora para obtenção do título de
Doutor em Engenharia Agrícola, na Área de
Concentração Água e Solo.

ROJANE MAGDA KLETECKE

Orientador: Prof. Dr. José Teixeira Filho

**CAMPINAS
2011**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -
UNICAMP

K678r Kletecke, Rojane Magda
Remoção/exportação de nutrientes de esgoto doméstico utilizando plantas ornamentais: *Hedychium coronarium*, *Heliconia psittacorum*, *Cyperus alternifolius* e *Colocasia esculenta* / Rojane Magda Kletecke. -- Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientador: Jose Teixeira Filho.
Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Terras inundáveis. 2. Macrófitas. 3. Monitoramento. 4. Monitoramento ambiental. 5. Paisagismo. I. Teixeira Filho, Jose. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Título em Inglês: Domestic sewage nutrients removal/export using ornamental plants: *Hedychium coronarium*, *Heliconia psittacorum*, *Cyperus alternifolius* and *Colocasia esculenta*

Palavras-chave em Inglês: Floodplains, Macrophytes, Monitoring, Environmental monitoring, Landscaping

Área de concentração: Água e Solo

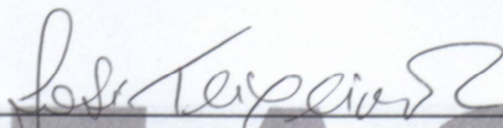
Titulação: Doutor em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Arthur Mattos, Plinio Barbosa de Camargo, Edson Aparecido Abdul Nour, Denis Miguel Roston

Data da defesa: 23/02/2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

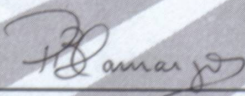
Este exemplar corresponde à redação final da **Tese de Doutorado** defendida por **Rojane Magda Kletecke**, aprovada pela Comissão Julgadora em 23 de fevereiro de 2011, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.



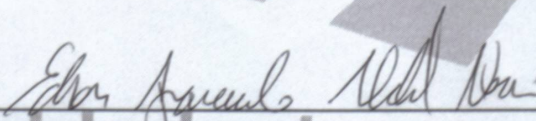
Prof. Dr. José Teixeira Filho – Presidente e Orientador
Feagri/Unicamp



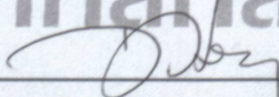
Prof. Dr. Arthur Mattos - Membro Titular
UFRN



Prof. Dr. Plínio Barbosa de Camargo - Membro Titular
CENA/USP



Prof. Dr. Edson Aparecido Abdul Nour - Membro Titular
FEC/Unicamp



Prof. Dr. Denis Miguel Roston - Membro Titular
Feagri/Unicamp

“Uma longa caminhada começa com um único passo.”

Lao Tse

DEDICO

Aos meus pais, Bruno e Adélma.
Às minhas irmãs Rosa, Regina e Rosangela.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado forças para superar os momentos difíceis e senso de humor para seguir adiante;

Aos meu pais Bruno e Adelma, minhas irmãs Rosa Helena, Regina e Rosângela pelo apoio incondicional, compreensão carinho e orações;

Ao meu cunhado Odilon Goulart por emprestar minha irmã Rosa Kletecke sempre que precisei;

À Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp (FEAGRI/UNICAMP) pela oportunidade de cursar o doutorado;

Ao Prof. Dr. Jose Teixeira Filho pela orientação;

Aos membros da Banca examinadora Prof. Dr. Arthur Mattos (UFRN), Prof. Dr. Plínio Barbosa de Camargo (CENA/USP), Prof. Dr. Edson Aparecido Nour (FEC/Unicamp), Prof. Dr. Denis Miguel Roston (FEAGRI/Unicamp) por terem aceito participar da finalização desse trabalho;

À Agências de fomento CAPES e CNPq pelas bolsas de estudo concedidas;

À pós graduação da Feagri/Unicamp pelo financiamento de material para o desenvolvimento do atual projeto de doutorado;

À Fundação de Desenvolvimento da Unicamp – FUNCAMP/UNICAMP na pessoa do Prof. Dr. Paulo Martins Leal (Diretor Executivo Funcap) pelo financiamento da ETE/FUNCAMP, primeiro projeto de doutorado;

À Carlos Zwing – funcionário da FUNCAMP pelo empenho e disposição na compra dos materiais necessários para a construção da ETE/FUNCAMP;

À Coordenadoria atual de pós graduação Célia Carvalho, Sidnei Trombeta, Marta Vechi, Fábio Augusto e Prof. Dr. Zigomar Menezes pelo profissionalismo, amizade e apoio sempre que necessário;

À coordenadoria anterior de pós graduação Ana Paula Montagner (Aninha), Alexandre Vargas Dalvila e Prof. Dra Daniella Jorge de Moura pelo profissionalismo, amizade e aprovação da compra das piscinas para montagem dos LC;

À secretaria de graduação Rosangela Oliveira, Maria do Socorro Farias e Mariana Conti pela amizade e apoio nas horas difíceis;

Ao Prof. Dr. Denis Miguel Roston e Giovane Brota pela disponibilidade do laboratório de qualidade da água e saneamento da Feagri/Unicamp;

À Prof. Dra. Helena Teixeira de Godoy pela disponibilidade do laboratório de análise de alimentos da FEA/Unicamp;

À Sergio Lopes pela primordial ajuda na montagem do experimento no campo, tanto na ETE/FEAGRI como na ETE/FUNCAMP e pela disponibilidade em ajudar sempre que fosse preciso;

Aos estagiários do Programa Ciência e Arte/Unicamp 2009 e do Programa Pic Junior/Unicamp 2009, Barbara Detoni, Letícia da Silva Liberato, Vanessa Oliveira, Raul Balarini. Programa Ciência e Arte 2008, Barbara Helen Correa e Silva, Dayane Cristina dos Santos Reis, Guilherme Sbrocco.

À Iasmim Trinca estagiária voluntária de campo e laboratório cuja ajuda, assim como dos estagiários dos programas da Unicamp foi fundamental para o desenvolvimento desse trabalho;

Ao Gustavo Lemes e Suellen Carla de Almeida pelas análises laboratoriais de fósforo total fundamentais para os resultados desse trabalho;

Às “ASP” colegas de doutorado Kelly Cristina Tonello e Aline Regina Piedade pelos bons e maus momentos juntas...rsrsr...

À Michele Picoli, Laura Simões, Rosa Helena Aguiar, Andréia Fonseca, meu primo Eugênio Alberto “Gordo” pela amizade cuidados e colaboração, fundamental, quando quebrei o tornozelo;

Aos funcionários da Feagri Agmon Rocha, André Nogueira, Antonio Sipriano (Pequeno), Antonio Freire (S. Freire), Antonio Javarez Junior (Juninho), Carlos R. Melo (Carlão), Célia Gonçalves, Célia de Carvalho, Claudia Armelin, Clovis da Silva (S.Clovis), Clóvis Tristão (Clovinho), Dona Laura, Edgar Lombardi, Edvran da Silva, Eronides da Silva (Eron), Fábio Zucolotto, Fábio Duarte Augusto, Fernando da Silva, Franciane de Souza, Francisco de Oliveira (Chico), Gelson da Silva, Giovani Brota, Gisleide Otávio, Gisleiva Ferreira, Jamilson Luz, Jaqueline Barbosa, João Lima (por conseguir as plantas necessárias para os LC), João Bergamo, Jose Alencar (Zé), Jose Maria da Silva (Zé Maria), Jose Ricardo Lucarelli, Julieta Teresa Aier de Oliveira, Jurandi de Carvalho, Kellen Junqueira, Lazara dos Santos, Leandro Moraes, Luciano Torres, Luis Vilela, Luis Carlos da Silva, Marcia Padovani, Maria de Freitas, Maria Domitila Thomazi, Maria do Socorro Farias (Socorro), Mariana Conti, Maria Rosalia Favoretto (Rosália), Marta Aparecida Vechi, Mauricio Santiciolli, Nilva Pereira, Reinaldo Benedito, Rita de Cássia Cuesta (Ritinha), Rosa Helena Aguiar, Rosangela Gomes (Rô), Rosângela Parreira, Sergio Lopes, Sidnei de Jesus Trombeta, Suzely Francisco, Thiago Brasco, Terezinha da cozinha, Tulio Ribeiro, Valdir Vialta.

Aos professores da Feagri Antonio Carlos de Oliveira Ferraz, Antonio Ludovico Beraldo, Barbara Teruel Mederos, Benedito Carlos Benedetti, Daniella Jorge de Moura, David de Carvalho, Denis Miguel Roston, Durval R. de Paula, Edson Matsura, Inácio Dal Fabro, Irenilza de Alencar Nãas, João Biagi, Maristela Simões do Carmo (Stela), Jansle Rocha, José

Euclides Paterniane, Julio Soriano, Kil Jin Park, Luiz A. Rossi, Luis Henrique A. Rodrigues, Mara de Andrade Marinho, Marco Túlio Ospina, Mariângela Amendola, Marlene Queiroz, Mauro Tereso, Nilson Arraes, Paulo Martins Leal, Paulo Magalhães, Rafael Augustus de Oliveira, Raquel Gonçalves, Roberto Testezlaf, Silvio Honório, Roberto Funes, Sonia Bergamasco, Zigomar Menezes;

Aos amigos de longa data Gláucia Ramirez, Lucia Ferreira, Vanilde de Souza Esquerdo, Julio Esquerdo, Ana Ávila, Anderson Souza, Ana Paula Montagner, Daniela Oliveira, Antonio Fernando Caetano Tombolato, pela amizade e apoio incondicional;

Aos novos amigos Monica Rovigatti, Rosi Vicentim, Roberto e Andréia Namba (da cantina), Flavia Freitas, Laura Simões, Danielle Gonçalves, Jackeline Lopes, Michele Picoli (ensinou-me a fazer a estatística dos meus dados), Agmon Rocha, Vânia Rosa Pereira (pelo abstract), Jerry Jorran, Lilia Sonoda, Ana Paula Maia, Marcio Mesquita, Adriana Francisco, Karol Von Zuben e prima, Adriano Bastos, Michele Rodrigues, Alex Trinca, Diego Pereira Neves, Karol Von Zuben, Leda Bueno, Luana Araujo Sabino, Marta Baracho, Neidimila Silveira, Monalisa Franco, Rimena Vercellino, Rodolpho Tinini, Silvia Souza, Thayla Morandi, Wesley Esdras, Gleyce, Rafael, Tânia; Brenda, Chiara e Fernando, Orientados do Prof. Zigomar, Prof. Daniella, Prof Raquel, Prof. Barbara, Prof. Roberto Testeslaf. Enfim a todos os amigos da graduação (que já formaram e os que ainda estão aqui) e colegas da pós graduação da FEAGRI/UNICAMP, que fizeram e fazem parte da minha vida nesses anos de doutorado.

Desculpe se esqueci alguém... mas acho que se conseguisse lembrar de todas as pessoas que me são queridas esses agradecimentos teriam tantas páginas quanto essa tese... rrsrrs... depois dessa tese só tenho uma coisa a dizer: o importante é ter senso de humor e sorrir sempre mesmo quando a vida nos dá tropeços e as coisas não andam do jeito que gostaríamos...

À todos muito obrigada por fazerem parte da minha vida!!!!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS.....	XIX
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XXIV
RESUMO	XXVI
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. SISTEMAS DE LEITOS CULTIVADOS	3
2.1.1. CLASSIFICAÇÃO DOS LEITOS CULTIVADOS (LC)	5
2.2. PLANTAS UTILIZADAS NO SISTEMA DE LEITOS CULTIVADOS	7
2.3. FATORES QUE ATUAM NOS LEITOS CULTIVADOS.....	9
A) TEMPERATURA DA ÁGUA	9
B) POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH).....	9
C) CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (CE).....	10
D) OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD).....	10
E) DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)	11
F) NUTRIENTES	12
G) EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	21
2.5. CARGAS POLUIDORAS.....	23
2.6. MONITORAMENTO DOS LEITOS CULTIVADOS.....	23
3. MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1. LOCAL DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	24
3.2. CARACTERIZAÇÃO DO AFLUENTE	24
3.3. SISTEMA DE LEITOS CULTIVADOS (LC)	25
3.3.1. CLASSIFICAÇÃO DOS LEITOS CULTIVADOS	25
3.3.2. INSTALAÇÃO DOS LEITOS CULTIVADOS (LC).....	25
3.3.3. MACRÓFITAS CULTIVADAS NOS LEITOS CULTIVADOS	27
3.3.4. MONITORAMENTO DOS LEITOS CULTIVADOS.....	33
4. RESULTADOS	47
4.1. CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO AFLUENTE	47
4.2. TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICA (TDH)	47
4.3. MONITORAMENTO DO CLIMA	48
4.4. MONITORAMENTO DOS LEITOS CULTIVADOS (LC).....	49
4.4.1 LEITO CULTIVADO COM HEDYCHUM CORONARIUM (LC1).....	49
4.4.2. LEITO CULTIVADO COM HELICONIA PSITTACORUM (LC2)	92
4.4.3. LEITO CULTIVADO COM CYPERUS ALTERNIFOLIUS (LC3)	135
4.4.4. LEITO CULTIVADO COM BRITA (LC4).....	181
4.4.5. LEITO CULTIVADO COM COLOCASIA ESCULENTA (LC5)	213
4.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	255
5. DISCUSSÃO	269
6. CONCLUSÕES.....	296

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exemplos de <i>Wetlands</i> construídas. (a) (b)	3
Figura 2. Desenho esquemático de um LCFS.....	5
Figura 3. Desenho esquemático de um LCFV.....	6
Figura 4. Desenho esquemático de um LCFSS.....	6
Figura 5. Ciclo simplificado do Nitrogênio.....	18
Figura 6. Esquema simplificado dos processos que ocorrem com fósforo em LC.....	20
Figura 7. Esquema da Estação de Tratamento de Esgoto da FEAGRI/UNICAMP (ETE/FEAGRI).....	25
Figura 8. Esquematização da disposição dos LC na ETE/FEAGRI.....	27
Figura 9. Planta de <i>Hedychium coronarium</i> ; (a) Planta inteira; (b) Detalhe da inflorescência.....	28
Figura 10. Planta de <i>Heliconia psittacorum</i> ; (a) Planta inteira; (b) Detalhe da floração.....	29
Figura 11. Planta de <i>Cyperus alternifolius</i> ; (a) Planta inteira; (b) Detalhe da floração.....	30
Figura 12. Planta de <i>Colocasia esculenta</i> var. <i>aquaticilis</i> (a) (b)	31
Figura 13. (a) Plantio <i>Hedychium coronarium</i> no LC1; (b) Plantio <i>Heliconia psittacorum</i> LC2.....	32
Figura 14. (a) Plantio <i>Cyperus alternifolius</i> no LC3; (b) Plantio <i>Colocasia esculenta</i> no LC5.....	33
Figura 15. Estação meteorológica localizada a 100 metros do experimento FEAGRI/UNICAMP.....	34
Figura 16. Monitoramento da AF: (a. b) <i>Hedychium coronarium</i> ; (c) <i>Heliconia psittacorum</i>	35
Figura 17. Monitoramento da AF da <i>Colocasia esculenta</i> Var. <i>aquaticilis</i>	36
Figura 18. Rotina IDL para identificação da AF do <i>Cyperus alternifolius</i> (a) imagem digitalizada; (b) imagem gerada pelo IDL.....	37
Figura 19. Contagem do número de hastes do <i>Cyperus alternifolius</i>	37
Figura 20. (a) Afluente no LC2 da linha 1; (b) Efluente do LC2.....	43
Figura 21. (a) Afluente no LC4, linha 2; (b) Efluente do LC4.....	43
Figura 22. Evolução do número das plantas de <i>Hedychium coronarium</i> no LC no período de dezembro de 2008 a outubro de 2009.....	50
Figura 23. Vegetação de <i>Hedychium coronarium</i> no LC. (a) Vegetação antes da diminuição lâmina d'água (08/04/09); (b) Plantas remanescentes após a diminuição da lâmina d'água (23/04/09) e (c) Replântio da espécie utilizada, <i>Hedychium coronarium</i> , com mudas enraizadas em 13/05/2009.....	50
Figura 24. Desenvolvimento da vegetação de <i>Hedychium coronarium</i> no LC. (a) 1 mês após plantio em janeiro de 2009; (b) 3 meses após o plantio, em março 2009; (c) 1 mês após o replântio em junho 2009; (d) 2 meses após o replântio em julho 2009; (e) e (f) 3 meses após replântio em agosto 2009....	51
Figura 25. Altura máxima da vegetação de <i>Hedychium coronarium</i> no LC na semana da poda no dia 13/08/2009.....	52
Figura 26. Altura média das plantas de <i>Hedychium coronarium</i> no LC, no período de janeiro a outubro de 2009.....	52
Figura 27. Manejo da vegetação de <i>Hedychium coronarium</i> no LC. (a) Poda da vegetação no dia 14/08/2009; (b) recuperação da vegetação 30 dias após a poda e (c) vegetação 47 dias após a poda..	53
Figura 28. Índice de área foliar (IAF) no período de janeiro a outubro 2009 no LC com <i>Hedychium coronarium</i>	54
Figura 29. Vazão horária de entrada (QE) e saída (QS) no LC com <i>Hedychium coronarium</i> , para os dias 06/05/2009 (a) e 07/05/2009 (b).	55
Figura 30. Concentração horária de entrada (Conc. P E) e saída de fósforo total (Conc. P S) no LC com <i>Hedychium coronarium</i> , para os dias 06/05/2009 (a) e 07/05/2009 (b).....	56
Figura 31. Retenção da concentração de fósforo total no LC com <i>Hedychium coronarium</i> , para os dias 06/05/2009 (a) e 07/05/2009 (b).	56
Figura 32. Carga horária de entrada (carga PE) e saída (carga PS) de fósforo total no LC com <i>Hedychium coronarium</i> , para os dias 06/05/2009 (a) e 07/05/2009 (b).....	57
Figura 33. Retenção da carga horária de fósforo total no LC com <i>Hedychium coronarium</i> , para os dias 06/05/2009 (a) e 07/05/2009 (b).	57
Figura 34. Concentração horária de OD de entrada (OD E) e saída (OD S) no LC com <i>Hedychium coronarium</i> , para os dias 06/05/2009 (a) e 07/05/2009 (b).....	58
Figura 35. Diferença na concentração horária de OD de entrada (OD E) e saída (OD S) no LC com <i>Hedychium coronarium</i> , para os dias 06/05/2009 (a) e 07/05/2009 (b).....	58

Figura 36. pH horário de entrada (pH E) e saída (pH S) no LC com <i>Hedychium coronarium</i> , para os dias 06/05/2009 (a) e 07/05/2009 (b).	59
Figura 37. Diferença do pH horário de entrada e saída no LC com <i>Hedychium coronarium</i> , para os dias 06/05/2009 (a) e 07/05/2009 (b).	59
Figura 38. Condutividade elétrica horária de entrada (CE E) e saída (CE S) no LC com <i>Hedychium coronarium</i> , para os dias 06/05/2009 (a) e 07/05/2009 (b).	60
Figura 39. Diferença da CE de entrada e saída no LC com <i>Hedychium coronarium</i> , para os dias 06/05/2009 (a) e 07/05/2009 (b).	60
Figura 40. Temperatura da água horária de entrada (Temp. água E) e saída (Temp. água S) do LC com <i>Hedychium coronarium</i> , para os dias 06/05/2009 (a) e 07/05/2009 (b).	61
Figura 41. Diferença na temperatura da água de entrada e saída do LC com <i>Hedychium coronarium</i> , para os dias 06/05/2009 (a) e 07/05/2009 (b).	61
Figura 42. Vazão média diária de entrada e saída no LC com <i>Hedychium coronarium</i> nos dias monitorados em 2009.	62
Figura 43. Altura diária total da lâmina d'água evaporada no LC com <i>Hedychium coronarium</i> nos dias monitorados em 2009.	63
Figura 44. Tempo de detenção hidráulica (TDH) no LC com <i>Hedychium coronarium</i> nos dias monitorados em 2009.	64
Figura 45. Concentração de fósforo total - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Hedychium coronarium</i> nos dias monitorados em 2009.	65
Figura 46. Carga de fósforo total - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Hedychium coronarium</i> nos dias monitorados em 2009.	66
Figura 47. Retenção da carga de fósforo total ocorrida no LC com <i>Hedychium coronarium</i> nos dias monitorados em 2009.	66
Figura 48. Concentração de nitrato - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Hedychium coronarium</i> nos dias monitorados em 2009.	67
Figura 49. Carga de nitrato - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Hedychium coronarium</i> nos dias monitorados em 2009.	68
Figura 50. Retenção da carga de nitrato ocorrida no LC com <i>Hedychium coronarium</i> nos dias monitorados em 2009.	68
Figura 51. Concentração de nitrogênio amoniacal - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Hedychium coronarium</i> nos dias monitorados em 2009.	69
Figura 52. Carga de nitrogênio amoniacal - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Hedychium coronarium</i> nos dias monitorados em 2009.	70
Figura 53. Retenção da carga de nitrogênio amoniacal ocorrida no LC com <i>Hedychium coronarium</i> nos dias monitorados em 2009.	70
Figura 54. Concentração de DQO - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Hedychium coronarium</i> nos dias monitorados em 2009.	71
Figura 55. Carga de DQO - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Hedychium coronarium</i> nos dias monitorados em 2009.	72
Figura 56. Retenção da carga de DQO ocorrida no LC com <i>Hedychium coronarium</i> nos dias monitorados em 2009.	72
Figura 57. Concentração de OD - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Hedychium coronarium</i> nos dias monitorados em 2009.	73
Figura 58. Diferença da concentração de OD de entrada e saída no LC <i>Hedychium coronarium</i> nos dias monitorados em 2009.	74
Figura 59. pH - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Hedychium coronarium</i> nos dias monitorados em 2009.	74
Figura 60. CE - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Hedychium coronarium</i> nos dias monitorados em 2009.	75
Figura 61. Diferença da CE de entrada e saída no LC com <i>Hedychium coronarium</i> nos dias monitorados em 2009.	76
Figura 62. Temperatura da água - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Hedychium coronarium</i> nos dias monitorados em 2009.	76
Figura 63. Diferença na temperatura da água de entrada e saída no LC com <i>Hedychium coronarium</i> nos dias monitorados em 2009.	77

Figura 64. Desenvolvimento da vegetação do LC com <i>Heliconia psittacorum</i> . (a) dia do Plantio; (b) 90 dias após o plantio e (c) 5 meses após o plantio.	92
Figura 65. LC com <i>Heliconia psittacorum</i> . (a) altura máxima da vegetação; (b) Desenvolvimento da vegetação antes da poda; (c) poda no dia 14/08/2009.....	93
Figura 66. Altura média das plantas <i>Heliconia psittacorum</i> no LC no período de janeiro a outubro de 2009.....	93
Figura 67. Recuperação da vegetação do LC com <i>Heliconia psittacorum</i> após a poda. (a) 30 dias após; (b) 45 dias após e (c) 75 dias após a poda.....	94
Figura 68. Evolução do número de plantas de <i>Heliconia psittacorum</i> no LC no período de dezembro de 2008 a outubro de 2009.....	94
Figura 69. Índice de área foliar (IAF) no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> no período de janeiro a outubro de 2009.....	95
Figura 70. Vazão horária de entrada (QE) e saída (QS) no LC2 nos dias 26/05/09 (a) e 27/05/2009(b).....	96
Figura 71. Concentração horária de entrada (Conc. PE) e saída (Conc. PS) de fósforo total no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> , para os dias 26/05/2009 (a) e 27/05/2009 (b).	97
Figura 72. Retenção da concentração de fósforo total no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> para os dias 26/05/2009 (a) e 27/05/2009 (b).	97
Figura 73. Carga horária de entrada (Carga PE) e saída (Carga PS) de fósforo total no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> , para os dias 26/05/2009 (a) e 27/05/2009 (b).....	98
Figura 74. Retenção da carga de fósforo total no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> para os dias 26/05/2009 (a) e 27/05/2009 (b).....	98
Figura 75. Concentração horária de OD de entrada (OD E) e saída de fósforo (OD S) no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> , para os dias 26/05/2009 (a) e 27/05/2009 (b).	99
Figura 76. Diferença horária da concentração de OD de entrada e saída no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> para os dias 26/05/2009 (a) e 27/05/2009 (b).....	99
Figura 77. pH horário de entrada (pH E) e saída (pH S) no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> , para os dias 26/05/09 (a) e 27/05/09 (b).....	100
Figura 78. Diferença horária de pH de entrada e saída no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> para os dias 26/05/2009 (a) e 27/05/2009 (b).	100
Figura 79. Condutividade elétrica horária de entrada (CE E) e saída (CE S) no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> , para os dias 26/05/2009 (a) e 27/05/2009 (b).....	101
Figura 80. Diferença horária da CE de entrada e saída no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> para os dias 26/05/2009 (a) e 27/05/2009 (b).	101
Figura 81. Temperatura da água de entrada (Temp.água E) e saída (Temp.água S) na escala horária no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> , para os dias 26/05/2009 (a) e 27/05/2009 (b).	102
Figura 82. Diferença horária da temperatura da água de entrada e saída no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> para os dias 26/05/2009 (a) e 27/05/2009 (b).....	102
Figura 83. Vazão média diária de entrada e saída no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> nos dias monitorados em 2009.....	103
Figura 84. Altura diária total da lâmina d'água evaporada no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> nos dias monitorados em 2009.....	105
Figura 85. Tempo de detenção hidráulica (TDH) no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> nos dias monitorados em 2009.....	106
Figura 86. Concentração de fósforo total – médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> nos dias monitorados em 2009.....	107
Figura 87. Carga de fósforo total – médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> nos dias monitorados em 2009.....	108
Figura 88. Retenção da carga de fósforo total ocorrida no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> nos dias monitorados em 2009.....	108
Figura 89. Concentração de nitrato - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> nos dias monitorados em 2009.....	109
Figura 90. Carga de nitrato - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> nos dias monitorados em 2009.....	110
Figura 91. Retenção da carga de nitrato ocorrida no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> nos dias monitorados em 2009.....	110

Figura 92. Concentração de nitrogênio amoniacal - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> nos dias monitorados em 2009.....	111
Figura 93. Carga de nitrogênio amoniacal - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> nos dias monitorados em 2009.	112
Figura 94. Retenção da carga de nitrogênio amoniacal ocorrida no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> nos dias monitorados em 2009.....	112
Figura 95. Concentração de DQO - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> nos dias monitorados em 2009.....	113
Figura 96. Carga de DQO - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> nos dias monitorados em 2009.....	114
Figura 97. Retenção da carga de DQO ocorrida no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> nos dias monitorados em 2009.....	115
Figura 98. Concentração de OD - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> nos dias monitorados em 2009.....	116
Figura 99. Diferença da concentração de OD de entrada e saída no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> nos dias monitorados em 2009.....	116
Figura 100. pH - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> nos dias monitorados em 2009.....	117
Figura 101. CE - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> nos dias monitorados em 2009.....	118
Figura 102. Diferença da CE de entrada e saída no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> nos dias monitorados em 2009.....	118
Figura 103. Temperatura da água - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> nos dias monitorados em 2009.....	119
Figura 104. Diferença da temperatura da água de entrada e saída no LC com <i>Heliconia psittacorum</i> nos dias monitorados em 2009.....	119
Figura 105. Desenvolvimento da vegetação no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> . (a) dia do plantio (16/12/2008); (b) 45 dias após o plantio (09/02/2009); (c) 90 dias após plantio (24/03/2009).	135
Figura 106. LC com <i>Cyperus alternifolius</i> . (a) altura máxima da vegetação, 3 meses após plantio; (b) desenvolvimento da vegetação na semana da 1ª poda e, (c) dia da poda 04/05/2009.....	136
Figura 107. Recuperação da vegetação LC com <i>Cyperus alternifolius</i> após a 1ª poda. (a) 10 dias após; (b) 28 dias após; (c) 50 dias após a 1ª poda.	136
Figura 108. Vegetação no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> . (a) mês de julho de 2009 com forte ataque de ferrugem; (b) no mês de agosto na semana que antecede a 2ª poda; (c) Altura máxima antes da 2ª poda em 14/08/2009.	137
Figura 109. Recuperação da vegetação no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> após a 2ª poda. (a) rebrota das plantas com 10 dias. (b) desenvolvimento da vegetação com 30 dias e, (c) vegetação em outubro de 2009, final do monitoramento.....	137
Figura 110. Altura média das plantas de <i>Cyperus alternifolius</i> no LC, no período de janeiro a outubro de 2009.....	138
Figura 111. Índice de área foliar (IAF) no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> no período de janeiro a outubro de 2009.....	139
Figura 112. Vazão horária de entrada(QE) e saída (QS) no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> para os dias 03/06/2009 (a) e 04/06/2009 (b).	140
Figura 113. Concentração horária de entrada (Conc. PE) e saída (Conc. PS) de fósforo total no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> para os dias 03/06/2009 (a) e 04/06/2009 (b).	141
Figura 114. Retenção da concentração de fósforo total no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> para os dias 03/06/2009 (a) e 04/06/2009 (b).	141
Figura 115. Carga horária de entrada (Carga PE) e saída (Carga PS) de fósforo total no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> para os dias 03/06/2009 (a) e 04/06/2009 (b).....	142
Figura 116. Retenção da carga de fósforo total no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> para os dias 03/06/2009 (a) e 04/06/2009 (b).....	142
Figura 117. Concentração de OD horária de entrada (OD E) e saída (OD S) no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> para os dias 03/06/2009 (a) e 04/06/2009 (b).....	143
Figura 118. Diferença horária da concentração de OD de entrada e saída no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> para os dias 03/06/2009 (a) e 04/06/2009 (b).....	143

Figura 119. pH de entrada (pH E) e saída (pH S) no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> para os dias 03/06/2009 (a) e 04/06/2009 (b).....	144
Figura 120. Diferença horária de pH de entrada e saída no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> para os dias 03/06/2009 (a) e 04/06/2009 (b).	144
Figura 121. Condutividade elétrica de entrada (CE E) e saída (CE S) no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> para os dias 03/06/2009 (a) e 04/06/2009 (b).....	145
Figura 122. Diferença horária da CE de entrada e saída no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> para os dias 03/06/2009 (a) e 04/06/2009 (b).	145
Figura 123. Temperatura da água de entrada (Temp. água E) e saída (Temp. água S) no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> para os dias 03/06/2009 (a) e 04/06/2009 (b).....	146
Figura 124. Diferença na temperatura da água de entrada e saída do LC3 (a) dia 03/06/2009; (b) dia 04/06/2009.....	146
Figura 125. Vazão - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> nos dias monitorados em 2009.....	147
Figura 126. Altura diária total da lâmina d'água evaporada no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> nos dias monitorados em 2009.....	149
Figura 127. Tempo de detenção hidráulica (TDH) no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> nos dias monitorados em 2009.....	150
Figura 128. Concentração de fósforo total – médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> nos dias monitorados em 2009.....	151
Figura 129. Carga de fósforo total – médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> nos dias monitorados em 2009.	152
Figura 130. Retenção da carga de fósforo total ocorrida no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> nos dias monitorados em 2009.....	152
Figura 131. Concentração de nitrato - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> nos dias monitorados em 2009.....	153
Figura 132. Carga de nitrato - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> nos dias monitorados em 2009.....	154
Figura 133. Retenção da carga de nitrato ocorrida no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> nos dias monitorados em 200.....	154
Figura 134. Concentração de nitrogênio amoniacal - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> nos dias monitorados em 2009.....	155
Figura 135. Carga de nitrogênio amoniacal - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> nos dias monitorados em 2009.....	156
Figura 136. Retenção da carga de nitrogênio amoniacal ocorrida no LC <i>Cyperus alternifolius</i> nos dias monitorados em 2009.....	156
Figura 137. Concentração de DQO - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> nos dias monitorados em 2009.....	157
Figura 138. Carga de DQO - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> nos dias monitorados em 2009.....	158
Figura 139. Retenção da carga de DQO ocorrida no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> nos dias monitorados em 2009.....	159
Figura 140. Concentração de OD - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> nos dias monitorados em 2009.....	160
Figura 141. Diferença da OD de entrada e saída no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> nos dias monitorados em 2009.....	160
Figura 142. pH - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> nos dias monitorados em 2009.....	161
Figura 143. CE - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> nos dias monitorados em 2009.....	162
Figura 144. Diferença da CE de entrada e saída no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> nos dias monitorados em 2009.....	162
Figura 145. Temperatura da água - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> nos dias monitorados em 2009.....	163
Figura 146. Diferença da temperatura da água de entrada e saída no LC com <i>Cyperus alternifolius</i> nos dias monitorados em 2009.....	163

Figura 147. Vazão horária de entrada e saída no LC com Brita para os dias 12/08/2009 (a) e 13/08/2009 (b).	181
Figura 148. Concentração horária de entrada e saída de fósforo no LC com brita para os dias 12/08/2009 (a) e 13/08/2009 (b).	182
Figura 149. Retenção da concentração de fósforo no LC de brita para os dias 12/08/2009 (a) e 13/08/2009 (b).	182
Figura 150. Carga horária de entrada e saída de fósforo no LC com brita para os dias 12/08/2009 (a) e 13/08/2009 (b).	183
Figura 151. Retenção da carga de fósforo no LC com brita para os dias 12/08/2009 (a) e 13/08/2009 (b).	183
Figura 152. Concentração de OD de entrada e saída de fósforo no LC com brita para os dias 12/08/2009 (a) e 13/08/2009 (b).	184
Figura 153. Diferença na concentração de OD de entrada e saída do LC com brita para os dias 12/08/2009 (a) e 13/08/2009 (b).	184
Figura 154. pH horário de entrada e saída de fósforo no LC com brita para os dias 12/08/2009 (a) e 13/08/2009 (b).	185
Figura 155. Diferença pH horário de entrada e saída do LC com brita para os dias 12/08/2009 (a) e 13/08/2009 (b).	185
Figura 156. CE horária de entrada e saída de fósforo no LC com brita para os dias 12/08/2009 (a) e 13/08/2009 (b).	186
Figura 157. Diferença na CE de entrada e saída do LC com brita para os dias 12/08/2009 (a) e 13/08/2009 (b).	186
Figura 158. Temperatura da água horária de entrada e saída do LC com brita para os dias 12/08/2009 (a) e 13/08/2009 (b).	187
Figura 159. Diferença na temperatura da água de entrada e saída do LC com brita para os dias 12/08/2009 (a) e 13/08/2009 (b).	187
Figura 160. Vazões - médias diárias de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009.	188
Figura 161. Altura diária total da lâmina d'água evaporada no LC com Brita nos dias monitorados em 2009.	189
Figura 162. Tempo de detenção hidráulica (TDH) no LC com Brita nos dias monitorados em 2009.	189
Figura 163. Concentração de fósforo total - médias diárias de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009.	190
Figura 164. Carga de fósforo total - médias diárias de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009.	191
Figura 165. Retenção da carga de fósforo total ocorrida no LC com brita nos dias monitorados em 2009.	191
Figura 166. Concentração de nitrato - médias diárias de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009.	192
Figura 167. Carga de nitrato - médias diárias de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009.	193
Figura 168. Retenção da carga de nitrato ocorrida no LC com brita nos dias monitorados em 2009.	193
Figura 169. Concentração de nitrogênio amoniacal - médias diárias de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009.	194
Figura 170. Carga de nitrogênio amoniacal - médias diárias de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009.	195
Figura 171. Retenção da carga de nitrogênio amoniacal ocorrida no LC com brita nos dias monitorados em 2009.	195
Figura 172. Concentração de DQO - médias diárias de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009.	196
Figura 173. Carga de DQO - médias diárias de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009.	197
Figura 174. Retenção da carga de DQO ocorrida no LC com brita nos dias monitorados em 2009.	197
Figura 175. Concentração de OD - médias diárias de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009.	198
Figura 176. Diferença da concentração de OD de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009.	198
Figura 177. pH - médias diárias de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009.	199
Figura 178. CE - médias diárias de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009.	200

Figura 179. Diferença da CE de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009	200
Figura 180. Temperatura da água - médias diárias de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009.....	201
Figura 181. Diferença na temperatura da água de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009.....	201
Figura 182. Desenvolvimento da vegetação do LC com <i>Colocasia esculenta</i> . (a) no dia do plantio em 11/02/09; (b) 45 dias após o plantio no dia 24/03/2009 e (c) 90 dias após o plantio em 13/05/2009.....	213
Figura 183. LC com <i>Colocasia esculenta</i> . (a) Altura máxima da vegetação; (b) Desenvolvimento da vegetação antes da poda no mês de junho, 5 meses após plantio; (c) Desenvolvimento da vegetação na semana da poda em agosto de 2009.....	214
Figura 184. Altura média das plantas de <i>Colocasia esculenta</i> no LC no período de março a outubro de 2009.....	214
Figura 185. Recuperação da vegetação do LC com <i>Colocasia esculenta</i> após a poda. (a) 5 dias após a poda no dia 21/08/2009; (b) 45 dias após a poda no dia 21/09/2009 e (c) 50 dias após a poda no dia 01/10/2009.	215
Figura 186. Evolução do número de plantas de <i>Colocasia esculenta</i> no LC no período de fevereiro a outubro de 2009.....	215
Figura 187. Índice de área foliar (IAF) no LC com <i>Colocasia esculenta</i> no período de março a outubro de 2009.....	216
Figura 188. Vazão horária de entrada (QE) e saída (QS) no LC com <i>Colocasia esculenta</i> , para os dias 17/06/2009 (a) e 18/06/2009 (b).	217
Figura 189. Concentração horária de fósforo total de entrada (Conc. PE) e saída (Conc. PS) do LC com <i>Colocasia esculenta</i> , para os dias 17/06/2009 (a) e 18/06/2009 (b).....	218
Figura 190. Retenção da concentração de fósforo total no LC com <i>Colocasia esculenta</i> , para os dias 17/06/2009 (a) e 18/06/2009 (b).	218
Figura 191. Carga horária de fósforo total de entrada (Carga PE) e saída (Carga PS) no LC com <i>Colocasia esculenta</i> , para os dias 17/06/2009 (a) e 18/06/2009 (b).	219
Figura 192. Retenção da carga de fósforo total no LC com <i>Colocasia esculenta</i> , para os dias 17/06/2009 (a) e 18/06/2009 (b).....	219
Figura 193. Concentração horária de OD de entrada (OD E) e saída (OD S) no LC com <i>Colocasia esculenta</i> , para os dias 17/06/2009 (a) e 18/06/2009 (b).	220
Figura 194. Diferença na concentração horária de OD no LC com <i>Colocasia esculenta</i> , para os dias 17/06/2009 (a) e 18/06/2009 (b).	220
Figura 195. pH horário de entrada (pH E) e saída (pH S) no LC com <i>Colocasia esculenta</i> , para os dias 17/06/2009 (a) e 18/06/2009 (b).	221
Figura 196. Diferença do pH horário no LC com <i>Colocasia esculenta</i> , para os dias 17/06/2009 (a) e 18/06/2009 (b).	221
Figura 197. Condutividade elétrica horária de entrada (CE E) e saída (CE S) no LC com <i>Colocasia esculenta</i> , para os dias 17/06/2009 (a) e 18/06/2009 (b).	222
Figura 198. Diferença do CE no LC com <i>Colocasia esculenta</i> , para os dias 17/06/2009 (a) e 18/06/2009 (b).	222
Figura 199. Temperatura da água horária de entrada (Temp. água E) e saída (Temp. água S) no LC com <i>Colocasia esculenta</i> , para os dias 17/06/2009 (a) e 18/06/2009 (b).....	223
Figura 200. Diferença da temperatura da água no LC com <i>Colocasia esculenta</i> , para os dias 17/06/2009 (a) e 18/06/2009 (b).....	223
Figura 201. Vazão - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Colocasia esculenta</i> nos dias monitorados em 2009.....	224
Figura 202. Altura diária total da lâmina d'água evaporada no LC com <i>Colocasia esculenta</i> nos dias monitorados em 2009.....	226
Figura 203. Tempo de detenção hidráulica (TDH) no LC com <i>Colocasia esculenta</i> nos dias monitorados em 2009.....	226
Figura 204. Concentração de fósforo total - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Colocasia esculenta</i> nos dias monitorados em 2009.....	227
Figura 205. Carga de fósforo total - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Colocasia esculenta</i> nos dias monitorados em 2009.....	228

Figura 206. Retenção da carga de fósforo total ocorrida no LC com <i>Colocasia esculenta</i> nos dias monitorados em 2009.....	228
Figura 207. Concentração de nitrato - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Colocasia esculenta</i> nos dias monitorados em 2009.....	229
Figura 208. Carga de nitrato - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Colocasia esculenta</i> nos dias monitorados em 2009.....	230
Figura 209. Retenção da carga de nitrato ocorrida no LC com <i>Colocasia esculenta</i> nos dias monitorados em 2009.....	231
Figura 210. Concentração de nitrogênio amoniacal - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Colocasia esculenta</i> nos dias monitorados em 2009.....	232
Figura 211. Carga de nitrogênio amoniacal - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Colocasia esculenta</i> nos dias monitorados em 2009.....	233
Figura 212. Retenção da carga de nitrogênio amoniacal ocorrida no LC com <i>Colocasia esculenta</i> nos dias monitorados em 2009.....	233
Figura 213. Concentração de DQO - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Colocasia esculenta</i> nos dias monitorados em 2009.....	234
Figura 214. Carga de DQO - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Colocasia esculenta</i> nos dias monitorados em 2009.....	235
Figura 215. Retenção da carga de DQO ocorrida no LC com <i>Colocasia esculenta</i> nos dias monitorados em 2009.....	235
Figura 216. Concentração de OD - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Colocasia esculenta</i> nos dias monitorados em 2009.....	236
Figura 217. Diferença da concentração de OD de entrada e saída no LC <i>Colocasia esculenta</i> nos dias monitorados em 2009.....	237
Figura 218. pH - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Colocasia esculenta</i> nos dias monitorados em 2009.....	238
Figura 219. CE - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Colocasia esculenta</i> nos dias monitorados em 2009.....	239
Figura 220. Diferença da CE de entrada e saída no LC com <i>Colocasia esculenta</i> nos dias monitorados em 2009.....	239
Figura 221. Temperatura da água - médias diárias de entrada e saída no LC com <i>Colocasia esculenta</i> nos dias monitorados em 2009.....	240
Figura 222. Diferença na temperatura da água de entrada e saída no LC com <i>Colocasia esculenta</i> nos dias monitorados em 2009.....	240

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Papel das macrófitas em leitos cultivados no tratamento de efluentes.....	8
Tabela 2. Distribuição relativa de nitrogênio segundo distintas condições.....	13
Tabela 3. Espécie de macrófitas cultivadas em cada LC data de plantio e número de mudas plantadas utilizadas.....	32
Tabela 4. Caracterização do esgoto afluente aos LC no período de maio a outubro de 2009	47
Tabela 5. Dados climáticos médios mensais do período de dezembro 2008 a outubro de 2009.....	48
Tabela 6. Taxa de evapotranspiração, altura da lâmina d'água evaporada e TDH no LC1.....	62
Tabela 7. Vazão – média semanal entrada e saída, taxa de evapotranspiração, altura da lâmina d'água evaporada e TDH no LC1 nas semanas e nos períodos monitorados.....	78
Tabela 8. Concentração Fósforo – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC1 nas semanas e nos períodos monitorados	80
Tabela 9. Carga fósforo total – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC1 nas semanas e nos períodos monitorados.....	81
Tabela 10. Concentração Nitrato – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC1 nas semanas e nos períodos monitorados	82
Tabela 11. Carga Nitrato – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC1 nas semanas e nos períodos monitorados.....	83
Tabela 12. Concentração nitrogênio amoniacal - média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC1 nas semanas e nos períodos monitorados.....	84
Tabela 13. Carga nitrogênio amoniacal - média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC1 nas semanas e nos períodos monitorados	85
Tabela 14. Concentração DQO - média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC1 nas semanas e nos períodos monitorados.....	86
Tabela 15. Carga DQO - média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC1 nas semanas e nos períodos monitorados.....	87
Tabela 16. Concentração de OD - média semanal entrada e saída, diferença entrada e saída e eficiência OD do LC1 nas semanas e nos períodos monitorados.....	88
Tabela 17. pH - média semanal entrada e saída, diferença de entrada e saída do pH do LC1 nas semanas e nos períodos monitorados.....	89
Tabela 18. CE média semanal de entrada e saída, diferença de entrada e saída da CE do LC1 nas semanas e nos períodos monitorados.....	90
Tabela 19. Temperatura da água - média semanal entrada e saída, diferença de entrada e saída da temperatura da água do LC1 nas semanas e nos períodos monitorados.....	91
Tabela 20. Taxa de evapotranspiração, altura da lâmina d'água evaporada e TDH no LC2.....	104
Tabela 21. Vazão – média semanal entrada e saída, taxa de evapotranspiração, altura da lâmina d'água evaporada e TDH no LC2 nas semanas e nos períodos monitorados.....	121
Tabela 22. Concentração fósforo total– média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC2 nas semanas e nos períodos monitorados	122
Tabela 23. Carga fósforo total – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC2 nas semanas e nos períodos monitorados.....	123
Tabela 24. Concentração nitrato – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC2 nas semanas e nos períodos monitorados	124
Tabela 25. Carga Nitrato – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC2 nas semanas e nos períodos monitorados.....	125
Tabela 26. Concentração nitrogênio amoniacal - média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC2 nas semanas e nos períodos monitorados.....	127
Tabela 27. Carga nitrogênio amoniacal - média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC2 nas semanas e nos períodos monitorados	128
Tabela 28. Concentração DQO - média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC2 nas semanas e nos períodos monitorados.....	129

Tabela 29. Carga DQO - média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC2 nas semanas e nos períodos monitorados.....	130
Tabela 30. Concentração de OD - média semanal entrada e saída, diferença entrada e saída e eficiência OD do LC2 nas semanas e nos períodos monitorados.....	131
Tabela 31. pH - média semanal entrada e saída, diferença de entrada e saída do pH do LC2 nas semanas e nos períodos monitorados.....	132
Tabela 32. CE - média semanal entrada e saída, diferença de entrada e saída da CE no LC2 nas semanas e nos períodos monitorados.....	133
Tabela 33. Temperatura da água - média semanal entrada e saída, diferença de entrada e saída da temperatura do LC2 nas semanas e nos períodos monitorados.....	134
Tabela 34. Taxa de evapotranspiração, altura da lâmina d'água evaporada e TDH no LC3.....	148
Tabela 35. Vazão – média semanal entrada e saída, altura lâmina d'água evaporada e TDH no LC3 nas semanas e nos períodos monitorados	165
Tabela 36. Concentração fósforo total– média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC3 nas semanas e nos períodos monitorados	166
Tabela 37. Carga fósforo total– média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC3 nas semanas e nos períodos monitorados.....	168
Tabela 38. Concentração de Nitrato – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC3 nas semanas e nos períodos monitorados	169
Tabela 39. Carga de Nitrato – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC3 nas semanas e nos períodos monitorados.....	170
Tabela 40. Concentração de nitrogênio amoniacal – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC3 nas semanas e nos períodos monitorados.....	172
Tabela 41. Carga de nitrogênio amoniacal – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC3 nas semanas e nos períodos monitorados.....	173
Tabela 42. Concentração de DQO – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC3 nas semanas e nos períodos monitorados	174
Tabela 43. Carga de DQO – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC3 nas semanas e nos períodos monitorados.....	176
Tabela 44. Concentração de OD – média semanal entrada e saída, diferença entrada e saída e eficiência OD do LC3 nas semanas e nos períodos monitorados	177
Tabela 45. pH – média semanal entrada e saída, diferença de entrada e saída do pH do LC3 as semanas e nos períodos monitorados.....	178
Tabela 46. CE – média semanal entrada e saída, diferença de entrada e saída da CE no LC3 nas semanas e nos períodos monitorados.....	179
Tabela 47. Temperatura da água – média semanal entrada e saída, diferença de entrada e saída da temperatura no LC3 nas semanas e nos períodos monitorados.....	180
Tabela 48. Taxa de evapotranspiração, altura da lâmina d'água evaporada e TDH no LC4.....	188
Tabela 49. Vazão – média semanal entrada e saída, altura lâmina d'água evaporada e TDH no LC4 nas semanas e no período monitorado.....	202
Tabela 50. Concentração Fósforo – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC4 nas semanas e no período monitorado.....	203
Tabela 51. Carga Fósforo – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC4 nas semanas e no período monitorado.....	204
Tabela 52. Concentração de Nitrato – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC4 nas semanas e no período monitorado.....	205
Tabela 53. Carga de Nitrato – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC4 nas semanas e no período monitorado.....	206
Tabela 54. Concentração de nitrogênio amoniacal – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC4 nas semanas e no período monitorado	207
Tabela 55. Carga de nitrogênio amoniacal – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC4 nas semanas e no período monitorado	208
Tabela 56. Concentração de DQO – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC4 nas semanas e no período monitorado.....	208
Tabela 57. Carga de DQO – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC4 nas semanas e no período monitorado.....	209

Tabela 58. OD – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC4 nas semanas e no período monitorado	210
Tabela 59. pH – média semanal entrada e saída, diferença entrada – saída do LC4 nas semanas e no período monitorado	211
Tabela 60. CE – média semanal entrada e saída, diferença entrada – saída do LC4 nas semanas e no período monitorado	212
Tabela 61. Temperatura da água – média semanal entrada e saída, diferença entrada – saída do LC4 nas semanas e no período monitorado	212
Tabela 62. Taxa de evapotranspiração, altura da lâmina d'água evaporada e TDH no LC5.....	225
Tabela 63. Vazão – média semanal entrada e saída, altura lâmina d'água evaporada e TDH no LC5 nas semanas e nos períodos monitorados	242
Tabela 64. Concentração de fósforo total – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC5 nas semanas e nos períodos monitorados	243
Tabela 65. Carga Fósforo total– média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC5 nas semanas e nos períodos monitorados	244
Tabela 66. Concentração de Nitrato – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC5 nas semanas e nos períodos monitorados	245
Tabela 67. Carga de Nitrato – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC5 nas semanas e nos períodos monitorados.....	246
Tabela 68. Concentração de nitrogênio amoniacal – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC5 nas semanas e nos períodos monitorados.....	247
Tabela 69. Carga de nitrogênio amoniacal – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC5 nas semanas e nos períodos monitorados	248
Tabela 70. Concentração de DQO – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC5 nas semanas e nos períodos monitorados	249
Tabela 71. Carga de DQO – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC5 nas semanas e nos períodos monitorados.....	250
Tabela 72. Concentração de OD – média semanal entrada e saída, diferença entrada-saída e do LC5 nas semanas e nos períodos monitorados	251
Tabela 73. pH – média semanal entrada e saída, diferença entrada-saída do LC5 nas semanas e nos períodos monitorados	252
Tabela 74. CE – média semanal entrada e saída, diferença entrada-saída do LC5 nas semanas e nos períodos monitorados	253
Tabela 75. Temperatura da água – média semanal entrada e saída, diferença entrada-saída do LC5 nas semanas e nos períodos monitorados	254
Tabela 76. Média das variáveis de entrada para o LC1, LC2 e LC3 e os p-valores na escala horária, antes da poda, de acordo com o Teste Kruskal-Wallis.....	256
Tabela 77. Média das variáveis de entrada para o LC1, LC2 e LC3 e os p-valores na escala horária, depois da poda, de acordo com o Teste Kruskal-Wallis.....	257
Tabela 78. Média das variáveis de entrada para o LC4 e LC5 e os p-valores na escala horária, antes da poda, de acordo com o Teste Mann-Whitney.....	257
Tabela 79. Média das variáveis de entrada para o LC4 e LC5 e os p-valores na escala horária, depois da poda, de acordo com o Teste Mann-Whitney.....	257
Tabela 80. Diferença média das variáveis entre a entrada e a saída para todos os LC e seus respectivos p-valores, na escala horária, antes da poda, de acordo com o Teste Kruskal-Wallis	258
Tabela 81. P-valores para o teste de Mann-Whitney cuja hipótese nula foi rejeitada no teste de Kruskal-Wallis para as variáveis na escala horária, antes da poda.....	259
Tabela 82. Diferença das variáveis entre a entrada e a saída do LC para todos os LC com valores médios e os p-valores na escala horária, depois da poda, de acordo com o Teste Kruskal-Wallis.....	260
Tabela 83. P-valores do teste de Mann-Whitney cuja hipótese nula foi rejeitada no teste de Kruskal-Wallis para as variáveis em escala horária, depois da poda	261
Tabela 84. Média para as variáveis de entrada para o LC1, LC2 e LC3 e os p-valores para as variáveis na escala diária, antes da poda, de acordo com o Teste Kruskal-Wallis.....	262
Tabela 85. Média para as variáveis de entrada para o LC1, LC2 e LC3 e os p-valores na escala diária, depois da poda, de acordo com o Teste Kruskal-Wallis	262

Tabela 86. Média para as variáveis de entrada para o LC4 e LC5 e os p-valores para as variáveis na escala diária, antes da poda, de acordo com o Teste Mann-Whitney.....	263
Tabela 87. Média para as variáveis de entrada para o LC4 e LC5 e os p-valores para as variáveis na escala diária, depois da poda, de acordo com o Teste Mann-Whitney.....	264
Tabela 88. Média das variáveis de diferença entre a entrada e a saída para todos os LC e os p-valores na escala diária, antes da poda, de acordo com o Teste Kruskal-Wallis.....	265
Tabela 89. Teste de Mann-Whitney com os LC pareados indicando os p-valores para a diferença de entrada e a saída das variáveis na escala diária, antes da poda.....	266
Tabela 90. Média das variáveis de diferença entre a entrada e a saída para todos os LC com p-valores, na escala diária, depois da poda, de acordo com o Teste Kruskal-Wallis.	267
Tabela 91. TDH médio nos LC no período antes da poda e depois da poda e valor de P de acordo com o Teste Kruskal-Wallis.....	268
Tabela 92. Índice de área foliar (IAF) máximo nos períodos de monitoramento.....	270
Tabela 93. Produção de biomassa verde e seca e quantidade total de nutrientes exportados pela poda	272
Tabela 94. Vazões médias de entrada para cada LC nos períodos monitorados, antes e depois da poda...	274
Tabela 95. TDH médio para cada LC nos períodos monitorados, antes e depois da poda.....	274
Tabela 96. Altura média da lâmina d'água evaporada nos LC nos períodos monitorados, antes e depois da poda	275
Tabela 97. Concentração diária de entrada de fósforo total com mínima e máxima nos LC durante o período estudado	275
Tabela 98. Eficiência média de retenção da massa de fósforo total nos LC para os períodos monitorados, antes e depois da poda e eficiência total.....	278
Tabela 99a. Eficiência máxima e mínima de retenção da massa de fósforo total nos LC para os períodos monitorados, antes e depois da poda.....	279
Tabela 100. Massa de fósforo total retida no período estendido antes da poda (72 dias), depois da poda (34 dias).....	279
Tabela 101. Concentração diária de entrada de nitrato com mínima e máxima nos LC durante o período estudado.....	280
Tabela 102. Eficiência média de Retenção da massa de nitrato nos LC para os períodos monitorados, antes e depois da poda	281
Tabela 103a. Eficiência máxima e mínima de retenção da massa de nitrato nos LC para os períodos monitorados, antes e depois da poda.....	282
Tabela 104. Massa de nitrato retida no período estendido antes da poda (72 dias), depois da poda (34 dias)	282
Tabela 105. Concentração diária de entrada de nitrogênio amoniacal com mínima e máxima nos LC durante o período estudado.....	283
Tabela 106. Eficiência média de retenção da massa de nitrogênio amoniacal nos LC para os períodos monitorados, antes e depois da poda.....	284
Tabela 107a. Eficiência máxima e mínima de retenção da massa de nitrogênio amoniacal nos LC para os períodos monitorados, antes e depois da poda.....	284
Tabela 108. Massa de nitrogênio amoniacal retida no período estendido antes da poda (72 dias), depois da poda (34 dias).....	285
Tabela 109. Concentração diária de entrada de DQO com mínima e máxima nos LC durante o período estudado.....	286
Tabela 110. Eficiência média de retenção da carga de DQO nos LC para os períodos monitorados, antes e depois da poda	287
Tabela 111a. Eficiência máxima e mínima de retenção da massa de DQO nos LC para os períodos monitorados, antes e depois da poda.....	287
Tabela 112. Massa de DQO retida no período estendido antes da poda (72 dias), depois da poda (34 dias)	288
Tabela 113. Concentração diária de OD no afluente com mínima e máxima nos LC durante o período estudado.....	289
Tabela 114. Diferença entre a concentração de entrada de OD e a concentração de saída de OD dos LC nos períodos monitorados, antes e depois da poda.....	289
Tabela 115. Diferença entre o pH de entrada e o pH de saída dos LC nos períodos monitorados, antes e depois da poda	290

Tabela 116. Diferença entre a CE de entrada e a CE de saída dos LC nos períodos monitorados, antes e depois da poda	290
Tabela 117. Diferença entre a temperatura da água de entrada e a temperatura da água de saída dos LC nos períodos monitorados, antes e depois da poda.....	291

LISTA DE ABREVIATURAS

AF – Área foliar
AP – antes da poda
CE - Condutividade elétrica
CEASA - Centrais de Abastecimento Campinas S.A
CEPAGRI – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura
CIIAGRO – Centro Integrado de Informações Meteorológicas
DBO – Demanda bioquímica de oxigênio
DJ – Dia juliano
DP – depois da poda
DQO - Demanda química de oxigênio
EVPT - evapotranspiração
FEA – Faculdade de Engenharia de Alimentos
FEAGRI – Faculdade de Engenharia Agrícola
IAC – Instituto Agrônomo de Campinas
IAF - Índice de área foliar
IDL – Interactive Data Language
LAA – Laboratório de Análise e Alimentos
LC – Leito cultivado/ Leitos cultivados
LCFS - Leito cultivado de fluxo superficial
LCFSS - Leito cultivado de fluxo subsuperficial
LCFV - Leito cultivado de fluxo vertical
N – Nitrogênio
Nt – Nitrogênio total
OD – Oxigênio dissolvido
OMS – Organização mundial da Saúde
P – Fósforo
pH – Potencial hidrogeniônico
Pt - Fósforo total
Q – Vazão
RAC – Reator anaeróbio compartimentado

TDH – Tempo de detenção hidráulico

Temp - Temperatura

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

UR – Umidade relativa

Vol – Volume

RESUMO

O presente estudo trabalhou com leitos cultivados (LC) avaliando a capacidade de retenção exportação de nutrientes, nitrogênio e fósforo, a partir da poda das plantas. Os LC foram utilizados no pós-tratamento de efluentes de esgoto doméstico pós reatores anaeróbios compartimentados (RAC) utilizando plantas ornamentais: *Hedychium coronarium*; *Heliconia psittacorum*; *Cyperus alternifolius* e *Colocasia esculenta*. O monitoramento da água foi realizado a partir da avaliação da quantidade e qualidade. Os parâmetros para a avaliação da quantidade da água foram: volume, vazão, tempo de detenção hidráulica (TDH) e evaporação/evapotranspiração e para a qualidade da água foram: concentração, carga e eficiência de retenção para o fósforo total (P_T), o nitrato (NO_3^-), o nitrogênio amoniacal (NH_3) e a demanda química de oxigênio (DQO). Além da concentração de oxigênio dissolvido (OD), pH, condutividade elétrica (CE) e temperatura da água. O monitoramento da vegetação, foi realizada a partir do índice de área foliar (IAF), altura e densidade das plantas. A determinação da exportação dos nutrientes foi realizada após a poda com a pesagem total da biomassa verde e seca para cada LC e análise foliar. A vazão afluyente dos LC variou de 0,9 a 1,0 m³/dia, resultando num TDH médio de 1,25 dias. A concentração afluyente dos LC de P_T , NO_3^- , NH_3 e DQO foram em média 3,5 mg/L, 1,7 mg/L, 36,7 mg/L e 92,7 mg/L, respectivamente. A eficiência média de retenção para a massa de P_T , NO_3^- , NH_3 e DQO, entre os quatro LC foi de 6,4%, 18,3%, 6,4%, 26,1%, respectivamente. A remoção/exportação média de nutrientes entre todos os LC foi de 14,4g/m² para o nitrogênio e de fósforo foi de 2,9g/m². Dentre os parâmetros analisados para a eficiência de retenção e exportação de nutrientes o LC com *Heliconia psittacorum* mostrou-se mais eficiente. Concluiu-se que os LC vegetados com plantas ornamentais mostraram potencial favorável na complementação do tratamento de efluentes domésticos, em especial na retenção de nutrientes e matéria orgânica. A utilização das plantas ornamentais também contribuiu para a composição paisagística, transformando o local num “jardim alagado”.

PALAVRAS-CHAVE: *wetlands* construídos; retenção nitrogênio e fósforo; macrófitas ornamentais; monitoramento da água; jardim alagado.

ABSTRACT

This study evaluated the ability of constructed wetlands (CW) with ornamental plants to retain /export nutrients as nitrogen and phosphorus. The CW were used in the domestic sewage post-treatment effluent after anaerobic baffled reactor (ABR) using the macrophytes as *Hedychium coronarium*, *Heliconia psittacorum*, *Cyperus alternifolius* and *Colocasia esculenta*. The analysis methods consisted in monitoring water quantity and quality as well as vegetation indicators. Volume, flow, hydraulic retention time (HRT) and evapotranspiration were used as water quantity parameters. Concentration, charge and retention efficiency for total phosphorus (TP), the Nitrate (NO_3^-), the ammonia (NH_3) and chemical oxygen demand (BOD) as well as the dissolved oxygen (DO), pH, electrical conductivity (EC) and water temperature were used as water quality indicators. Leaf area index (LAI), height and density of plants were used as vegetation indicators. The nutrients export was determined after the plants pruning using leaf analysis and the weight of fresh and dry total biomass for each CW. The CW influent flow ranged from 0,9 to 1,0 m³/day, resulting in an average HRT of 1,25 days. The CW influent concentration of PT, NO_3^- , NH_3 and COD were on average 3,5 mg/L, 1,7 mg/L, 36,7 mg/L and 92,7 mg/L, respectively. The average mass retention efficiency of PT, NO_3^- , NH_3 and COD among the four CW was 6,4%, 18,3%, 6,4%, 26,1%, respectively. Average nutrient removal/export among all CW was 14,4 g/m² for nitrogen and 2,9 g/m² for phosphorus. The results showed that the *Heliconia psittacorum* CW was more efficient in the retention efficiency and nutrient export. The conclusion of this study is that CW vegetated with ornamental plants exhibit a good potential for wastewater treatment particularly the retention of nutrients and organic matter. Also the use of ornamental plants contributed to the landscape composition, turning the site into a "garden wetland."

KEYWORDS: constructed wetlands, nitrogen and phosphorus retention; ornamental macrophytes; water monitoring; garden wetland.

1. INTRODUÇÃO

O meio ambiente vêm sendo degradado de diferentes formas. Dentre as formas de degradação estão à insuficiência de investimento em saneamento básico; a intensa poluição dos recursos hídricos; a deficiência no sistema de drenagem; a ocupação das várzeas; as precárias condições para a destinação do lixo; a diminuição de áreas verdes; a poluição do ar (VON SPERLING et al., 2007).

Aproximadamente 80% de todas as doenças de origem hídrica e mais de um terço das mortes em países em desenvolvimento, são causadas pelo consumo de água contaminada (HESPANHOL, 1999).

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), “saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre seu bem estar físico, mental e social”. A OMS conceitua saúde como o estado de completo bem estar físico, mental e social e, não apenas a ausência de doença (CGEE, 2008). Essas definições, e outras formuladas visando conceituar o saneamento, deixam claro que saneamento constitui um conjunto de ações sobre o ambiente físico que abrange serviços como a coleta; o tratamento e disposição ambientalmente adequada e sanitariamente segura dos esgotos sanitários (rejeitos provenientes das atividades domésticas, comerciais e serviços, industriais e públicos), visando o controle ambiental, cujo objetivo é proteger a saúde do homem e a preservação ambiental (CGEE, 2008).

Nos esgotos domésticos, a presença da fração de 0,1% de elementos sólidos é responsável pelos problemas de poluição das águas trazendo à necessidade de tratamento desses efluentes (VON SPERLING et al., 2007).

O tratamento de esgoto no Brasil atende 52% dos municípios e 33,5% dos domicílios. É o serviço básico com menor cobertura nos municípios brasileiros. Desses 52% dos municípios que têm esgotamento sanitário, 32,0% têm serviço de coleta e 20,2% coletam e tratam o esgoto. Em volume, no país, diariamente, 14, 5 milhões m³ de esgoto são coletados, sendo que apenas 5,1 milhões m³ são tratados. O Sudeste é a região que tem a maior proporção de municípios com esgoto coletado e tratado (33,1%), seguido do Sul (21,7%), Nordeste (13,3%), Centro-Oeste (12,3%) e Norte (3,6%) (IBGE 2000).

Diante desse enorme déficit sanitário, aliado ao quadro epidemiológico e ao perfil sócio-econômico das comunidades brasileiras, constata-se a necessidade de sistemas simplificados de coleta e tratamento de esgotos (CHERNICHARO, 2003).

Há décadas, a gestão de resíduos e tratamento de efluentes tem um grande desafio de diversos setores produtivos. Buscam-se soluções que envolvam adequação de efluentes líquidos aos padrões de qualidade aceitáveis e um tratamento de resíduos que garanta o menor impacto ambiental possível. Nos últimos anos, o tratamento de efluentes vem evoluindo e ganhando contribuições tecnológicas importantes, uma vez que as restrições legais para seu lançamento são cada vez maiores (CGEE, 2008).

No Brasil, instituições e pesquisadores têm se dedicado a trabalhos de pesquisa fundamental e aplicada na área de tratamento de esgoto, disponibilizando desta forma, uma contribuição significativa para a evolução e uma maior disseminação da tecnologia de tratamento de águas residuárias. Entre estas pesquisas, encontram-se as que estudam o potencial do sistema de leitos cultivados no tratamento alternativo de esgotos sanitários. Segundo Von Sperling (2005), esses sistemas baseiam no uso extensivo de espaço físico e dependem basicamente da habilidade natural de certas plantas macrófitas e suas associações microbianas para despoluição da água. Os leitos cultivados apresentam simplicidade conceitual e operacional, baixo custo de manutenção e operação. Sua simplicidade conceitual está associada a processos menos mecanizados e, portanto, mais econômicos.

O presente estudo teve como objetivo quantificar a eficiência da retenção de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e matéria orgânica no pós-tratamento de efluentes, provenientes de reatores anaeróbios compartimentados (RAC), utilizando leitos cultivados de fluxo subsuperficial (LCFSS) com as plantas: *Hedychium coronarium*, *Heliconia psittacorum*, *Cyperus alternifolius* e *Colocasia esculenta*.

A hipótese desse trabalho admite que a utilização das plantas, *Hedychium coronarium*, *Heliconia psittacorum*, *Cyperus alternifolius* e *Colocasia esculenta*, em leitos cultivados de fluxo subsuperficial retêm nutrientes e matéria orgânica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Sistemas de leitos cultivados

As *wetlands* naturais são filtros biológicos compostos por água, substrato, planta e microrganismos que interagem, incorporando ações naturais de depuração da água (WOOD, 1995). Ocorrem em solos alagados, em áreas de baixa declividade, com água acumulada na superfície do solo permanentemente ou intermitente (GOPAL, 1999; HABERL, 1999; ANJOS, 2003)

As *wetlands* construídas, por sua vez, são ecossistemas artificiais que reproduzem as características de *wetlands* naturais, utilizando plantas aquáticas e substratos (brita, areia, bambu, casca de arroz, entre outros). São construídos de forma específica com o objetivo de tratar efluentes, combinando processos químicos, físicos e biológicos (Figura 1) (GOPAL, 1999; HABERL, 1999; ANJOS, 2003).



Figura 1. Exemplos de *Wetlands* construídas. (a) * (b) †

A definição de leitos cultivados (LC) ou alagados naturais pode ser baseada nas características de solo e na tipicidade das espécies das plantas adaptadas ao sistema (HAMMER, 1997). Os processos físico-químicos e biológicos existentes nos leitos cultivados promovem a remoção de substâncias potencialmente poluidoras dos recursos hídricos e são influenciados por: tipo de planta, fluxo do efluente, meio suporte (substrato) e principalmente,

* Fonte: KLETECKE, 2008. Campinas, SP.Brasil. Arquivo particular.

† Fonte: KLETECKE, 2008. Campinas, SP.Brasil. Arquivo particular.

pelas características do efluente que a ser tratado (BARRETO, 2005). A grande diversidade de características físicas, químicas e biológicas existentes nos alagados é diretamente responsável pela biodiversidade das plantas presentes neste sistema de leitos cultivados (KADLEC e KNIGHT, 1996).

Os leitos cultivados são considerados filtros biológicos, onde os microorganismos aeróbios e anaeróbios, que estão fixados no meio suporte, onde as plantas estão estabelecidas são os principais responsáveis pelas reações de purificação da água (WOOD, 1995). Os microorganismos com sua diversidade genética e adaptabilidade funcional são capazes de degradar substâncias adversas presentes na água, promovendo, assim, seu crescimento e reprodução. Com isto, acompanha-se a modificação da qualidade da água, por meio das modificações químicas, físicas e biológicas presentes (MELO JUNIOR, 2005)

Os LC de maneira geral podem ser utilizados no tratamento de águas de abastecimento captadas de rios e lagos poluídos; águas residuárias domésticas, em nível primário, secundário e/ ou terciário; águas de precipitação pluvial coletada em rodovias, áreas urbanas e rurais; drenagens ácidas provenientes de algumas atividades industriais e agrícolas; águas subterrâneas com alto teor de nitrato; lodo produzido nos tratamentos biológicos convencionais (redução de volume e estabilização) entre outros usos (KADLEC e KNIGHT, 1996; HABERL et al., 1995; MITCHELL et al., 1995; MANFRINATO et al., 1993).

O tratamento de águas residuárias a partir dos LC é caracterizado por vazões relativamente pequenas. Isso beneficia o tratamento de águas residuárias de pequenas comunidades e pequenas indústrias, embora não seja restrito somente a esses casos (LAUTENSCHLAGER, 2001).

Os benefícios oferecidos pelo sistema de LC são: baixo custo de implantação e operação, simplicidade operacional, índices mínimos de mecanização e sustentabilidade como um todo (CHERNICHARO, 2003).

No Brasil, *wetlands* são referenciados pelo próprio termo em inglês, *wetlands* (terras úmidas), *constructed wetlands* e, por *wetlands* construídas, áreas alagadas, alagados construídos ou artificiais, várzeas artificiais, áreas inundadas, leito de raízes, zona de raízes, zonas úmidas, filtros plantados, tanques de macrófitas, filtros plantados com macrófitas, alagados naturais, terras úmidas construídas, leitos cultivados, entre outros. No presente estudo, será utilizado o termo Leitos Cultivados (LC).

2.1.1. Classificação dos leitos cultivados (LC)

De acordo com o tipo de fluxo adotado, os LC classificam-se em: leito cultivado de fluxo superficial (LCFS), leito cultivado de fluxo vertical (LCFV) e leito cultivado de fluxo subsuperficial (LCFSS) (VYMAZAL, 1998; WOOD, 1995; USEPA, 1988).

2.1.1.1. Leitos cultivados de fluxo superficial (LCFS)

Os LCFS são constituídos por canais com algum tipo de barreira superficial, geralmente o próprio solo, que fornece condições de desenvolvimento para as plantas e a água flui a uma pequena profundidade, possibilitando o contato de pessoas e animais diretamente com a água (Figura 2) (VYMAZAL, 1998; WOOD, 1995; USEPA, 1988)

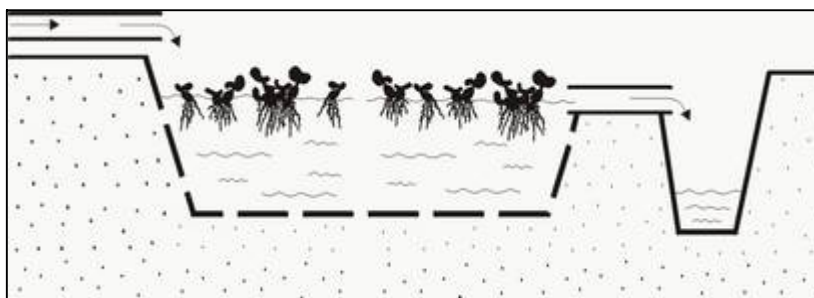


Figura 2. Desenho esquemático de um LCFS*

2.1.1.2. Leitos cultivados de fluxo vertical (LCFV)

Os leitos cultivados de fluxo vertical (LCFV) são constituídos de filtros de escoamento vertical intermitente, preenchidos com brita ou areia e nível d'água abaixo do meio suporte, impedindo o contato direto de pessoas e animais (Figura 3) (VYMAZAL, 1998; WOOD, 1995; USEPA, 1988).

* Fonte: Figura adaptada de Brix (1993).

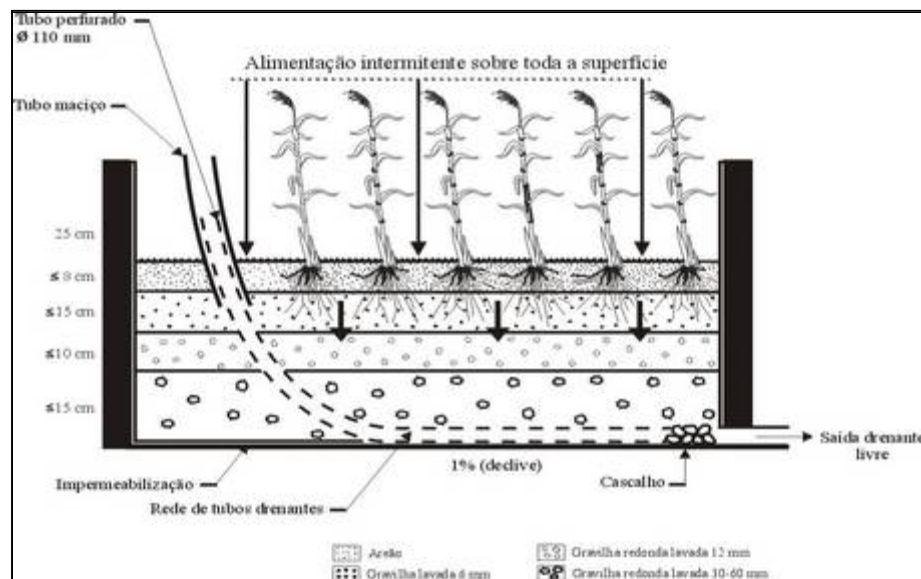


Figura 3. Desenho esquemático de um LCFV.*

2.1.1.3. Leitos cultivados de fluxo subsuperficial (LCFSS)

Os leitos cultivados de fluxo subsuperficial (LCFSS) são filtros lentos horizontais preenchidos com brita ou areia como meio suporte, onde as raízes das plantas se desenvolvem. Tem como vantagem impossibilitar o contato direto de pessoas e animais com a lâmina de água e, não oferecer condições propícias para o desenvolvimento e proliferação de insetos (Figura 4) (ROSTON, 1994).

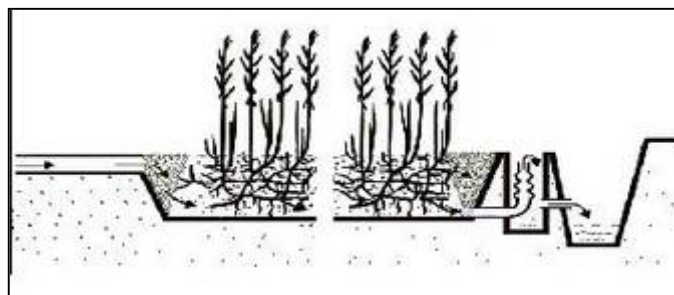


Figura 4. Desenho esquemático de um LCFSS.†

* Fonte: adaptada de Cooper *et al.* (1998)

† Fonte: Figura adaptada de Brix (1993).

Nos LCFSS o efluente a ser tratado é disposto na porção inicial do leito, denominada *zona de entrada* – geralmente composta por brita, de onde irá percolar vagarosamente pelo material filtrante até atingir a porção final, também composta por brita e chamada de *zona de saída*. Esta percolação tende a seguir na horizontal e é impulsionada por uma pequena declividade no fundo do LC. Durante a passagem, o esgoto entra em contato com regiões aeróbias, anóxicas e anaeróbias. A camada aeróbia é mais evidente ao redor das raízes das plantas, pois estas tendem a transportar oxigênio da parte aérea para as raízes e, sobretudo, ocorrem nesta porção do leito filtrante uma significativa convecção e difusão de oxigênio atmosférico (SEZERINO e PHILIPPI, 2000). Quando da passagem do efluente na rizosfera ocorre uma depuração através de processos químicos, físicos e, mais efetivamente, devido à degradação microbiológica (COOPER et al. 1996; BRIX, 1997).

Os princípios básicos dos LCFSS são a filtração e a formação de biofilme aderido ao meio suporte e as raízes das plantas, onde os microrganismos aeróbios e anaeróbios degradam a matéria orgânica e promovem a transformação da série nitrogenada – nitrificação e desnitrificação. O oxigênio requerido é suprido pelas macrófitas e pela convecção e difusão atmosférica (COOPER et al., 1996; BRIX, 1997).

2.2. Plantas utilizadas no sistema de leitos cultivados

As plantas cultivadas no sistema de leitos cultivados recebem várias denominações como: hidrófitas, macrófitas aquáticas, hidrófitas vasculares, plantas aquáticas ou plantas aquáticas vasculares (GUNTENSPERGEN et al. 1988). De modo geral, o termo *macrófitas* é o mais utilizado para os sistemas de leitos cultivados.

As macrófitas são plantas que crescem em ambientes de transição entre sistemas aquáticos e terrestres e produzem quantidades expressivas de matéria seca, com elevado teor de nutrientes (FERREIRA et al., 2003; MANNARINO et al., 2006; MAZZOLA, 2005).

As macrófitas podem ocupar extensas áreas e seu desenvolvimento reflete a qualidade da água em que vivem. São divididas em três categorias:

a) Flutuantes: podem estar fixadas ou não ao fundo e sua folhagem principal flutua na superfície da água- Ex.: *Lemna* sp, *Spirodela* sp, *Eichhornia crassipes*, *Wolffia arrhiza*, *Azolla caroliniana*, etc.;

b) Submergentes: crescem sob a água e podem ou não estar fixadas por raízes- Ex.: *Elodea nuttallii*, *Egeria densa*, *Ceratophyllum demersum*, entre outras;

c) Emergentes: sua folhagem principal está em contato com o ar e suas raízes estão fixadas ao solo ou substrato. Ex.: *Scirpus* sp, *Phragmites australis*, *Typha* sp, *Canna flaccida*, *Eleocharis* sp, *Juncus* sp, etc (BRIX, 1993; WETZEL, 1983)

As macrófitas, como todas as demais plantas, requerem nutrientes para seu crescimento e reprodução. Estudos sobre a variação mensal ou sazonal da composição química de macrófitas têm mostrado que, em relação a alguns elementos como o fósforo, nitrogênio e compostos como carboidratos, proteínas e lipídios, as concentrações variam constantemente. Estas variações estariam ligadas à dinâmica da comunidade de macrófitas, à disponibilidade de nutrientes do meio e a fatores climáticos, que possibilitam estocar, metabolizar, translocar ou mesmo excretar para o ambiente (ESTEVES, 1998).

A utilização das macrófitas no tratamento de efluentes apresenta benefícios como: controle de odores; tratamento de efluentes; controle de insetos e benefícios estéticos (paisagísticos) (VALENTIM, 1999). Na Tabela 1 estão destacadas as algumas das ações produzidas pelas macrófitas nos LC.

Tabela 1. Papel das macrófitas em leitos cultivados no tratamento de efluentes *

Propriedade das macrófitas	Ação promovida no tratamento de efluentes
Parte aérea (tecidos)	- Atenuação da luminescência = redução do crescimento de fitoplâncton; - Potencial estético – embelezamento paisagístico; - Armazenamento de nutrientes.
Tecido da planta em contato com a água	- Promoção da filtração; - Dispõem de grande área para aderência dos microorganismos; - Liberação de oxigênio devido à fotossíntese = armazenamento na taxa de degradação aeróbia da matéria orgânica; - Retirada de nutrientes.
Raízes e rizomas em contato com o substrato	- Prevenção à erosão; - Liberação de oxigênio = auxílio na degradação aeróbia da matéria orgânica e na nitrificação; - Retirada de nutrientes; - Liberação de antibióticos.

* Fonte: adaptada de BRIX (1997); SEZERINO (2006).

2.3. Fatores que atuam nos leitos cultivados

Dentre os processos físicos, químicos e biológicos promovidos pelos elementos constituintes do meio (substrato, microorganismos e plantas) nos LC, destacam-se: Vazão (Q); Temperatura da água (Temp); pH; Condutividade elétrica (CE); Oxigênio dissolvido (OD); Demanda química de oxigênio (DQO) e Nutrientes - Nitrogênio (N) e Fósforo (P) (PHILIPPI e SEZERINO, 2004). Outros fatores como temperatura do ar; radiação solar e pluviosidade também são fatores atuantes nos LC.

a) Temperatura da água

A temperatura da água é um dos fatores mais importantes na seleção das espécies porque afeta o crescimento microbiano. Os microrganismos não possuem meios de controlar sua temperatura interna, por isso, a temperatura interior das células é determinada pela temperatura ambiente externa (VON SPERLING et al., 2003). O efluente dos LC apresenta temperatura aproximadamente igual à temperatura do ar, uma vez que há um balanço entre as formas de transferência dominantes: ganhos através da energia solar e perdas através de energia evaporativa. Temperaturas baixas aumentam a solubilidade do oxigênio na água, porém diminuem a atividade microbiana. A medição da temperatura possibilita identificar o efeito das reações físicas, químicas e biológicas e sobre a taxa de transferência de gases, uma vez que elevadas temperaturas aumentam essas taxas (VON SPERLING, 2005).

b) Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH representa a concentração de íons hidrogênio H^+ (em escala antilogarítima), dando uma indicação sobre a condição da água quanto às características de acidez, neutralidade e alcalinidade. Sendo assim, um pH menor que sete ($pH < 7$) é ácido; pH igual a sete ($pH = 7$) é neutro e pH maior que sete é alcalino ($pH > 7$) (VON SPERLING, 2005). A concentração de íons hidrogênio (pH) influencia nas transformações bioquímicas, afetando o

equilíbrio das formas de ácido e bases ionizadas e não ionizadas, e na solubilidade de determinados gases e sólidos (KADLEC e KNIGHT, 1996). Os valores de pH quando afastados da neutralidade tendem a afetar as taxas de crescimento dos microrganismos envolvidos no tratamento de águas residuárias (VON SPERLING, 2005). Existem microrganismos responsáveis pelo tratamento biológico dos LC que sobrevivem somente em ambientes com pH entre 4,0 e 9,5, enquanto os microrganismos desnitrificantes preferem os ambientes com pH entre 6,5 a 7,5 e os nitrificantes preferem pH igual ou maior que 7,0 (METCALF e EDDY, 1991).

Collaço (2001) encontrou diferença estatística a 1% e a 5% de significância para o pH, trabalhando com dois LC, um com substrato de brita e outro com substrato de pneu picado, ambos com *Typha* sp. O LC com brita apresentou pH mais alto (7,38) e o LC com pneu picado pH de 7,15.

c) Condutividade elétrica (CE)

Condutividade elétrica é a medida da habilidade de uma solução aquosa para transportar uma corrente elétrica. Ela fornece de forma indireta o grau de sais minerais presentes no resíduo líquido de saída em relação aos valores de entrada: quanto maior a concentração total e a valência desses íons, maior será a condutividade elétrica (MELO JUNIOR, 2003)

d) Oxigênio dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido é vital para os organismos aeróbicos. Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo causar uma redução da concentração de oxigênio do meio. Caso o oxigênio seja totalmente consumido, têm-se as condições anaeróbicas (VON SPERLING, 2005).

Dentro dos LC, a concentração de oxigênio dissolvido na água é influenciada pela temperatura, sais dissolvidos presentes, atividades biológicas e meio suporte. O oxigênio residual dissolvido contido no fluxo de alimentação dos leitos é suplementado pelo oxigênio transferido a partir da atmosfera, pela superfície da água e por transporte convectivo a partir de folhas e caule

das plantas (KADLEC e KNIGHT, 1996). A maior parte do oxigênio transportado é utilizado pelas raízes e rizomas para a sua respiração e o excedente é liberado oxigenando sua rizosfera. É provável que a maior parte da transferência de oxigênio a partir da atmosfera para a coluna d' água no LC ocorra por aeração através da interface, uma vez que, o transporte de oxigênio para a rizosfera não parece exceder significativamente as taxas requeridas na respiração da planta, sendo insuficiente para satisfazer as demandas dos microorganismos heterotróficos (KADLEC e KNIGHT, 1996). A ocorrência de escape de oxigênio das raízes cria condições de oxidação, que juntamente com condições anóxicas presentes no LC, estimulam a decomposição aeróbia do material orgânico, o crescimento de bactérias nitrificantes e a inativação de compostos que seriam tóxicos às raízes das plantas (ARMSTRONG et al., 1990; BRIX, 1994; USEPA, 1988). Na rizosfera ocorre a justaposição de uma região aeróbia (presença de oxigênio) com outra anóxica (presença de nitrato) envoltas em uma grande região anaeróbia onde se têm o desenvolvimento de vários tipos de bactérias que motivam o processo de nitrificação-desnitrificação (ARMSTRONG et al., 1990; BRIX, 1994; USEPA, 1988).

e) Demanda química de oxigênio (DQO)

A matéria orgânica presente nos esgotos é uma característica de primordial importância, sendo a causadora do principal problema de poluição das águas: o consumo do oxigênio dissolvido pelos microrganismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica. Os principais componentes orgânicos são os compostos de proteínas, os carboidratos, a gordura e os óleos, além da uréia, surfactantes, fenóis, agroquímicos entre outros em menor quantidade. Há uma grande dificuldade na determinação laboratorial dos diversos componentes da matéria orgânica nas águas residuárias, face à multiplicidade de formas e compostos em que esta pode se apresentar. Por esse motivo, o parâmetro de DQO utiliza-se de métodos indiretos para a quantificação da matéria orgânica, ou seu potencial poluidor. A DQO é um dos parâmetros de maior importância na caracterização do grau de poluição de um corpo d' água retratando de forma indireta, o teor de matéria orgânica presente nos esgotos ou nos corpos hídricos, indicando, assim, o potencial do consumo do oxigênio dissolvido (VON SPERLING, 2005).

f) Nutrientes

Os nutrientes, nitrogênio e fósforo, são importantes para o crescimento das plantas. A proporção de nutrientes, carbono, nitrogênio e fósforo necessários para o ecossistema é representada como 106C:16N:1P. Porém, as águas residuárias normalmente possuem grande quantidade destes nutrientes, promovendo a eutrofização das águas superficiais (KADLEC e KNIGHT, 1996; VON SPERLING, 1996). A eutrofização das águas é um fenômeno causado pelo excesso de nutrientes em corpos d'água, rios, lagos, baía, estuário e oceanos, levando a proliferação excessiva de algas, que, ao entrarem em decomposição aumentam o número de microorganismos e a deterioração da qualidade dos corpos d' água.

- **Nitrogênio (N)**

Dentro do ciclo do nitrogênio na biosfera, esse se alterna entre várias formas e estados de oxidação como resultado de diversos processos bioquímicos. A medição do nitrogênio em tratamentos de efluentes está diretamente ligada:

- A importância no crescimento dos microrganismos responsáveis pelo tratamento de esgotos e nos processos de conversão do nitrogênio em termos de consumo de oxigênio, consumo de alcalinidade e sedimentação do lodo nesses tratamentos;

- Aos processos bioquímicos de conversão da amônia a nitrito e, desse, a nitrato, que implica no consumo de oxigênio dissolvido do meio e que em elevadas concentrações nos corpos hídricos, pode conduzir a um crescimento exagerado de algas promovendo o processo de eutrofização.

- no estágio da poluição (poluição recente está associada ao nitrogênio na forma orgânica ou de amônia, enquanto uma poluição mais remota está associada ao nitrogênio na forma de nitrato) e,

- a sua toxicidade, na forma de amônia livre em corpos d'água torna-se diretamente tóxica aos peixes e na forma de nitrato está associado a doenças como a metahemoglobinemia (VON SPERLING, 2005).

Nos LC as formas de nitrogênio encontradas em sua maioria são oriundas dos lançamentos de esgotos e variam desde compostos orgânicos até nitrogênio gasoso (PHILIPPI e SEZERINO, 2004).

No meio aquático, o nitrogênio pode ser encontrado na forma de nitrogênio molecular (N_2) (escapando para a atmosfera); na forma de nitrogênio orgânico dissolvido e em suspensão (uréia e matéria protéica); na forma de amônia (livre NH_3 e ionizada NH_4^+ ; esta última, predominante nos LC) e na forma de íon nitrito (NO_2^-) e de íon nitrato (NO_3^-) (VON SPERLING, 2005). Ainda segundo Von Sperling (2005), a ocorrência do nitrogênio como uma das formas anteriormente descritas, depende da distribuição de nitrogênio de acordo com as seguintes condições: água residuária bruta; poluição recente em um curso d'água; estágio intermediário da poluição em curso d'água; poluição remota em um curso d'água; efluente de tratamento sem nitrificação; efluente de tratamento com nitrificação ou efluente de tratamento com nitrificação/desnitrificação. A Tabela 2 mostra a distribuição relativa de nitrogênio, de acordo com distintas condições.

Tabela 2. Distribuição relativa de nitrogênio segundo distintas condições*

Condição	Forma predominante do nitrogênio
Água residuária bruta	Nitrogênio orgânico; Amônia
Poluição recente em um curso d'água	Nitrogênio orgânico; Amônia
Estágio intermediário da poluição em curso d'água	Nitrogênio orgânico; Amônia; Nitrito (em menores concentrações); Nitrato
Poluição remota em um curso d'água	Nitrato
Efluente de tratamento sem nitrificação	Amônia
Efluente de tratamento com nitrificação	Nitrato
Efluente de tratamento com nitrificação/desnitrificação	Concentrações mais reduzidas de todas as formas de nitrogênio

Nos esgotos domésticos brutos, as formas de nitrogênio predominantes são o nitrogênio orgânico e a amônia. O nitrogênio orgânico corresponde a grupamentos de amina e a amônia tem sua principal origem na uréia, que é rapidamente hidrolisada e raramente encontrada no esgoto bruto.

O nitrogênio total (N_T) é um nutriente indispensável para o desenvolvimento dos microorganismos no tratamento biológico, o N_T inclui o nitrogênio orgânico (na forma de

* Fonte: VON SPERLING (2005)

proteínas, aminoácidos e uréia); a amônia (produzida como primeiro estágio da decomposição do nitrogênio orgânico); o nitrito (estágio intermediário da oxidação da amônia e o nitrato (produto final da oxidação da amônia) (VON SPERLING, 2005).

Em curso d' água ou estações de tratamento de esgotos a amônia pode sofrer transformações posteriores. No processo de nitrificação a amônia é oxidada a nitrito e este a nitrato. No processo de desnitrificação os nitratos são reduzidos a nitrogênio gasoso. O Nt pode ser dividido em uma fração solúvel (dominada pela amônia) e uma fração particulada (associada aos sólidos orgânicos em suspensão). A maior parte do Nt nos esgotos domésticos tem origem fisiológica (VON SPERLING, 2005).

Os principais processos de transformação sofridos pelo nitrogênio nos LC são a amonificação, nitrificação, desnitrificação, fixação biológica e assimilação (MITSCH e GOSSELINK, 1993). O nitrogênio ainda pode ser mobilizado pelos processos físicos de decantação e suspensão de particulados; deposição a partir da atmosfera; difusão de formas dissolvidas; assimilação e translocação pelas plantas; volatilização da amônia; adsorção de nitrogênio solúvel pelo meio suporte (substrato) (KADLEC e KNIGHT, 1996).

a) Amonificação

Amonificação é o processo no qual o nitrogênio orgânico é convertido a nitrogênio inorgânico, especialmente a nitrogênio amônia pela ação de bactérias hidrolíticas. As taxas de conversão do nitrogênio orgânico à amônia são rápidas em zonas aeróbias e decrescem em zonas facultativas e anaeróbias (IWA, 2000; SEZERINO, 2006; WPCF, 1983).

O nitrogênio orgânico (proteínas e uréia) pode ser convertido a amônio (NH_4) ou amônia (NH_3) dependendo da faixa de pH. Em pH próximo da neutralidade, prevalece o surgimento de amônio e dióxido de carbono, bem como íon hidroxila que podem afetar a acidez do meio (COOPER et al. 1996).

Nos LC a taxa de amonificação é dependente da temperatura, do pH, da razão carbono/nitrogênio (C/N) residual e de nutrientes disponíveis no sistema (IWA, 2000; PHILIPPI e SEZERINO, 2004; SEZERINO, 2006).

b) Nitrificação

Nitrificação é o processo quimioautotrófico, usualmente definida como uma oxidação biológica da amônia a nitrato sob condições aeróbias e mediada basicamente por dois gêneros de microorganismos: *Nitrossomonas* e *Nitrobacter* (IWA, 2000; SEZERINO, 2006; WPCF, 1983). Estes dois gêneros de bactérias nitrificantes utilizam o dióxido de carbono e a alcalinidade do meio como fonte de carbono para a síntese de novas células (COOPER et al., 1996), porém esses organismos requerem também, oxigênio (O^2) comoceptor de elétrons durante a conversão da amônia a nitrito e, finalmente, a nitrato (IWA, 2000).

A nitrificação ocorre em duas etapas: a primeira é a conversão da amônia a nitrito, mediada pelas *Nitrossomonas*; a segunda, o nitrito formado é convertido a nitrato por meio das *Nitrobacter* (WPCF, 1983).

A taxa de oxidação da amônia – cinética da nitrificação é diretamente proporcional a taxa de crescimento dos organismos nitrificantes (WPCF, 1983). Entretanto, a velocidade desta transformação é influenciada por uma série de parâmetros: pH, alcalinidade, temperatura, fonte de carbono inorgânico, população microbiológica, concentração da amônia e a quantidade de oxigênio dissolvido (VYMAZAL, 1995; IWA, 2000).

A condição fundamental para a nitrificação é a presença de oxigênio dissolvido. Quanto maior a concentração de amônia a ser oxidada, maior será a necessidade de oxigênio dentro do maciço filtrante. Este oxigênio é carregado para o interior do maciço filtrante via convecção e difusão atmosférica e pelas macrófitas (SANTOS, 2009).

c) Desnitrificação

É um processo no qual microorganismos – bactérias quimioheterotróficas reduzem o nitrato a óxido nítrico, óxido nitroso e, finalmente, a nitrogênio gasoso, sob condições anóxicas (onde o oxigênio dissolvido não está presente sendo, então disponibilizado o oxigênio de fontes como nitrato, nitrito) (COOPER et al., 1996; WPCF, 1983).

Inúmeros são os gêneros de bactérias quimioheterotróficas capazes de reduzir o nitrato, entretanto, em ambiente aquático, as mais importantes são as *Pseudomonas*, *Aeromonas* e *Vibrio* (IWA, 2000; PHILIPPI e SEZERINO, 2004).

A desnitrificação ocorre em duas etapas: a primeira é a conversão do nitrato a nitrito e a segunda, é a redução deste nitrito a óxido nítrico, óxido nitroso e, finalmente, a nitrogênio gasoso. Os três últimos produtos são gases e escapam para a atmosfera (COOPER et al., 1996).

A presença de oxigênio dissolvido inibe o sistema enzimático necessário á desnitrificação. Outros parâmetros como pH e alcalinidade também são importantes no processo. Segundo Cooper et al. (1996), a faixa ótima de pH deve estar entre 7.0 e 8.0, entretanto, durante a desnitrificação há produção de alcalinidade, podendo resultar num aumento do pH.

As bactérias desnitrificantes devem ter a sua disposição, como fonte de energia, o carbono, matéria orgânica (SEZERINO, 2006).

d) Fixação biológica

É o processo de redução de gás nitrogênio amônia, realizado por bactérias autotróficas ou heterotróficas, algas e plantas mais evoluídas, sob condições anaeróbicas. Sua ocorrência nos LC está especialmente associada às plantas (MANSOR, 1998).

e) Assimilação do nitrogênio pelas macrófitas

A assimilação do nitrogênio ocorre a partir de vários processos biológicos de conversão de nitrogênio inorgânico em compostos orgânicos (formadores de células e tecidos nas plantas superiores, algas e microorganismo), ou seja, na biomassa das macrófitas, microorganismos e outros (KADLEC e KNIGHT, 1996).

As duas formas de nitrogênio geralmente utilizadas na assimilação são a amônia e o nitrato. Porém, a amônia é fonte preferencial, não necessitando de transformação para ser incorporada à biomassa, podendo ser transformada em energia rapidamente. Já o nitrato precisa ser reduzido pela enzima nitrato-redutase até amônio (KADLEC e KNIGHT, 1996; ESTEVES, 1998). Entretanto, a presença do íon amônio em altos níveis pode inibir a formação da enzima nitrato-redutase e conseqüentemente sua própria assimilação (ESTEVES, 1998).

Konnerup et al. (2009) quantificaram altas remoções de nitrogênio (N) em LC com *Canna indica* devido a sua rápida taxa de crescimento. Brasil et al. (2003) avaliaram tecido de plantas de *Typha* sp e também encontraram altas concentrações de nitrogênio. Melo Junior (2003) observou que as maiores reduções de nitrogênio nos LC ocorriam no período das 12 às 15 horas, quando as plantas de *Typha* sp apresentavam a maior quantidade de transpiração foliar diária. Almeida et al. (2007) observaram que dentre as plantas utilizadas, o *Hedychium coronarium* apresentou o melhor resultado na remoção de nitrogênio amoniacal e a *Urochloa mutica* na remoção do nitrato. A retenção de nitrogênio pelas plantas também foi confirmada por Ceballos et al. (2000) quando compararam LC com *Typha* sp ao leito somente com brita.

f) Adsorção no material filtrante

A adsorção é a mobilização do nitrogênio por meio de processo físico. Amônia não ionizada pode ser removida de uma solução por meio de reações de adsorção com detritos e sedimentos inorgânicos como o que ocorre nos LCFS e pela adsorção ao material filtrante nos LCFSS (KADLEC e KNIGHT, 1996). Mas esta capacidade de troca iônica da amônia com os minerais do material filtrante não é considerada como sendo uma forma de remoção permanente (COOPER et al., 1996). O ciclo simplificado do Nitrogênio pode ser observado na Figura 5.

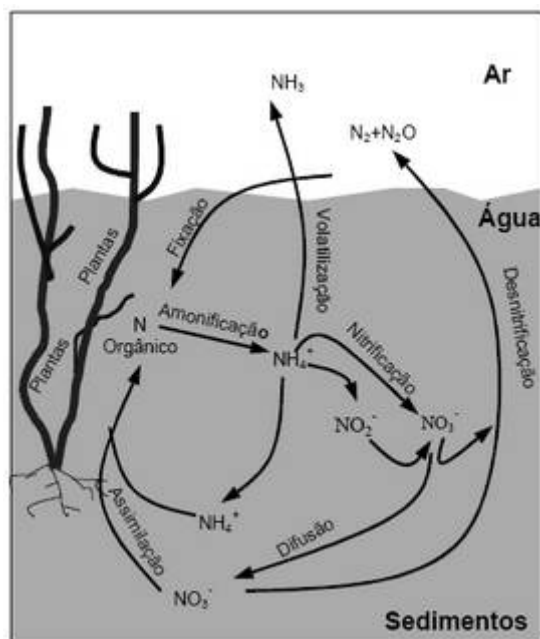


Figura 5. Ciclo simplificado do Nitrogênio*

- **Fósforo (P)**

O fósforo é um dos elementos essenciais para o crescimento dos microrganismos e algas. As maiores fontes de fósforo nas águas residuárias são provenientes da excretação humana ou animal, de detergentes ou outros produtos sintéticos e de elementos químicos utilizados no tratamento de água potável (VON SPERLING, 2005).

Concentrações elevadas de fósforo nos corpos d'água pode conduzir ao processo de eutrofização. A medição do fósforo no esgoto quantifica a relação carbono, nitrogênio e fósforo, em lançamentos de efluentes, identificando a existência de problemas de eutrofização (VON SPERLING, 2005).

Nos LC os mecanismos de retenção de fósforo contido nas águas residuárias incluem processos físicos, químicos e biológicos, envolvendo fenômenos de precipitação, sedimentação e, principalmente, adsorção. O mecanismo de remoção ocorre a partir da incorporação do fósforo na biomassa das macrófitas e sua poda regular (KADLEC e KNIGHT, 1996; ARIAS et al. 2001).

O fósforo na água apresenta-se principalmente nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico (IAWQ, 1995 citado por VON SPERLING, 2005).

* * Fonte: MITSCH e GOSSSELINK (1993)

Para o metabolismo biológico, os *ortofosfatos*, estão disponíveis sem necessidade de conversões para formas mais simples. A apresentação da forma dos ortofosfatos na água depende do pH e as mesmas variam (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , H_3PO_4), nos esgotos domésticos típicos a forma predominante é o HPO_4^{3-} . Os *polifosfatos* são moléculas mais complexas com dois ou mais átomos de fósforo, que se transformam em ortofosfatos pelo mecanismo da hidrólise em uma transformação normalmente lenta (METCALFY e EDDY, 1991).

Na água residuária bruta, o fósforo derivado de detergentes pode ser encontrado na forma de polifosfatos solúveis ou, após hidrólise, na forma de ortofosfatos. O fósforo dos detergentes pode representar 50% de fósforo total nos esgotos domésticos. Menor importância nos esgotos domésticos típicos, tem o fósforo orgânico, mas em águas residuárias industriais e lodos oriundos do tratamento de esgotos pode ser importante. O fósforo orgânico é convertido a ortofosfatos no tratamento de esgotos e nos corpos d'água receptores (METCALFY e EDDY, 1991).

O fósforo total (P_T) nos esgotos domésticos apresenta-se na condição de fosfatos nas seguintes formas: inorgânica (ortofosfatos e polifosfatos) - origem principal nos detergentes e outros produtos químicos domésticos e, orgânica (ligada a compostos orgânicos) – origem fisiológica (IAWQ, 1995 citado por VON SPERLING, 2005).

Nos esgotos, o fósforo, também pode ser dividido quanto à sua forma como sólidos em fósforo solúvel (predominantemente inorgânico) – principalmente polifosfatos e ortofosfatos (fósforo inorgânico), acrescidos de uma pequena fração correspondente ao fósforo ligado à matéria orgânica solúvel dos esgotos e, fósforo particulado (na forma orgânica) – ligado à matéria orgânica particulada dos esgotos. (IAWQ, 1995 citado por VON SPERLING, 2005).

Nos LC a quantia de fósforo é igual à soma de fósforo reativo solúvel (PO_4^{3-}) e particulado nas águas residuárias. A sedimentação de fósforo e a adsorção de fosfato nos sedimentos são os processos de retenção básicos ocorridos nos leitos. Além disto, o fosfato é assimilado pelas macrófitas e convertido a fósforo orgânico estrutural nos LC retornando à forma solúvel se a matriz orgânica for oxidada (MANSOR, 1998). As formas potenciais de retenção de fósforo em leitos cultivados incluem adsorção, precipitação, consumo pelas plantas e outros processos biológicos (USEPA, 1999). A Figura 6 mostra o esquema simplificado do ciclo biogeoquímico complexo do fósforo em LC.

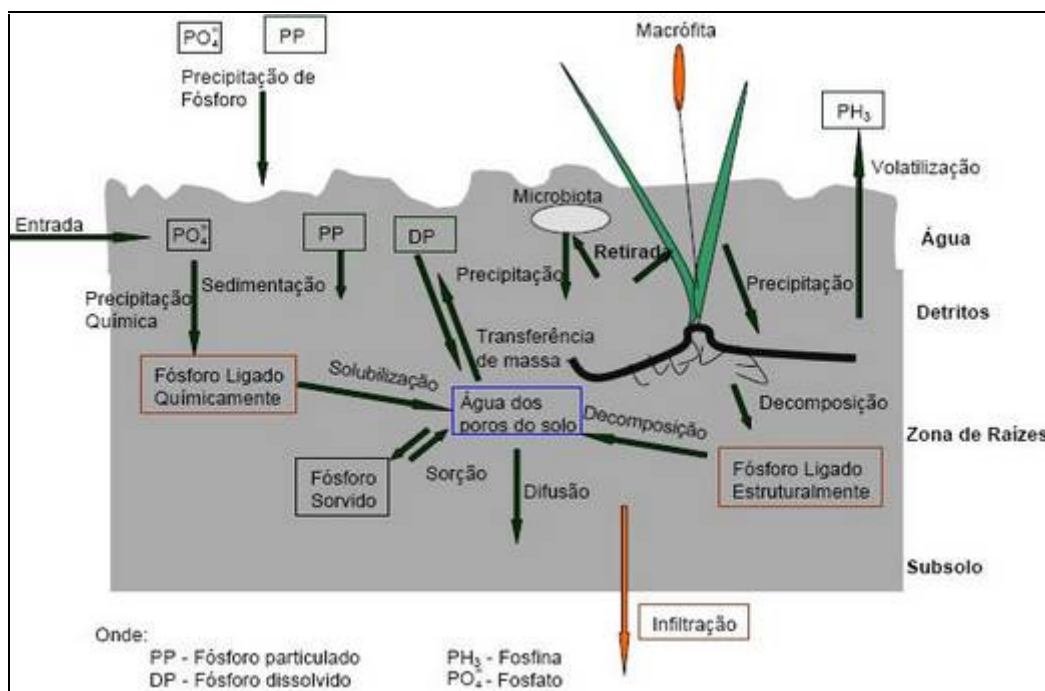


Figura 6. Esquema simplificado dos processos que ocorrem com fósforo em LC*

a) Assimilação de fósforo pelas plantas

A fase de crescimento e a época de floração é o período em que ocorre maior assimilação de fósforo pela plantas e quando a poda dessa vegetação é praticada regularmente pode representar uma retirada total de fósforo de 20 a 30%. Por isso, a vegetação utilizada nos LC é considerada um fator signficante na remoção deste elemento, mas se não for realizado o corte da vegetação o fósforo volta para o sistema aquático devido à senescência das mesmas. A remoção de fósforo pelas macrófitas é limitado às necessidades das plantas não excedendo 50-70% desse elemento presente no afluente (REED et al., 1995). O único mecanismo de remoção sustentável de fósforo em sistemas de LC é a partir da incorporação do fósforo na biomassa das macrófitas e seu manejo periódico através das podas regulares (De BUSK et al., 1983; KADLEC e KNIGHT, 1996; ARIAS et al., 2001).

Segundo Launstchager (2001) a porcentagem entre a massa de fósforo e a massa das folhas secas pode variar, em algumas macrófitas, de 0,04% a 0,41%. Almeida et al. (2007)

* Fonte: KADLEC e KNIGHT, 1996

observaram reduções de até 72% nos teores de fosfatos utilizando a *Typha angustifolia*. Mello Junior (2003), quantificou remoções de fósforo em torno de 45,8% com a planta *Typha* sp.

Nogueira (2003) constatou que as plantas de *Oryza* sp e *Euchornia crassipes* exportaram ou imobilizaram 7% de um total de 86% da remoção de fósforo. Pereira et al. (2006), trabalhando com *Euchornia crassipes*, verificaram uma remoção média de fósforo de 42,7%. Oliveira (2006) observou maiores retenções de fósforo no LC com *Typha* sp (92%) quando comparados aos LC com o *Oryza* sp (47%) somente Brita (29%).

b) Fósforo no substrato

Nos LC os mecanismos de retenção de fósforo contido nas águas residuárias incluem processos físicos, químicos e biológicos, envolvendo fenômenos de precipitação, sedimentação e, principalmente, adsorção (KADLEC e KNIGHT, 1996; ARIAS et al., 2001).

Com relação à retenção de fósforo por processo de adsorção a composição do meio suporte presente no leito é fundamentalmente importante, uma vez que no meio suporte, íons fosfato podem ser fixados por alumínio ou ferro. As comunidades de microrganismos se estabelecem de preferência na entrada e próximas ao fundo dos leitos, normalmente em microfilmes que envolvem o substrato (MANSOR, 1998). Nogueira (2003) constatou que 54% do fósforo que entrou no sistema ficou retido no substrato.

g) Evapotranspiração

Os fatores relacionados diretamente às condições climáticas como a temperatura do ar, pluviosidade e insolação são relevantes no processo do tratamento de efluentes através de LC. Um dos fatores relacionados a estes está à perda de água por evaporação através da superfície dos leitos e da transpiração das plantas (evapotranspiração).

A perda de água por evapotranspiração é causada pelo metabolismo e crescimento da vegetação, ou seja, a transferência da água para o meio atmosférico ocorre, principalmente, pela ação em conjunto dos seguintes mecanismos: evaporação e transpiração, onde a evaporação é a transferência da água superficial do estado líquido para o gasoso e depende da temperatura e da umidade relativa do ar. A transpiração ocorre porque as plantas retiram a

água do solo pelas raízes. A água é transferida para as folhas e então evapora, esse mecanismo é importante, considerando que em uma área coberta com vegetação, a superfície de exposição das folhas para evaporação é bastante elevada (TROTTER et al. 1994).

Melo Junior (2003) verificou que a maior eficiência na retenção de fósforo do LC ocorria das 12 às 15 horas, período de maior radiação fotossinteticamente ativa (RFA) ocasionando maior taxa de transpiração foliar diária das macrofitas.

- **Área foliar (AF) e Índice de Área Foliar (IAF)**

A estrutura de uma folhagem pode ser um importante fator para determinar a produtividade de uma comunidade vegetal, a avaliação da área foliar auxilia na tomada de decisão para se eleger uma cultivar mais produtiva. O significado deste parâmetro resume-se na premissa que materiais mais produtivos, possuem maior facilidade em manter a área foliar por maior período, possibilitando melhor desempenho do aparato fotossintético (MAGALHAES, 1979). Com os dados da área foliar e massa seca total calcula-se o índice da área foliar (IAF).

O índice de área foliar (IAF) é um parâmetro biométrico importante para avaliar respostas de plantas a diferentes condições ambientais e um importante parâmetro fisiológico, o qual caracteriza o crescimento de uma cultura. A captação de energia e a produção de fitomassa dependem de área foliar adequada no tempo e no espaço, além da eficiência desta de produzir fotoassimilados (EVANS, 1972). O IAF varia de cultura para cultura, de local a local, e baseia-se na estrutura da folha, nos fatores climáticos e no ciclo da cultura (BALAKRISHNAN et al., 1987).

O IAF é definido como a razão entre a área foliar de uma população de plantas e a área de solo por ela ocupada. Ele expressa a disponibilidade de superfície assimiladora de CO₂ e da radiação fotossinteticamente ativa e de perdas de água (transpiração) da população de plantas. O IAF tem relação com a capacidade fotossintética da população vegetal por estar relacionado à área de assimilação de CO₂ e de interceptação de radiação, ou pela redução da própria taxa fotossintética quando altos IAF's provokem grandes perdas de água por evapotranspiração e conseqüente deficiência hídrica (MÜLLER et al., 2005).

2.5. Cargas poluidoras

Para avaliar o impacto da poluição e a eficácia das medidas de controle, é necessária a quantificação das cargas poluidoras afluentes aos corpos d'água.

Em vários cálculos, a quantificação dos poluentes deve ser apresentada em termos de carga, que é expressa em termos de massa por unidade de tempo pelo cálculo: $K = C_o \times Q$ onde: K é a carga, C_o é a concentração e Q é a vazão (VON SPERLING, 2005).

2.6. Monitoramento dos leitos cultivados

A caracterização da quantidade, da qualidade das águas residuárias e da vegetação pode ser realizada a partir de diversos parâmetros. Sendo utilizada para o monitoramento da quantidade da água o volume e a vazão do afluente e do efluente. Para a qualidade da água são observadas as suas principais características biológicas (microrganismos); físicas (cor, turbidez, sabor e odor; temperatura); e, químicas (pH, alcalinidade, acidez, dureza, ferro e manganês, cloretos, nitrogênio, fósforo e oxigênio dissolvido, demanda química de oxigênio) (VON SPERLING, 1996). Os parâmetros de caracterização da vegetação traduzem a taxa de crescimento das plantas, área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF), avaliando as respostas das plantas a diferentes condições ambientais, quantificando os nutrientes (fósforo e nitrogênio) exportados pela vegetação a partir da produção de biomassa.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local de desenvolvimento da pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (FEAGRI/UNICAMP), em Campinas, localizada no Centro-oeste do Estado de São Paulo, Brasil (22°48'57"S, 47°03'33"W, 640m), no período de dezembro 2008 a outubro de 2009. O Clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa (clima mesotérmico com verões quentes e estação seca de inverno), ou seja, o mês mais frio apresenta média mensal inferior à 18° C e, no verão, o mês mais quente tem média superior à 22° C (EMBRAPA, 2009).

3.2. Caracterização do afluente

O esgoto utilizado pelo sistema de LC deste estudo provinha de prédios com salas de aula, salas de professores, administração e laboratórios localizados nas dependências da FEAGRI, onde o esgoto passava, primeiramente, por uma caixa de areia separando o material grosseiro e, em seguida passava para os Reatores Anaeróbios Compartimentados (RAC), e desses, para o sistema de LC (Figura 7).

O esgoto produzido nas dependências da FEAGRI apresentava algumas características que o diferenciavam do esgoto doméstico, isso ocorria devido à diferença entre o tipo de atividade desenvolvida no local do experimento (uma instituição de ensino e pesquisa) e o desenvolvido em uma ocupação residencial (ZANELLA, 2008). Outrossim, essas características variavam de modo imprevisível dependendo das atividades diárias realizadas na referida Faculdade.

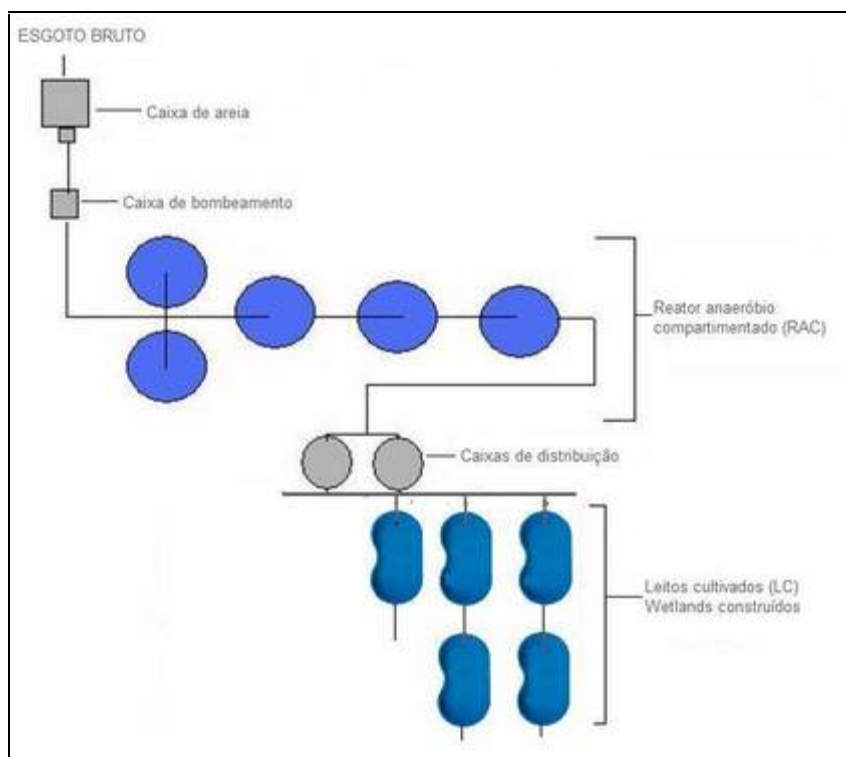


Figura 7. Esquema da Estação de Tratamento de Esgoto da FEAGRI/UNICAMP (ETE/FEAGRI)

3.3. Sistema de leitos cultivados (LC)

3.3.1. Classificação dos leitos cultivados

Os Leitos Cultivados utilizados neste trabalho são de fluxo subsuperficial (LCFSS).

3.3.2. Instalação dos leitos cultivados (LC)

No presente estudo foram utilizadas piscinas de fibra em forma de “feijão” para compor o sistema de LC, cuja distribuição era da seguinte forma:

Na linha 1 estavam instalados o leito cultivado um (LC1), o leito cultivado dois (LC2) e o leito cultivado três (LC3), esses três leitos já se encontravam instalados no local há aproximadamente 7 anos. No LC1 havia cultivo de *Euchornia crassipes* (Aguapé), sendo retirado um dia antes do plantio da nova espécie. No LC2 e no LC3 não havia plantas há

aproximadamente 6 meses. Cada LC dessa linha 1 apresentava dimensões de 3,20m x 1,75m x 0,55m e capacidade para 2.500 litros, da Marca Henrimar. Na linha 2 foram instalados no início desta pesquisa, o leito cultivado quatro (LC4) e o leito cultivado cinco (LC5), apresentando dimensões de 3,13 x 1,61 x 0,52m cada um e capacidade para 2100 litros, da marca Nova Fibra.

Para cada LC da linha 1 (LC1, LC2 e LC3) havia um registro de esfera responsável pelo controle da vazão afluyente. A canalização do registro de esfera e a canalização de entrada dos LC1, LC2 e LC3 era feita por um cano de PVC de 15 mm. Assim como, a canalização de saída do LC2 e entrada do LC4 e a saída do LC3 e entrada do LC5, também era feita por um cano de PVC de 15 mm. A saída do LC4 e do LC5 era feita por cano de PVC 15mm que seguia até outro cano de PVC de 100 mm e esse para a rede pública. A saída do LC1 seguia para outro LC que não fazia parte desse estudo.

A partir da instalação descrita, ficou caracterizado como: afluyente, a entrada do LC1, LC2, LC3, LC4 e LC5 e efluyente, a saída do LC1, LC2, LC3, LC4 e LC5. A Figura 8 traz a esquematização da disposição dos LC no presente estudo.

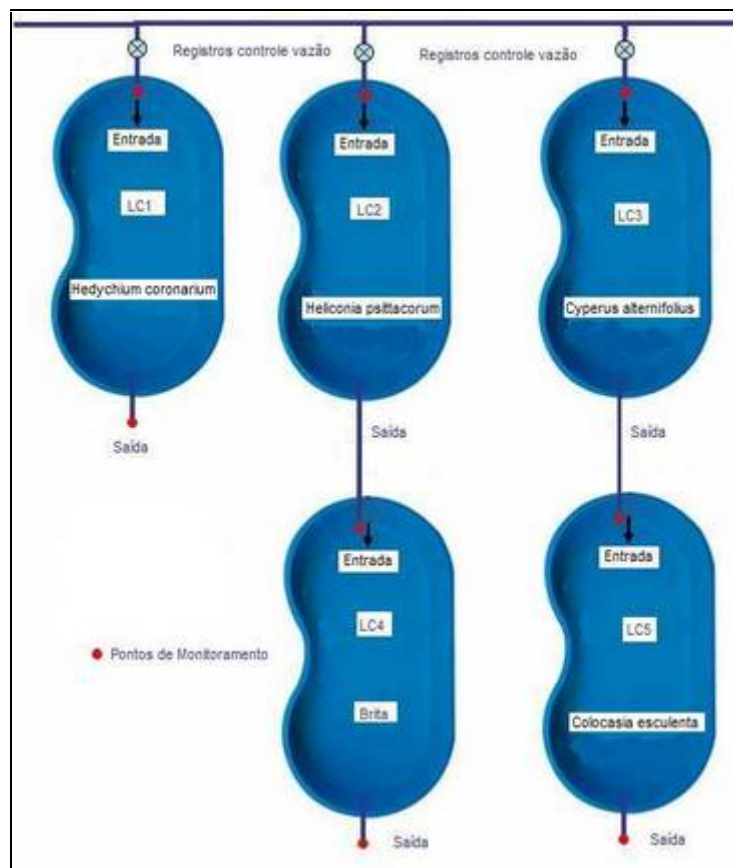


Figura 8. Esquematização da disposição dos LC na ETE/FEAGRI

3.3.2.1. Substrato utilizado nos leitos cultivados

O substrato utilizado foi a brita nº 1, sendo que no LC1, no LC2 e no LC3 reutilizou-se a brita nº 1 já existente com preenchimento até 45 cm da altura útil dos mesmos, o LC4 e o LC5 receberam substrato novo também até 45 cm da altura útil do leito.

3.3.3. Macrófitas cultivadas nos leitos cultivados

As macrófitas selecionadas para esse estudo foram: o *Hedychium coronarium*, a *Heliconia psittacorum*, o *Cyperus alternifolius* e a *Colocasia esculenta* var. aquatilis.

- **Hedychium coronarium**

O *Hedychium coronarium* é uma planta originária da Ásia tropical, da família Zingiberaceae, também conhecida pelos nomes comuns de lírio do brejo, gengibre branco, lágrima de moça, lírio branco. É uma herbácea rizomatosa, florífera, vigorosa, entouceirada e aromática, podendo chegar a alturas de 1,5 a 2,0m com hastes eretas, folhas coriáceas, alongadas e tomentosas na face de baixo. Possui inflorescências terminais, com flores, brancas, perfumadas que se formam praticamente durante o ano todo. Aprecia solos ricos em matéria orgânica e brejosos. Pode ser cultivado a pleno sol. Multiplica-se por divisão de touceiras (Figura 9) (LORENZI e SOUZA, 2001).

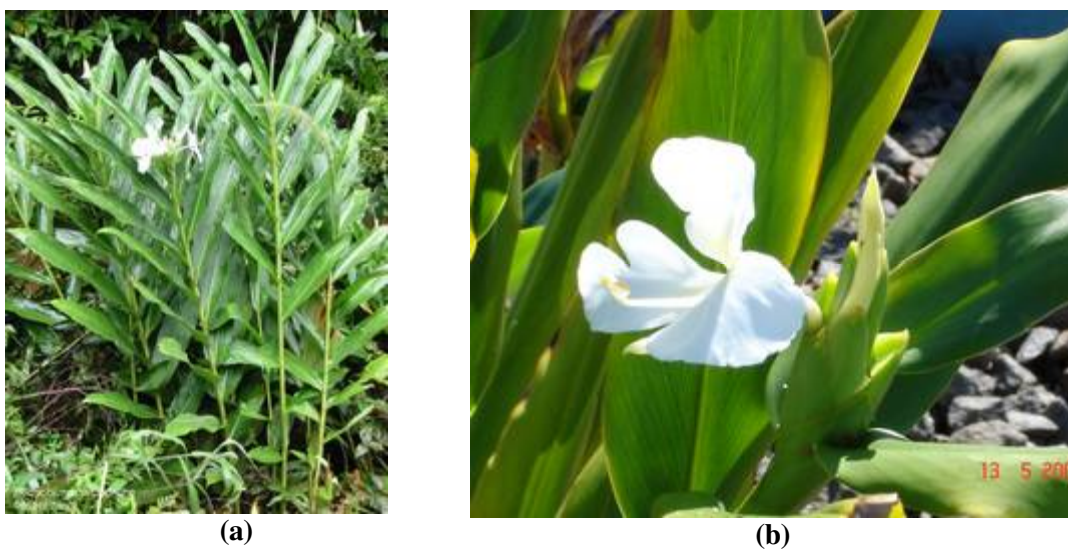


Figura 9. Planta de *Hedychium coronarium*; (a) Planta inteira^{*}; (b) Detalhe da inflorescência[†].

- **Heliconia psittacorum**

A *Heliconia psittacorum* é uma planta nativa do Brasil da Família Musaceae, também conhecida pelos nomes populares de helicônia-papagaio, tracoá, caetozinho, planta papagaio. Planta essencialmente tropical, entouceirada e rizomatosa, com ramos de textura herbácea. Suas folhas são coriáceas, verdes e lisas, com formato oval-lanceolado e pecíolo curto. Formando densas touceiras com cerca de 1,5 a 2,0 metros de altura. Suas inflorescências

^{*} http://www.institutohorus.org.br/download/fotos/fotos_ornamentais/05_G.jpg

[†] Fonte: Kletecke, 2009. Arquivo particular

curtas e muito duráveis são produzidas, principalmente no verão, com hastes longas e eretas, compostas de brácteas brilhantes e cerosas, de colorido vibrante, que vão do amarelo ao vermelho e, pequenas flores verdadeiras, que surgem dentro das brácteas. Podendo ser cultivada a pleno sol ou meia-sombra, em solo fértil, enriquecido com matéria orgânica e mantido úmido. Aprecia o calor e a umidade tropicais, tolera o frio subtropical e multiplica-se por divisão de touceiras (Figura 10) (LORENZI e SOUZA, 2001).



(a)



(b)

Figura 10. Planta de *Heliconia psittacorum*; (a) Planta inteira^{*}; (b) Detalhe da floração[†]

- **Cyperus alternifolius**

O *Cyperus alternifolius* é originário de Madagascar da Família Cyperaceae, conhecido popularmente por sombrinha chinesa, palmeira umbela, planta umbela. É uma planta palustre de crescimento muito rápido. Desenvolve-se a pleno sol ou meia-sombra. Apesar de suportar o sol muito forte e frio intenso, nessas condições, geralmente, fica com as folhas queimadas e com mau aspecto. Em solo úmido ou alagado, com coluna de água em torno de 5 cm, aceita sol pleno. Cresce aproximadamente até 1,5 metro de altura. Possui folhas

^{*} http://talnursery.com.my/images/flowers/heliconia_psittacorum-big.jpg

[†] http://www.butterflyconservatory.org/zz/Galleries/Flowers_01/Heliconia_Psittacorum.JPG.resized.jpg

perenes, sempre verdes, estreitas e eretas que partem do centro de uma haste. Não é exigente quanto ao pH da água, suportando altos índices de reserva alcalina. Sua propagação pode ser feita por sementes, por divisão do rizoma ou ainda cortando-se as folhas com uma parte da haste e deixando-a na água ou enterrando-a em solo úmido ou areia (Figura 11) (LORENZI e SOUZA, 2001).



Figura 11. Planta de *Cyperus alternifolius*; (a) Planta inteira^{*}; (b) Detalhe da floração[†]

- ***Colocasia esculenta* var. *aquaticilis***

A *Colocasia esculenta* var. *aquaticilis* é originária da Índia da Família Araceae, conhecida no Brasil por taro, inhame, inhame preto. É uma planta tropical, com capacidade de adaptação a condições consideradas adversas a outras espécies, como o excesso de água, o sombreamento e estresses climáticos. No entanto não tolera baixas temperaturas. A *Colocasia esculenta* apresenta folhas grandes, peltadas, cordiformes, de cor roxo escuro, quase preto. É uma planta acaule, estolonífera e rizomatosa, com rizoma tuberoso que forma cormos espessos e de casca escamosa, fibrosa e de cor castanha (LORENZI e SOUZA, 2001). Pode ser cultivada sob sol pleno ou meia-sombra, em solo leve e fértil, enriquecido com matéria orgânica, mantido úmido. Multiplica-se por divisão das touceiras ou rizomas (Figura 12) (MONTEIRO, 2002).

^{*} http://www.aflorededeau.fr/plantes/images/cyperus_alternifolius.jpg

[†] http://www.sci.muni.cz/bot_zahr/fotografie/skleniky/tropicke%20rostliny/Cyperus%20alternifolius2.jpg

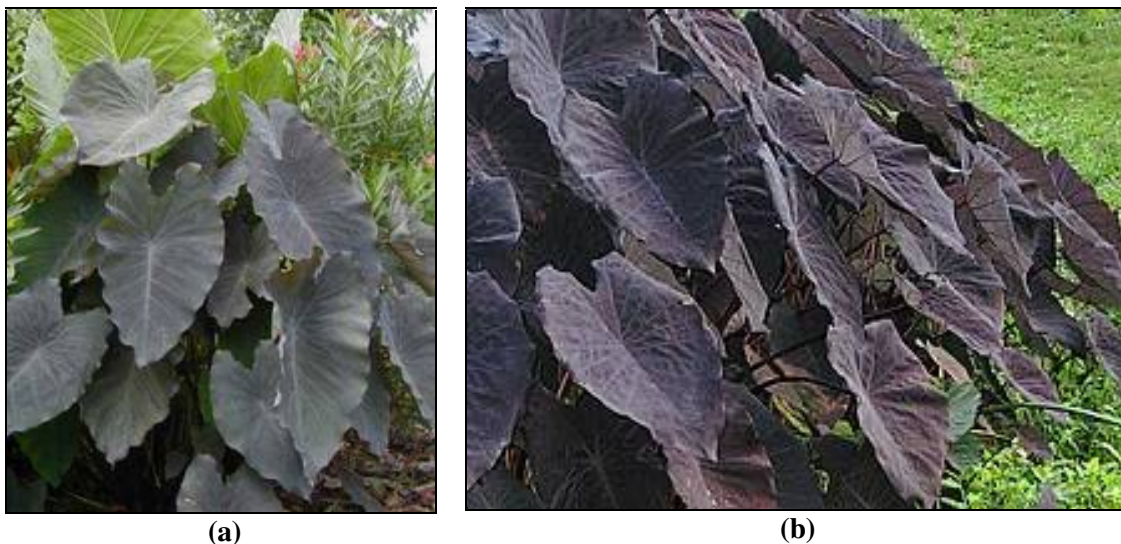


Figura 12. Planta de *Colocasia esculenta* var. *aquatilis* (a) * (b) †

- **Distribuição e plantio das espécies de macrófitas nos leitos cultivados**

As plantas foram cultivadas individualmente em cada leito, evitando a interferência e competição entre as diferentes espécies estudadas. As mesmas foram distribuídas nos leitos conforme segue:

- *Hedychium coronarium*, cultivada no LC1;
- *Heliconia psittacorum*, cultivada no LC2;
- *Cyperus alternifolius*, cultivada no LC3
- *Colocasia esculenta* var. *aquatilis*, cultivada no LC5

Durante o preparo para o plantio, o solo que havia nas raízes das macrófitas foi retirado evitando assim, o entupimento e o acréscimo de matéria orgânica no sistema de LC.

As mudas das espécies selecionadas foram adquiridas no Mercado de Flores da CEASA Campinas (Centrais de Abastecimento de Campinas S.A), na semana que antecedeu ao plantio. A Tabela 3 especifica as datas de plantio e o número de mudas de cada espécie de macrófitas plantadas nos LC.

* <http://blogginghouseplants.blogspot.com/2008/11/colocasia-esculenta-black-ruffles.html>

† http://www.jardineiro.net/br/banco/colocasia_esculenta.php

Tabela 3. Espécie de macrófitas cultivadas em cada LC data de plantio e número de mudas plantadas utilizadas.

Espécie	LCFSS	Data do plantio	Nº mudas
<i>Hedychium coronarium</i>	LC1	17/12/08	39
<i>Heliconia psittacorum</i>	LC2	16/12/08	30
<i>Cyperus alternifolius</i>	LC3	16/12/08	15
Sem macrófitas	LC4	-	-
<i>Colocasia esculenta</i> var. <i>aquaticus</i>	LC5	11/02/09	15

A Figura 13a mostra o plantio do *Hedychium coronarium* no LC1 em 17/12/2008 e a Figura 13b o plantio da *Heliconia psittacorum* no LC2 em 16/12/2008.



Figura 13. (a) Plantio *Hedychium coronarium* no LC1; (b) Plantio *Heliconia psittacorum* LC2.

A Figura 14a mostra o plantio do *Cyperus alternifolius* no LC3 em 16/12/2008 e a Figura 14b o plantio da *Colocasia esculenta* no LC5 em 11/02/2009.

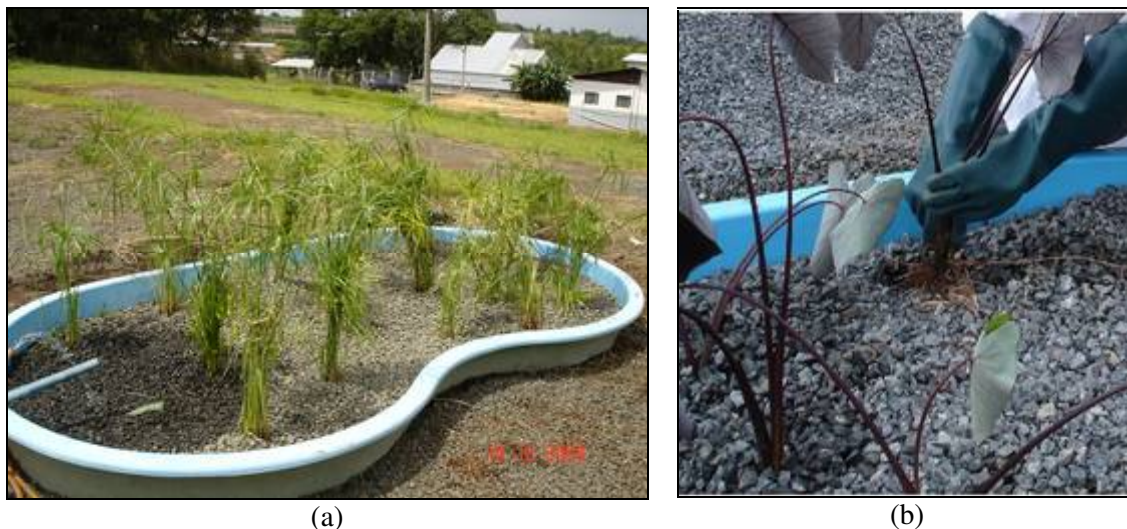


Figura 14. (a) Plantio *Cyperus alternifolius* no LC3; (b) Plantio *Colocasia esculenta* no LC5

3.3.4. Monitoramento dos leitos cultivados

Nesse trabalho foram realizados três monitoramentos distintos nos LC, apresentados a seguir:

- **Monitoramento do clima:** realizado a partir da temperatura, umidade relativa, radiação solar, velocidade do vento, pluviosidade no período de dezembro 2008 a outubro 2009, dados obtidos no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e no Centro de pesquisas meteorológicas e climáticas aplicadas à agricultura (CEPAGRI) ;

- **Monitoramento da vegetação:** realizado utilizando os parâmetros: área foliar (AF), índice de área foliar (IAF), altura das plantas, número de plantas (hastes) por LC, produção de biomassa verde e seca e análise foliar para nitrogênio e fósforo, no período de janeiro 2009 a outubro 2009

- **Monitoramento da água nos leitos cultivados:** o monitoramento da água foi dividido em quantidade e qualidade da água:

- **Monitoramento da quantidade de água:** realizado por meio do volume (Vol), da vazão (Q), do tempo de detenção hidráulico (TDH) e da evapotranspiração (EVPT). No período de maio 2009 a outubro 2009

- **Monitoramento da qualidade da água:** utilizando os parâmetros: pH, condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), demanda química de oxigênio (DQO), temperatura da água (Temp) e nutrientes (N e P). No período de maio 2009 a outubro 2009

3.3.4.1. Monitoramento do clima

O monitoramento do clima foi realizado a partir dos dados da estação meteorológica automática da Unicamp, localizada a aproximadamente 100 metros do experimento (Figura 15) e da estação meteorológica automática do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). A estação automática coleta dados de temperatura (máxima e mínima), umidade relativa, radiação solar, velocidade do vento e pluviosidade do período. Os dados foram fornecidos pelo Centro de pesquisas meteorológicas e climáticas aplicadas à agricultura (CEPAGRI) e pelo Centro integrado de informações agrometeorológicas (CIIAGRO).



Figura 15. Estação meteorológica localizada a 100 metros do experimento FEAGRI/UNICAMP.

3.3.4.2 Monitoramento da vegetação

O monitoramento das macrófitas nos leitos cultivados levou em consideração o desenvolvimento vegetativo de cada espécie cultivada e teve como objetivo avaliar, a AF, o IAF, a altura das plantas, a evolução do número de plantas e a produção de biomassa verde e seca por meio da poda da vegetação, em cada LC. O *Cyperus alternifolius*, recebeu duas podas, a primeira no dia 04/05/09 e a segunda no dia 14/08/09, juntamente com o *Hedychium coronarium*, a *Heliconia psittacorum* e a *Colocasia esculenta*.

Para o monitoramento da vegetação foram selecionadas e identificadas cinco plantas em cada LC sendo, uma planta próxima a entrada do LC, três na região central e uma próxima a saída do LC.

a) Determinação da Área Foliar (AF) nos LC

- *Hedychium coronarium*, *Heliconia psittacorum* e *Colocasia esculenta*

A determinação da área foliar nas plantas, *Hedychium coronarium*, *Heliconia psittacorum* e *Colocasia esculenta* foram realizadas por meio de avaliação não destrutiva. Onde todas as folhas de cada planta selecionada eram medidas, para isso as folhas do *Hedychium coronarium* e da *Heliconia psittacorum* foram divididas em figuras geométricas (4 triângulos), onde eram medidos o comprimento e a largura total da folha, e as laterais dos quatro triângulos formados (Figura 16). Na determinação da AF da *Colocasia esculenta* as figuras geométricas se alteraram, devido ao formato da folha, formando um trapézio e dois triângulos, na qual se media o comprimento e a largura total da folha, as laterais dos triângulos, a base maior e a base menor do trapézio, descontando o espaço vazio da parte superior da folha (base menor) (Figura 17).

Os dados coletados em campo eram digitados e organizados em planilhas do MICROSOFT EXCELL 2003 para posterior determinação da área foliar de cada população de macrófita estudada.

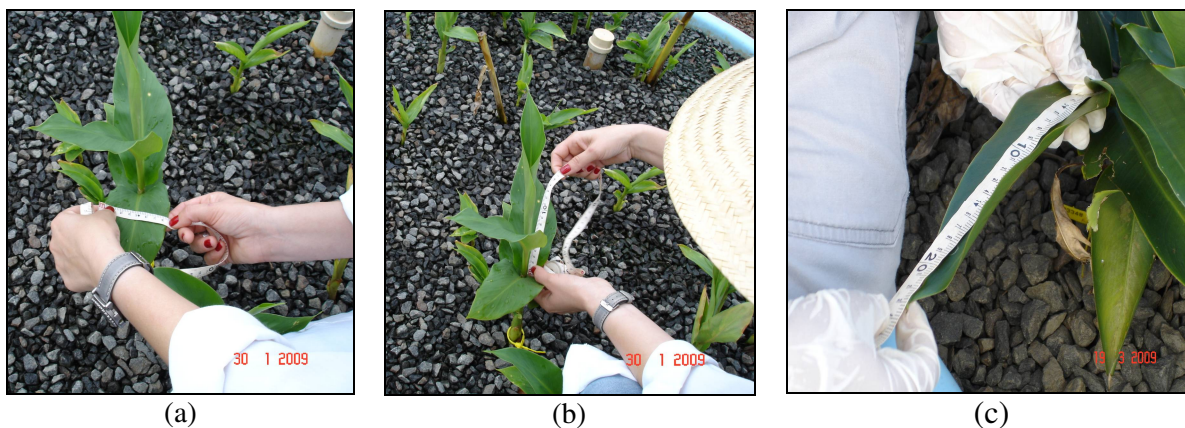


Figura 16. Monitoramento da AF: (a. b) *Hedychium coronarium*; (c) *Heliconia psittacorum*



Figura 17. Monitoramento da AF da *Colocasia esculenta* Var. aquarteles.

O monitoramento da AF do *Hedychium coronarium* e da *Heliconia psittacorum*, iniciou-se em 23 de janeiro de 2009 e foram realizados nos dias: 23/01; 30/01; 03/02; 12/02; 16/02; 19/02; 26/02; 03/03; 12/03; 19/03; 26/03; 16/04; 23/04; 30/04; 7/05; 21/05; 28/05; 4/06; 18/06; 13/07; 20/07; 30/07; 13/08; 10/09; 17/09; 24/09; 05/10; 19/10. Na *Colocasia esculenta* o monitoramento teve início 12/03/2009, aproximadamente um mês após o plantio sendo realizado nos dias: 19/03; 26/03; 02/04; 16/04; 23/04; 30/04; 07/05; 21/05; 28/05; 04/06; 18/06; 13/07; 20/07; 30/07; 13/08; 10/09; 17/09; 24/09; 05/10; 19/10.

- ***Cyperus alternifolius***

A determinação da Área Foliar do *Cyperus alternifolius* foi realizada por meio de avaliação destrutiva, na qual uma haste de cada planta selecionada era cortada, identificada e levada ao laboratório onde todas as folhas da haste eram retiradas e digitalizadas em escâner. A área foliar dessas plantas digitalizadas foi identificada por meio de uma rotina IDL (Interactive Data Language) *. A Figura 18 ilustra o exemplo da detecção da área foliar pela rotina IDL. A partir da determinação da área foliar das folhas digitalizadas, multiplicava-se essa área pelo número total de hastes que cada planta selecionada do LC3 apresentava, conforme contagem em campo do número de hastes (Figura 19). Em seguida os dados eram

* **IDL** (Interactive Data Language) a rotina foi desenvolvida, exclusivamente, para este estudo pelo pesquisador Dr. Júlio Cesar D. M. Esquerdo, da Embrapa Informática Agropecuária.

digitados e organizados em planilhas do MICROSOFT EXCELL 2003 para posterior determinação do índice da área foliar do *Cyperus alternifolius*.

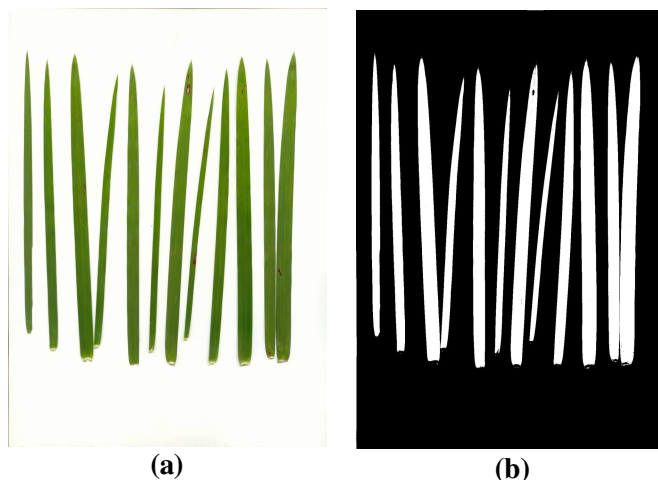


Figura 18. Rotina IDL para identificação da AF do *Cyperus alternifolius* (a) imagem digitalizada; (b) imagem gerada pelo IDL



Figura 19. Contagem do número de hastes do *Cyperus alternifolius*

O monitoramento da AF na vegetação, do *Cyperus alternifolius* no LC3, iniciou-se em 23 de janeiro de 2009 e foram realizados nos dias: 23/01; 30/01; 03/02; 12/02; 16/02; 19/02; 26/02; 03/03; 12/03; 19/03; 26/03; 16/04; 23/04; 30/04; 7/05; 21/05; 28/05; 4/06; 18/06; 13/07; 20/07; 30/07; 13/08; 10/09; 17/09; 24/09; 05/10; 19/10.

b) Determinação do número de plantas nos LC

A determinação do número de plantas foi realizada nos mesmos dias do monitoramento da AF. As plantas de *Hedychium coronarium* foram contadas em sua totalidade considerando cada haste uma planta. Para as plantas de *Heliconia psittacorum* contava-se do número de hastes que cada planta selecionada havia emitido entre um monitoramento e outro. Em seguida, fazia-se a média desse número de hastes entre as cinco plantas selecionadas e, posteriormente, multiplicava-se essa média pelo número plantas iniciais (30 mudas).

Para a *Colocasia esculenta*, seguiu-se a mesma metodologia da *Heliconia psittacorum* contando o número de estolões que cada planta selecionada emitia e fazia-se a média desse número de estolões entre as cinco plantas selecionadas multiplicando essa média pelo número de plantas cultivadas inicialmente (15 mudas).

A evolução do número de plantas de *Cyperus alternifolius* seguiu a metodologia da *Heliconia psittacorum*, em que a média do número de hastes era multiplicada número o inicial de plantas (15 plantas).

c) Índice de Área Foliar (IAF)

A determinação do IAF ocorreu a partir da razão entre os valores da área foliar total e a área do LC ocupado pelas plantas. Sendo que, a área dos LC da Linha 1 com o *Hedychium coronarium*, a *Heliconia psittacorum* e o *Cyperus alternifolius* correspondia a 41.000 cm² e a área total do LC com *Colocasia esculenta* correspondia a 42.000 cm².

b) Determinação da altura das plantas nos LC

A determinação da altura das plantas selecionadas e identificadas em cada LC foi utilizada a metodologia de Carlesso et al. (1998), na qual era medida a distância do substrato até a última bainha foliar de cada planta selecionada. Posteriormente, fazia-se a média de

altura entre as cinco plantas identificadas, determinando-se assim, a altura média das plantas em cada LC. A determinação da altura média das plantas foi realizada juntamente com o acompanhamento da AF.

e) Produção de biomassa e análise foliar

O manejo da vegetação foi realizado por meio da poda onde toda a parte aérea da vegetação foi cortada, deixando o substrato exposto.

A parte aérea (hastes e folhas) de cada espécie foi pesada em sua totalidade. Obtendo-se, assim, a quantidade total de biomassa verde produzida em cada LC. Dessa biomassa verde (haste e folhas) pesou-se 500gr de cada espécie, secas ao ar livre, separadamente. Após a secagem, fez-se nova pesagem para determinação da quantidade de biomassa seca. Dessa quantidade total de biomassa seca retirou-se 50gr entre hastes e folhas que foram enviadas ao laboratório de Análise de Solos e Plantas do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), para análise foliar dos nutrientes, nitrogênio e fósforo.

3.3.4.3. Monitoramento da água nos leitos cultivados de fluxo subsuperficial

- **Escalas utilizadas para o monitoramento da água**

Para o monitoramento da água (quantidade e qualidade) foram utilizadas as escalas: horária; diária; semanal; período monitorado e período estendido.

- **Escala horária**: compreendia o período de dez horas diárias, com as coletas realizadas de hora em hora, das 9:00 às 18:00h. Período esse, com maior fluxo de pessoas na FEAGRI.

A partir da escala horária foram obtidas as variáveis para a quantidade da água: vazão (Q), e para a qualidade da água: Concentração de Fósforo Total (Pt), Condutividade Elétrica (CE), Potencial Hidrogeniônico (pH), Oxigênio Dissolvido (OD) e Temperatura da água (Temp).

Para análise dos parâmetros da qualidade e quantidade da água coletavam-se seis amostras de água por hora, após as medidas de vazão, sendo uma para o afluente principal e uma para cada um dos efluentes do LC1, do LC2, do LC3, do LC4 e do LC5. As coletas horárias resultavam em sessenta frascos de amostras por dia de coleta, contendo cada frasco 150 ml.

- **Escala diária:** essa escala foi obtida a partir da escala horária na qual foi possível calcular os valores médios e os valores totais do dia monitorado.

Nessa escala diária foram obtidas as amostras compostas ou diárias referentes ao afluente dos leitos cultivados e ao efluente de cada LC. Os volumes horários do afluente e do efluente do dia da coleta eram à base de cálculo para a definição dos volumes que formariam a amostra composta. Cujo volume era de 250 ml para os afluentes e para os efluentes dos LC, gerando um total de seis amostras compostas para cada dia monitorado.

Nas amostras compostas analisaram-se os parâmetros, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Concentração de Nitrato (NO_3^-) e Concentração de Nitrogênio Amoniacal (NH_3).

Escala semanal: foram utilizadas as médias diárias das variáveis de Q, CE, pH, temp, OD, DQO, Pt, nitrato, nitrogênio amoniacal. Em seguida fez-se a média entre os dias monitorados na semana, compondo assim, a escala semanal.

Período monitorado: nessa escala estão apresentados os resultados médios encontrados no período de maio a outubro de 2009, divididos em: período anterior à poda e período posterior à poda.

Período estendido: foram utilizadas as médias diárias dos parâmetros avaliados e, em seguida multiplicado pelo número de dias úteis na Unicamp (descontando-se finais de semana e feriados). Essa escala considerou como período estendido anterior à poda, do dia 04/05/2009 ao dia 13/08/2009, isto é, desde o início do monitoramento da água até o dia anterior à poda. O período estendido posterior à poda correspondeu do dia 17/08/2009 ao dia 01/10/2009, do primeiro dia útil posterior à poda até o último dia de monitoramento da água.

3.3.4.3.1. Monitoramento da Quantidade de água

O monitoramento da quantidade de água nos LC com *Hedychium coronarium* (LC1), *Heliconia psittacorum* (LC2), brita (LC4) e *Colocasia esculenta* (LC5) tiveram início no dia 04 de maio de 2009. No LC3 cultivado com *Cyperus alternifolius* o monitoramento da água teve início no dia 29 de abril de 2009.

- No início do monitoramento, de maio a junho, as coletas de água foram realizadas cinco dias na semana (segunda a sexta-feira), isso possibilitou compreender a dinâmica dos LC.

- Em julho, período das férias na FEAGRI, as coletas foram suspensas devido à baixa vazão de água no sistema.

- Em agosto as coletas foram realizadas nos três dias que antecederam à poda: 11, 12 e 13/08/2009;

- Após a poda realizada no dia 14/08/2009, o monitoramento da água foi realizado nos dias 20 e 21/08/2009; 26 e 28/08/2009; 02/09/2009; 15/09/2009; 24/09/2009 e 01/10/2009.

- O número de dias monitorados reduziu de cinco dias, no período anterior à poda, para dois dias e, posteriormente, para um dia no período posterior à poda. No entanto, para que a dinâmica dos LC não fosse alterada, devido à diminuição dos dias de coleta, a vazão nos dias anteriores ao monitoramento de cada LC, era mantida constante.

O monitoramento da quantidade de água foi realizado juntamente com o monitoramento da qualidade da água e os dias monitorados para cada leito cultivado foram:

***Hedychium coronarium* (LC1):** 04/05; 05/05; 06/05; 07/05; 08/05 (1ª semana); 18/05; 19/05; 20/05; 21/05; 22/05 (2ª semana); 15/06; 16/06; 17/06; 18/06; 19/06 (3ª semana); 11/08; 12/08; 13/08 (4ª semana) **14/08 (Poda)**; 20/08; 21/08 (5ª semana); 26/08; 28/08 (6ª semana); 02/09 (7ª semana); 15/09 (8ª semana); 24/09 (9ª semana) e 01/10 (10ª semana).

***Heliconia psittacorum* (LC2):** 04/05; 05/05; 06/05; 07/05; 08/05 (1ª semana); 18/05; 19/05; 20/05; 21/05; 22/05 (2ª semana); 25/05; 26/05; 27/05; 28/05; 29/05 (3ª semana); 01/06; 02/06; 03/06; 04/06; 05/06 (4ª semana); 15/06; 16/06; 17/06; 18/06; 19/06 (5ª semana); 11/08; 12/08; 13/08 (6ª semana); **14/08 (Poda)**; 20/08; 21/08 (7ª semana); 26/08; 28/08 (8ª semana); 02/09 (9ª semana); 15/09 (10ª semana); 24/09 (11ª semana) e 01/10 (12ª semana);

***Cyperus alternifolius* (LC3):** 29/04 e 30/04 (1ª semana); **04/05 (1ª Poda)**; 05/05; 06/05; 07/05; 08/05 (2ª semana); 18/05; 19/05; 20/05; 21/05; 22/05 (3ª semana); 25/05; 26/05; 27/05; 28/05; 29/05 (4ª semana); 01/06; 02/06; 03/06; 04/06; 05/06 (5ª semana); 15/06; 16/06; 17/06; 18/06; 19/06 (6ª semana); 11/08; 12/08; 13/08 (7ª semana); **14/08 (2ª Poda)**; 20/08; 21/08 (8ª semana); 26/08; 28/08 (9ª semana); 02/09 (10ª semana); 15/09 (11ª semana); 24/09 (12ª semana) e 01/10 (13ª semana).

Brita (LC4): 04/05; 05/05; 06/05; 07/05; 08/05 (1ª semana); 18/05; 19/05; 20/05; 21/05; 22/05 (2ª semana); 11/08; 12/08; 13/08 (3ª semana); 20/08; 21/08 (4ª semana); 26/08; 28/08 (5ª semana); 02/09 (6ª semana); 15/09 (7ª semana); 24/09 (8ª semana) e 01/10 (9ª semana).

***Colocasia esculenta* (LC5):** 04/05; 05/05; 06/05; 07/05; 08/05 (1ª semana); 18/05; 19/05; 20/05; 21/05; 22/05 (2ª semana); 25/05; 26/05; 27/05; 28/05; 29/05 (3ª semana); 01/06; 02/06; 03/06; 04/06; 05/06 (4ª semana); 15/06; 16/06; 17/06; 18/06; 19/06 (5ª semana); 11/08; 12/08; 13/08 (6ª semana); **14/08 (Poda)**; 20/08; 21/08 (7ª semana); 26/08; 28/08 (8ª semana); 02/09 (9ª semana); 15/09 (10ª semana); 24/09 (11ª semana) e 01/10 (12ª semana);

a) Vazão (Q)

O método utilizado para essa medida foi o *Método Direto*, tanto para as vazões de entrada quanto para as vazões de saída dos LC. As medidas da vazão foram realizadas com o auxílio de um cronômetro digital, uma proveta graduada e um becker.

A vazão de entrada era regulada no início da manhã antes da primeira coleta, a partir dos registros de esfera localizados nos LC da linha 1. O volume de água era coletado de hora em hora por dez segundos na entrada e, dez segundos na saída de cada LC. Na Figura 20 observa-se a entrada do afluente no LC2, na linha 1, e seu efluente. A figura 21 mostra o afluente do LC4, na linha 2, e seu efluente.



Figura 20. (a) Afluente no LC2 da linha 1; (b) Efluente do LC2



Figura 21. (a) Afluente no LC4, linha 2; (b) Efluente do LC4

b) Evapotranspiração e altura da lâmina de água evaporada

As perdas de água por evapotranspiração (EVPT) foram quantificadas pela diferença entre a entrada e a saída de água em cada LC, na escala diária com valores totais. O cálculo da altura da lâmina d'água evaporada foi realizada a partir da taxa de EVPT e da área de cada LC.

c) Tempo de detenção hidráulica (TDH)

O tempo de detenção hidráulica (TDH) é dado pela razão entre o volume total diário de entrada no LC e o volume máximo de água armazenado no LC.

A determinação do volume útil dos LC para o cálculo da TDH foi realizada em laboratório da seguinte forma:

a) colocou-se brita nº 1 em uma proveta de 1.000ml, até a marca indicadora de 1 litro, em seguida a brita que estava na proveta foi colocada em um Becker e pesada em balança analítica de até 5 Kg (Marte AS 5500C);

b) o mesmo procedimento foi realizado para a água, enchendo-se de água a proveta de 1.000ml, até a marca indicadora de 1 litro e, em seguida a água que estava na proveta foi colocada em um Becker e pesada em balança analítica de até 5 Kg (Marte AS 5500C);

c) a brita nº1 do item “a” foi recolocada na proveta de 1.000ml, até a marca indicada de 1 litro e, a água do item “b” foi adicionada a essa proveta contendo a brita nº 1 na quantidade que necessária para preencher a proveta até a marca de 1 litro. A água da proveta foi separada da brita, em um Becker, e pesada novamente.

O experimento foi repetido três vezes sempre movimentando a brita antes de adicionar a água e refazer a pesagem. Com base nos valores das três pesagens da água fez-se a média da quantidade de água que coubera na proveta, determinando-se assim o volume útil dos LC.

3.3.4.3.2. Monitoramento da Qualidade da água nos leitos cultivados

O monitoramento da qualidade da água foi realizado juntamente com o monitoramento da quantidade da água.

Para análise dos parâmetros da qualidade da água como: a Temp, a CE, o pH e o Pt foi utilizada a escala horária. Para os parâmetros nitrato, nitrogênio amoniacal e DQO foram utilizadas a escala diária.

A análise do OD no período de 29/04 a 19/06/2009 foi realizada na escala horária, a partir dessa data, foram realizadas três vezes ao dia, às 9:00; às 13:00 e às 18:00h.

3.3.4.3.3. Armazenamento e análise das amostras coletadas

Cada amostra coletada foi acondicionada, identificada e mantida em temperatura de 4°C até a realização das análises.

Todas as análises foram realizadas ao final de cada bateria de coleta, no Laboratório de Saneamento e Qualidade de Água da FEAGRI/UNICAMP, exceto, a análise de fósforo total que foi realizada no Laboratório de Análise de Alimentos, da Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP (LAA/FEA/UNICAMP).

3.3.4.3.4. Metodologia de análise dos parâmetros para a qualidade da água

A metodologia utilizada para as análises laboratoriais seguiu o Standards Methods (APHA, 1998). E os parâmetros utilizados para analisar a qualidade da água foram:

- *No campo:*
 - Temperatura: termômetro de mercúrio (Incoterm L-222/06 Escala -10 a 110°).
- *Em laboratório:*
 - Condutividade Elétrica (CE) medida pelo Condutivímetro (Digimed e DM3 de mesa). Método 2510 B;
 - Potencial Hidrogeniônico (pH) medido com Peagâmetro de mesa (Digimed pHmetro DM 20). Método 4500-H⁺B Método Eletrométrico;
 - Oxigênio Dissolvido (OD) com aparelho YSI 55 portátil, medidos em laboratório logo após a coleta. Método 4500-O G Método do Eletrodo com Membrana;
 - Concentração de nitrato foi analisado no espectrofotômetro Hach DR/4000U. Método 8039 Powder Pillows or Accu VAC[®] (Método da redução do Cádmio, HR 0 to 30.0 mg/l NO₃⁻);
 - Concentração de nitrogênio Amoniacal foi medido no analisador de íon seletivo Analyser pH/Ion 450m. Método 4500-NO₃⁻D.
 - Demanda Química de Oxigênio (DQO) a digestão da amostra foi feita no digestor Hach COD Reactor e posteriormente analisado no espectrofotômetro Hach DR/4000U. Método utilizado 5220 D, Método Colorimétrico do Refluxo Fechado.

- Fósforo Total foi analisado no espectrofotômetro UV-1600, Pró Análise. Método 4500-P E
Método Oficial do Ácido Ascórbico.

4. RESULTADOS

4.1. Caracterização do esgoto afluyente

A caracterização do esgoto afluyente aos LC foi realizada a partir das médias dos parâmetros: pH, condutividade elétrica (CE), concentração de oxigênio dissolvido, temperatura da água, demanda química de oxigênio, concentração de fósforo total, de nitrato (NO^{-3}) e de nitrogênio amoniacal (NH_3) no período de estudo, maio a outubro de 2009 podendo ser visualizada na Tabela 4.

Tabela 4. Caracterização do esgoto afluyente aos LC no período de maio a outubro de 2009

Parâmetro	Média e desvio padrão
pH	$7,9 \pm 0,2$
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	$966,6 \pm 151,0$
OD (mg/L)	$2,06 \pm 2,1$
Temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$)	$22,5 \pm 1,8$
DQO (mg/L)	$96,1 \pm 29,2$
Fósforo total (mg/L)	$3,4 \pm 0,7$
Nitrato (mg/L)	$1,7 \pm 0,4$
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	$41,0 \pm 15,8$

4.2. Tempo de Detenção Hidráulica (TDH)

A determinação do volume útil dos LC foi realizada em laboratório conforme exposto no item anterior. A partir da qual se constatou que a capacidade útil dos LC era de 50% da capacidade total. Sendo assim, a capacidade total do LC1, LC2, LC3, que era de 2.500 litros cada, apresentaram capacidade útil de 1.250 litros cada e, o LC4 e LC5 com capacidade de 2.100 litros apresentaram capacidade útil de 1.050 litros cada um.

4.3. Monitoramento do Clima

Na Tabela 5 pode-se observar os dados climáticos médios mensais como: a temperatura do ar máxima e mínima, a umidade relativa (UR), a precipitação e a energia solar no período de dezembro de 2008 a outubro de 2009.

Tabela 5. Dados climáticos médios mensais do período de dezembro 2008 a outubro de 2009.

Mês/ Ano	Temp. ar máx.* (°C)	Temp. ar mín.* (°C)	Umidade relativa** (%)	Precipitação (mm.d ⁻¹) *	Radiação Solar** (MJ.m ⁻² .d ⁻¹)
Dez/08	27,3	16,3	80,1	151,1	230,0
Jan/09	29,7	20,1	89,4	389,6	176,3
Fev/09	31,4	20,7	81,2	311,1	209,3
Mar/09	31,4	20,8	77,6	118,6	210,4
Abr/09	28,9	17,9	73,4	33,0	196,9
Mai/09	27,7	16,2	73,1	67,6	167,1
Jun/09	23,9	10,9	72,6	81,5	136,5
Jul/09	23,7	12,6	76,9	96,8	132,6
Ago/09	26,5	13,7	64,9	66,5	183,2
Set/09	28,0	16,6	73,0	142,5	177,8
Out/09	29,4	17,4	70,7	94,0	221,1

* Dados do posto meteorológico da Feagri/Unicamp Campinas (Cepagri)

** Dados do posto meteorológico do Instituto Agrônomo de Campinas (CIIAGRO)

4.4. Monitoramento dos Leitos Cultivados (LC)

4.4.1 Leito cultivado com *Hedychium coronarium* (LC1)

4.4.1.1 Monitoramento da vegetação do LC1

O monitoramento da vegetação no LC com *Hedychium coronarium* teve início no dia 23/01/2009 com 70 plantas. A partir do início do monitoramento observou-se que o desenvolvimento vegetativo estava lento, com pouca emissão de brotos e retardo no crescimento. O número de plantas do início do monitoramento (70 plantas) manteve-se, por aproximadamente um período de quatro meses (Figura 22). Nesse período, a lâmina d'água desse LC apresentava-se alta, devido ao cultivo anterior de *Euchornia crassipes* (aguapé), que exigia lâmina d'água mais alta para seu cultivo em LCFSS, fato esse, que trouxe como consequência raízes superficiais e susceptíveis a pequenas variações da lâmina d'água para a maioria das plantas de *Hedychium coronarium*. A lâmina d'água foi reduzida em 4 cm no dia 08/04/2009 e, no dia 14/04/2009, constatou-se que as plantas que possuíam raízes superficiais não suportaram essa diminuição da lâmina d'água e senesceram. No período de 08/04/2009 a 12/05/2009 o leito permaneceu somente com as plantas remanescentes após a diminuição da lâmina d'água. No dia 13/05/2009 foram replantadas 20 mudas enraizadas de *Hedychium coronarium* (Figura 23).

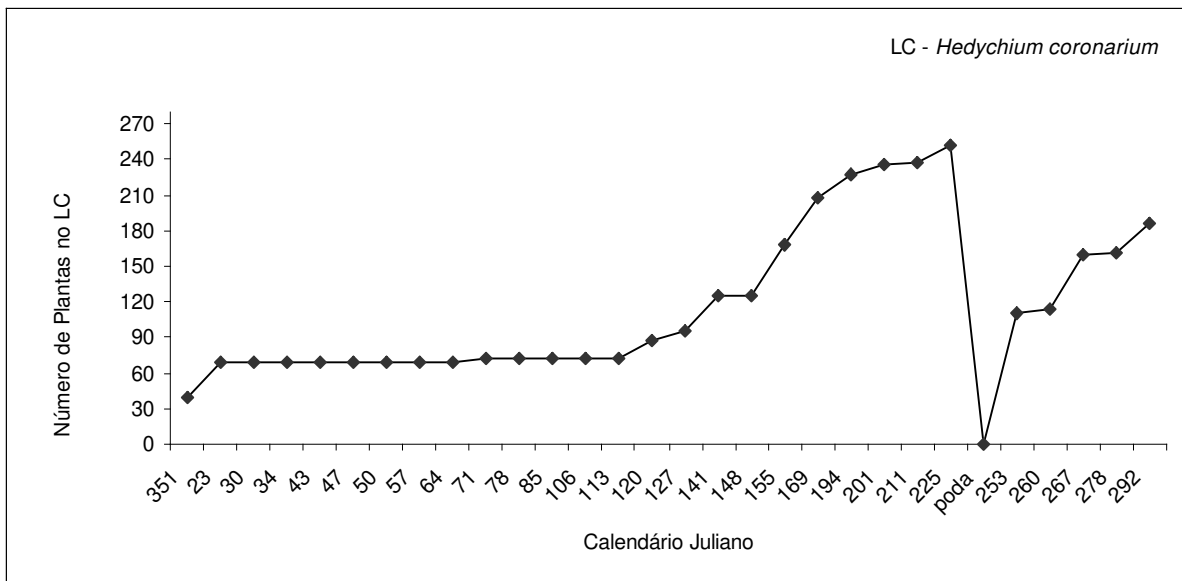


Figura 22. Evolução do número das plantas de *Hedychium coronarium* no LC no período de dezembro de 2008 a outubro de 2009.

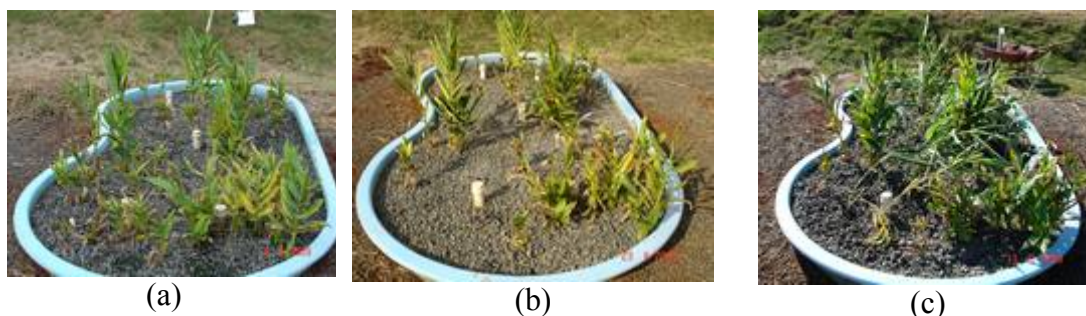


Figura 23. Vegetação de *Hedychium coronarium* no LC. (a) Vegetação antes da diminuição lâmina d'água (08/04/09); (b) Plantas remanescentes após a diminuição da lâmina d'água (23/04/09) e (c) Replanteio da espécie utilizada, *Hedychium coronarium*, com mudas enraizadas em 13/05/2009.

Posteriormente, verificou-se que o desenvolvimento vegetativo lento da vegetação do LC1, poderia ter sido causado por alelopatia, devido ao cultivo anterior no LC de *Euchornia crassipes*, uma vez que, o LC não passou por um período de repouso entre a remoção da vegetação de *Euchornia crassipes* e o plantio da nova espécie, *Hedychium Coronarium*. A alelopatia promovida por *Euchornia crassipes* foi relatada por Ramón (1984), quando utilizou essa planta como cobertura morta no cultivo de hortaliças, como consequência, ocorreu baixa germinação das sementes e desenvolvimento lento das plantas de hortaliças.

Na Figura 24 pode-se observar o desenvolvimento da vegetação de *Hedychium coronarium* no LC desde o plantio em 17/12/2008 até o replantio em 13/05/2009 e o desenvolvimento da vegetação após o replantio em julho e agosto de 2009.

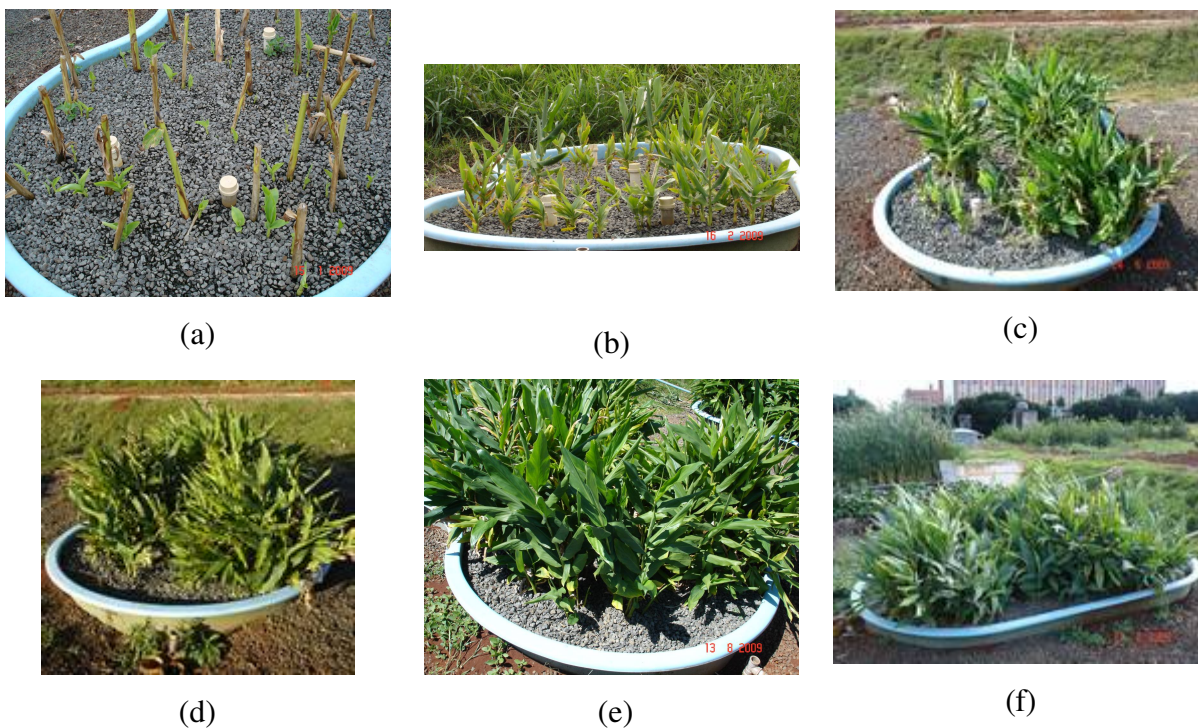


Figura 24. Desenvolvimento da vegetação de *Hedychium coronarium* no LC. (a) 1 mês após plantio em janeiro de 2009; (b) 3 meses após o plantio, em março 2009; (c) 1 mês após o replantio em junho 2009; (d) 2 meses após o replantio em julho 2009; (e) e (f) 3 meses após replantio em agosto 2009.

A poda da vegetação foi realizada no dia 14/08/2009, e a altura máxima medida no dia anterior (13/08/2009), estava em, aproximadamente, 90 cm (Figura 25). A Figura 26 mostra a altura média das plantas durante todo o desenvolvimento da vegetação no LC1. Onde se observa que a recuperação da mesma após a poda, foi rápida, quando comparada com o desenvolvimento do período anterior à poda. Na Figura 27 têm-se a vegetação do LC1 no dia da poda e a rebrota da mesma após 30 e 47 dias após a poda.



Figura 25. Altura máxima da vegetação de *Hedychium coronarium* no LC na semana da poda no dia 13/08/2009.

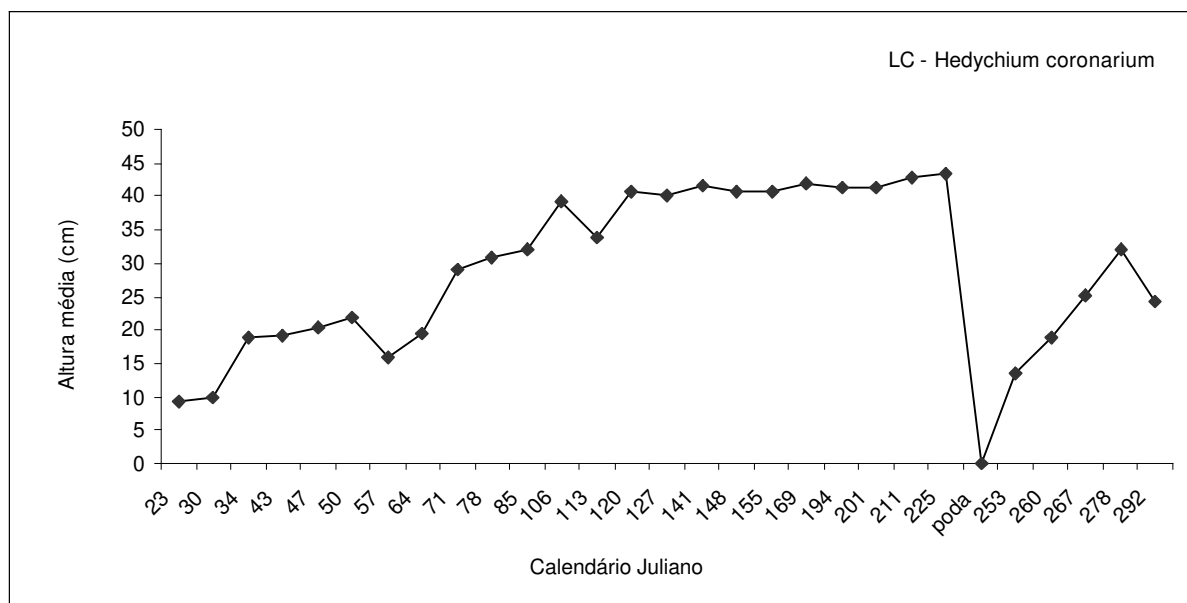


Figura 26. Altura média das plantas de *Hedychium coronarium* no LC, no período de janeiro a outubro de 2009.

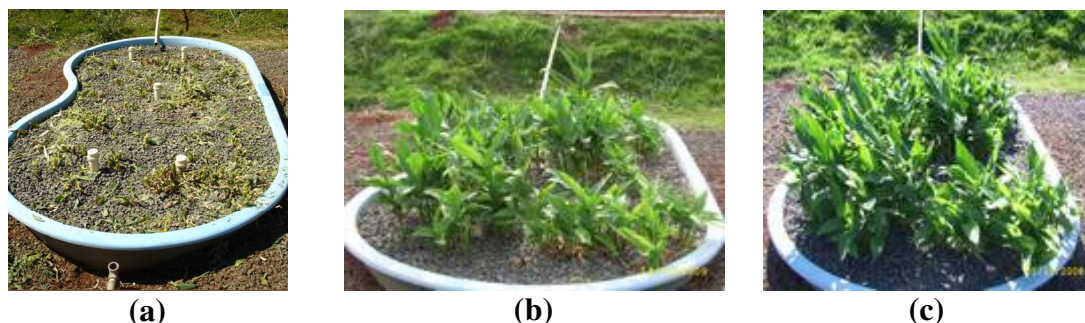


Figura 27. Manejo da vegetação de *Hedychium coronarium* no LC. (a) Poda da vegetação no dia 14/08/2009; (b) recuperação da vegetação 30 dias após a poda e (c) vegetação 47 dias após a poda.

a) Índice de área foliar (IAF), produção de biomassa e exportação de nutrientes do *Hedychium coronarium*

O IAF observado na vegetação de *Hedychium coronarium* variou entre 0,4 e 0,8 até o dia 23/04/2009 (DJ 133), a partir do dia 30/04/2009 o IAF teve um aumento gradativo e significativo chegando a 4,0 na semana da poda (14/08/2009). A recuperação da vegetação após a poda também foi rápida e crescente e o IAF medido estava em 3,7 no último dia de monitoramento (19/10/2009). A Figura 28 mostra o IAF medido no período de 23/01/2009 a 19/10/2009, onde se observa que o IAF aumentou conforme aumentava a população de plantas no LC1.

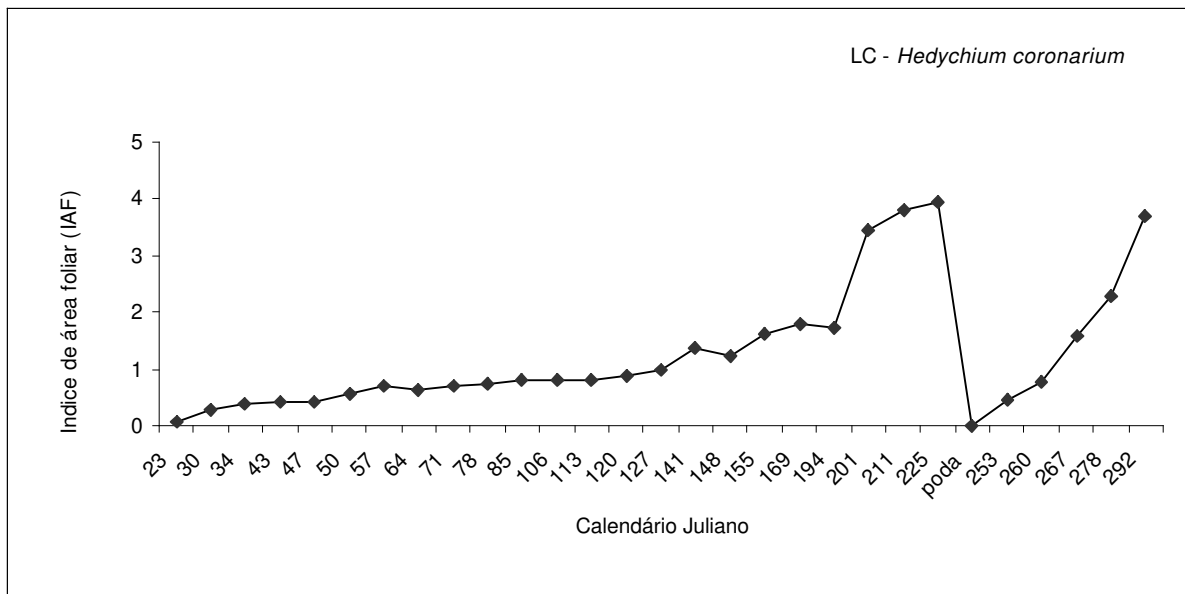


Figura 28. Índice de área foliar (IAF) no período de janeiro a outubro 2009 no LC com *Hedychium coronarium*

Após a poda, folhas e caules secos do *Hedychium coronarium*, foram enviados ao laboratório especializado do Instituto Agronômico de Campinas para análise foliar do nitrogênio e fósforo. Essa análise revelou uma quantidade de nitrogênio e fósforo fixados nos vegetais de 21,3 g/Kg e de 2,3 g/Kg, respectivamente.

A quantidade de biomassa verde produzida a partir da poda foi de 11,1Kg e, a biomassa seca foi de 1,45Kg, considerando-se a biomassa seca (folhas e caules) a planta exportou 30,9 gramas de N e 3,3 gramas de P, para uma área total de 4,1m² e oito meses de desenvolvimento.

4.4.1.2 Monitoramento da água no leito cultivado com *Hedychium coronarium* (LC1)

4.4.1.2.1 Quantidade da água - Escala horária

a) Vazão (Q)

As vazões horárias de entrada e saída no LC1, nos dias 06 e 07/05/2009, podem ser observadas na Figura 29. No dia 06/05/2009 (Figura 29a), as vazões de entrada foram praticamente constantes ao longo do dia e obtiveram um total de 1.159,2 L/dia, enquanto a vazão total de saída foi de 1.040,4 L/dia. No dia 07/05/2009, Figura 29b, as vazões de entrada

apresentaram maiores oscilações ao longo do dia e as vazões totais foram 1.081,8 L/dia (entrada) e 1.020,6 L/dia (saída).

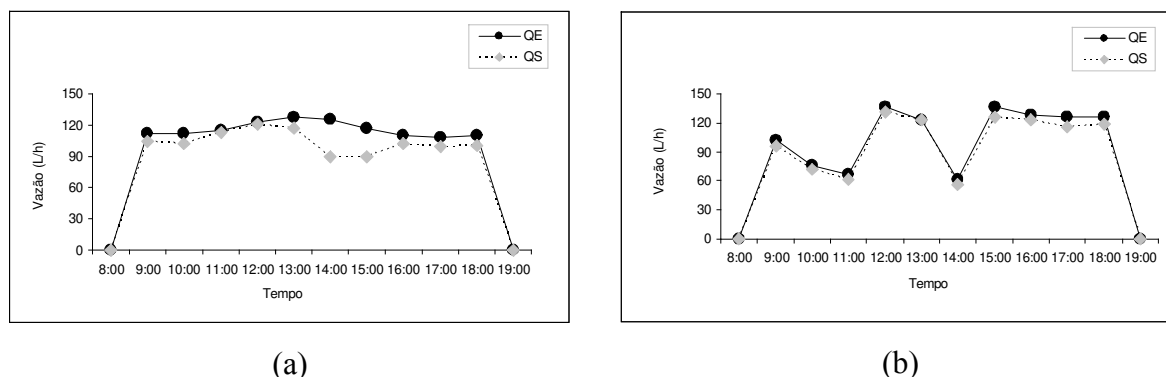


Figura 29. Vazão horária de entrada (QE) e saída (QS) no LC com *Hedychium coronarium*, para os dias 06/05/2009 (a) e 07/05/2009 (b).

Ainda na Figura 29, observa-se que as vazões de saída são menores ou iguais as vazões de entrada. A diferença entre a vazão de entrada e a vazão de saída foi considerada como sendo a taxa de evapotranspiração ocorrida no LC1. A evapotranspiração total no dia 06/05/2009 foi de 118,8L/dia correspondendo a uma altura de lâmina d'água evaporada de 29,0mm/dia. A maior diferença horária ocorreu às 14:00 h com 36L/h seguida pelas 15:00h com 27,0 L/h. No dia 07/05/2009 a evapotranspiração total foi de 61,2 L/dia e uma altura total da lâmina d'água evaporada de 14,9 mm/dia. Nesse dia as maiores diferenças foram de 10,8L/h e ocorreram às 15:00 e às 17:00 h. O TDH no dia 06/05/2009 foi de 1,2 dias e no dia 07/05/2009 de 1,1 dias.

4.4.1.2.2 Qualidade da água - Escala horária

a) Fósforo total (PT)

A concentração de fósforo total no LC1, nos dias 06 e 07/05/2009, pode ser observada na Figura 30. A eficiência de retenção para a concentração de fósforo total no dia 06/05/2009, foi positiva em 90% das horas monitoradas, sendo negativa apenas às 14:00 h (Figura 30a). Já no dia 07/05/2009 a eficiência de retenção positiva ocorreu em 40% das horas

analisadas às 9:00, 10:00, 11:00 e às 13:00h (Figura 30b). Na Figura 31, podem ser observadas as retenções de fósforo total para os dias 06 e 07/05/2009.

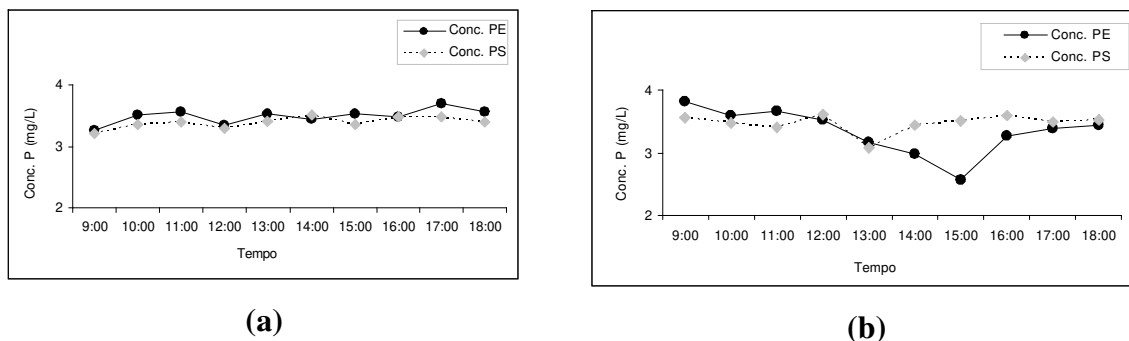


Figura 30. Concentração horária de entrada (Conc. P E) e saída de fósforo total (Conc. P S) no LC com *Hedychium coronarium*, para os dias 06/05/2009 (a) e 07/05/2009 (b).

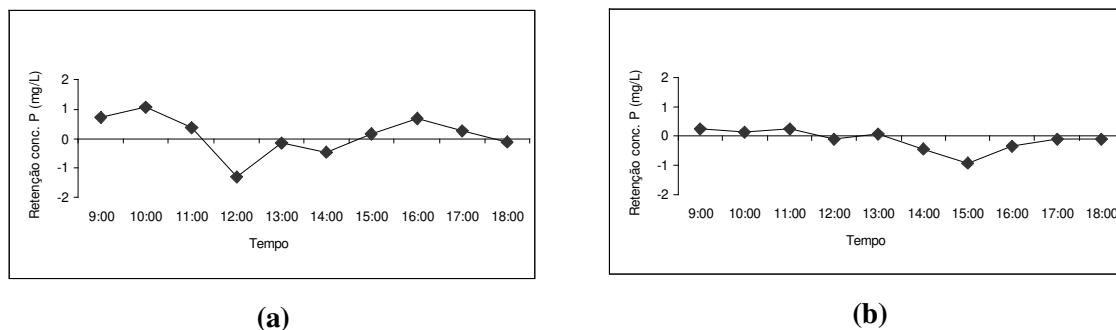
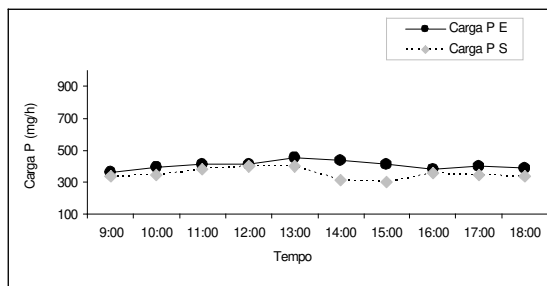
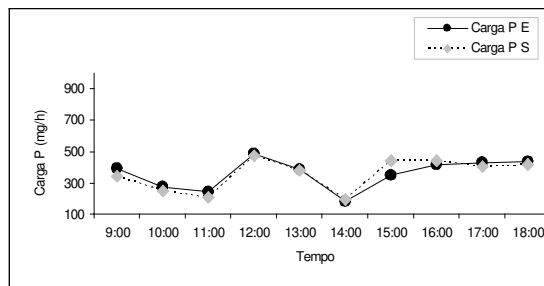


Figura 31. Retenção da concentração de fósforo total no LC com *Hedychium coronarium*, para os dias 06/05/2009 (a) e 07/05/2009 (b).

Na Figura 32 observa-se o balanço de massa para as cargas horárias de fósforo total para o afluente e efluente LC1, para os dias 06 e 07/05/2009. A carga total retida no LC1, no dia 06/05/2009, foi de 523,9 mg/dia, sendo que a maior retenção ocorreu às 14:00h com 117,5 mg/h, nesse dia o LC foi eficiente em 100% das horas do dia (Figura 32a). No dia 07/05/2009, o balanço de massa foi positivo em 70% das horas analisadas, e a retenção total foi de 41,5 mg/dia, uma retenção pequena quando comparada com o dia anterior (Figura 32b). A retenção das cargas de fósforo total nos dias 06 e 07/05/2009 pode ser observada na Figura 33a e 33b.

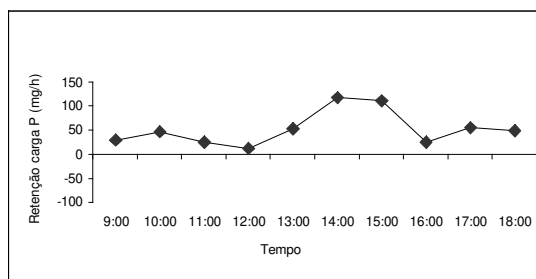


(a)

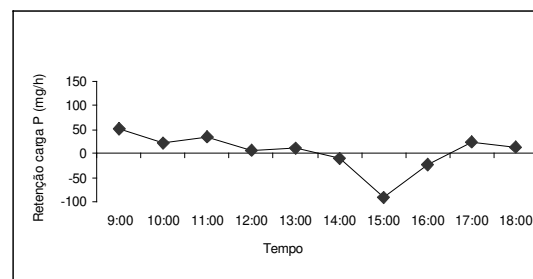


(b)

Figura 32. Carga horária de entrada (carga PE) e saída (carga PS) de fósforo total no LC com *Hedychium coronarium*, para os dias 06/05/2009 (a) e 07/05/2009 (b).



(a)

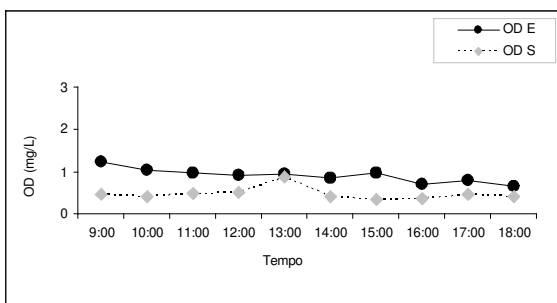


(b)

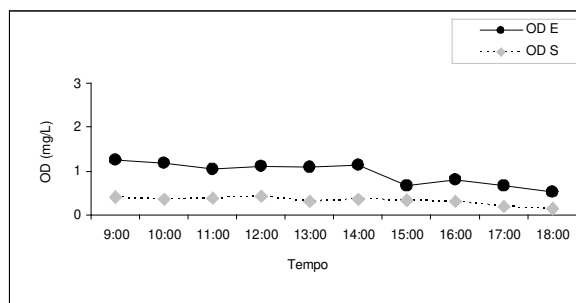
Figura 33. Retenção da carga horária de fósforo total no LC com *Hedychium coronarium*, para os dias 06/05/2009 (a) e 07/05/2009 (b).

b) Oxigênio dissolvido (OD)

A concentração de OD foi reduzida em 100% dos horários analisados nos dias, 06 e 07/05/2009, denotando consumo de oxigênio no LC1 (Figura 34). O maior consumo de OD ocorreu às 9:00h para ambos os dias, com aumentos de 0,77 mg/L e 0,85 mg/L, respectivamente. A diferença na concentração de OD do afluente e do efluente no LC1 pode ser observada na Figura 35.

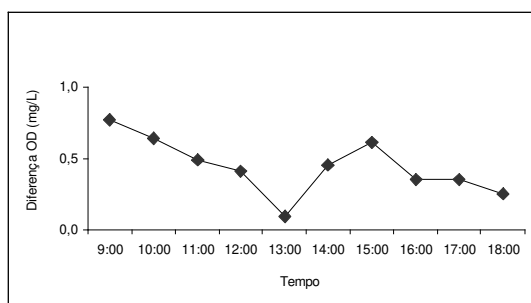


(a)

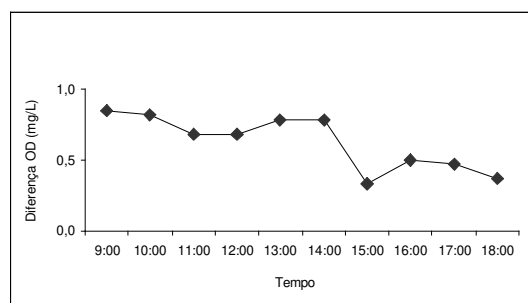


(b)

Figura 34. Concentração horária de OD de entrada (OD E) e saída (OD S) no LC com *Hedychium coronarium*, para os dias 06/05/2009 (a) e 07/05/2009 (b).



(a)

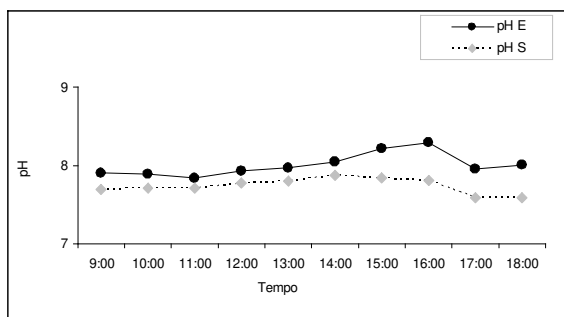


(b)

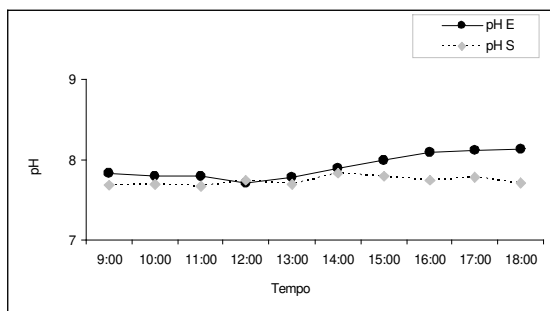
Figura 35. Diferença na concentração horária de OD de entrada (OD E) e saída (OD S) no LC com *Hedychium coronarium*, para os dias 06/05/2009 (a) e 07/05/2009 (b).

c) Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH do afluente e do efluente do LC1, nos dias 06 e 07/05/2009, pode ser observado na Figura 36. Onde verifica-se que no dia 06/05/2009 ocorreu redução do pH, tornando o meio menos alcalino, em 100% do dia, o pH do afluente variou de 7,84 a 8,30 e o pH do efluente variou de 7,59 a 7,87. No dia 07/05/2009 ocorreu redução do pH em 90% do dia, com exceção das 12:00, em que houve um pequeno aumento de 0,03. Durante esse dia a variação foi de 7,71 a 8,13 para o afluente e de 7,67 a 7,83 para o efluente. A diferença entre o pH de entrada e o pH de saída nos dias analisados podem ser observadas na Figura 37.

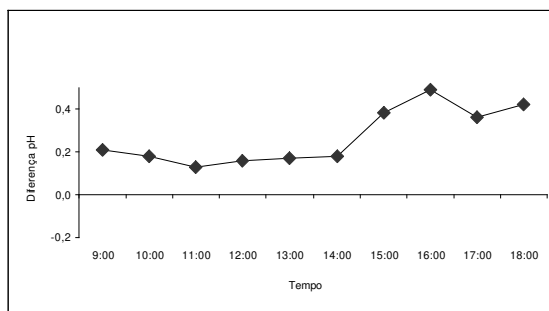


(a)

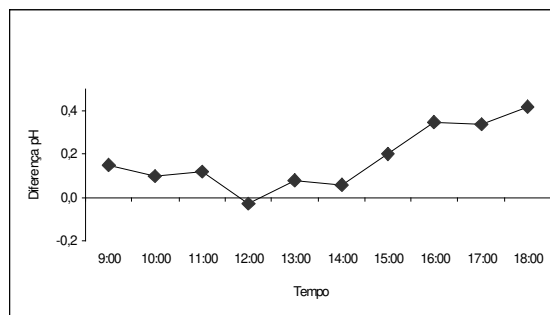


(b)

Figura 36. pH horário de entrada (pH E) e saída (pH S) no LC com *Hedychium coronarium*, para os dias 06/05/2009 (a) e 07/05/2009 (b).



(a)



(b)

Figura 37. Diferença do pH horário de entrada e saída no LC com *Hedychium coronarium*, para os dias 06/05/2009 (a) e 07/05/2009 (b).

d) Condutividade elétrica (CE)

Na Figura 38, pode ser observada a CE para os dias 06 e 07/05/2009 no LC1. A redução da CE no dia 06/05/2009 ocorreu em 60% do dia, no intervalo das 11:00h às 14:00h ocorreu aumento na CE. No dia 07/05/2009, a CE foi reduzida em 50% do dia e o aumento da mesma ocorreu no intervalo das 11:00h às 15:00h, praticamente, no mesmo período do dia anterior. A diferença na CE horária do afluente e do efluente nos dias 06 e 07/05/2009 podem ser observadas na Figura 39.

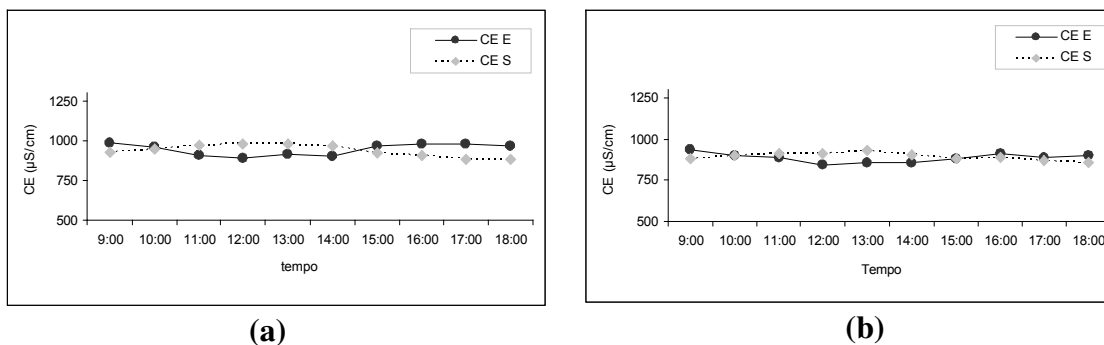


Figura 38. Condutividade elétrica horária de entrada (CE E) e saída (CE S) no LC com *Hedychium coronarium*, para os dias 06/05/2009 (a) e 07/05/2009 (b).

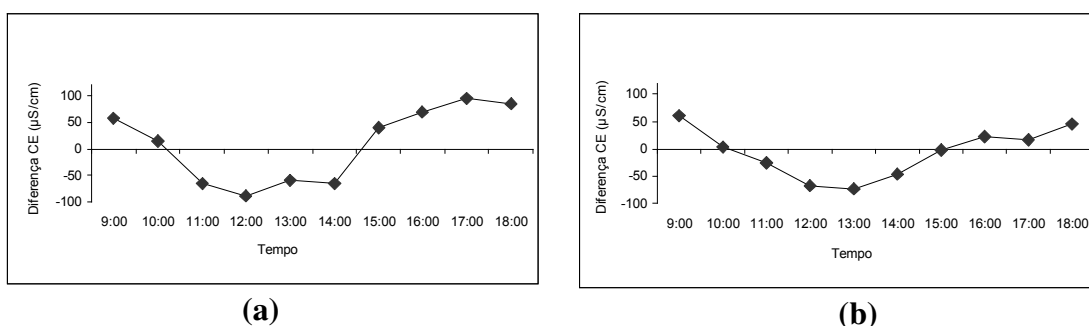


Figura 39. Diferença da CE de entrada e saída no LC com *Hedychium coronarium*, para os dias 06/05/2009 (a) e 07/05/2009 (b).

e) Temperatura da água (Temp)

A variação da temperatura da água nos dias 06 e 07/05/2009 pode ser visualizada na Figura 40. No dia 06/05/2009 a temperatura do efluente foi superior a temperatura do afluente no período das 09:00h às 12:00h com diferenças que chegaram a 1,20°C às 9:00 h. No dia 07/05/2009, a temperatura do efluente foi superior a temperatura do afluente no período das 09:00h às 11:00h, sendo que a diferença máxima negativa também ocorreu às 9:00h. As diferenças da temperatura horária de entrada e saída do LC1 podem ser observadas na Figura 41.

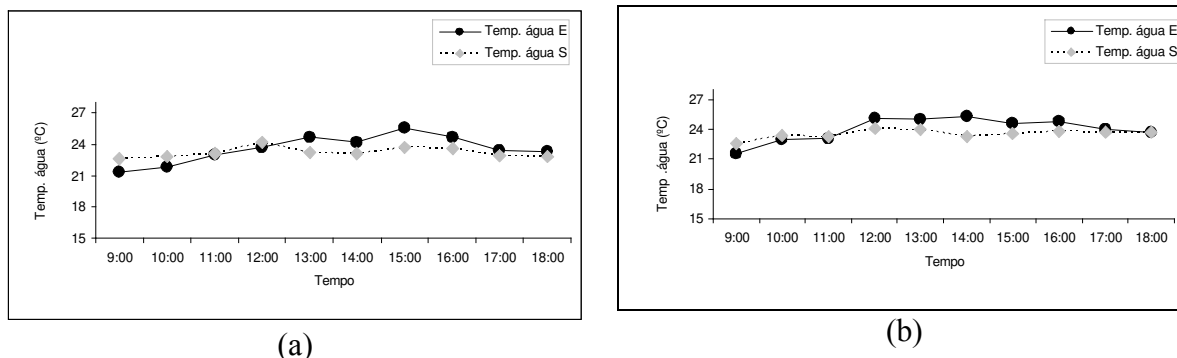


Figura 40. Temperatura da água horária de entrada (Temp. água E) e saída (Temp. água S) do LC com *Hedychium coronarium*, para os dias 06/05/2009 (a) e 07/05/2009 (b).

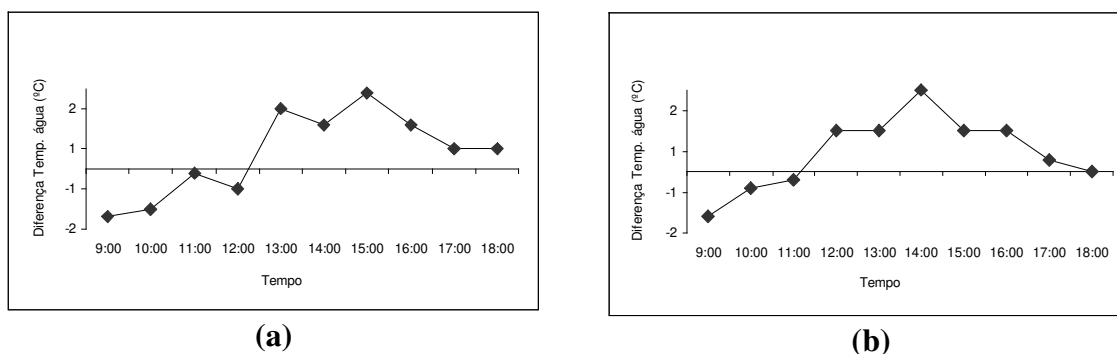


Figura 41. Diferença na temperatura da água de entrada e saída do LC com *Hedychium coronarium*, para os dias 06/05/2009 (a) e 07/05/2009 (b).

4.4.1.2.3 Quantidade da água - Escala diária

a) Vazão (Q)

A Figura 42 apresenta as médias diárias das vazões afluentes e efluentes do LC1, nos dias monitorados. As vazões afluentes oscilaram em todos os dias e as vazões diárias do efluente foram menores ou iguais as vazões de entrada. Com a diferença entre essas vazões obteve-se a taxa de evapotranspiração do LC1, que podem ser observadas na Tabela 6. Na mesma tabela, também estão apresentadas a altura da lâmina d'água evaporada e o TDH para os dias monitorados no ano de 2009 no LC1.

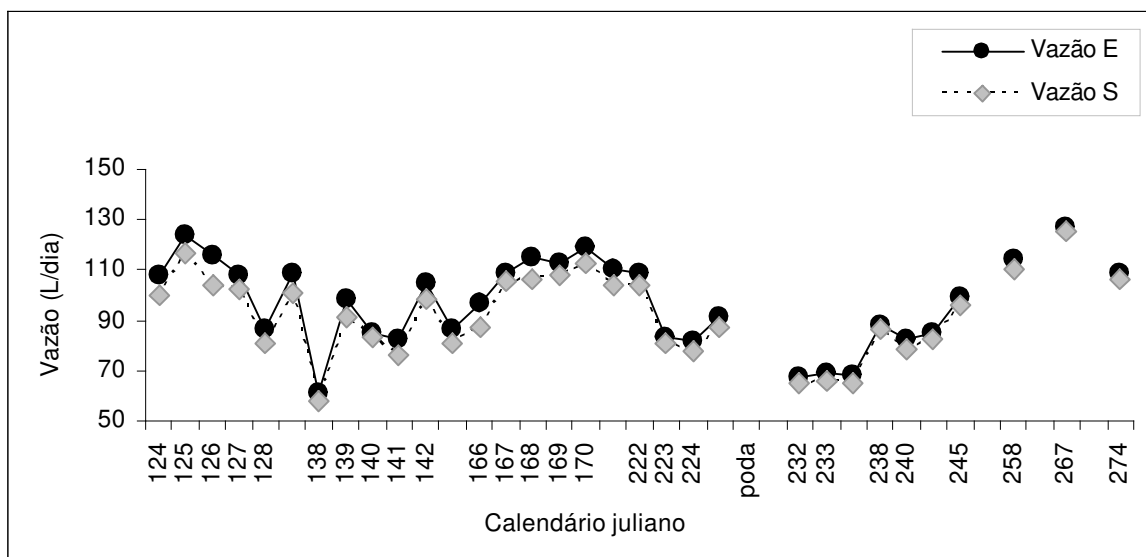


Figura 42. Vazão média diária de entrada e saída no LC com *Hedychium coronarium* nos dias monitorados em 2009

Tabela 6. Taxa de evapotranspiração, altura da lâmina d'água evaporada e TDH no LC1

Data	Dia Juliano (DJ)	Taxa evapotranspiração (L/dia)	Altura lâmina d'água evaporada (mm/dia)	TDH (dias)
4/5	124	83,9	20,5	1,2
5/5	125	77,4	18,9	1,0
6/5	126	118,8	29,0	1,1
7/5	127	61,2	14,9	1,2
8/5	128	52,2	12,7	1,4
18/5	138	32,4	7,9	2,1
19/5	139	73,8	18,0	1,3
20/5	140	21,6	5,3	1,5
21/5	141	63,0	15,4	1,5
22/5	142	64,8	15,8	1,2
15/6	166	90,0	22,0	1,3
16/6	167	32,4	7,9	1,2
17/6	168	86,4	21,1	1,1
18/6	169	46,8	11,4	1,1
19/6	170	57,6	14,0	1,1
11/8	222	46,8	11,4	1,2
12/8	223	23,4	5,7	1,5
13/8	224	39,6	9,7	1,5
Poda				
20/8	232	21,6	5,3	1,9
21/8	233	34,2	8,3	1,8
26/8	238	10,8	2,6	1,4
28/8	240	36,0	8,8	1,5
2/9	245	28,8	7,0	1,3
15/9	258	37,8	9,2	1,1
24/9	267	10,8	2,6	1,0
1/10	274	19,8	4,8	1,2

Na Figura 43, verificam-se as perdas d'água por evapotranspiração nos dias monitorados, onde se observa que a maior perda d'água ocorreu no dia 06/05/2009 (DJ 126) com 29 mm/dia de lâmina d'água perdida; seguido pelo dia 15/06/2009 (DJ 166) com 22,0 mm/dia de lâmina d'água perdida.

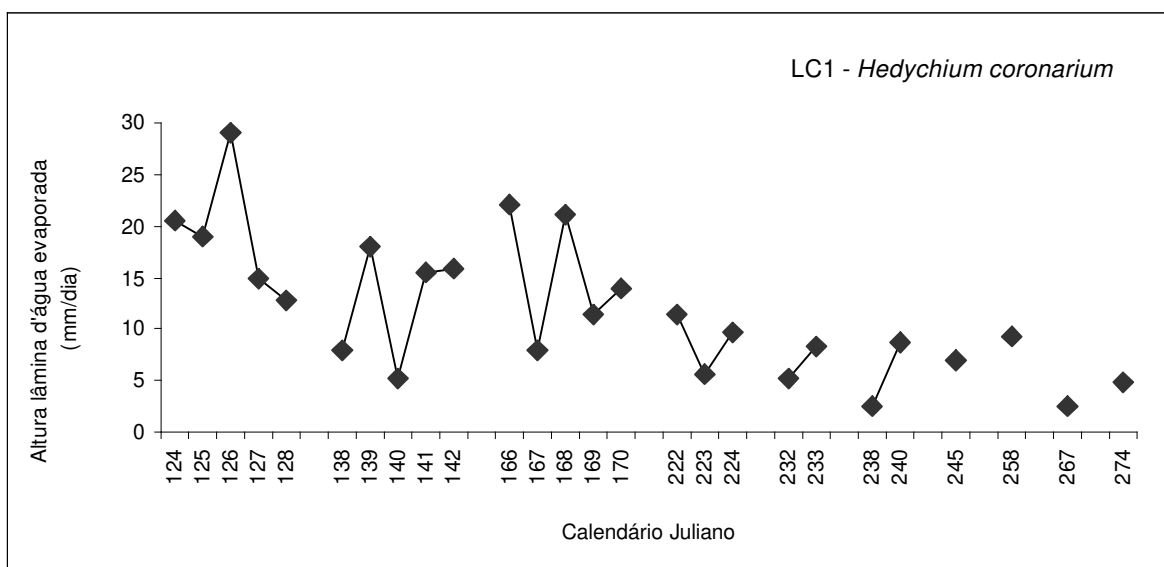


Figura 43. Altura diária total da lâmina d'água evaporada no LC com *Hedychium coronarium* nos dias monitorados em 2009

Na Figura 44, pode-se observar o TDH para os dias monitorados. O maior TDH ocorreu no dia 18/05/2009 (DJ 138) com 2,1 dias e o menor TDH ocorreu nos dias 05/05 e 24/09/2009 (DJ 125 e DJ 267) com 1,0 dia. O TDH entre 1,1 e 1,3 dias ocorreu em 53,8% dos dias monitorados.

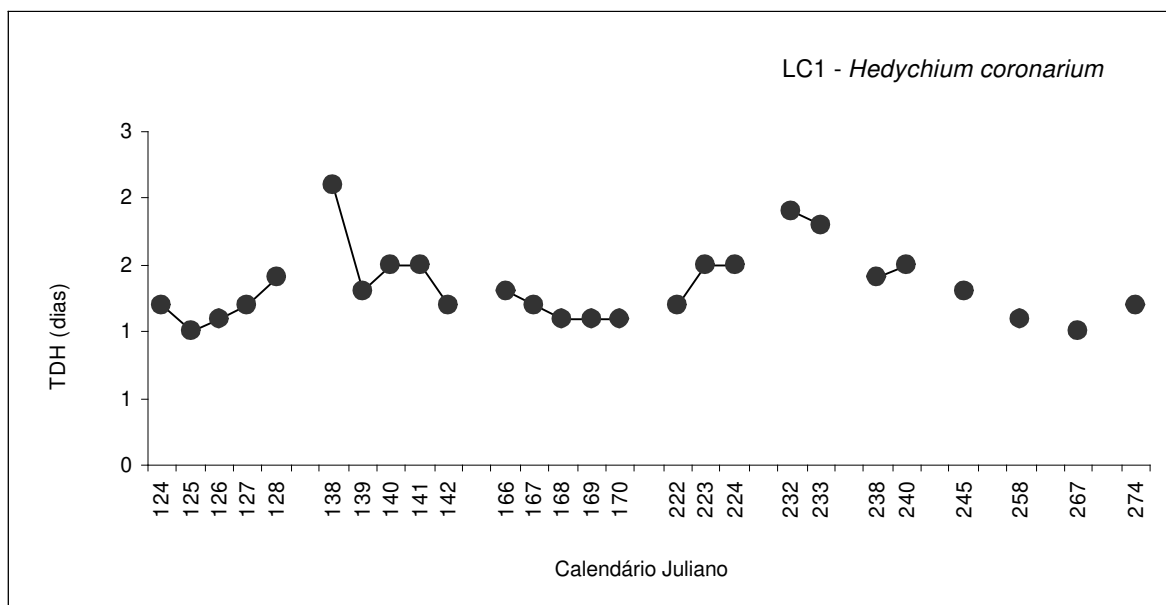


Figura 44. Tempo de detenção hidráulica (TDH) no LC com *Hedychium coronarium* nos dias monitorados em 2009

4.4.1.2.4 Qualidade da água - Escala diária

a) Fósforo total (P_T)

Na Figura 45, observam-se as retenções de fósforo total no dias monitorados em 2009, onde as retenções positivas ocorreram em 50,0% dos dias. A eficiência máxima positiva ocorreu no dia 20/05/2009 (DJ 140) com 34,4%, seguido pelo dia 13/08/2009 (DJ 224) com 29,6%. O maior acréscimo ocorreu no dia 15/09/2009 (DJ 258) com 25,4%, seguido pelo dia 08/05/2009 (DJ 128) com 24,6%. As retenções positivas de fósforo total no LC1 ocorreram em 64,3% dos dias monitorados no período anterior à poda. No período posterior à poda a capacidade de retenção diminuiu, ficando em torno de 37,5% dos dias analisados.

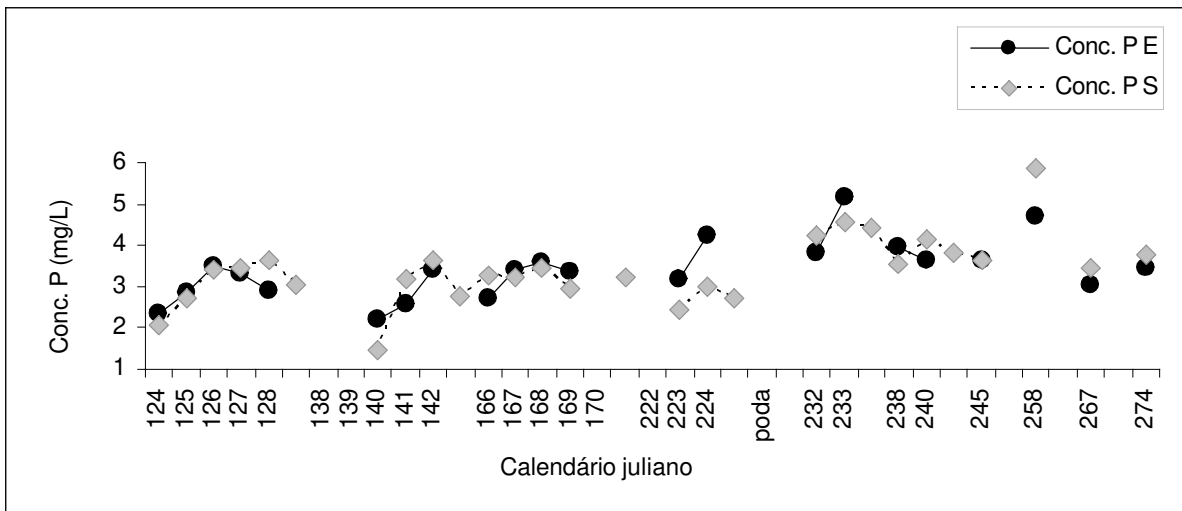


Figura 45. Concentração de fósforo total - médias diárias de entrada e saída no LC com *Hedychium coronarium* nos dias monitorados em 2009

Na Figura 46, estão apresentadas as cargas diárias de fósforo total afluentes e efluentes para o período anterior e posterior à poda. A máxima eficiência de retenção positiva ocorreu no dia 20/05/2009 (DJ 140) com 34%, quantificada em 646 mg/dia de fósforo total retido; seguido pelo dia 13/08/2009 (DJ 224), com 33,5% de eficiência de retenção e, 1.178,8 mg/dia de massa de fósforo total retida. No dia 15/09/2009 (DJ 258), ocorreu o maior acréscimo no LC1 para carga de fósforo total, com 23,2%, seguido pelo dia 08/05 (DJ 128) e dia 20/08/2009 (DJ 232), em que ambos os dias apresentaram acréscimo de 19,5% na carga de fósforo total.

A eficiência de retenção nas cargas de fósforo total seguiu a mesma tendência da concentração, com 71,4% de retenção positiva antes da poda e 37,5% de retenção positiva após a mesma. As retenções para as cargas de fósforo total nos dias monitorados podem ser observadas na Figura 47.

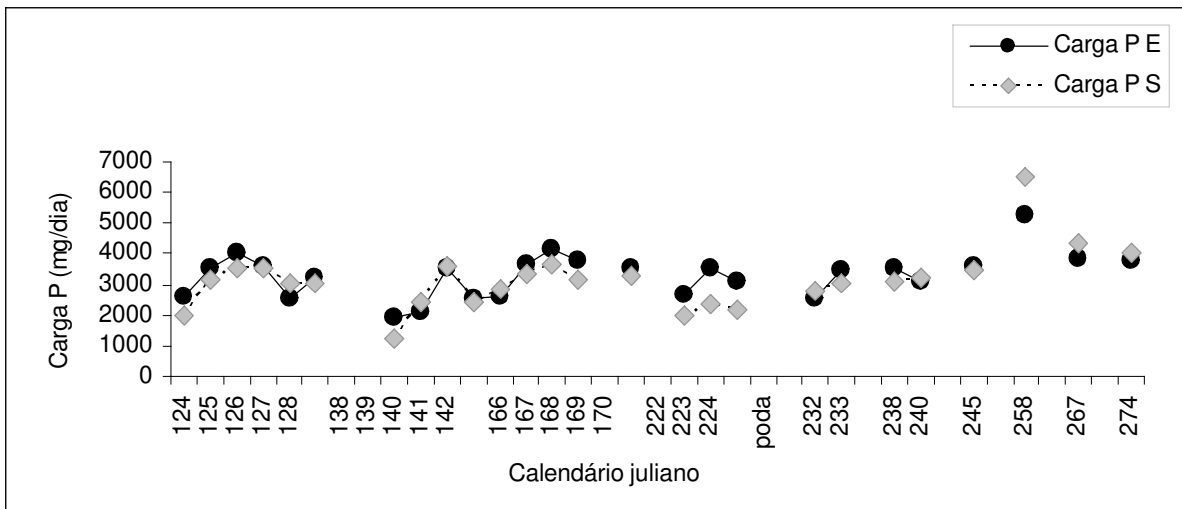


Figura 46. Carga de fósforo total - médias diárias de entrada e saída no LC com *Hedychium coronarium* nos dias monitorados em 2009

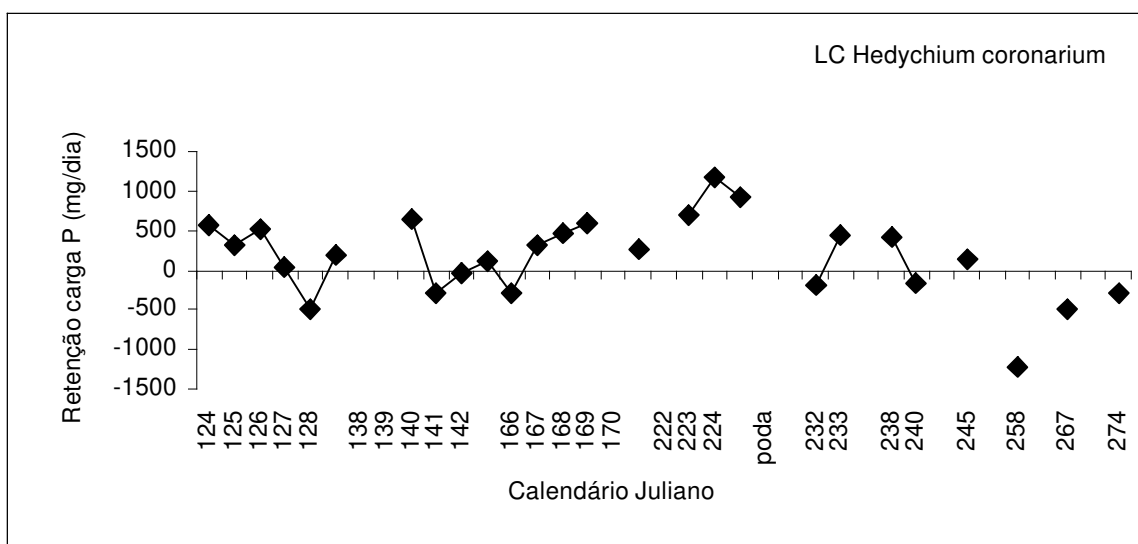


Figura 47. Retenção da carga de fósforo total ocorrida no LC com *Hedychium coronarium* nos dias monitorados em 2009

b) Nitrato (NO_3^-)

A análise da concentração de nitrato foi realizada em sete dias, a partir das amostras compostas, ou seja, uma vez por semana, sendo que a primeira análise ocorreu antes da poda e o restante, seis dias, no período posterior à poda.

As concentrações afluentes e efluentes de nitrato no LC1 podem ser observadas na Figura 48. Na análise realizada antes da poda a eficiência de retenção foi positiva com 38,1%. Após a poda, os dias 21/08/2009 (DJ 233) e 28/08/2009 (DJ 240), a eficiência de retenção foi igual a zero. Nos dias analisados, 02/09 (DJ 245) e 15/09/2009 (DJ 245) ocorreu acréscimo de nitrato de 21,4% e 7,7%, respectivamente. Nos últimos dois dias analisados, 24/09 (DJ 267) e no dia 01/10/2009 (DJ 274), a eficiência de retenção foi positiva, chegando a índices de 48,3% para o primeiro dia e 68,2% para o segundo dia. A retenção na concentração de nitrato foi positiva em 42,9% dos dias analisados, igual a zero em 28,6% e negativa em 28,6% dos dias analisados.

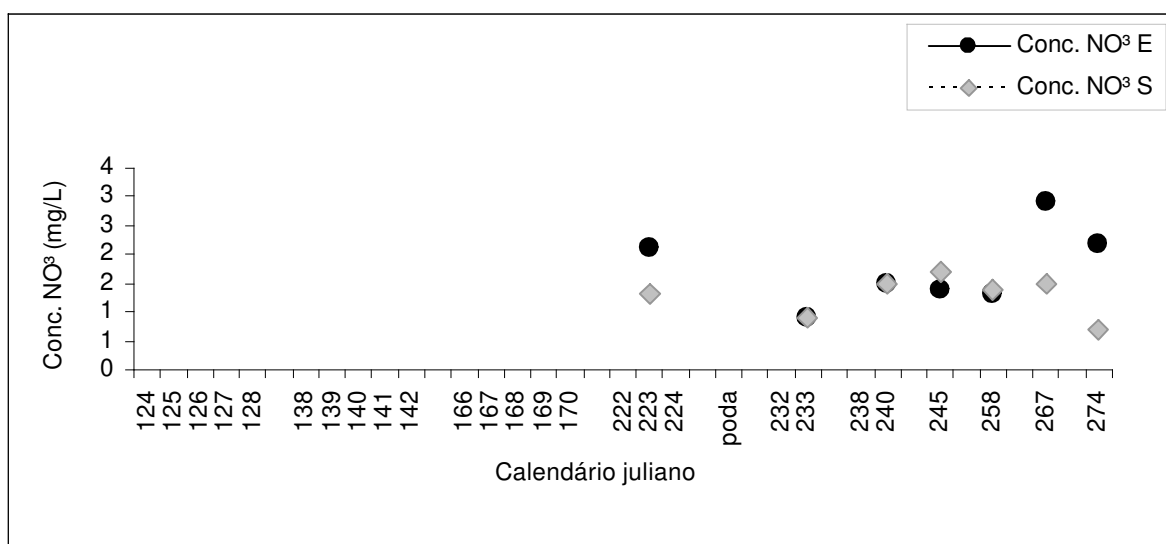


Figura 48. Concentração de nitrato - médias diárias de entrada e saída no LC com *Hedychium coronarium* nos dias monitorados em 2009

Na Figura 49 têm-se as cargas de nitrato, na qual se observa que a máxima retenção ocorreu no dia 01/10/2009 (DJ 274) com valores de 2.383,9 mg/dia (entrada) e 744,7 mg/dia (saída) com retenção de 1.639,3 mg/dia e eficiência de 68,8%. No dia 24/09/2009 (DJ 267) a retenção foi de 1.790,3 mg/dia e eficiência de 48,7% com valores de 3.674,9 mg/dia (entrada) e 1.884,6 mg/dia (saída). A eficiência, após a poda, foi positiva em 66,6% dos dias analisados. As retenções para as cargas de nitrato podem ser visualizadas na Figura 50.

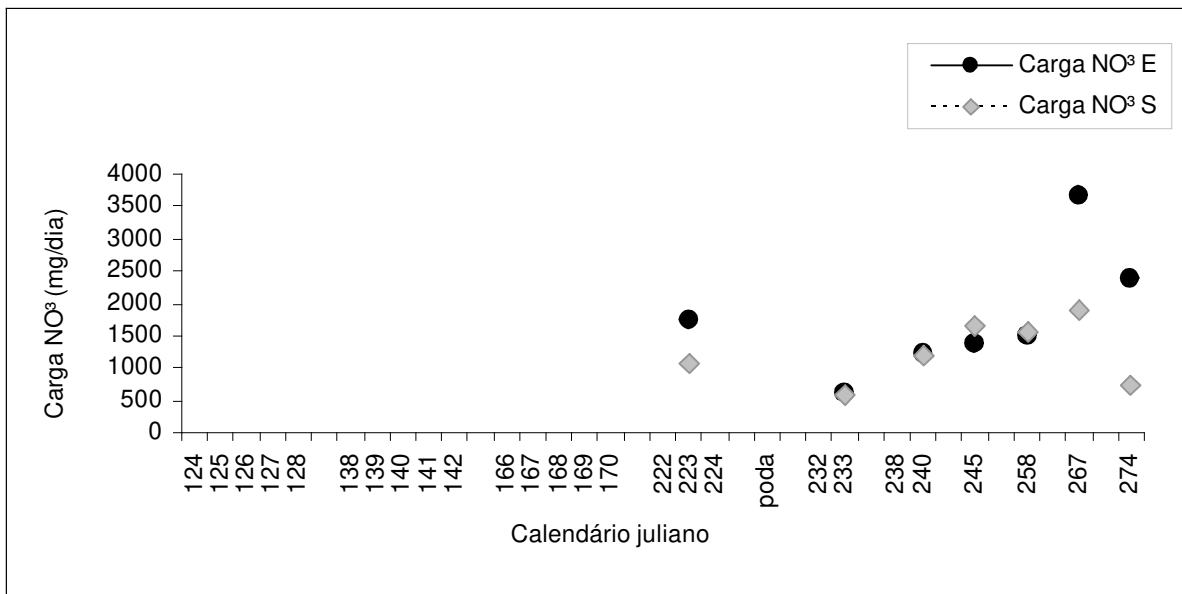


Figura 49. Carga de nitrato - médias diárias de entrada e saída no LC com *Hedychium coronarium* nos dias monitorados em 2009

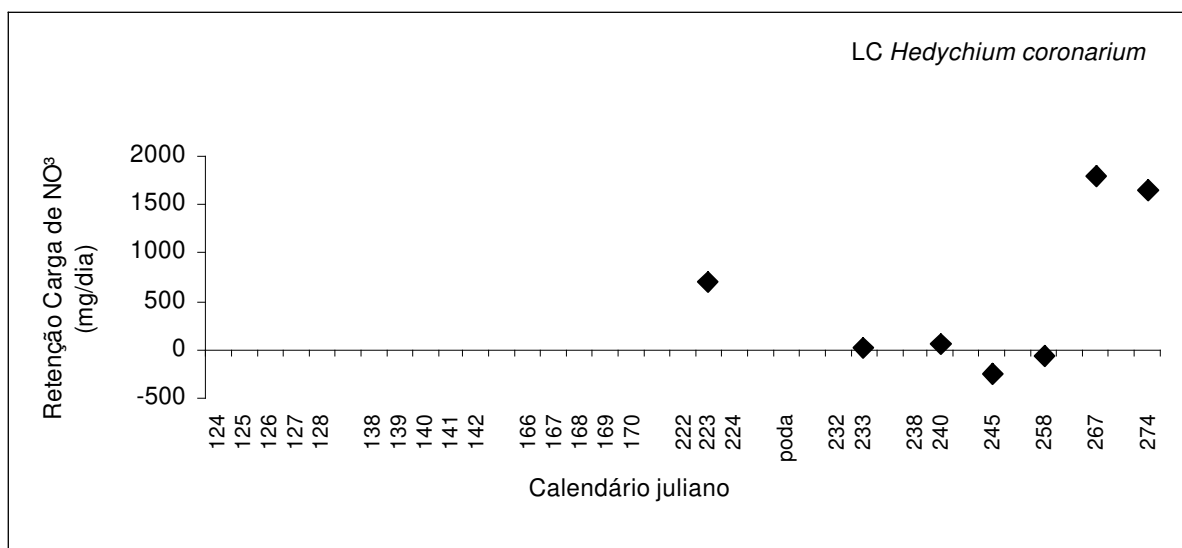


Figura 50. Retenção da carga de nitrato ocorrida no LC com *Hedychium coronarium* nos dias monitorados em 2009

c) Nitrogênio amoniacal (NH³)

As concentrações de nitrogênio amoniacal do afluente e do efluente os dias monitorados em 2009 podem ser observadas na Figura 51. Essa variável foi analisada a partir

das amostras compostas diárias, tendo início no dia 11/08/2009 (DJ 222) e permanecendo até o último dia de monitoramento, dia 01/01/2009 (DJ 274). Nesse contexto, a eficiência positiva ocorreu em 100% dos dias que antecederam a poda, dia 11/08/2009 (DJ 222) com 17,7% e valores de 33,9 mg/L (entrada) e 27,9 mg/L (saída), dia 12/08/2009 (DJ 223) com 16,1% e valores de 24,9 mg/L (entrada) e 20,9 mg/L (saída) e dia 13/08/2009 (DJ 224) com 15,3% de eficiência e valores de entrada de 37,3 mg/L e de saída 31,6 mg/L. Após a poda, essa retenção positiva diminuiu para 50% dos dias analisados.

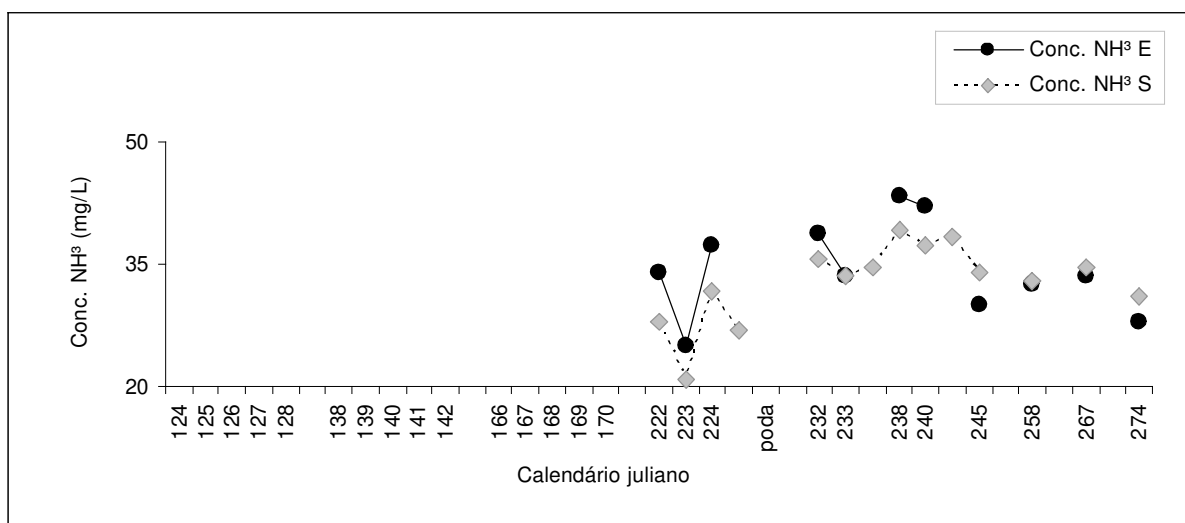


Figura 51. Concentração de nitrogênio amoniacal - médias diárias de entrada e saída no LC com *Hedychium coronarium* nos dias monitorados em 2009

A Figura 52 mostra as cargas afluentes e efluentes de nitrogênio amoniacal nos dias monitorados em 2009. As eficiências positivas foram maiores nos três primeiros dias de monitoramento, anteriores à poda. No dia 11/08/2009 (DJ 222) a retenção foi de 7.807,3 mg/dia (21,3%) no dia 12/08/2009 (DJ 223) foi de 3.829,9 mg/dia (18,4%) e no dia 13/08/2009 (DJ 224) foi de 5.899,1 mg/dia (19,4%). A retenção positiva ocorreu em 100% dos dias que antecederam à poda e em 62,5% dos dias monitorados após a poda, essas retenções podem ser observadas na Figura 53.

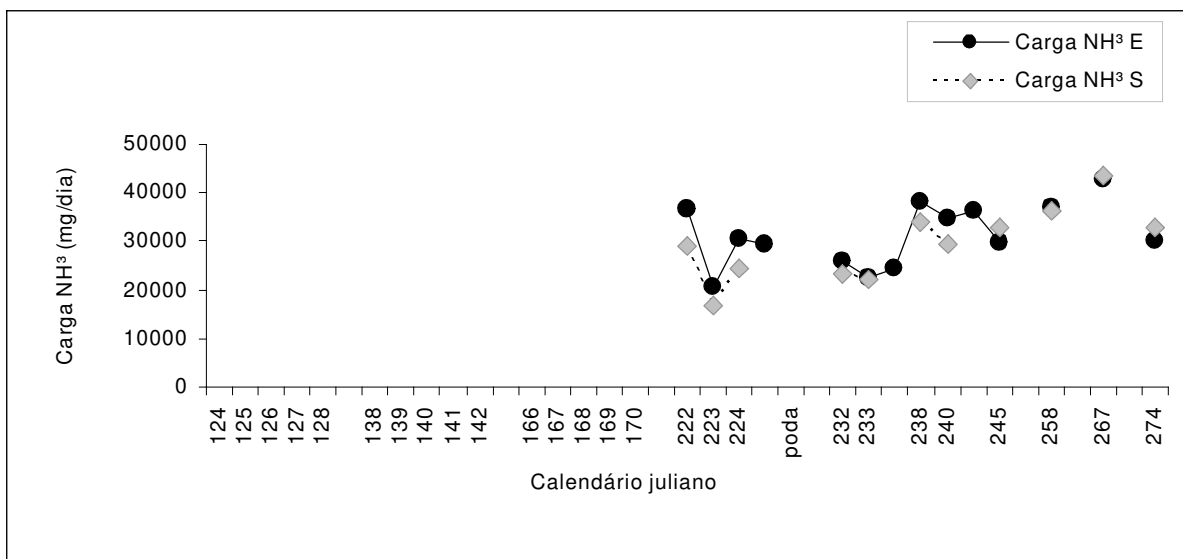


Figura 52. Carga de nitrogênio amoniacal - médias diárias de entrada e saída no LC com *Hedychium coronarium* nos dias monitorados em 2009

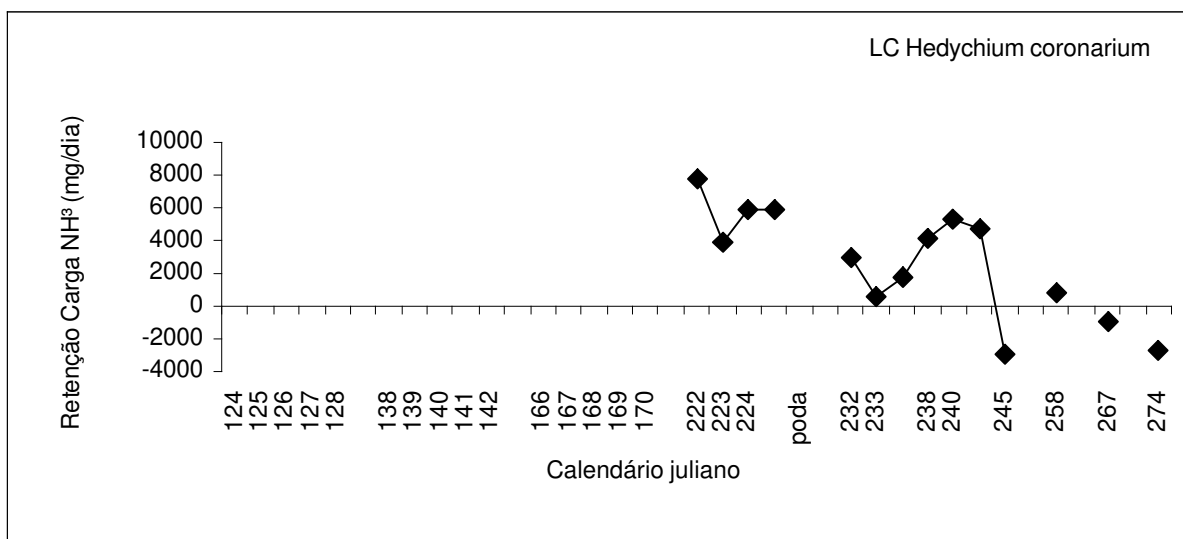


Figura 53. Retenção da carga de nitrogênio amoniacal ocorrida no LC com *Hedychium coronarium* nos dias monitorados em 2009

d) Demanda Química de oxigênio (DQO)

A análise da concentração de DQO foi realizada com amostras compostas diárias em todos os dias monitorados a partir do dia 11/08/2009 até o final do monitoramento.

A concentração média afluyente e efluente de DQO no LC1 pode ser observada na Figura 54. Onde ocorreu retenção positiva em 100% dos dias analisados. Com destaque para os dias 28/08/2009 (DJ 240) e 15/09/2009 (DJ 258), ambos após a poda, com retenções de 57,9% e 48,2%, respectivamente. O LC1 reteve DQO mesmo após a poda, quando o aumento de matéria orgânica, devido à senescência das raízes, era esperado. A poda parece não ter influenciado na dinâmica dessa variável nesse LC.

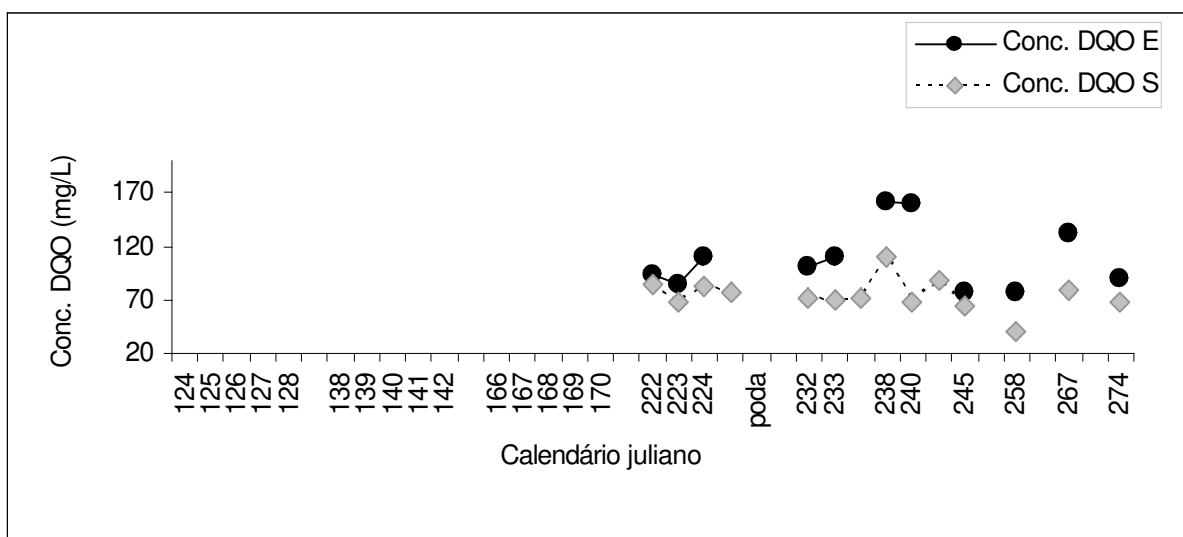


Figura 54. Concentração de DQO - médias diárias de entrada e saída no LC com *Hedychium coronarium* nos dias monitorados em 2009

As cargas afluentes e efluentes da DQO no LC1 podem ser observadas na Figura 55. As maiores retenções ocorreram após a poda e a máxima retenção ocorreu no dia 28/08/2009 (DJ 240) com 78.329,4 mg/dia e 59,7%. A segunda maior retenção ocorreu no dia 15/09/2009 (DJ 258) com 43.782,5 mg/dia e 49,9% seguida pelo dia 24/09/2009 (DJ 267) com 67.481,5 mg/dia e 40,5%. As retenções diárias totais da carga de DQO podem ser observadas na Figura 56.

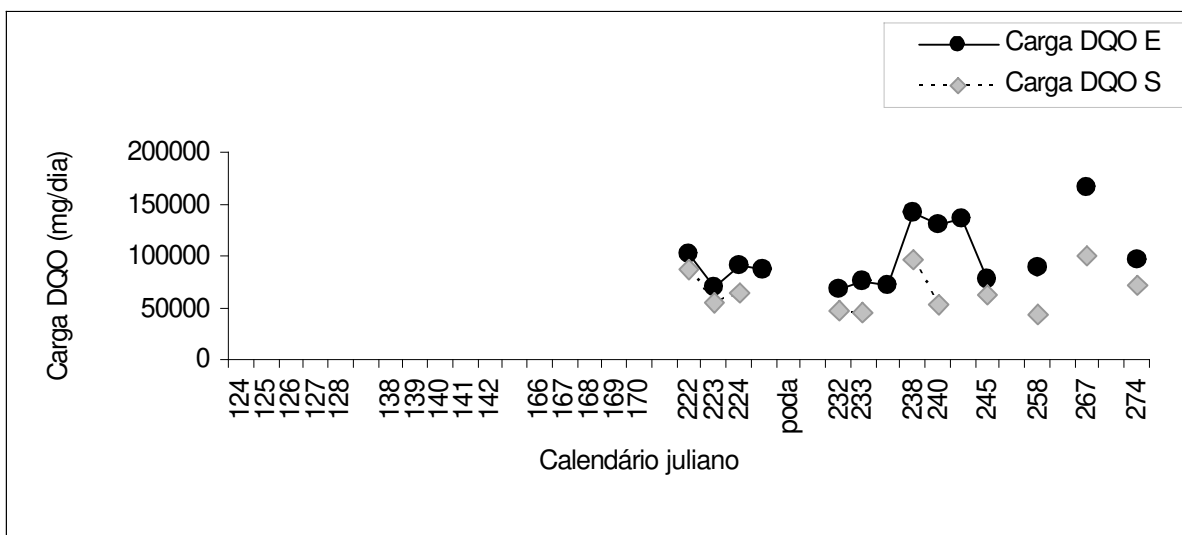


Figura 55. Carga de DQO - médias diárias de entrada e saída no LC com *Hedychium coronarium* nos dias monitorados em 2009

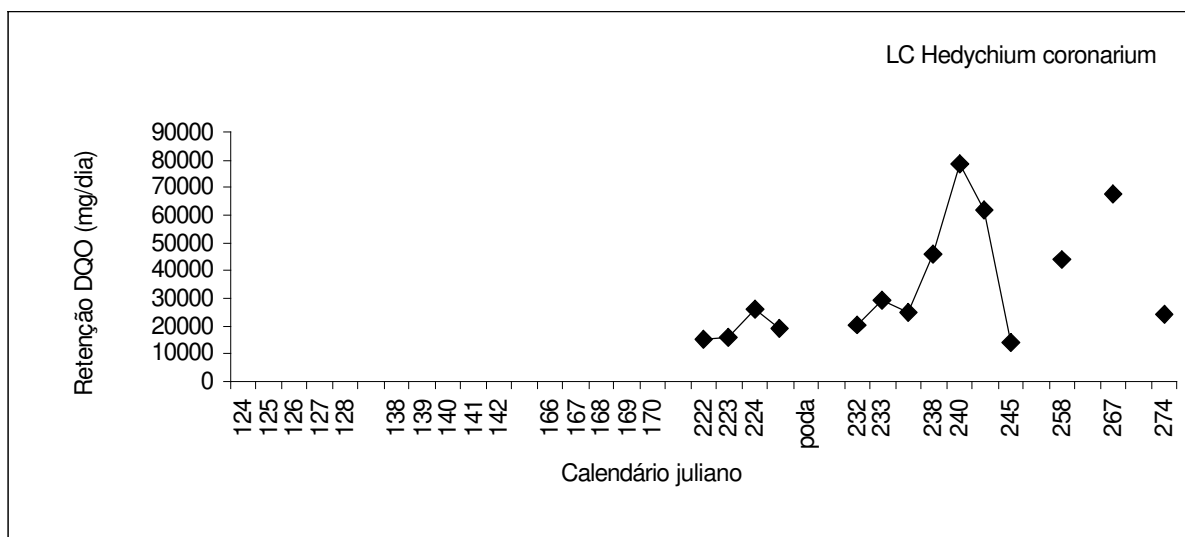


Figura 56. Retenção da carga de DQO ocorrida no LC com *Hedychium coronarium* nos dias monitorados em 2009

e) Oxigênio dissolvido (OD)

A concentração de OD no LC1 foi analisada em 16 dias, sendo cinco dias logo no início do monitoramento e o restante iniciando no dia 11/08/2009 (DJ 222), antes da poda, seguindo até o final do monitoramento, dia 01/10/2009.

A concentração de OD, praticamente, não sofreu acréscimo no LC1 nos dias monitorados, a única exceção ocorreu no dia 20/08/2009 (DJ 232), com valores muito próximos de entrada (2,38 mg/L) e saída (2,40 mg/L) (Figura 57). A redução máxima de OD foi de 81,2% no dia 08/05/2009 (DJ 128), com valores de 1,46 mg/L (entrada) e 0,27 mg/L (saída). A concentração de OD teve acréscimos em 6,25% dos dias analisados. Na Figura 58, têm-se as variações da concentração de OD no LC1 para os dias monitorados em 2009.

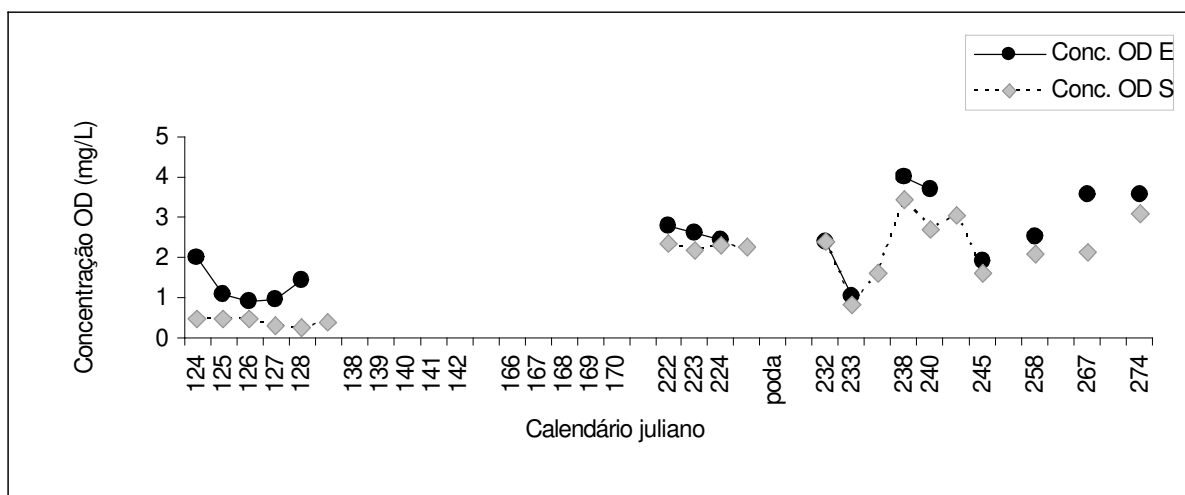


Figura 57. Concentração de OD - médias diárias de entrada e saída no LC com *Hedychium coronarium* nos dias monitorados em 2009

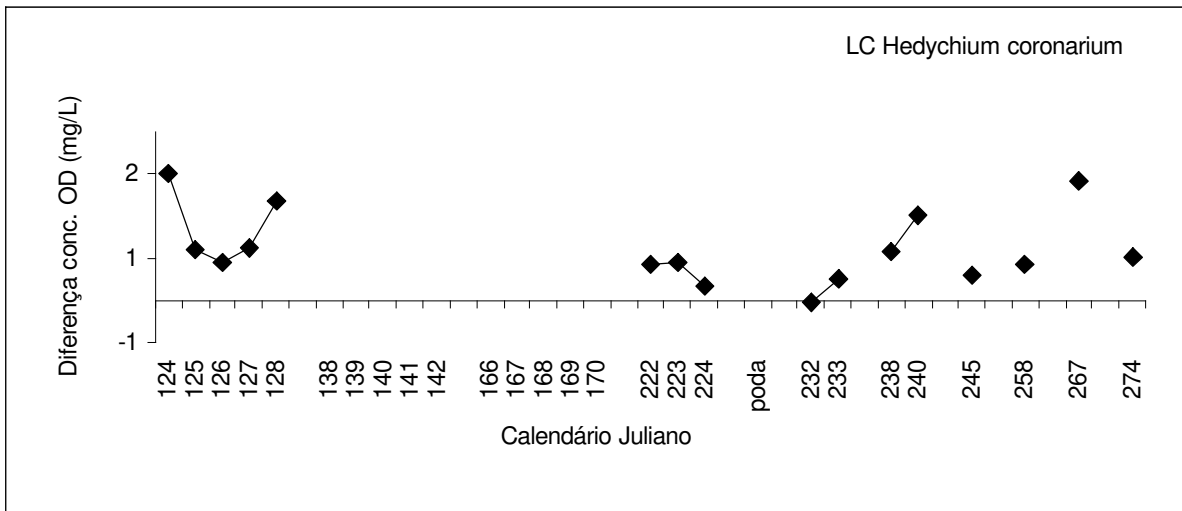


Figura 58. Diferença da concentração de OD de entrada e saída no LC *Hedychium coronarium* nos dias monitorados em 2009

f) Potencial hidrogeniônico (pH)

A Figura 59 mostra a variação do pH afluente e efluente nos dias monitorados. Onde se verifica que o mesmo foi reduzido, tornando-se menos alcalino, em todos os dias. A maior variação de pH ocorreu no dia 26/08/2009 (DJ 125) com valores de 7,8 (entrada) e 7,3 (saída) e no dia 01/10/2009 (DJ 274) com valores de 8,1 (entrada) e 7,5 (saída), ambos os dias com diferença entre o afluente e o efluente de 0,6.

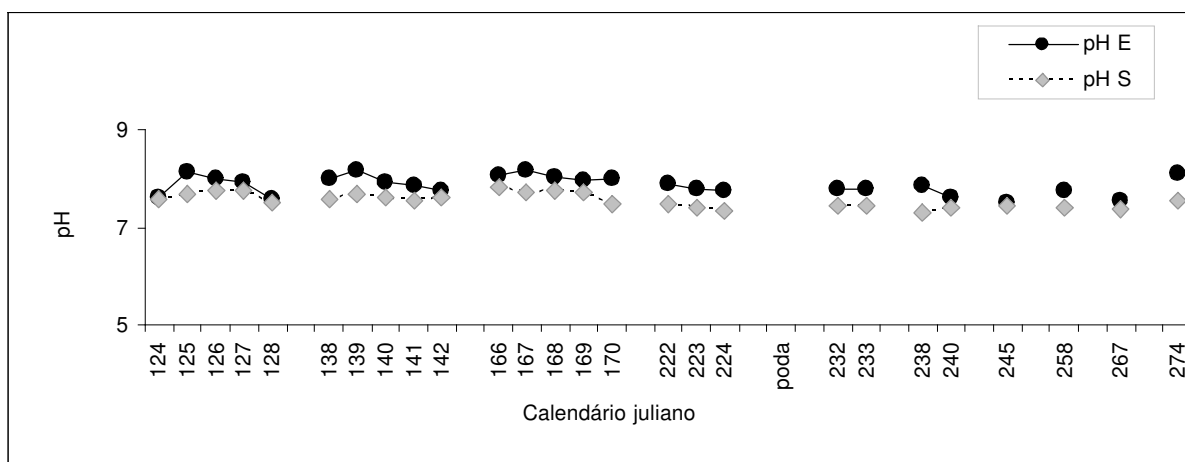


Figura 59. pH - médias diárias de entrada e saída no LC com *Hedychium coronarium* nos dias monitorados em 2009

g) Condutividade elétrica (CE)

A condutividade elétrica do afluente e do efluente para os dias monitorados no LC1 pode ser observada na Figura 60. Na qual se observa que a maior redução da CE ocorreu no dia 13/08/2009 (DJ 224) com 160 μ S/cm e valores de 1.185 μ S/cm (entrada) e 1.025 μ S/cm (saída), seguido pela redução no dia 19/06/2009 (DJ 139), 130 μ S/cm, com valores de 1029 μ S/cm (entrada) e 899 μ S/cm (saída). O maior acréscimo foi de 82 μ S/cm, e ocorreu no dia 02/09/2009 (DJ 245), após a poda, com valores de 733 μ S/cm (entrada) e 815 μ S/cm (saída). A diminuição da CE antes da poda ocorreu em 44,4% dos dias monitorados e após a mesma ocorreu em 62,5% dos dias monitorados. A diferença entre a CE de entrada e a CE de saída podem ser observadas na Figura 61.

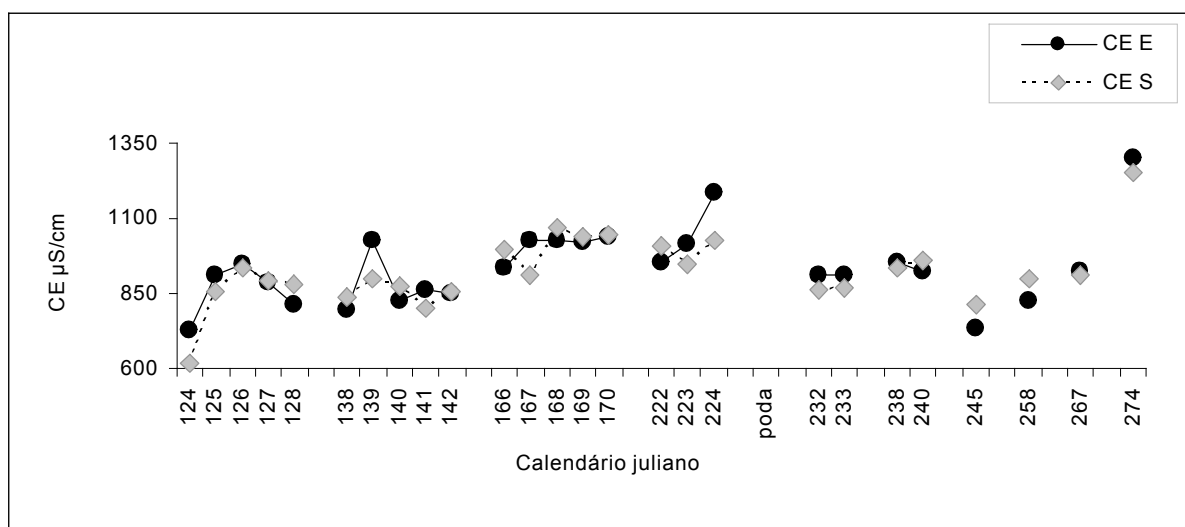


Figura 60. CE - médias diárias de entrada e saída no LC com *Hedychium coronarium* nos dias monitorados em 2009

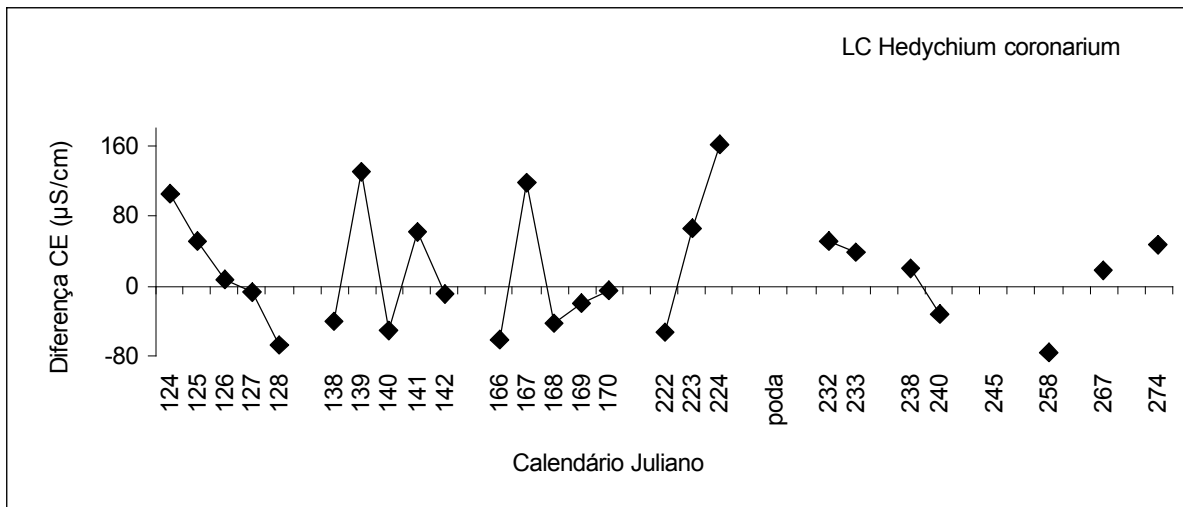


Figura 61. Diferença da CE de entrada e saída no LC com *Hedychium coronarium* nos dias monitorados em 2009

h) Temperatura da água (Temp.)

Na Figura 62 observam-se as temperaturas médias da água do afluente e do efluente no LC1 nos dias monitorados em 2009. Onde a maior diferença na temperatura da água foi observada no dia 01/10/2009 (DJ 274) com redução de 1,8°C e temperaturas de 24,3°C (entrada) e 22,5°C (saída). As diferenças entre as temperaturas da água de entrada e de saída podem ser observadas na Figura 63.

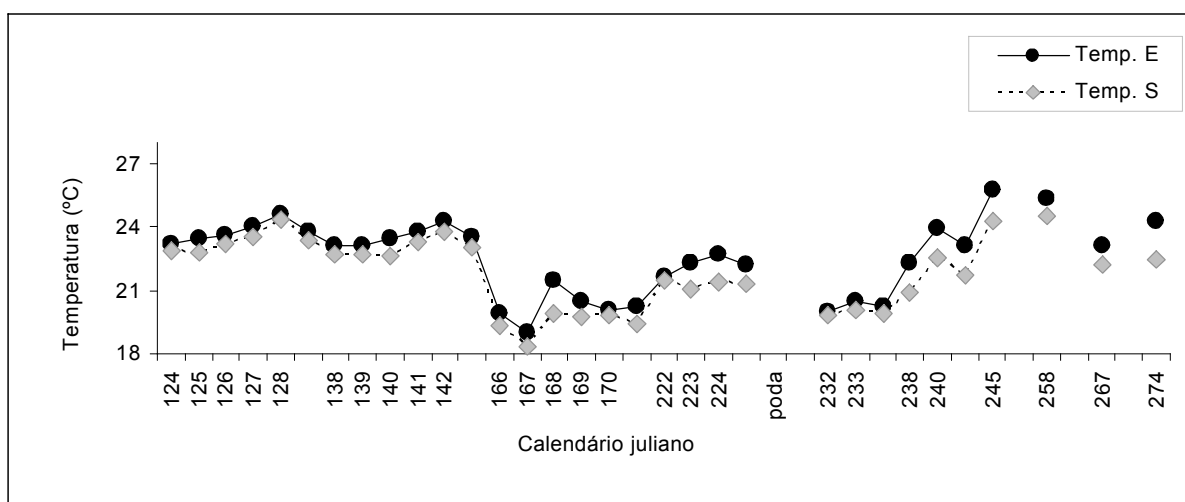


Figura 62. Temperatura da água - médias diárias de entrada e saída no LC com *Hedychium coronarium* nos dias monitorados em 2009

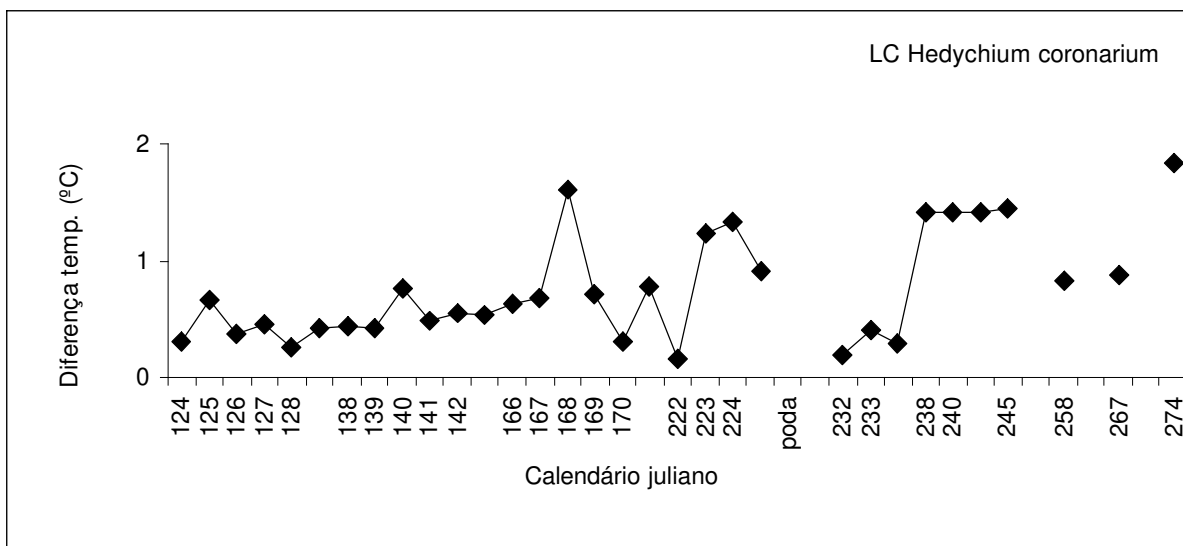


Figura 63. Diferença na temperatura da água de entrada e saída no LC com *Hedychium coronarium* nos dias monitorados em 2009

4.4.1.2.5 Quantidade da água - Escala semanal, período monitorado e período estendido

a) Vazão (Q)

As vazões afluentes e efluentes do LC1 foram importantes para a quantificação das cargas potencialmente poluidoras no sistema e, para a taxa de evapotranspiração do mesmo. A Tabela 7 apresenta os valores médios das vazões para cada semana monitorada. Sendo que, nas três primeiras semanas (1ª, 2ª e 3ª) o monitoramento ocorreu em cinco dias da semana (de segunda a sexta feira), na 4ª semana foram monitorados por 4 dias, na 5ª e 6ª semana foram monitorados 2 dias e a partir da 7ª até a 10ª semana, monitorou-se 1 dia por semana. A taxa de evapotranspiração e da altura da lâmina d'água evaporada foram calculadas a partir dos valores diários.

As vazões afluentes não foram constantes ao longo dos períodos analisados. Nesses períodos foram observados problemas de entupimento das tubulações. Constatou-se que esses entupimentos ocorriam, devido à matéria orgânica carregada dos RAC para a caixa de distribuição e conseqüentemente para a canalização dos LC.

As maiores taxas de evapotranspiração foram observadas no período anterior à poda na, 1ª, 2ª e 3ª semana e na 8ª semana no período posterior à poda, os valores foram 78,7; 51,1;

36,6 e 37,8 L/dia, respectivamente. A altura da lâmina d'água evaporada foi de 19,2 mm/dia (1ª semana); 12,5 mm/dia (2ª semana), 8,9 mm/dia (3ª semana) e de 9,2mm/dia (8ª semana).

O valor máximo de vazão do afluente ocorreu na 9ª semana com 126,7 L/dia e o valor mais próximo a este ocorreu na 8ª semana com 114,1 L/dia. O maior TDH foi registrado na 5ª semana com 1,8 dias, sendo que o TDH mais próximo desse foi de 1,5 dias, ocorrido na 2ª e na 6ª semana.

No período anterior à poda, a média e desvio padrão foi de 100,0±16,7 L/dia para a vazão afluente e, 94,0±15,4 L/dia para a vazão efluente. A taxa de evapotranspiração foi de 59,6±25,8 L/dia. A altura da lâmina d'água evaporada foi de 14,5±6,3 mm/dia e o TDH foi 1,3±0,2 dias. No período posterior à poda, a média e o desvio padrão para a vazão afluente foi de 94,4±21,4 L/dia, para o efluente foi de 91,9±21,8 L/dia. A taxa de evapotranspiração foi de 25,0±10,9 L/dia, a lâmina d'água evaporada foi de 6,1±2,6 mm/dia e o TDH foi de 1,3±0,3 dias.

Tabela 7. Vazão – média semanal entrada e saída, taxa de evapotranspiração, altura da lâmina d'água evaporada e TDH no LC1 nas semanas e nos períodos monitorados

LC - <i>Hedychium coronarium</i>						
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Vazão				
		Média Semanal (L/dia)		Taxa de evapotranspiração (L/dia)	Altura lâmina d'água evaporada (mm/dia)	TDH (dias)
		Entrada	Saída			
1ª	5	108,5	100,7	78,7	19,2	1,2
2ª	5	86,4	81,3	51,1	12,5	1,5
3ª	5	110,3	104,0	36,6	8,9	1,1
4ª	3	91,1	87,5	27,9	6,8	1,4
Média e desvio padrão	18	100,0±16,7	94,0±15,4	59,6±25,8	14,5±6,3	1,3±0,2
Poda						
5ª	2	68,1	65,3	27,9	6,8	1,8
6ª	2	85,1	82,8	23,4	5,7	1,5
7ª	1	99,2	96,3	28,8	7,0	1,3
8ª	1	114,1	110,3	37,8	9,2	1,1
9ª	1	126,7	125,6	10,8	2,6	1,0
10ª	1	108,4	106,4	19,8	4,8	1,2
Média e desvio padrão	8	94,4±21,4	91,9 ± 21,8	25,0±10,9	6,1±2,6	1,3±0,3

4.4.1.2.6 Qualidade da água - Escala semanal, período monitorado e período estendido

a) Fósforo total (Pt)

A Tabela 8 apresenta os valores médios para a concentração de fósforo total nas semanas analisadas e no período anterior e posterior à poda. O valor máximo do afluente ocorreu na 8ª semana com um dia de monitoramento e 4,7 mg/L, valor próximo a este foi registrado na 5ª semana, com monitoramento de 2 dias e 4,5 mg/L. As maiores retenções ocorreram, antes da poda, na 2ª semana, com 5 dias de monitoramento e, retenção de 0,6 mg/L e 21,0% de eficiência, a retenção na 4ª semana, 3 dias de monitoramento, foi de 0,7 mg/L com eficiência de 26,8%. Considerando os dois períodos monitorados, anterior e posterior à poda, a retenção da concentração de fósforo ocorreu em 40% das semanas. Sendo que 30% ocorreu antes da poda e 10% após a poda. No período posterior à poda, ocorreram acréscimos em praticamente todas as semanas, sendo o maior acréscimo registrado na 8ª semana, com 1 dia de monitoramento e 25,4% de acréscimo.

A concentração de fósforo total afluente e efluente nos períodos monitorados, antes e depois da poda, foi realizada a partir das médias diárias. Onde a média e o desvio padrão no período anterior à poda, foi de $3,1 \pm 0,6$ mg/L (entrada) e $3,0 \pm 0,6$ mg/L (saída), a retenção foi de $0,1 \pm 0,6$ mg/L e a eficiência foi de $3,3 \pm 18,7\%$. No período posterior à poda, ocorreu acréscimo na concentração de fósforo total.

No período estendido anterior a poda, a concentração retida foi de 8,6 mg/período, enquanto no período estendido após a poda ocorreu acréscimo na concentração de fósforo do sistema.

Tabela 8. Concentração Fósforo – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC1 nas semanas e nos períodos monitorados

LC1 - <i>Hedychium coronariun</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Concentração P			
		Média semanal (mg/L)		Retenção (mg/L)	Eficiência (%)
		Entrada	Saída		
1ª	5	3,0	3,1	-0,1	-2,3
2ª	3	2,8	2,2	0,6	21,0
3ª	4	3,2	3,1	0,1	2,7
4ª	2	2,5	1,8	0,7	26,8
Média e desvio padrão	14	3,1±0,6	3,0±0,6	0,1±0,6	3,3±18,7
Poda					
5ª	2	4,5	4,4	0,1	1,8
6ª	2	1,8	2,1	-0,2	-13,2
7ª	1	3,6	3,6	0,0	-0,3
8ª	1	4,7	5,9	-1,2	-25,4
9ª	1	3,0	3,4	-0,4	-13,2
10ª	1	3,5	3,8	-0,3	-9,2
Média e desvio padrão	8	3,9±0,7	4,2±0,8	-0,2±0,6	-6,3±12,7

Na Tabela 9 observam-se as retenções médias semanais para a carga de fósforo total. Onde a maior retenção positiva ocorreu na 4^a semana, antes da poda, com 930,0 mg/dia e 30,1% de eficiência.

A média e o desvio padrão para a carga de fósforo total no período monitorado anterior à poda foram de 3.154,1±728,5 mg/dia para o afluente e de 2.854,4±739,6 mg/dia para o efluente. A retenção média e o desvio padrão das cargas de fósforo total foram 299,7±462,5 mg/dia e a eficiência foi de 9,1±16,7%. No período posterior à poda, a média e o desvio padrão para a carga afluente e efluente foram de 3636,2±779,9 mg/dia e 3.806,9±1211,2 mg/dia, respectivamente. A retenção e a eficiência para este período foram negativas em 24,8±51,3 mg/dia e 6,3±12,7 %, respectivamente. A carga de fósforo total foi reduzida em 100% no período anterior à poda e em 33,3% no período posterior à poda.

No período estendido, anterior à poda a carga de fósforo total retida foi de 21,6 g/período. No período estendido após a poda houve acréscimos nas cargas de fósforo total.

Tabela 9. Carga fósforo total – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC1 nas semanas e nos períodos monitorados

LC1 - <i>Hedychium coronarium</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Carga P			
		Média semanal (mg/dia)		Retenção (mg/dia)	Eficiência (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	5	3.250,2	3.060,6	189,5	5,8
2 ^a	3	2.524,6	2.418,6	105,9	4,2
3 ^a	4	3.538,3	3.270,8	267,6	7,6
4 ^a	2	3.089,8	2.159,4	930,0	30,1
Média e desvio padrão	14	3154,1±728,5	2854,4±739,6	299,7±462,5	9,1±16,7
Poda					
5 ^a	2	3.019,5	2.892,8	126,7	4,2
6 ^a	2	3.288,6	3.162,7	125,9	3,8
7 ^a	1	3.602,5	3.475,7	126,8	3,5
8 ^a	1	5.280,4	6.507,5	-1.227,1	-23,2
9 ^a	1	3.836,3	4.321,8	-485,6	-12,7
10 ^a	1	3.754,4	4.039,3	-284,9	-7,6
Média e desvio padrão	8	3.636,2±779,9	3.806,9±1.211,2	-170,7±542,4	-3,5±12,4

b) Nitrato (NO₃)

A concentração de nitrato foi avaliada a partir de amostras compostas em um dia de cada semana monitorada, tendo início na 4^a semana e término na 10^a semana de monitoramento (Tabela 10). A concentração de nitrato apresentou valores que variaram de 0,9 a 2,9 mg/L para o afluente, e de 0,7 a 1,7 mg/L para o efluente. As maiores retenções ocorreram na 4^a semana (antes da poda), na 9^a e na 10^a semana (após a poda) com 38,1; 48,3 e 68,2%, respectivamente. Na 5^a e 6^a semanas a eficiência foi igual a zero, na 7^a e 8^a semanas ocorreu acréscimo de 21,4 e 7,7%, respectivamente. A concentração de nitrato foi reduzida na semana anterior à poda e foi maior ou igual a zero no período posterior à poda em 66,6% das semanas.

A poda pode ter influenciado nesta variável, pois antes da poda a eficiência estava positiva, logo após, a eficiência de retenção foi igual a zero, posteriormente ficou negativa e com a recuperação das plantas aumentou significativamente, chegando a 68,2% na 10^a semana.

A concentração de nitrato para o período anterior à poda ocorreu em um dia e obteve retenção de 0,8 mg/L e 38,1% de eficiência. No período após a poda, a média e o desvio

padrão foram de $1,7 \pm 0,7$ mg/L (afluente) e de $1,3 \pm 0,4$ mg/L (efluente). A concentração retida foi de $0,4 \pm 0,8$ mg/L e a eficiência de retenção foi de $14,6 \pm 35,3\%$.

No período estendido anterior à poda, a concentração de nitrato retida foi de 57,6 mg/período e, após a poda a retenção foi de 15,2 mg/período.

Tabela 10. Concentração Nitrato – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC1 nas semanas e nos períodos monitorados

LC1 - <i>Hedychium coronariun</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Concentração NO ³⁻			
		Média semanal (mg/L)		Retenção (mg/L)	Eficiência (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	0	-	-	-	-
2 ^a	0	-	-	-	-
3 ^a	0	-	-	-	-
4 ^a	1	2,1	1,3	0,8	38,1
Média e desvio padrão	1	-	-	-	-
Poda					
5 ^a	1	0,9	0,9	0,0	0,0
6 ^a	1	1,5	1,5	0,0	0,0
7 ^a	1	1,4	1,7	-0,3	-21,4
8 ^a	1	1,3	1,4	-0,1	-7,7
9 ^a	1	2,9	1,5	1,4	48,3
10 ^a	1	2,2	0,7	1,5	68,2
Média e desvio padrão	6	1,7±0,7	1,3±0,4	0,4±0,8	14,6±35,3

A eficiência de retenção da carga de nitrato manteve a mesma tendência da concentração de nitrato, sendo mais expressiva na 10^a semana com 68,8% e 1.639,3 mg/dia, seguida pela 9^a semana com 48,7% de eficiência e 1.790,3 mg/dia de massa retida, ambas as semanas após a poda.

No período monitorado anterior à poda, a retenção foi de 698,6 mg/dia e eficiência de retenção de 39,8%. No período monitorado após a poda, a média e o desvio padrão para a carga de nitrato foi de $531,7 \pm 923,6$ mg/dia com eficiência de retenção de $17,1 \pm 33,8\%$.

No período estendido anterior à poda a carga de nitrato retida foi de 50,3 mg/período e de 38,3 mg/período depois da poda.

Tabela 11. Carga Nitrato – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC1 nas semanas e nos períodos monitorados

LC1 - <i>Hedychium coronariun</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Carga NO ³			
		Média semanal (mg/dia)		Retenção (mg/dia)	Eficiência (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	0	-	-	-	-
2 ^a	0	-	-	-	-
3 ^a	0	-	-	-	-
4 ^a	1	1.753,9	1.055,3	698,6	39,8
Média e desvio padrão	1	-	-	-	-
Poda					
5 ^a	1	607,5	591,3	16,2	2,7
6 ^a	1	1.236,6	1.182,6	54,0	4,4
7 ^a	1	1.388,5	1.637,1	-248,6	-17,9
8 ^a	1	1.483,6	1.544,8	-61,2	-4,1
9 ^a	1	3.674,9	1.884,6	1.790,3	48,7
10 ^a	1	2.383,9	744,7	1.639,3	68,8
Média e desvio padrão	6	1.795,8±1.083,0	1.264,2±516,1	531,7±923,6	17,1±33,8

c) Nitrogênio amoniacal (NH³)

A concentração do nitrogênio amoniacal também foi avaliada a partir das amostras compostas diárias, e a análise foi realizada em todos os dias monitorados, da 4^a até a 10^a semana de monitoramento (Tabela 12). A concentração de NH₃ apresentou valores médios semanais para o afluente que variaram de 27,9 a 42,8 mg/L e para o efluente de 26,8 a 38,3 mg/L. A maior eficiência de retenção ocorreu na 4^a semana (antes da poda) com 16,3% e a segunda maior retenção ocorreu na 6^a semana (após a poda) com 10,5%.

A média e o desvio padrão no período monitorado anterior à poda foram de 32,0±6,4 mg/L para o afluente e de 26,8±5,4 mg/L para o efluente. A retenção foi de 5,2±1,1 mg/L com eficiência de 16,3±1,2%. No período monitorado após a poda, a média e o desvio padrão para a concentração de nitrogênio amoniacal foi de 35,2±5,6 mg/L para o afluente e de 34,8±2,6 mg/L para o efluente, a retenção média foi de 0,5±3,3 mg/L e a eficiência média de retenção foi de 0,1±9,2%. Após a poda, a eficiência de retenção do NH₃ foi positiva em 33,3% das semanas monitoradas.

No período estendido antes da poda a retenção total da concentração de nitrogênio amoniacal foi de 376,8 mg/período. Após a poda essa retenção foi de 16,2 mg/período.

Tabela 12. Concentração nitrogênio amoniacal - média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC1 nas semanas e nos períodos monitorados

LC1 - <i>Hedychium coronariun</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Concentração NH ³			
		Média semanal (mg/L)		Retenção (mg/L)	Eficiência (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	0	-	-	-	-
2 ^a	0	-	-	-	-
3 ^a	0	-	-	-	-
4 ^a	3	32,0	26,8	5,2	16,3
Média e desvio padrão	3	32,0±6,4	26,8±5,4	5,2±1,1	6,3±1,2
Poda					
5 ^a	2	36,2	34,6	1,6	4,4
6 ^a	2	42,8	38,3	4,5	10,5
7 ^a	1	30,0	33,9	-3,9	-13,0
8 ^a	1	32,5	32,9	-0,4	-1,2
9 ^a	1	33,6	34,6	-1,0	-3,0
10 ^a	1	27,9	31,0	-3,1	-11,1
Média e desvio padrão	8	35,2±5,6	34,8±2,6	0,5±3,3	0,1±9,2

Na Tabela 13 podem ser observadas as retenções médias na carga de nitrogênio amoniacal. Essas retenções foram positivas na 4^a semana com 5.845,4 mg/dia, antes da poda, e após a poda na 5^a semana com 1.760,2 mg/dia, na 6^a semana com 4.706,3 mg/dia e na 8^o semana com 787,1 mg/dia a eficiência na retenção da carga de NH₃ para essas semanas foi de 19,7%, 8,1%, 13,0% e 2,1%, respectivamente.

No período monitorado, anterior à poda a média e o desvio padrão foram de 29.315,0±8025,5 mg/dia para o afluente e de 23.469,5±6.048,2 mg/dia para o efluente. A carga retida foi de 5.845,4±1.989,3 mg/dia e a eficiência de retenção foi de 19,7±1,4%. No período após a poda, a média e o desvio padrão para o afluente foi de 32.643,2±6.665,3 mg/dia e para o efluente 31.744,6±6.970,8 mg/dia. A retenção média foi de 898,7±3.041,0 mg/dia e a eficiência de retenção de 2,6±9,4 %. As cargas retidas no período anterior a poda foram superiores as cargas retidas no período posterior a poda, sendo a eficiência de retenção de 19,7%, antes da poda de apenas 2,9% após a poda. No entanto, após a poda, a retenção foi positiva em 33,3% das semanas analisadas.

No período estendido antes da poda a massa de nitrogênio amoniacal retida foi de 420 g/período e após a mesma a massa retida foi de 30,5 g/período.

Tabela 13. Carga nitrogênio amoniacal - média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC1 nas semanas e nos períodos monitorados

LC1 - <i>Hedychium coronarium</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Carga NH ³			
		Média semanal (mg/dia)		Retenção (mg/dia)	Eficiência (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	0	-	-	-	-
2 ^a	0	-	-	-	-
3 ^a	0	-	-	-	-
4 ^a	3	29.315,0	23.469,5	5.845,4	19,7
Média e desvio padrão	3	29.315,0±8025,5	23.469,5±6.048,2	5.845,4±1.989,3	19,7±1,4
Poda					
5 ^a	2	24.331,4	22.571,2	1.760,2	8,1
6 ^a	2	36.414,9	31.708,6	4.706,3	13,0
7 ^a	1	29.754,0	32.645,7	-2.891,7	-9,7
8 ^a	1	37.089,0	36.301,9	787,1	2,1
9 ^a	1	42.577,9	43.471,4	-893,5	-2,1
10 ^a	1	30.232,4	32.977,8	-2.745,4	-9,1
Média e desvio padrão	8	32.643,2±6.665,3	31.744,6±6.970,8	898,7±3.041,0	2,6±9,4

d) Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Na Figura 14 pode-se observar a concentração média semanal de DQO e os períodos, antes e depois da poda, para a concentração de DQO do afluente, efluente, a retenção e a eficiência de retenção no LC1. A concentração da DQO foi avaliada a partir de amostras compostas diárias, e a análise foi realizada em todos os dias monitorados, da 4^a até a 10^a semana de monitoramento.

A concentração da DQO do afluente foi reduzida em 100% das semanas monitoradas tanto antes quanto depois da poda. As máximas eficiências de retenção ocorreram na 8^a semana com 48,2%, na 9^a semana com 40% e na 6^a semana com 39,5%, todas as semanas no período posterior à poda. Sendo que a 6^a semana corresponde a média de 2 dias de monitoramento enquanto a 8^a e a 9^a semana são referentes a um dia de monitoramento cada.

No período monitorado antes da poda, com três dias de monitoramento, a média e o desvio padrão da concentração de DQO para o afluente foi de 96,2±12,9 mg/L e para o efluente foi de 77,7±9,0 mg/L a concentração retida e a eficiência de retenção foram de 18,5±8,7 mg/L e 19,0±7,1%, respectivamente. No período após a poda a média e o desvio padrão foi de 108,7±30,2 mg/L (afluente) e de 73,0±17,1 mg/L para o efluente. A

concentração retida foi de $42,0 \pm 24,6$ mg/L e a eficiência de retenção foram de $35,4 \pm 13,5$ mg/L.

Para o período estendido antes da poda, a retenção na concentração de DQO foi de 1,3 g/período e no período estendido após a poda a retenção foi de 1,5 g/período.

Tabela 14. Concentração DQO - média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC1 nas semanas e nos períodos monitorados

LC1 - <i>Hedychium coronarium</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Concentração DQO			
		Média semanal (mg/L)		Retenção (mg/L)	Eficiência (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	0	-	-	-	-
2 ^a	0	-	-	-	-
3 ^a	0	-	-	-	-
4 ^a	3	96,2	77,7	18,5	19,3
Média e desvio padrão	3	96,2±12,9	77,7±9,0	18,5±8,7	19,0±7,1
Poda					
5 ^a	2	153,7	109,4	44,3	28,8
6 ^a	2	237,1	143,5	93,7	39,5
7 ^a	1	77,1	64,8	12,4	16,1
8 ^a	1	76,9	39,9	37,0	48,2
9 ^a	1	131,5	78,9	52,6	40,0
10 ^a	1	89,3	68,2	21,1	23,6
Média e desvio padrão	8	113,3±34,1	71,3±19,5	42,0±24,6	35,4±13,5

Na Tabela 15 têm-se a retenção da carga de DQO. Na qual se observa que a maior eficiência ocorreu na 8^a semana com 49,9% e 43.782,5 mg/dia, seguida pela 9^a semana com 67.481,5 mg/dia e 40,5% de eficiência.

No período monitorado anterior à poda, a média e o desvio padrão da carga de DQO retida foi de $19.088,3 \pm 5.916,8$ mg/dia e a eficiência foi de $22,2 \pm 6,9\%$. No período monitorado após a poda essa retenção de carga aumentou para $40.484,9 \pm 22.918,7$ mg/dia e a eficiência para $37,0 \pm 13,4\%$.

No período estendido antes da poda, a carga retida de DQO foi de 1,4 g/período. E no período estendido posterior à mesma também foi de 1,4g/período.

Tabela 15. Carga DQO - média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC1 nas semanas e nos períodos monitorados

LC1 - <i>Hedychium coronariun</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Carga DQO		Retenção (mg/dia)	Eficiência (%)
		Média semanal (mg/dia)			
		Entrada	Saída		
1ª	0	-	-	-	-
2ª	0	-	-	-	-
3ª	0	-	-	-	-
4ª	3	87.426,1	68.337,8	19.088,3	22,2
Média e desvio padrão	3	87.426,1±15.720,0	68.337,8±16.407,3	19.088,3±5.916,8	22,2±6,9
Poda					
5ª	2	71.085,3	46.101,5	24.983,8	34,9
6ª	2	114.687,9	64.935,5	49.752,4	42,4
7ª	1	76.497,5	62.354,3	14.143,3	18,5
8ª	1	87.764,0	43.981,5	43.782,5	49,9
9ª	1	166.611,5	99.130,0	67.481,5	40,5
10ª	1	96.808,8	72.577,8	24.231,1	25,0
Média e desvio padrão	8	105.353,8± 36.522,7	64.868,9±22.333,4	40.484,9±22.918,7	37,0±13,4

e) Oxigênio Dissolvido (OD)

A concentração de OD de entrada e saída do LC1, a diferença entre o afluente e o efluente e a eficiência de retenção estão apresentadas na Tabela 16. Nessa variável o acréscimo na concentração de OD é desejável. Valores positivos na retenção e na eficiência significam déficit ou consumo de OD no LC. Nesse LC observa-se que ocorreu déficit na concentração de OD em 100% das semanas para ambos os períodos monitorados, antes e depois da poda. Na 5^a semana, a primeira após a poda, ocorreu o menor déficit com 0,1 mg/L e 6,7% de eficiência para o mesmo. O maior déficit ocorreu na 1^a semana monitorada com 68,0% de redução na concentração de OD.

Tabela 16. Concentração de OD - média semanal entrada e saída, diferença entrada e saída e eficiência OD do LC1 nas semanas e nos períodos monitorados

LC1 - <i>Hedychium coronarium</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Concentração OD			
		Média semanal (mg/L)		Diferença entrada-saída (mg/L)	Eficiência (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	5	1,3	0,4	0,9	68,0
2 ^a	0	-	-	-	-
3 ^a	0	-	-	-	-
4 ^a	3	2,6	2,3	0,3	13,2
Média e desvio padrão	8	1,8±0,8	1,1±1,0	0,7±0,4	45,6±29,1
Poda					
5 ^a	2	1,7	1,6	0,1	6,7
6 ^a	2	3,9	3,1	0,8	20,6
7 ^a	1	1,9	1,6	0,3	15,4
8 ^a	1	2,5	2,1	0,4	16,6
9 ^a	1	3,6	2,1	1,4	39,8
10 ^a	1	3,6	3,1	0,5	14,0
Média e desvio padrão	8	2,8±1,0	2,3±0,8	0,6±0,5	18,8±11,8

*Valores negativos significam acréscimo de OD no LC

f) Potencial hidrogeniônico (pH)

Na Tabela 17, pode-se observar o pH do afluente, do efluente e a diferença entre ambos. Onde se têm que o pH no período anterior à poda variou de 7,8 a 8,0 para o afluente e de 7,4 a 7,7 para o efluente, nesse mesmo período a média e o desvio padrão para o afluente foi de $7,9 \pm 0,2$ e para o efluente foi de $7,6 \pm 0,1$ com diferença de $0,3 \pm 0,1$. No período posterior à poda, o pH de entrada variou de 7,5 a 8,1 e para a saída de 7,4 a 7,5, a média e o desvio padrão foram de $7,7 \pm 0,2$ e $7,4 \pm 0,1$, afluente e efluente, respectivamente, com diferença de $0,3 \pm 0,2$. As médias do período posterior à poda diminuíram em relação ao período anterior à mesma, no entanto o pH máximo de saída não ultrapassou 7,7 em ambos os períodos e o pH foi reduzido em 100% das semanas analisadas.

Tabela 17. pH - média semanal entrada e saída, diferença de entrada e saída do pH do LC1 nas semanas e nos períodos monitorados

LC1 - <i>Hedychium coronarium</i>				
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	pH		
		Média semanal		Diferença entrada/saída
		Entrada	Saída	
1 ^a	5	7,8	7,6	0,2
2 ^a	5	7,9	7,6	0,3
3 ^a	5	8,0	7,7	0,3
4 ^a	3	7,8	7,4	0,4
Média e desvio padrão	18	7,9±0,2	7,6±0,1	0,3±0,1
Poda				
5 ^a	2	7,8	7,4	0,4
6 ^a	2	7,6	7,4	0,2
7 ^a	1	7,5	7,4	0,1
8 ^a	1	7,7	7,4	0,3
9 ^a	1	7,5	7,4	0,2
10 ^a	1	8,1	7,5	0,6
Média e desvio padrão	8	7,7±0,2	7,4±0,1	0,3±0,2

g) Condutividade elétrica (CE)

Na Tabela 18, estão apresentadas as médias semanais para a CE afluenta e efluente do LC1 e a diferença entre ambos. Sendo que a maior redução ocorreu na 4^a semana, antes da poda, com 57µS/cm/dia e valores de entrada de 1.050 µS/cm e de saída de 993 µS/cm. Nesse período, anterior à poda, a média e o desvio padrão para o afluenta e efluente foram de 936±113 µS/cm e 916±109 µS/cm, respectivamente, com diferença de 19±73 µS/cm. No mesmo período a CE foi reduzida em 75% das semanas monitoradas. No período posterior à poda ocorreram acréscimos na CE, chegando a uma diferença de 81,9µS/cm negativos e valores de 733 µS/cm (entrada) e 815µS/cm (saída) na 7^a semana. Nesse período a média e o desvio padrão foram de 935±164 µS/cm para o afluenta e de 937±136 µS/cm para o efluente, com diferença negativa de 2±54 µS/cm. As reduções da CE foram registradas em 50% das semanas monitoradas após a poda. O período anterior à poda foi mais eficiente na redução da CE do que o período posterior à mesma.

Tabela 18. CE média semanal de entrada e saída, diferença de entrada e saída da CE do LC1 nas semanas e nos períodos monitorados

LC1 - <i>Hedychium coronariun</i>				
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	CE		
		Média semanal (µS/cm)		Diferença entrada/saída (µS/cm)
		Entrada	Saída	
1ª	5	856	838	18
2ª	5	873	854	19
3ª	5	1.009	1.011	-2
4ª	3	1.050	993	57
Média e desvio padrão	18	936±113	916±109	19±73
		Poda		
5ª	2	910	865	45
6ª	2	940	946	-6
7ª	1	733	815	-82
8ª	1	824	900	-77
9ª	1	926	908	18
10ª	1	1.301	1.255	46
Média e desvio padrão	8	935±164	937±136	-2±54

h) Temperatura da água (Temp)

Na Tabela 19, observa-se que a temperatura da água afluyente foram mantidas ou reduzidas. As maiores diferenças ocorreram na 6^a, na 7^a e na 10^a semanas com 1,4°C de diferença nas duas primeiras e 1,8 na última semana.

No período monitorado anterior à poda a média e o desvio padrão da temperatura do afluyente foi de 22,5±1,6°C e do efluente de 21,8±1,8°C, a diferença entre ambos foi de 0,6±0,4°C. No período após a poda, a média e o desvio padrão da temperatura do afluyente foi de 23,2±2,1°C e do efluente foi de 22,1±1,8°C com uma diferença de 1,1±0,6. As maiores diferenças entre a temperatura da água de entrada e saída ocorreram no período após a poda.

Tabela 19. Temperatura da água - média semanal entrada e saída, diferença de entrada e saída da temperatura da água do LC1 nas semanas e nos períodos monitorados

LC1 - <i>Hedychium coronariun</i>				
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Temperatura		Diferença entrada/saída (°C)
		Média semanal (°C)		
		Entrada	Saída	
1ª	5	23,8	23,5	0,2
2ª	5	23,6	23,0	0,5
3ª	5	20,2	19,4	0,8
4ª	3	22,2	21,3	0,9
Média e desvio padrão	18	22,5±1,6	21,8±1,8	0,6±0,4
		Poda		
5ª	2	20,2	19,9	0,3
6ª	2	23,1	21,7	1,4
7ª	1	25,7	24,3	1,4
8ª	1	25,4	24,6	0,8
9ª	1	23,1	22,2	0,9
10ª	1	24,3	22,5	1,8
Média e desvio padrão	8	23,2±2,1	22,1±1,8	1,1±0,6

4.4.2. Leito cultivado com *Heliconia psittacorum* (LC2)

4.4.2.1 Monitoramento da vegetação do LC2

A macrófita *Heliconia psittacorum*, instalada no LC2, adaptou-se bem ao sistema de LC, não apresentando sintomas de deficiência ou toxidez. Seu crescimento, apesar de lento foi constante. As primeiras flores surgiram por volta do dia 20 de abril, 5 meses após o plantio. Na Figura 64 pode-se observar o desenvolvimento da vegetação do LC2 desde o plantio até o mês de maio de 2009.

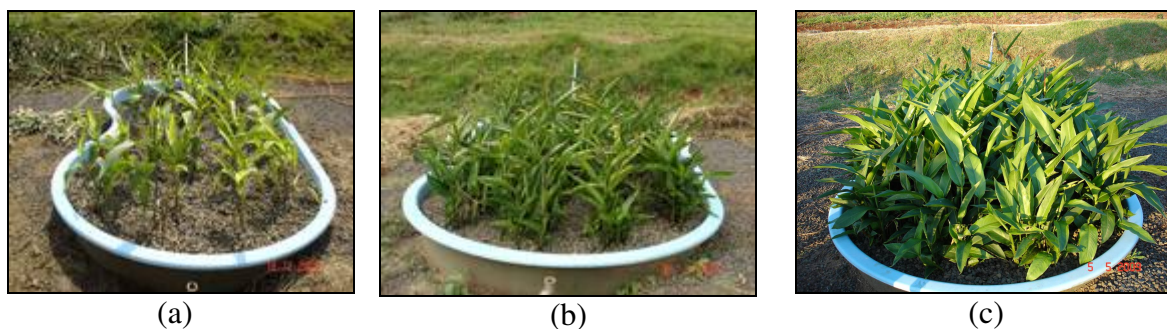


Figura 64. Desenvolvimento da vegetação do LC com *Heliconia psittacorum*. (a) dia do Plantio; (b) 90 dias após o plantio e (c) 5 meses após o plantio.

A poda da vegetação foi realizada no dia 14/08/2009, nesse período a altura média das plantas estava em 33 cm e a altura máxima estava em aproximadamente 100 cm. Na Figura 65 pode-se observar a altura máxima no dia 13/08/2009, o desenvolvimento da vegetação na semana da poda e no dia da poda, 14/08/2009. A Figura 66 mostra a altura média da vegetação no LC2, desde o início do monitoramento, a poda e a recuperação da mesma após a poda até o final do monitoramento, 10/2009, quando a altura média das plantas estava em 13 cm.

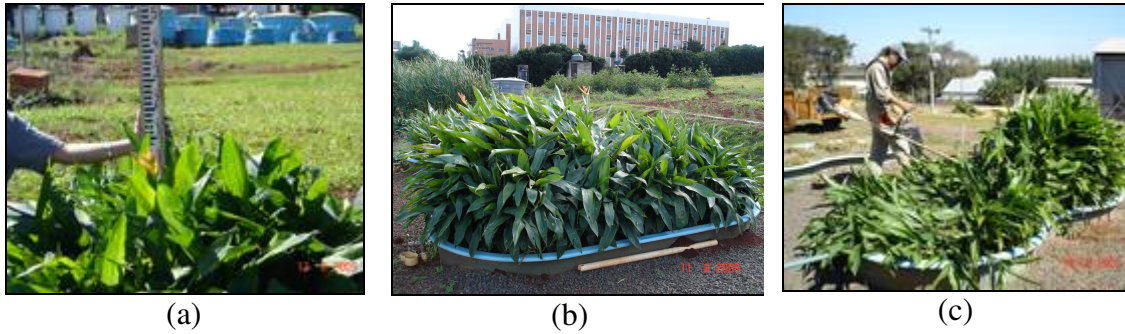


Figura 65. LC com *Heliconia psittacorum*. (a) altura máxima da vegetação; (b) Desenvolvimento da vegetação antes da poda; (c) poda no dia 14/08/2009.

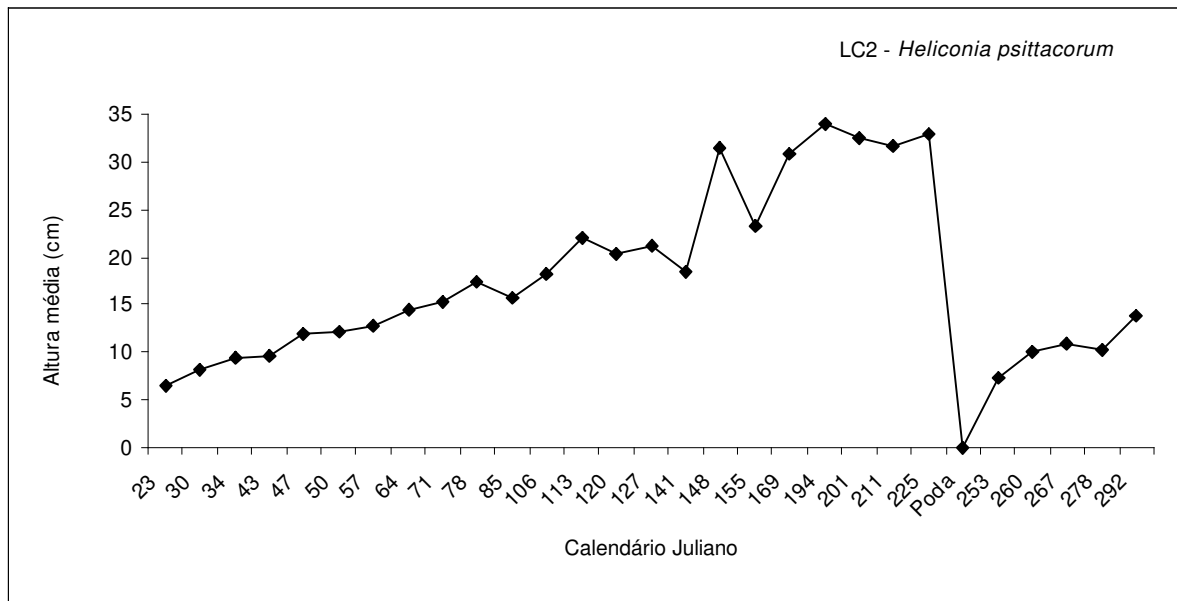


Figura 66. Altura média das plantas *Heliconia psittacorum* no LC no período de janeiro a outubro de 2009.

A recuperação da vegetação, após a poda, foi lenta e contínua como pode ser observada na Figura 67. Quando a vegetação estava com 30 dias após a poda no dia 14/09/2009, com 45 dias no dia 01/10/2009 e 75 dias, no dia 15/10/2009.



Figura 67. Recuperação da vegetação do LC com *Heliconia psittacorum* após a poda. (a) 30 dias após; (b) 45 dias após e (c) 75 dias após a poda.

Na Figura 68 observa-se a evolução do número de plantas no LC2 desde o plantio (dezembro de 2008) até a poda (agosto de 2009), com aproximadamente 1.200 plantas no LC, e a recuperação da vegetação após a poda, a partir de agosto até outubro de 2009, com 640 plantas.

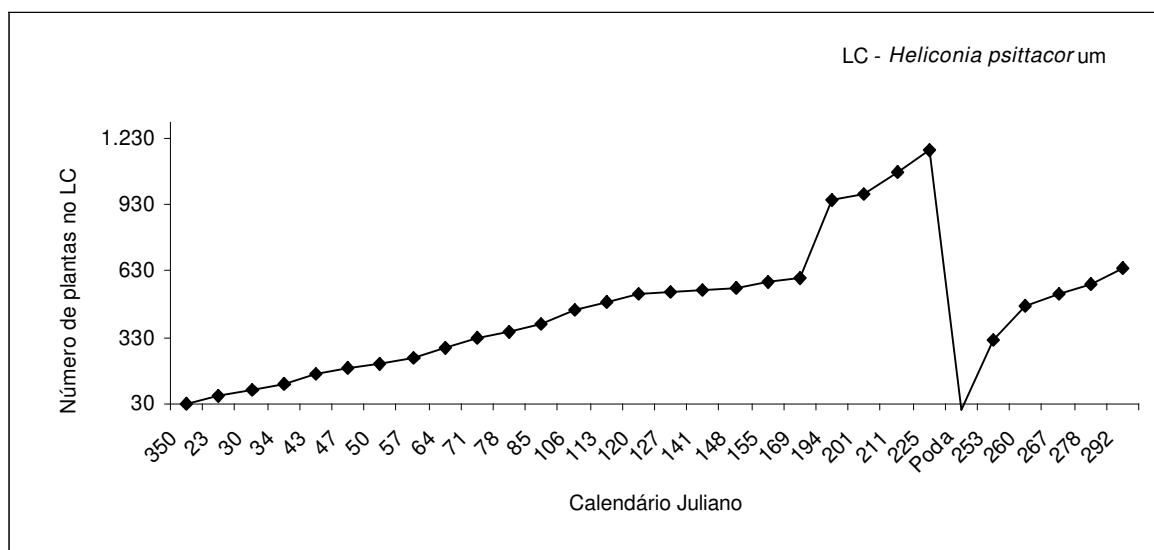


Figura 68. Evolução do número de plantas de *Heliconia psittacorum* no LC no período de dezembro de 2008 a outubro de 2009.

a) Índice de área foliar (IAF), produção de biomassa e exportação de nutrientes da *Heliconia psittacorum*

Na Figura 69 pode-se observar o IAF da vegetação de *Heliconia psittacorum* no período monitorado de janeiro a agosto de 2009 apresentando média de 3,9 e IAF máximo

medido de 13,7 na semana da poda (13/08/2009). Após a poda no último monitoramento o IAF máximo medido estava em 4,1.

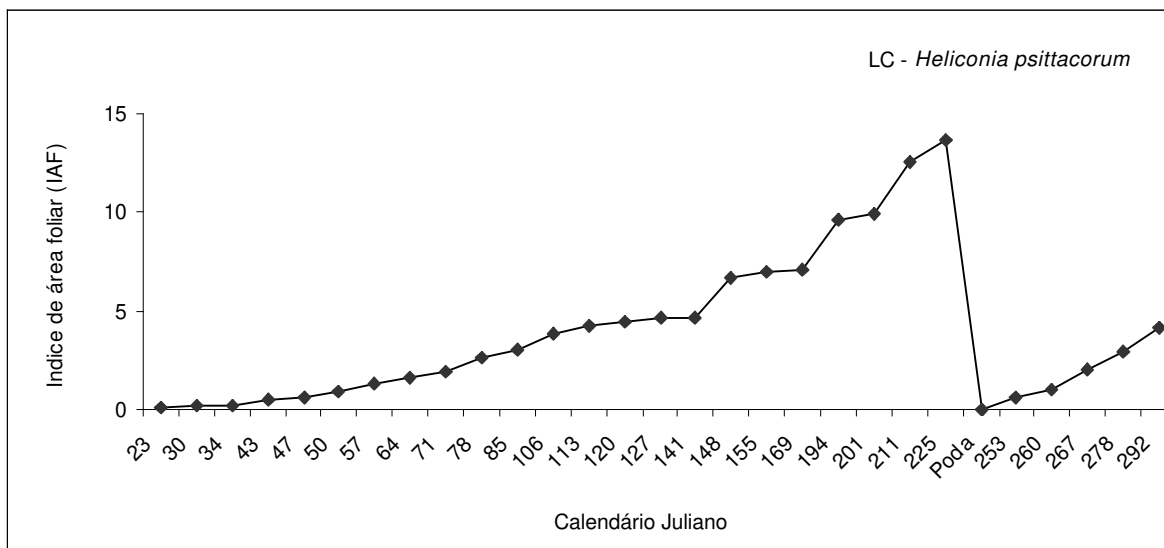


Figura 69. Índice de área foliar (IAF) no LC com *Heliconia psittacorum* no período de janeiro a outubro de 2009.

A quantidade de biomassa verde produzida a partir da poda foi de 24,1 Kg e, a biomassa seca foi de 3,5Kg. Parte dessa biomassa seca (caules e folhas) foi enviada ao laboratório especializado para análise foliar, quantificando o nitrogênio e o fósforo fixados nas plantas. A fixação do nitrogênio foi de 27,1 g/kg e de fósforo de 2,2 g/kg. Considerando-se a biomassa seca total, a planta exportou um total de 94,9 gramas de N e 7,7 g de P. Ao considerar a exportação de N e P por metro quadrado, tem-se que a planta exportou 23,1 g/m² e 1,9 g/m², respectivamente, no período de 8 meses de desenvolvimento (do plantio à poda).

4.4.2.2. Monitoramento da água no leito cultivado com *Heliconia psittacorum* (LC2)

4.4.2.2.1. Quantidade da água - Escala horária

a) Vazão (Q)

O comportamento das vazões horárias de entrada e saída nos dias 26 e 27/05/2009 podem ser observados na Figura 70. As vazões de entrada variaram ao longo do dia

26/05/2009, com uma entrada total de 1.101,6 L/dia de saída total 1.051,2 L/dia. Nesse dia as maiores diferenças ocorreram às 9:00 h com 12,6 L/h e às 17:00h com 18,0 L/h, o total de água evaporada diária foi de 50,4 L/dia e a lâmina d'água total evaporada foi de 12,3mm/dia (Figura 70a).

No dia 27/05/2009 as vazões de entrada apresentaram maiores oscilações do que o dia anterior, onde a vazão total de entrada foi de 1.213,2 L/dia e a vazão total de saída foi de 1.060,2 L/dia. As maiores taxas de evapotranspiração também ocorreram nesse dia às 15:00 e às 16:00 h com 23,4 e 27,0 L/h, respectivamente (Figura 70b). A evapotranspiração total diária foi de 153,0 L/dia com uma lâmina d'água evaporada de 37,2mm/dia. O TDH no dia 26/05/2009, foi de 1,1 dias, e no dia 27/05/2009 foi de 1,0 dia.

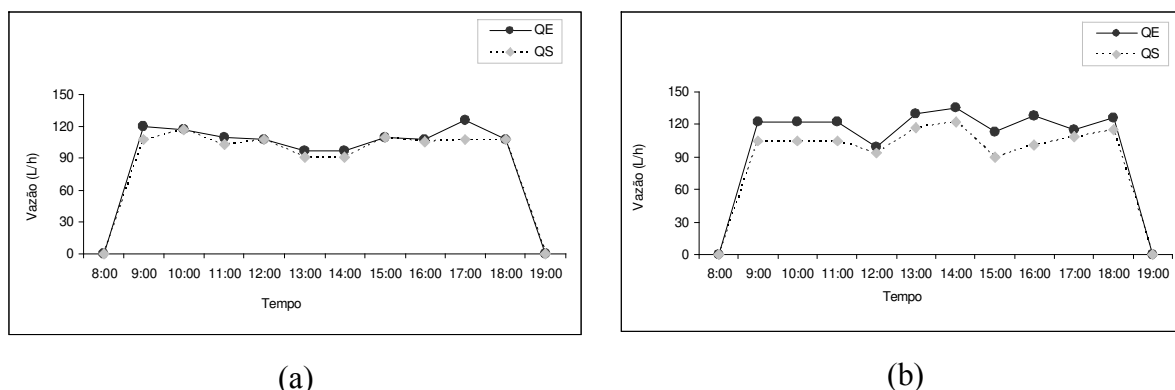


Figura 70. Vazão horária de entrada (QE) e saída (QS) no LC2 nos dias 26/05/09 (a) e 27/05/2009(b).

4.4.2.2.2. Qualidade da água - Escala horária

a) Fósforo total (P_T)

O comportamento da concentração de fósforo total no LC2, nos dias 26 e 27/05/2009, pode ser observado na Figura 71. A Figura 71a, apresenta o dia 26/05/2009 no qual se observa que no primeiro horário, às 9:00, ocorreu acréscimo de P_t , assim como no horário das 13:00, das 14:00 e das 17:00 h. No entanto às 16:00h o LC reteve a carga de entrada em 50%. Nesse dia o LC foi eficiente na retenção de fósforo total em 60% das horas analisadas. Na Figura 71b está apresentado o dia 27/05/2009 no qual o LC foi eficiente na retenção de fósforo total em

80% das horas analisadas. Na Figura 72, podem ser observadas as retenções da concentração de fósforo total para os dias 26 e 27/05/2009.

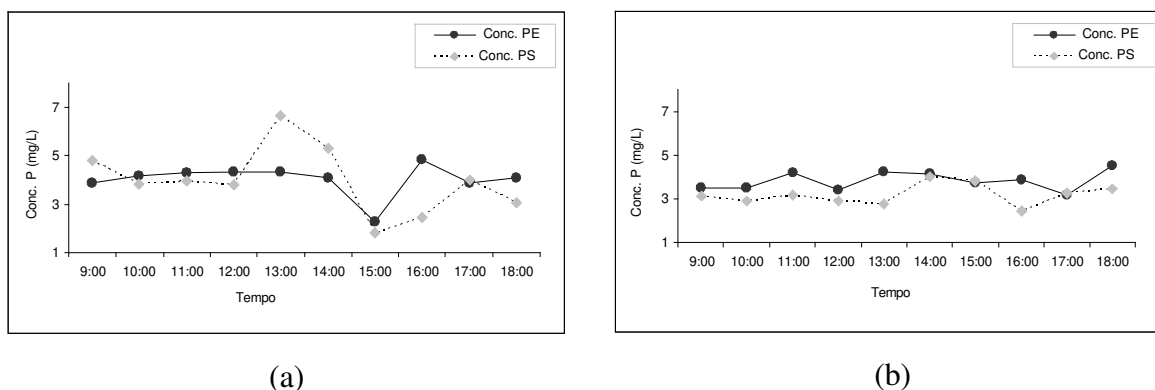


Figura 71. Concentração horária de entrada (Conc. PE) e saída (Conc. PS) de fósforo total no LC com *Heliconia psittacorum*, para os dias 26/05/2009 (a) e 27/05/2009 (b).

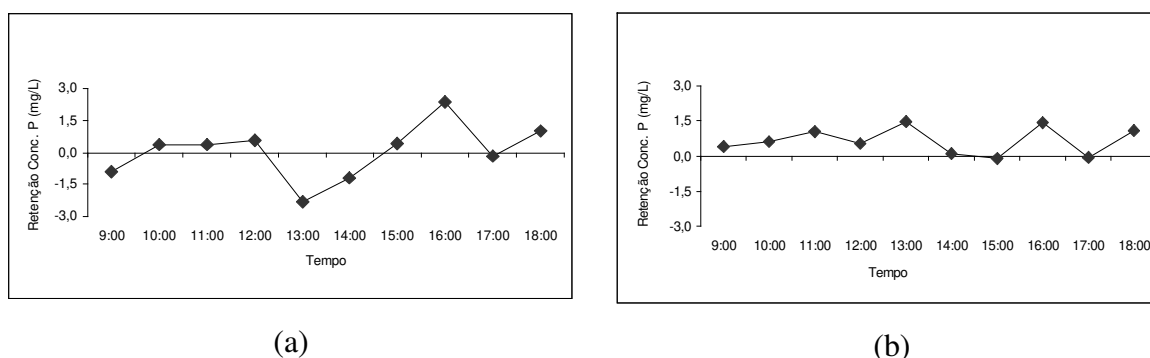
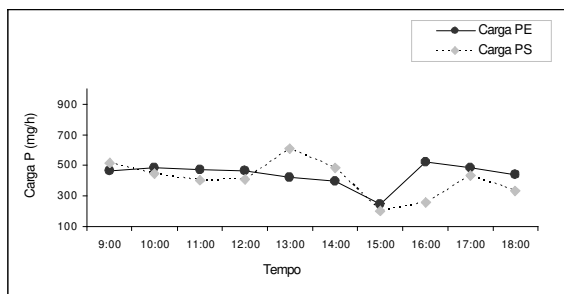
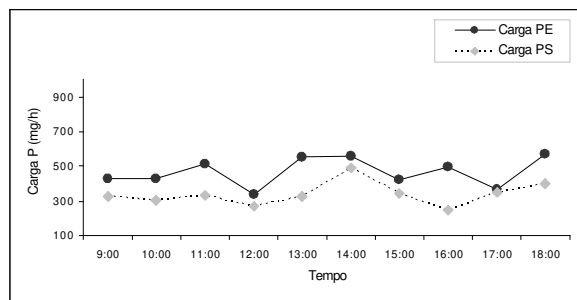


Figura 72. Retenção da concentração de fósforo total no LC com *Heliconia psittacorum* para os dias 26/05/2009 (a) e 27/05/2009 (b).

O balanço de massa para as cargas horárias de fósforo total do dia 26 e 27/05/2009, podem ser observadas na Figura 73. A carga retida, no dia 26/05/2009, foi de 311,8 mg/h, sendo que a maior retenção ocorreu às 16:00h com um total de 262,1 mg/h, representando 50% de eficiência nesse horário. No dia 27/05/2009 a carga total retida foi de 1.291,3 mg/h e o LC reteve fósforo total em 100% do dia. Assim como no dia anterior, às 16:00 h, ocorreu a maior retenção com 249,6 mg/h e 50% de eficiência horária de retenção. A retenção da carga de fósforo total para os dias 26 e 27/05/2009 pode ser observada na Figura 74.

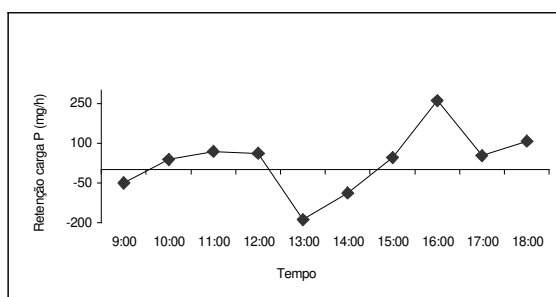


(a)

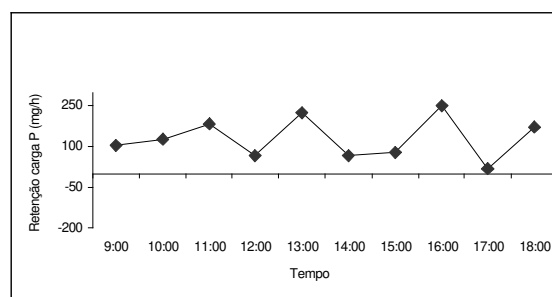


(b)

Figura 73. Carga horária de entrada (Carga PE) e saída (Carga PS) de fósforo total no LC com *Heliconia psittacorum*, para os dias 26/05/2009 (a) e 27/05/2009 (b).



(a)

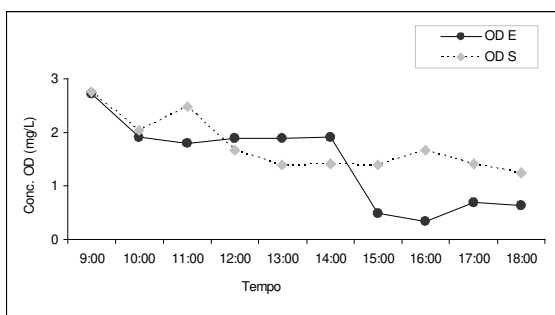


(b)

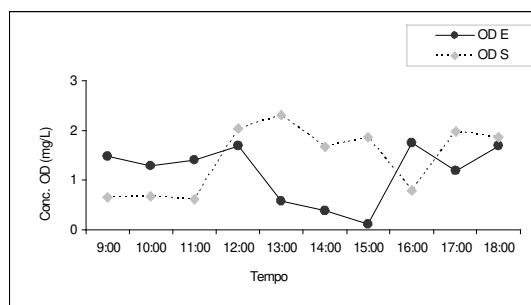
Figura 74. Retenção da carga de fósforo total no LC com *Heliconia psittacorum* para os dias 26/05/2009 (a) e 27/05/2009 (b).

b) Oxigênio dissolvido (OD)

A concentração de OD no LC2 para os dias 26 e 27/05/2009, podem ser observados na Figura 75. Em ambos os dias analisados foram observados acréscimos na concentração de OD no LC, como é desejável. No primeiro dia o acréscimo foi de 3,21 mg/L e no segundo dia de 2,87 mg/L. O aumento máximo da concentração de OD no dia 26/07/2009 ocorreu às 16:00h com acréscimo de 1,34 mg/L e valores de 0,33 mg/L (entrada) e 1,67 mg/L (saída) e, no dia 27/05/2009 o maior acréscimo ocorreu às 15:00h com 1,76 mg/L e valores de 0,11 mg/L (entrada) e de 1,87 mg/L (saída). A diferença horária na concentração de OD do afluente e do efluente no LC2, para os dia 26 e 27/05/2009, podem ser observadas na Figura 76.

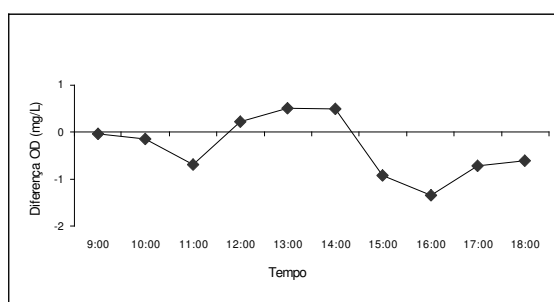


(a)

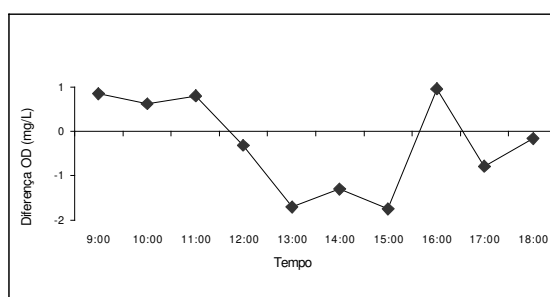


(b)

Figura 75. Concentração horária de OD de entrada (OD E) e saída de fósforo (OD S) no LC com *Heliconia psittacorum*, para os dias 26/05/2009 (a) e 27/05/2009 (b).



(a)



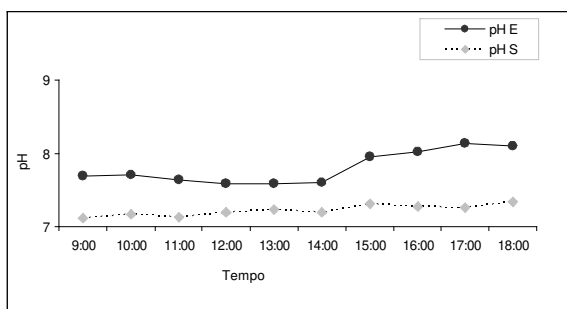
(b)

Figura 76. Diferença horária da concentração de OD de entrada e saída no LC com *Heliconia psittacorum* para os dias 26/05/2009 (a) e 27/05/2009 (b).*

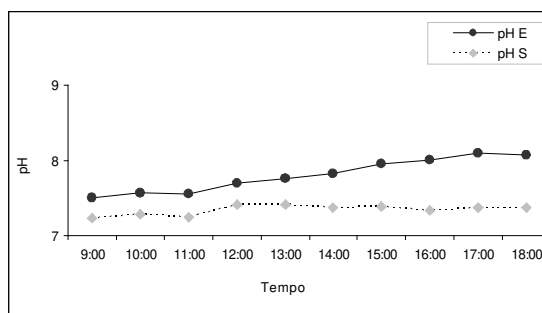
c) Potencial hidrogeniônico (pH)

A Figura 77 mostra o comportamento horário do pH de entrada e saída no LC2, nos dias 26 e 27/05/2009, na qual se observa que ocorreu redução do mesmo em 100% das horas analisadas para ambos os dias. A maior diferença entre o pH de entrada e de saída ocorreu às 17:00 h para os dois dias, com valores de 8,14 (entrada) para 7,26 (saída) para o primeiro e de 8,10 (entrada) para 7,38 (saída) para o segundo dia. A Figura 78 mostra a diferença horária entre o pH de entrada e de saída do pH no LC2, para os dias analisados.

* Valores negativos significam acréscimo na concentração de OD no LC.

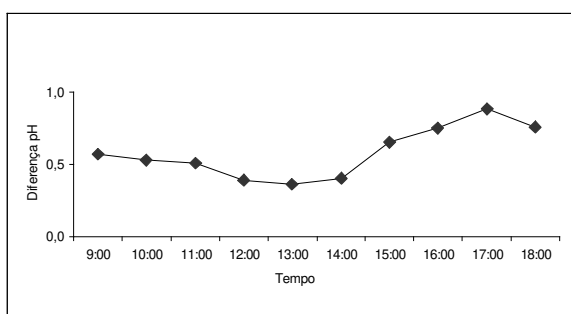


(a)

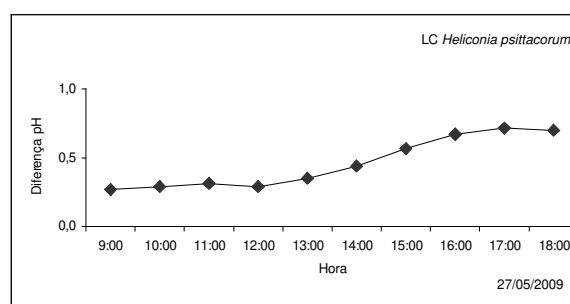


(b)

Figura 77. pH horário de entrada (pH E) e saída (pH S) no LC com *Heliconia psittacorum*, para os dias 26/05/09 (a) e 27/05/09 (b).



(a)

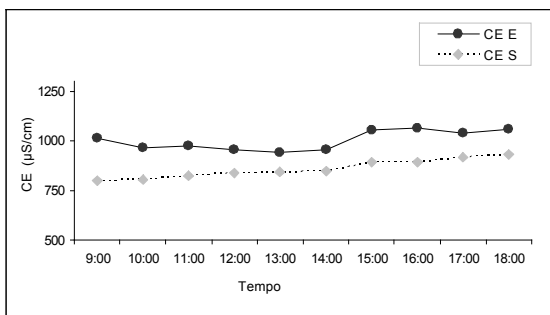


(b)

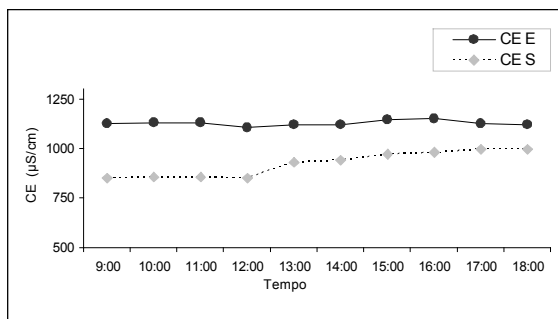
Figura 78. Diferença horária de pH de entrada e saída no LC com *Heliconia psittacorum* para os dias 26/05/2009 (a) e 27/05/2009 (b).

d) Condutividade elétrica (CE)

Na Figura 79 pode ser observada há CE nos dias 26 e 27/05/2009. A CE foi diminuída em 100% das horas monitoradas para ambos os dias. As maiores diminuições ocorreram às 9:00 h no dia 26/05/2009 com valores de 1017 μ S/cm (entrada) para 797 μ S/cm (saída) e às 11:00h no dia de 27/05/2009 com valores de 1130 μ S/cm (entrada) para 854 μ S/cm (saída). A diferença da CE de entrada e saída para os dias 26 e 27/05/2009 pode ser observada na Figura 80.

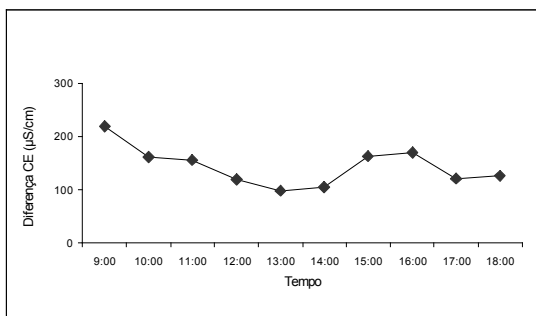


(a)

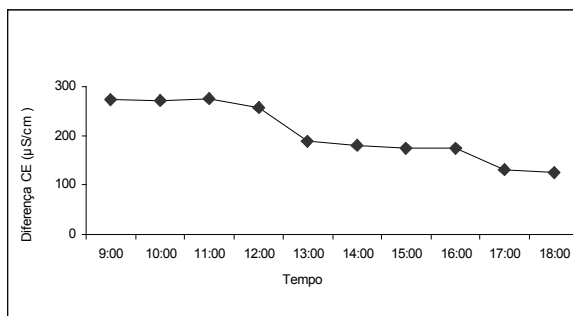


(b)

Figura 79. Condutividade elétrica horária de entrada (CE E) e saída (CE S) no LC com *Heliconia psittacorum*, para os dias 26/05/2009 (a) e 27/05/2009 (b).



(a)

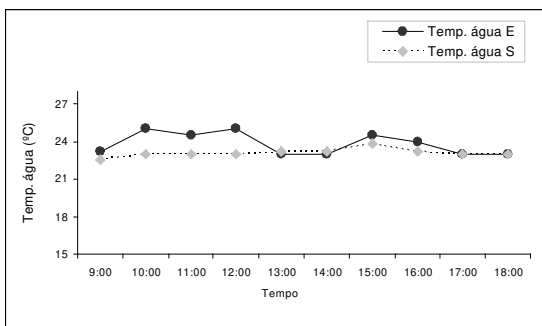


(b)

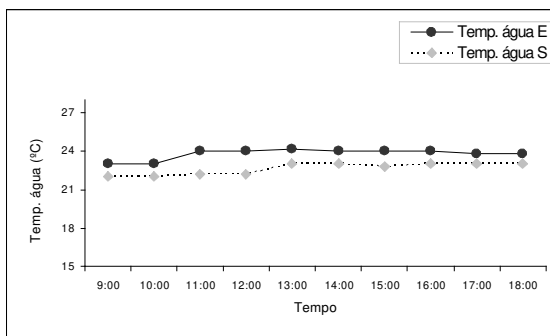
Figura 80. Diferença horária da CE de entrada e saída no LC com *Heliconia psittacorum* para os dias 26/05/2009 (a) e 27/05/2009 (b).

e) Temperatura da água (Temp.)

A variação da temperatura da água de entrada e de saída nos dias 26 e 27/05/2009 pode ser visualizadas na Figura 81. No dia 26/05/2009 a temperatura da água de entrada variou de 22,0 a 25,0°C e foi diminuída em até 2°C no intervalo das 10:00 às 12:00h. No dia 27/05/2009, as temperaturas de entrada variaram de 23,0 a 24,0°C e foram reduzidas em até 1,8°C no horário das 11:00 e das 12:00 h. Na Figura 82 podem ser observadas as diferenças entre a temperatura da água de entrada e saída no LC2 para os dias monitorados.

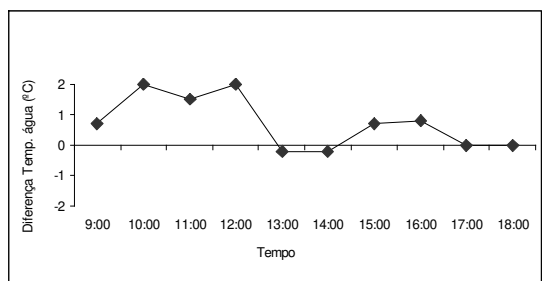


(a)

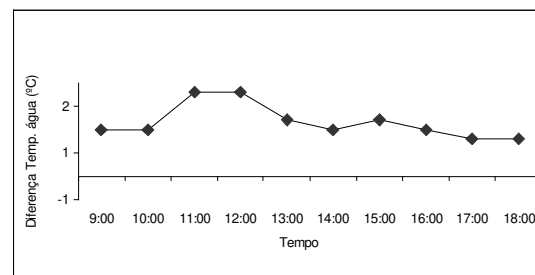


(b)

Figura 81. Temperatura da água de entrada (Temp. água E) e saída (Temp. água S) na escala horária no LC com *Heliconia psittacorum*, para os dias 26/05/2009 (a) e 27/05/2009 (b).



(a)



(b)

Figura 82. Diferença horária da temperatura da água de entrada e saída no LC com *Heliconia psittacorum* para os dias 26/05/2009 (a) e 27/05/2009 (b).

4.4.2.2.3 Quantidade da água - Escala diária

a) Vazão (Q)

A Figura 83 apresenta as vazões médias de entrada e saída do LC2, para os dias monitorados em 2009. Na qual podem ser observadas que as vazões de entrada oscilaram em todos os dias. As vazões diárias de saída foram menores ou iguais a vazão de entrada e a diferença entre ambas obteve-se a evapotranspiração.

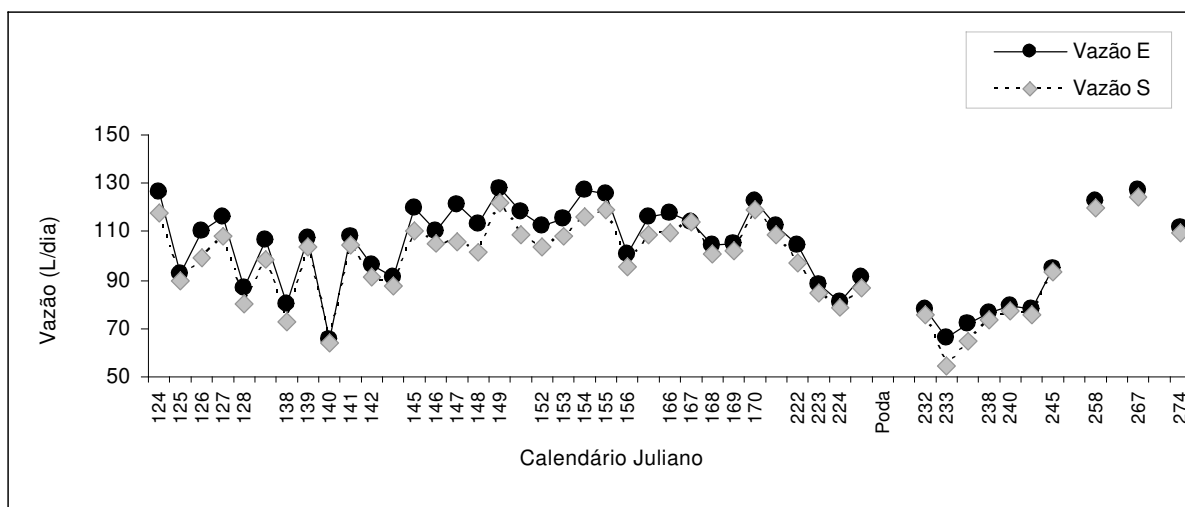


Figura 83. Vazão média diária de entrada e saída no LC com *Heliconia psittacorum* nos dias monitorados em 2009.

Na Tabela 20 estão apresentadas as taxas de evapotranspiração, a altura da lâmina d'água evaporada e o TDH para os dias monitorados em 2009, no LC2. Verifica-se que a maior perda de água por evapotranspiração ocorreu no dia 27/05/2009 (DJ 147) com 153 L/dia e, 37,3 mm/dia de lâmina d'água evaporada; seguido pelo dia 28/05/2009 (DJ 148) com 118,8L/dia de evapotranspiração e 29,0mm/dia de lâmina d'água evaporada. No dia 01/10/2009 (DJ 274) a taxa de evapotranspiração do LC2 foi exatamente igual ao do LC1 com 19,8 L/dia e 4,8 mm/dia de lâmina d'água evaporada. Na Figura 84 pode-se observar a altura diária total da lâmina d'água evaporada no LC com *Heliconia psittacorum* nos dias monitorados em 2009.

Tabela 20. Taxa de evapotranspiração, altura da lâmina d'água evaporada e TDH no LC2

Data	Dia Juliano (DJ)	Taxa evapotranspiração (L/dia)	Altura lâmina d'água evaporada (mm/dia)	Tempo detenção hidráulica (TDH)
4/5	124	91,8	22,4	1,0
5/5	125	32,4	7,9	1,3
6/5	126	111,6	27,2	1,1
7/5	127	85,3	20,8	1,1
8/5	128	64,8	15,8	1,4
18/5	138	68,4	16,7	1,6
19/5	139	39,6	9,7	1,3
20/5	140	12,6	3,1	1,9
21/5	141	36,0	8,8	1,2
22/5	142	46,8	11,4	1,3
25/5	145	97,2	23,7	1,0
26/5	146	50,4	12,3	1,1
27/5	147	153,0	37,3	1,0
28/5	148	118,8	29,0	1,1
29/5	149	61,2	14,9	1,0
1/6	152	91,8	22,4	1,1
2/6	153	72,0	17,6	1,1
3/6	154	108,0	26,3	1,0
4/6	155	70,2	17,1	1,0
5/6	156	50,4	12,3	1,2
15/6	166	81,0	19,8	1,1
16/6	167	3,6	0,9	1,1
17/6	168	32,4	7,9	1,2
18/6	169	25,2	6,1	1,2
19/6	170	43,2	10,5	1,0
11/8	222	73,8	18,0	1,2
12/8	223	36,0	8,8	1,4
13/8	224	16,2	4,0	1,6
Poda				
20/8	232	23,4	5,7	1,6
21/8	233	111,6	27,2	1,9
26/8	238	32,4	7,9	1,6
28/8	240	23,4	5,7	1,6
2/9	245	12,6	3,1	1,3
15/9	258	28,8	7,0	1,0
24/9	267	28,8	7,0	1,0
1/10	274	19,8	4,8	1,1

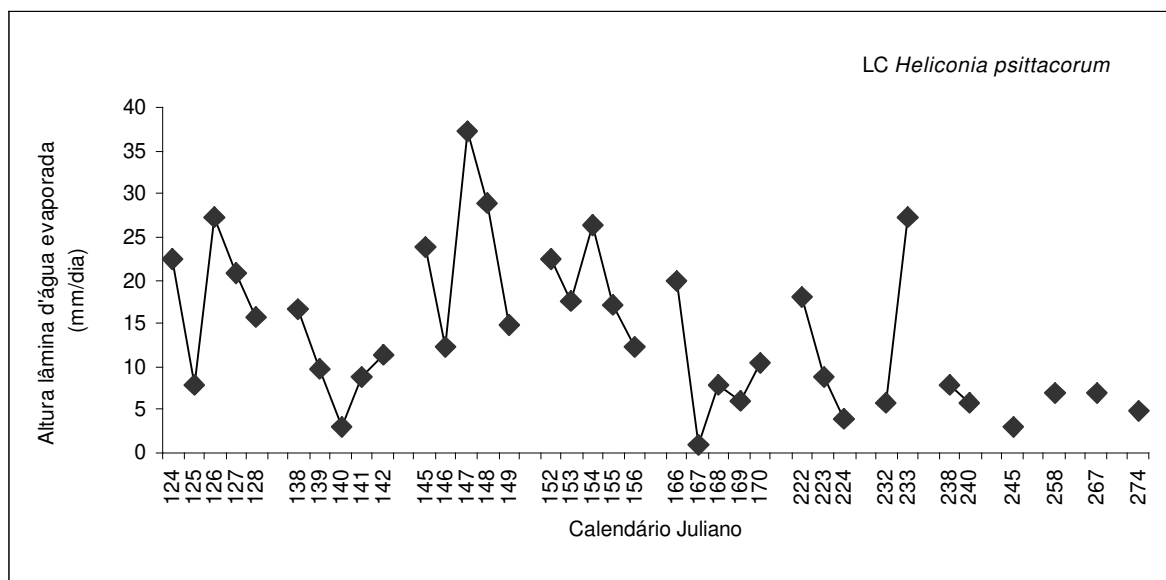


Figura 84. Altura diária total da lâmina d'água evaporada no LC com *Heliconia psittacorum* nos dias monitorados em 2009.

A variação do TDH no LC2 nos dias monitorados pode ser observada na Figura 85. Onde se verifica que o TDH entre os dias 25/05/2009 (DJ 145) e 11/08/2009 (DJ 222) variaram de 1,0 a 1,2 dias e do dia 12/08/2009 (DJ 223) até o dia 02/09/2009 o TDH aumentou chegando a 1,9 dias no dia 21/08/2009 (DJ 233). Do dia 15/09/2009 (DJ 258) ao dia 01/10/2009 (DJ274), o TDH voltou a ficar entre 1,0 e 1,1 dias. Verificou-se que em 50,0% dos dias analisados o TDH variou de 1,1 a 1,3 dias. Esse mesmo TDH de 1,1 a 1,3 dias ocorreu no LC1 em 53,8% dos dias monitorados.

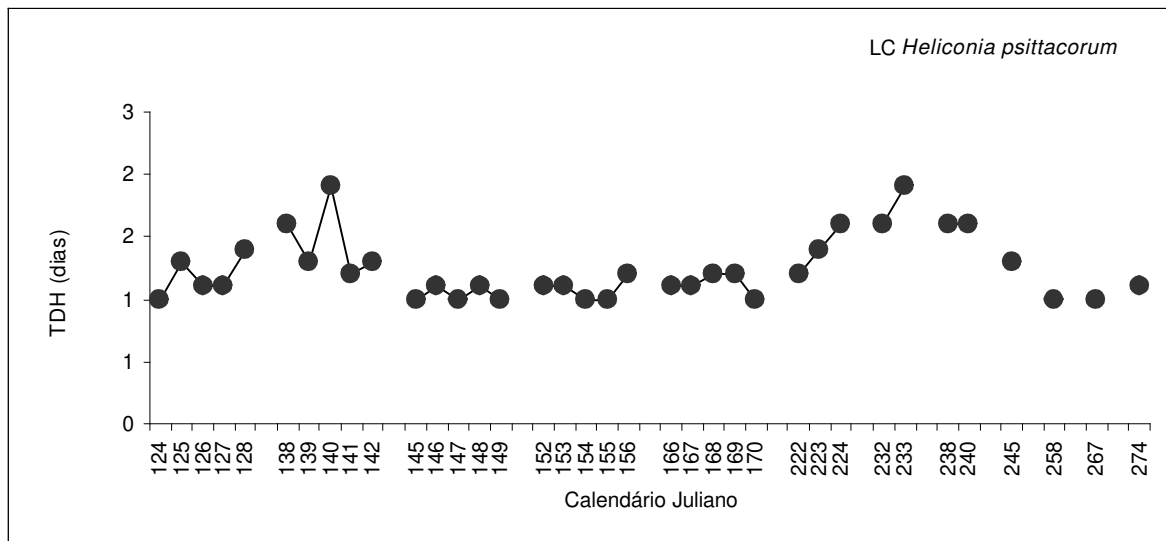


Figura 85. Tempo de detenção hidráulica (TDH) no LC com *Heliconia psittacorum* nos dias monitorados em 2009.

4.4.2.2.4 Qualidade da água - Escala diária

a) Fósforo total (Pt)

Na Figura 86 observa-se a concentração afluenta e efluente de fósforo total no LC2 nos dias monitorados em 2009. Onde a retenção da concentração do mesmo foi positiva em 65,6% dos dias monitorados. A eficiência máxima positiva ocorreu no dia 13/08/2009 (DJ 224) com 25,6% de retenção e o maior acréscimo ocorreu no dia 24/09/2009 (DJ 267) com 24,4%. Considerando os dias anteriores à poda, a retenção positiva ocorreu em 79,2% dos dias e após a poda essa retenção positiva diminuiu para 25% dos dias monitorados.

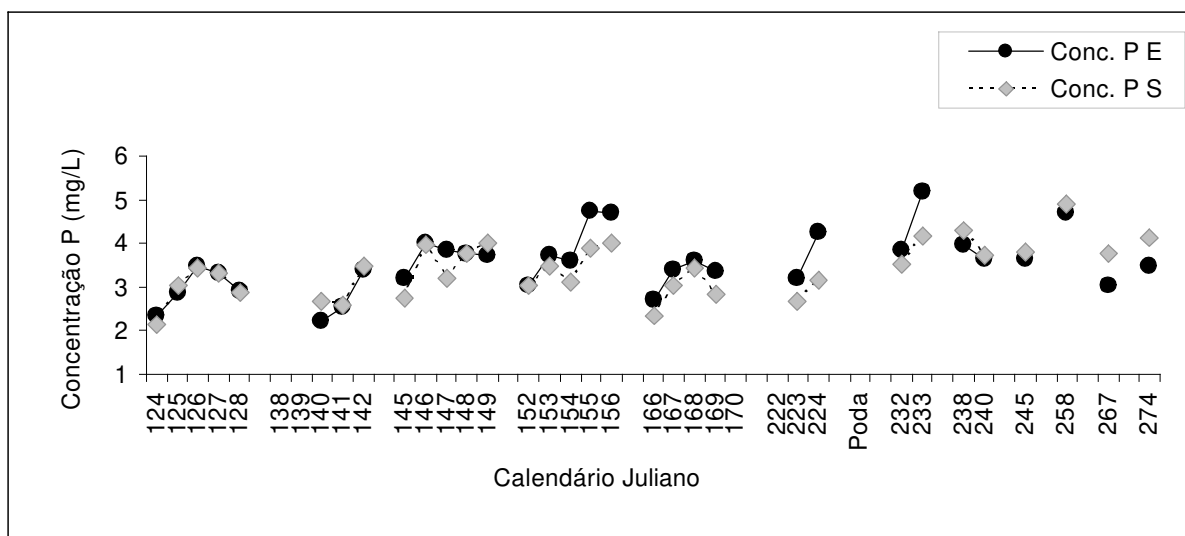


Figura 86. Concentração de fósforo total – médias diárias de entrada e saída no LC com *Heliconia psittacorum* nos dias monitorados em 2009.

O comportamento das cargas de fósforo total (entrada e saída) pode ser observado na Figura 87. A eficiência máxima positiva na retenção da carga de fósforo total ocorreu no dia 13/08/2009 (DJ 224), com 1.051, mg/dia e 29,7% de eficiência, seguido pelo dia 27/05/2009 (DJ 147), com 1.291,3 mg/dia e 27,6% de eficiência de retenção. Antes da poda a eficiência positiva ocorreu em 87,5% dos dias analisados. Após a mesma a eficiência positiva, ocorreu em 37,5% dos dias monitorados. No dia 20/08/2009 (DJ 232) a retenção foi de 337,9 mg/dia e 11,3% de eficiência, no dia 21/08/2009 (DJ 233) a retenção foi de 604,3 mg/dia e 18% de eficiência e no dia 28/08/2009 (DJ 240) carga retida foi de 93,6 mg/dia e 3,3% de eficiência. No restante dos dias, após a poda, ocorreu acréscimo de fósforo total chegando a 890,0 mg/dia e 23,0% no dia 24/09/2009 (DJ 267). No balanço geral, para ambos os períodos, a retenção para as cargas de fósforo total foi positiva em 75,0% dos dias monitorados e pode ser verificada na Figura 88.

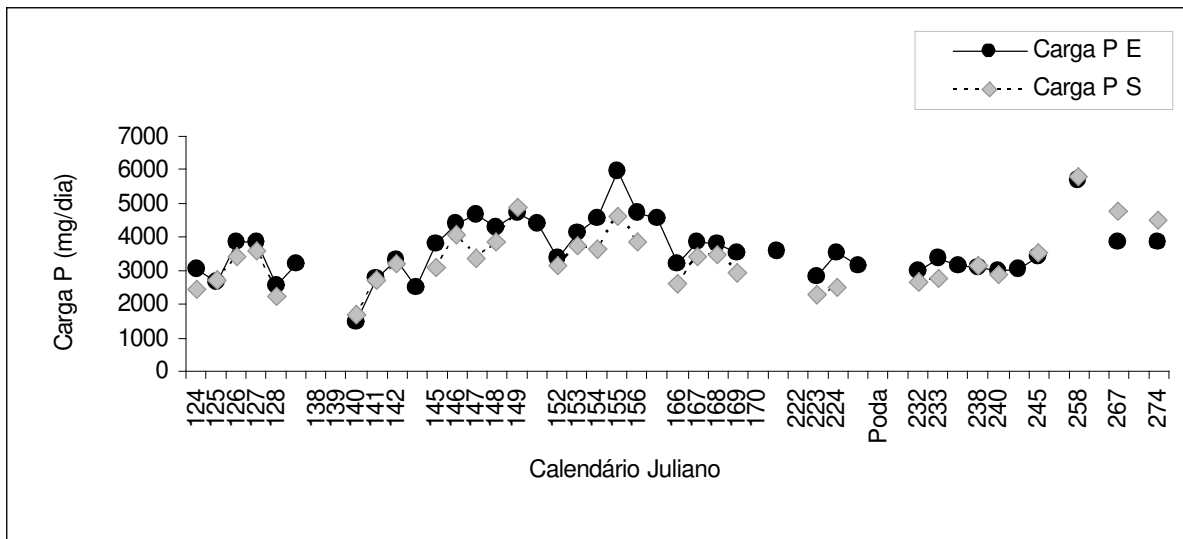


Figura 87. Carga de fósforo total – médias diárias de entrada e saída no LC com *Heliconia psittacorum* nos dias monitorados em 2009.

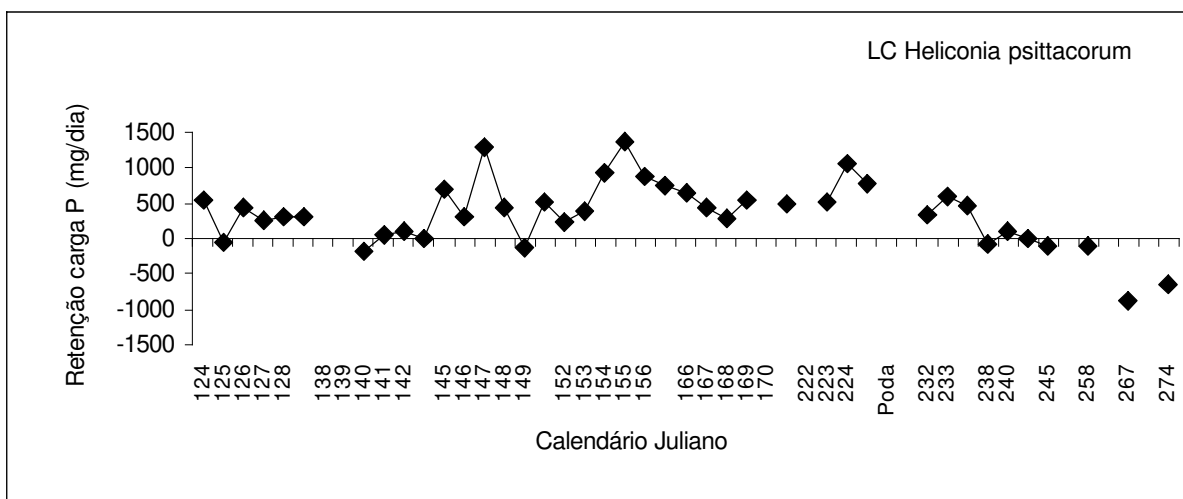


Figura 88. Retenção da carga de fósforo total ocorrida no LC com *Heliconia psittacorum* nos dias monitorados em 2009.

b) Nitrato (NO_3^-)

Nesse LC a avaliação da retenção de nitrato foi realizada, no período anterior à poda, do dia 25/05/2009 (DJ 145) ao dia 29/05/2009 (DJ 149) (5 dias seguidos), e no dia 12/08/2009 (DJ 223). No período posterior à poda essa avaliação foi realizada em seis dias intercalados. Na Figura 89, podem-se observar as concentrações de entrada e saída de nitrato para os dias

monitorados em 2009. A máxima eficiência positiva ocorreu nos dias 26/05/2009 (DJ 146) e 27/05/2009 (DJ 147), os valores para o primeiro foram de 2,2 mg/L (entrada) e de 0,8 mg/L (saída), para o segundo 2,3 mg/L (entrada) e 0,9 mg/L (saída), ambos com retenção positiva de 1,4 mg/L e eficiência de 63,6% e 60,9%, respectivamente. O maior acréscimo ocorreu no dia 25/05/2009 (DJ 145) com 46,7% e valores de 1,5 mg/L (entrada) e 2,2 mg/L (saída), seguido pelo dia 29/05/2009 (DJ 149) com 36,4% e valores de entrada 1,1 mg/L e de saída 1,5 mg/L. O LC2 apresentou retenção positiva de 66,6% dos dias analisados, antes da poda e em 100% dos dias analisados após a poda, chegando a 55,6% no dia 15/09/2009. O LC2 foi 40,4% superior na retenção de nitrato em relação ao LC1 para os mesmos dias monitorados.

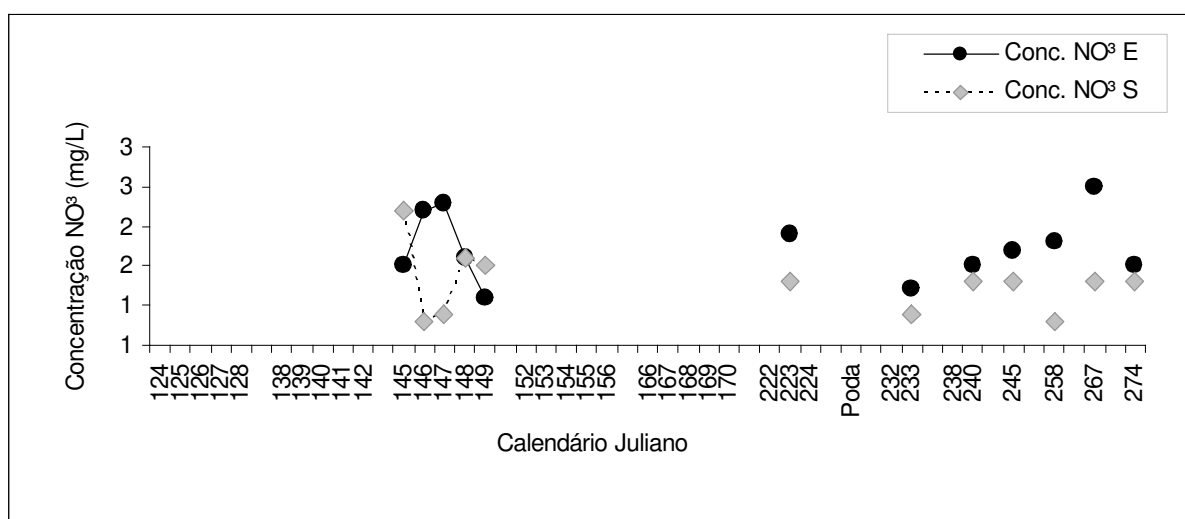


Figura 89. Concentração de nitrato - médias diárias de entrada e saída no LC com *Heliconia psittacorum* nos dias monitorados em 2009

A carga de nitrato pode ser visualizada na Figura 90. Onde a carga máxima retida foi de 1.836,2 mg/dia e a eficiência de retenção foi de 65,8% no dia 27/05/2009 (DJ 147) com valores de 2.790,4 mg/dia (entrada) e 954,2 mg/dia (saída). A segunda maior retenção da carga de nitrato ocorreu no dia 26/05/2009 (DJ 146) com eficiência de retenção de 65,3%, com carga de entrada de 2.423,5 mg/dia e carga de saída de 841,0 mg/dia, com carga retida de 1.582,6 mg/dia. Após a poda a retenção foi positiva em 100% dos dias analisados, chegando a 56,6% e 1.248,8 mg/dia de carga de nitrato retido no dia 15/09/2009 (DJ 258). Essas retenções diárias na carga de nitrato podem ser visualizadas na Figura 91.

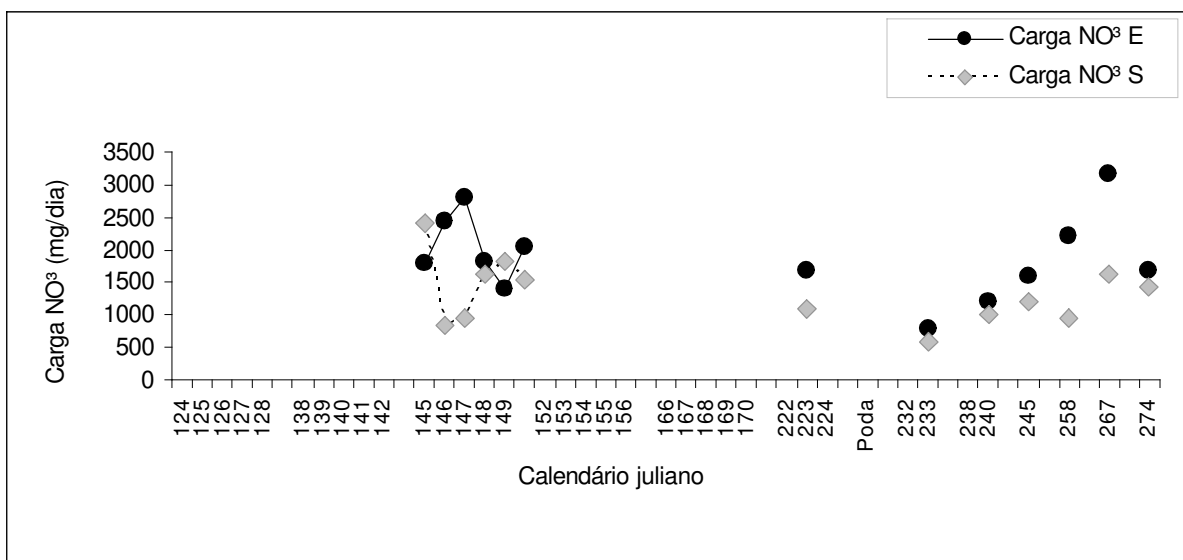


Figura 90. Carga de nitrato - médias diárias de entrada e saída no LC com *Heliconia psittacorum* nos dias monitorados em 2009

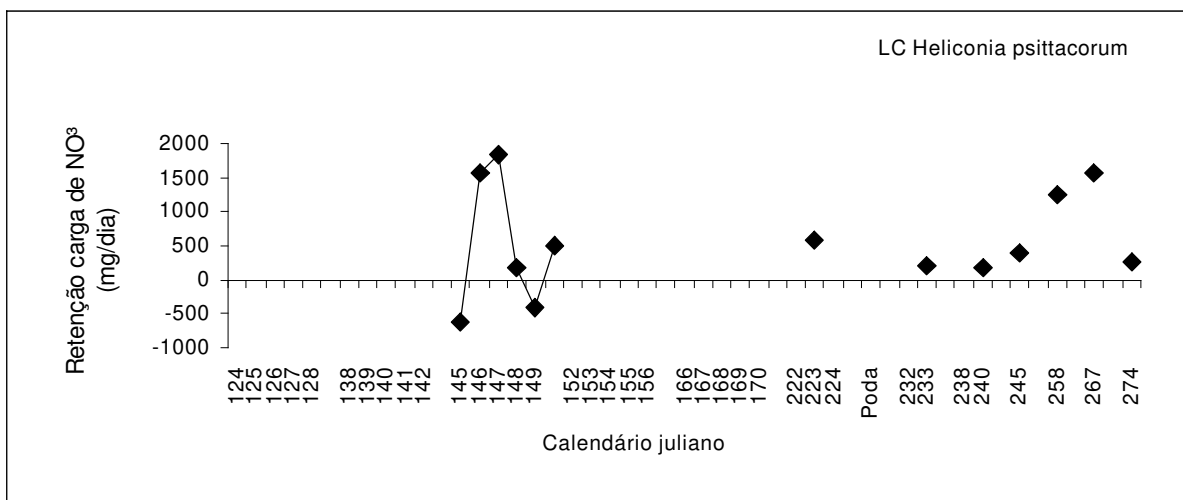


Figura 91. Retenção da carga de nitrato ocorrida no LC com *Heliconia psittacorum* nos dias monitorados em 2009

c) Nitrogênio amoniacal (NH₃)

A concentração de entrada e saída do nitrogênio amoniacal nos dias monitorados no LC2 pode ser observada na Figura 92. Onde a eficiência máxima positiva ocorreu no dia

27/05/2009 (DJ 147) com 35,4 mg/L retida e 48,1% de eficiência com valores de 73,6 mg/L (entrada) e 38,2 mg/L (saída). A segunda maior retenção ocorreu no dia 26/05/2009 (DJ 146) com valores de 80,1 mg/L (entrada) e 52,8 mg/L (saída) a retenção foi de 27,3 mg/L e 34,1% de eficiência. Antes da poda a eficiência positiva ocorreu em 75% dos dias analisados e após a mesma essa eficiência positiva reduziu para 37,5%.

Observando a retenção da concentração do NH_3 no LC2 e no LC1, verificou-se que nos três dias analisados antes da poda a retenção foi positiva em ambos os LC. Após a mesma a retenção positiva ocorreu em 50% para os dois leitos, em dias diferentes, e nos dias julianos 245, 258 e 267 o acréscimo de nitrato ocorreu em ambos os LC.

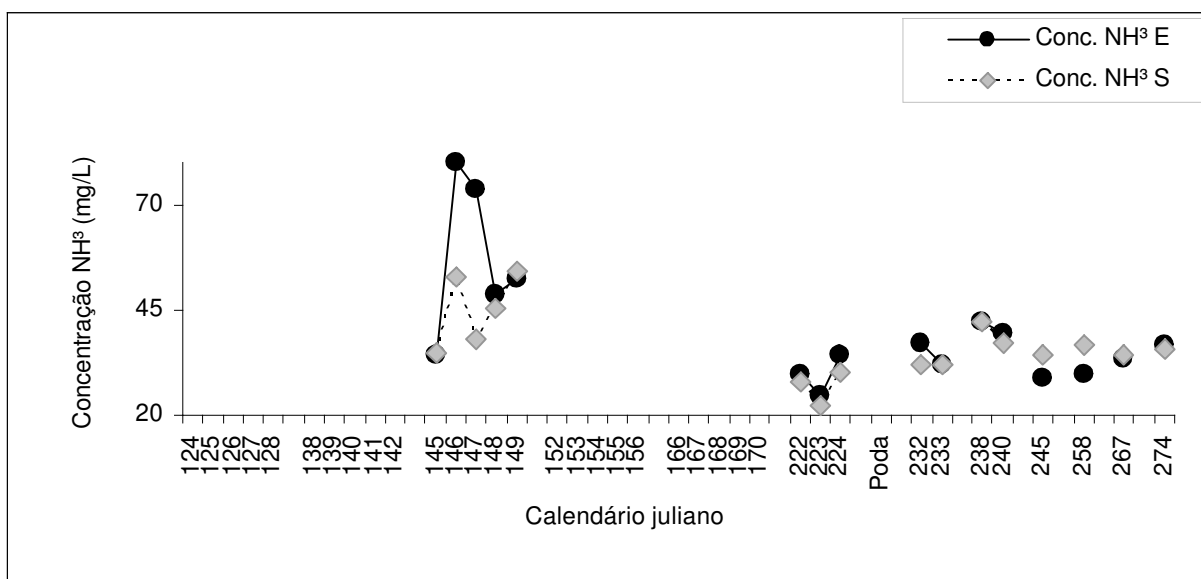


Figura 92. Concentração de nitrogênio amoniacal - médias diárias de entrada e saída no LC com *Heliconia psittacorum* nos dias monitorados em 2009.

A Figura 93 apresenta as cargas de nitrogênio amoniacal de entrada e saída para o LC2 nos dias monitorados. Onde a maior retenção positiva ocorreu no dia 27/05/2009 (DJ 147) com 48.791,88 mg/dia, seguido pelo dia 26/05/2009 (DJ 146) com retenção de 32.734,8 mg/dia. A retenção positiva para a carga de NH_3 antes da poda foi de 100%, um aumento de 25% em relação à concentração. Após a poda a retenção positiva para a carga de NH_3 também aumentou em relação à concentração ficando em 62,5%. As retenções para a carga de NH_3

podem ser observadas na Figura 94. A retenção positiva para as cargas de nitrogênio amoniacal ocorreu em 81,3% dos dias monitorados.

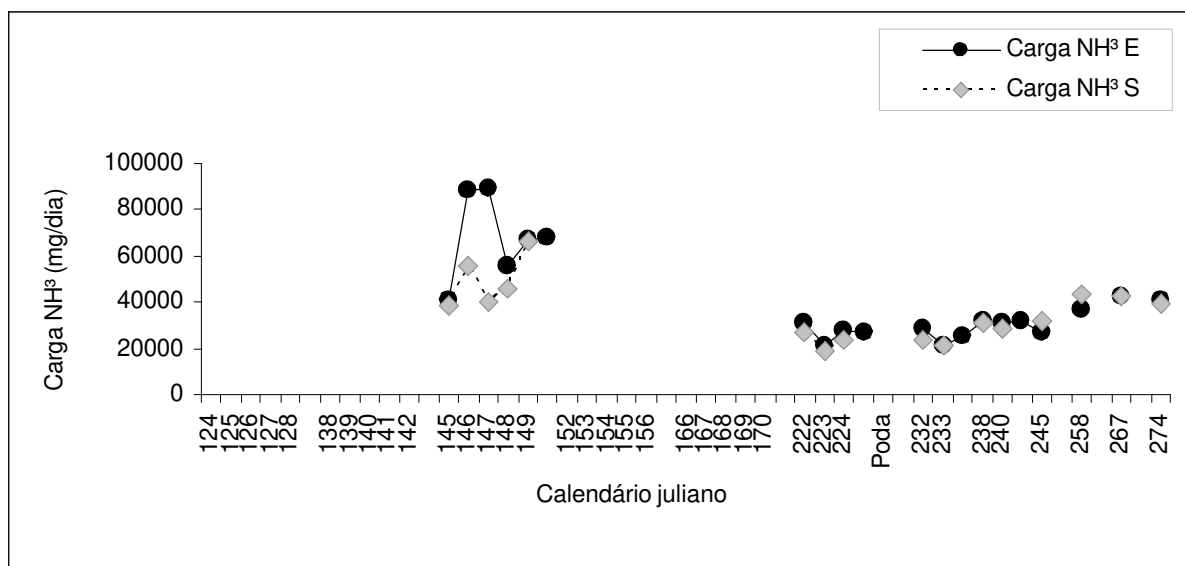


Figura 93. Carga de nitrogênio amoniacal - médias diárias de entrada e saída no LC com *Heliconia psittacorum* nos dias monitorados em 2009.

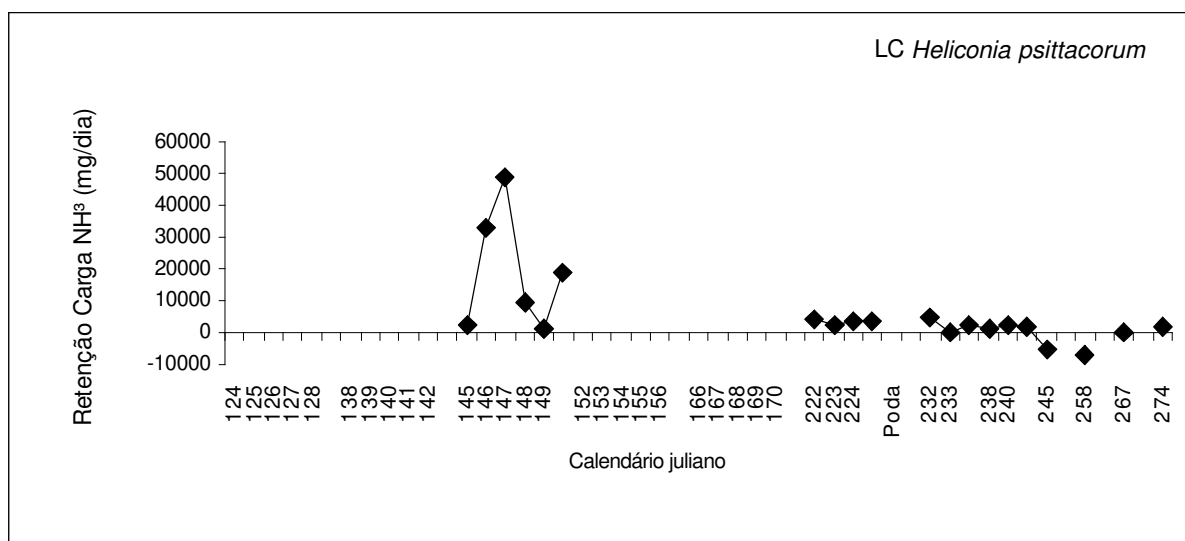


Figura 94. Retenção da carga de nitrogênio amoniacal ocorrida no LC com *Heliconia psittacorum* nos dias monitorados em 2009.

d) Demanda Química de oxigênio (DQO)

Na Figura 95, podem ser observadas as concentrações de entrada e saída para a DQO no LC2. No dia 26/05/2009 (DJ 146) a retenção positiva foi de 48 mg/L, com eficiência de 52,9% e valores de 90,8 mg/L (entrada) e 42,8 mg/L (saída). No dia 28/05/2009 a retenção positiva foi de 52,7% com 46,2 mg/L. No dia 13/08/2009 (DJ 224) ocorreu acréscimo de DQO com 38,1% e 20,5 mg/L. A poda parece não ter influenciado esta variável, visto que a retenção da concentração de DQO no período após a poda não se alterou em relação aos dias de monitoramento que antecederam a mesma.

Comparando O LC2 com o LC1 a retenção na concentração de DQO foi positiva em 87,5% dos dias monitorados anteriores à poda e 100% dos dias monitorados posteriores à poda, com retenção média de 35,5 mg/L. Enquanto no LC1 a retenção positiva ocorreu em 100% dos dias monitorados tanto antes quanto depois da poda, retraindo em média 35,6 mg/L, a mesma retenção do LC2 com cinco dias a menos de monitoramento. Considerado-se apenas os dias monitorados em ambos os LC, verificou-se que o LC1 continuou sendo mais eficiente que o LC2 no período anterior à poda. A retenção média no LC1 foi de 18,5 mg/L, enquanto no LC2 a retenção média foi de 7,3 mg/L. No período posterior à poda o LC2 reteve em média 44,4 mg/L e o LC1 42,0 mg/L.

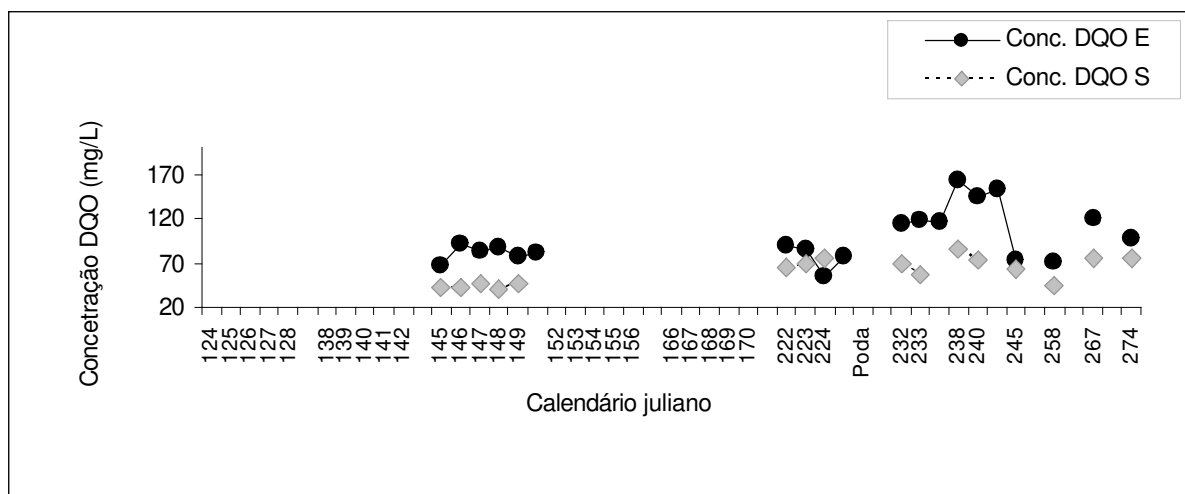


Figura 95. Concentração de DQO - médias diárias de entrada e saída no LC com *Heliconia psittacorum* nos dias monitorados em 2009

As cargas de DQO de entrada e saída no LC2 podem ser visualizadas na Figura 96. A máxima retenção positiva para carga de DQO ocorreu no dia 28/05/2009 (DJ 148) com 57.298,6 mg/dia e 57,7% de eficiência, seguido pelo dia 26/05/2009 (DJ146) com 55.028,9 mg/dia de carga retida, dias esses anteriores à poda. Após a mesma, a maior retenção ocorreu no dia 21/08/2009 (DJ 233) com 40.417,4 mg/dia e 51,5% de eficiência, seguido pelo dia 28/08/2009 (DJ 240) com 50,2% de eficiência e 57.690,8 mg/dia. As retenções para a carga de DQO nos dias monitorados podem ser observadas na Figura 97.

Comparando-se os dias em comum entre o LC2 e o LC1, observou-se que antes da poda o LC1 foi mais eficiente retendo uma carga média de 19.088,3 mg/dia e eficiência de retenção de 22,2%, enquanto o LC2 reteve carga média de 11.175,6 mg/dia e eficiência de 7,0%. Após a poda a carga retida foi praticamente a mesma para ambos os LC. O LC1 reteve carga média de 40.484,9 mg/dia e 37,0% de eficiência e o LC2 reteve carga média de 40.548,5 mg/dia e eficiência de 38,3%.

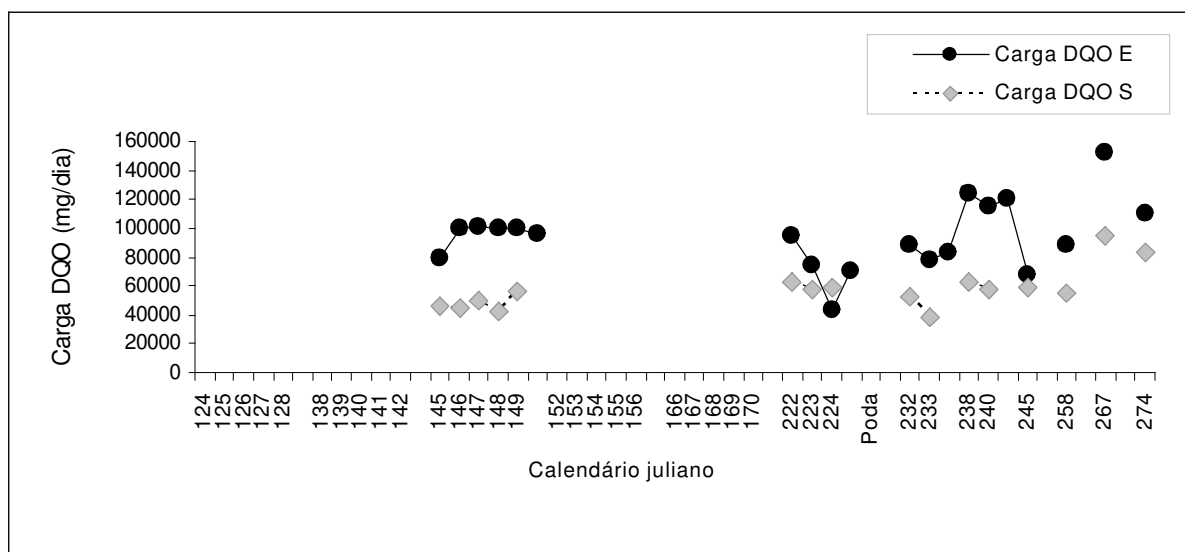


Figura 96. Carga de DQO - médias diárias de entrada e saída no LC com *Heliconia psittacorum* nos dias monitorados em 2009

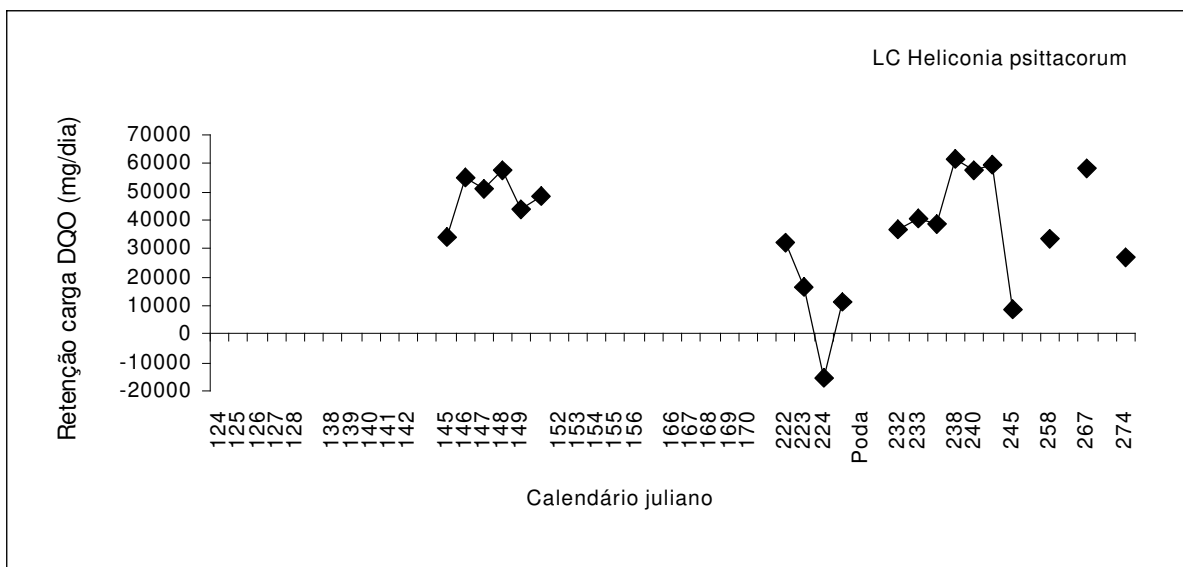


Figura 97. Retenção da carga de DQO ocorrida no LC com *Heliconia psittacorum* nos dias monitorados em 2009

e) Oxigênio dissolvido (OD)

A concentração de OD no LC2 foi analisada por 21 dias. Sendo, treze dias antes da poda e oito dias após a poda. O comportamento da concentração de OD nos dias monitorados pode ser observado na Figura 98. O acréscimo na concentração de OD ocorreu do dia 25/05/2009 (DJ 145) ao dia 28/05/2009 (DJ 148), antes da poda, com acréscimos de até 0,64 mg/L no dia 28/05/2009 (DJ 148) e valores de 1,25 mg/L para entrada e 1,89 mg/L para a saída. No período após a poda, houve acréscimo nos dias 20/08/2009 (DJ 232) e 21/08/2009 (DJ 233) com valores de 2,38 mg/L (entrada) e 2,45 mg/L (saída), para o primeiro, e valores de 1,06 mg/L (entrada) e 1,30 mg/L (saída), para o segundo. Observou-se aumento na concentração de OD no LC2 em 28,6% dos dias totais analisados. A Figura 99 mostra as retenções da concentração de OD no LC2 para os dias monitorados em 2009.

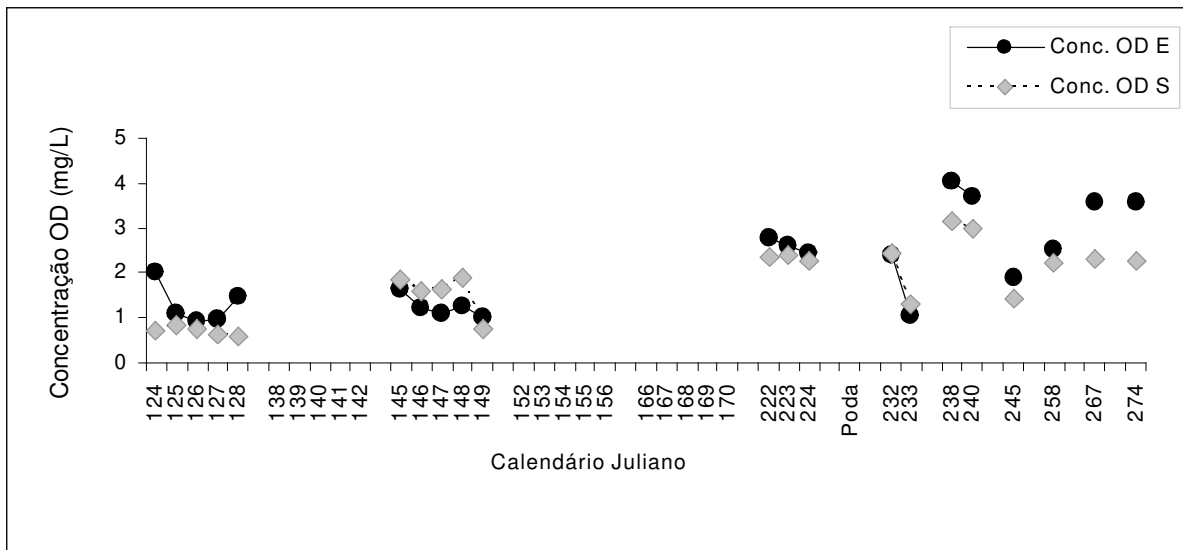


Figura 98. Concentração de OD - médias diárias de entrada e saída no LC com *Heliconia psittacorum* nos dias monitorados em 2009

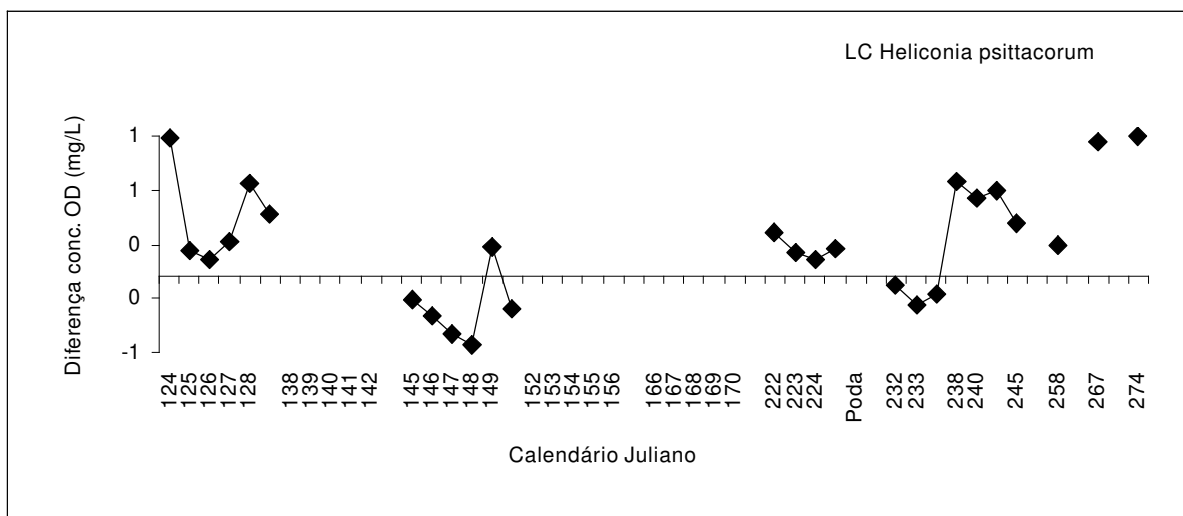


Figura 99. Diferença da concentração de OD de entrada e saída no LC com *Heliconia psittacorum* nos dias monitorados em 2009

f) Potencial hidrogeniônico (pH)

A Figura 100 mostra a variação do pH de entrada e saída nos dias monitorados em 2009, onde a maior diferença entre o pH de entrada e de saída (0,83) ocorreu no dia 16/06/2009 (DJ 167) com valores de 8,18 (entrada) e 7,35 (saída). Seguido pelo dia

04/06/2009 (DJ 155) com 0,80 e valores de 8,42 (entrada) e 7,62 (saída). O pH foi reduzido em 100% dos dias monitorados, assim como ocorreu no LC1.

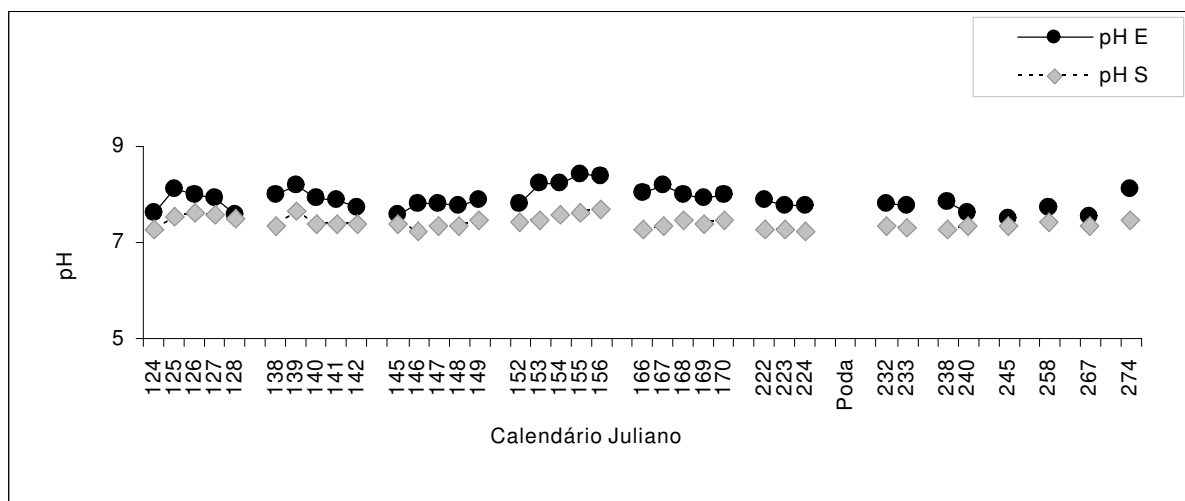


Figura 100. pH - médias diárias de entrada e saída no LC com *Heliconia psittacorum* nos dias monitorados em 2009

g) Condutividade elétrica (CE)

Na Figura 101 tem-se a CE de entrada e saída no LC2 para os dias monitorados em 2009. Na qual a maior redução (261 μ S/cm) ocorreu no dia 15/06/2009 (DJ 166), com valores de 934 μ S/cm (entrada) e 672 μ S/cm (saída), seguido pela redução no dia 27/05/2009 (DJ 147), 205 μ S/cm, com valores de 1.127 μ S/cm (entrada) e 922 μ S/cm (saída). A CE foi reduzida em 61,1% dos dias monitorados antes da poda e em 50% dos dias monitorados após a poda. Na Figura 102 estão apresentadas as diferenças entre a CE de entrada e saída do LC2.

Considerando-se os mesmos dias analisados entre o LC2 e o LC1, obteve-se que o LC2 foi mais eficiente na redução da CE antes da poda, 61,1%, do que o LC1, 44,4%. Após a poda o a redução da CE foi maior no LC1 com 62,5%, enquanto no LC2 foi de 50% dos dias.

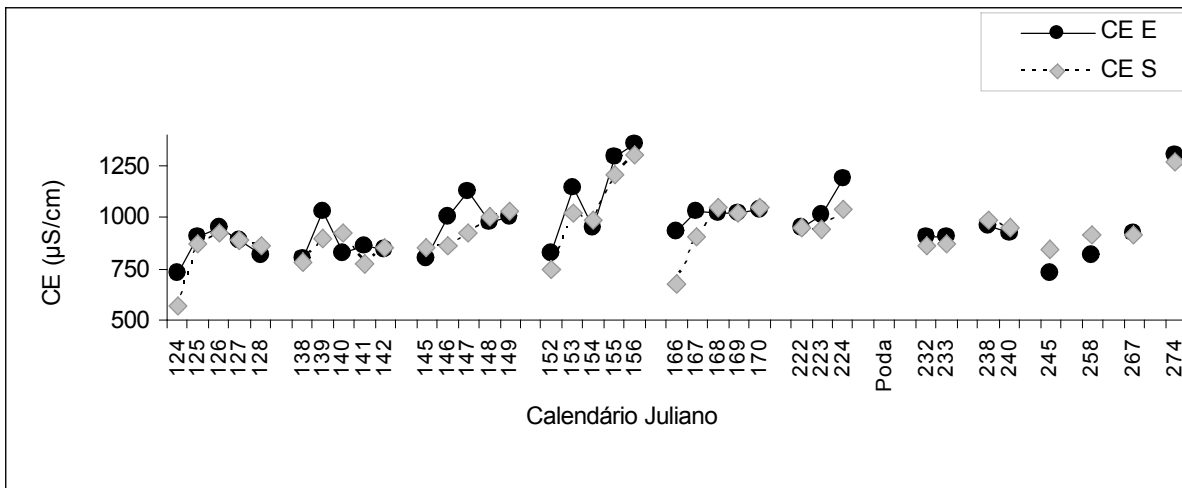


Figura 101. CE - médias diárias de entrada e saída no LC com *Heliconia psittacorum* nos dias monitorados em 2009

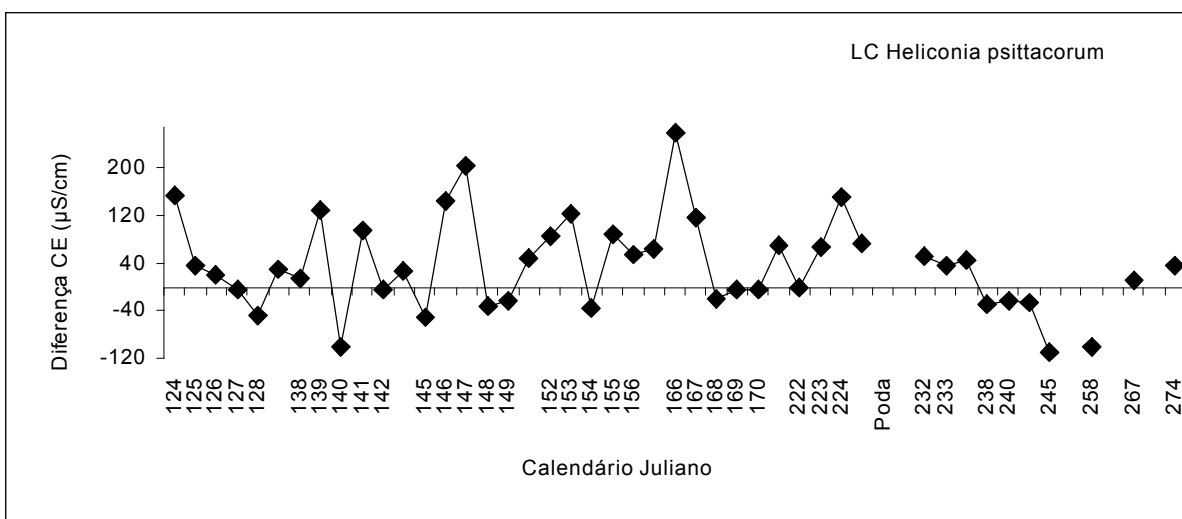


Figura 102. Diferença da CE de entrada e saída no LC com *Heliconia psittacorum* nos dias monitorados em 2009

h) Temperatura da água (Temp)

Na Figura 103 observam-se as temperaturas médias diárias da água de entrada e de saída do LC2. As maiores variações na temperatura da água foram observadas no dia 05/06/2009 e 17/06/2009 (DJ 156 e 168) com redução de 2,1°C, ambos com temperatura da água de 21,5°C (entrada) e de 19,4°C (saída). Na Figura 104 pode-se observar as diferenças da temperatura da água de entrada e de saída no LC2.

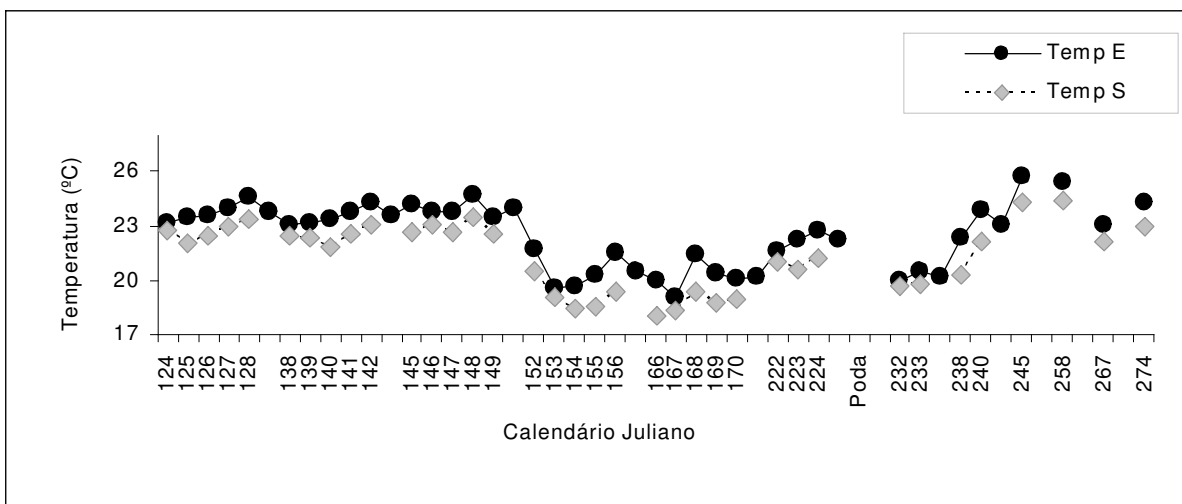


Figura 103. Temperatura da água - médias diárias de entrada e saída no LC com *Heliconia psittacorum* nos dias monitorados em 2009

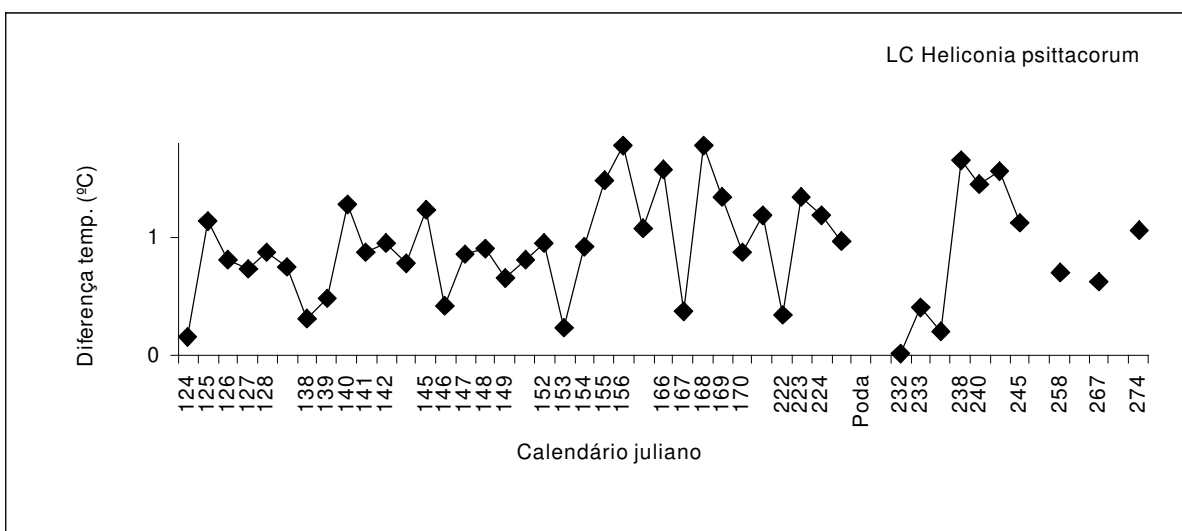


Figura 104. Diferença da temperatura da água de entrada e saída no LC com *Heliconia psittacorum* nos dias monitorados em 2009

4.4.2.2.5 Quantidade da água - Escala semanal, períodos monitorados e período estendido

a) Vazão (Q)

A Tabela 21 apresenta os valores médios de vazão para as semanas monitoradas no LC2. Da 1ª a 5ª semana o monitoramento foi realizado nos 5 dias da semana (segunda a sexta-feira), a média e o desvio padrão para a vazão de entrada em cada semana foi de $106,6 \pm 16,6$ L/dia (1ª semana); $89,4 \pm 16,8$ L/dia (2ª semana); $118,5 \pm 7,0$ L/dia (3ª semana); $116,4 \pm 10,7$ L/dia (4ª semana); $112,8 \pm 8,2$ L/dia (5ª semana). A vazão máxima do afluente ocorreu na 11ª semana com 126,9 L/dia com 1 dia de monitoramento.

As maiores taxas de evapotranspiração ocorreram na 1ª, 3ª, 4ª e 7ª semana. Conseqüentemente as maiores evaporações da lâmina d'água também, com alturas de 18,8 mm/dia, 23,4 mm/dia, 19,1 mm/dia e 16,5 mm/dia, respectivamente. O TDH para as 12 semanas monitoradas variou de 1,0 a 1,8 dias, sendo que o maior TDH ocorreu na 7ª semana com média de 1,8 dias, seguido pela 8ª semana com média de 1,6 dias, ambos com 2 dias de monitoramento.

No período anterior à poda a vazão média do afluente foi de $106,9 \pm 16,1$ L/dia e de $100,5 \pm 14,5$ L/dia para o efluente e o TDH foi de $1,2 \pm 0,2$ dias. A taxa de evapotranspiração obteve média e desvio padrão de $63,3 \pm 35,5$ L/dia e a altura da lâmina d'água evaporada foi de $15,5 \pm 8,7$ mm/dia. No período posterior a poda a média e o desvio padrão para o afluente foi de $94,5 \pm 23,2$ L/dia, para o efluente foi de $86,8 \pm 23,7$ L/dia. A taxa média de evapotranspiração e o desvio padrão foram de $35,1 \pm 31,5$ L/dia, a altura da lâmina d'água perdida foi de $8,6 \pm 7,7$ mm/dia e o TDH foi de $1,4 \pm 0,3$ dias.

Tabela 21. Vazão – média semanal entrada e saída, taxa de evapotranspiração, altura da lâmina d'água evaporada e TDH no LC2 nas semanas e nos períodos monitorados

LC2 – <i>Heliconia psittacorum</i>						
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Vazão				
		Média Semanal (L/dia)		Taxa de evapotranspiração (L/dia)	Altura lâmina d'água evaporada (mm/dia)	TDH (dias)
		Entrada	saída			
1 ^a	5	106,6	98,9	77,2	18,8	1,2
2 ^a	5	89,4	85,4	40,7	9,9	1,4
3 ^a	5	118,5	108,9	96,1	23,4	1,1
4 ^a	5	116,4	108,5	78,5	19,1	1,1
5 ^a	5	112,8	109,1	37,1	9,0	1,1
6 ^a	3	91,1	86,9	42,0	10,2	1,4
Média e desvio padrão	28	106,9±16,1	100,5±14,5	63,3±35,5	15,5±8,7	1,2±0,2
Poda						
7 ^a	2	71,8	65,1	67,5	16,5	1,8
8 ^a	2	78,2	75,4	27,9	6,8	1,6
9 ^a	1	94,5	93,2	12,6	3,1	1,3
10 ^a	1	122,6	119,7	28,8	7,0	1,0
11 ^a	1	126,9	124,0	28,8	7,0	1,0
12 ^a	1	111,6	109,6	19,8	4,8	1,1
Média e desvio padrão	8	94,5±23,2	86,8±23,7	35,1±31,5	8,6±7,7	1,4±0,3

4.4.2.2.6 Qualidade da água - Escala semanal, períodos monitorados e período estendido

a) Fósforo total (Pt)

Na Tabela 22 estão apresentados os valores médios para a concentração de fósforo total do LC2, nas semanas monitoradas e no período anterior e posterior à poda. Na qual se pode observar que as máximas retenções ocorreram na 2^a semana com 22,5% (0,6 mg/L), na 6^a semana com 21,4% (0,8 mg/L), antes da poda. Após a poda ocorreu retenção na 7^a semana com 14,9% (0,7 mg/L). As semanas seguintes após a poda apresentaram acréscimo de fósforo total no sistema, chegando a 24,4%, na 11^a semana com 1 dia de monitoramento.

A eficiência média e o desvio padrão para o período monitorado anterior à poda foram de 3,4±0,6 mg/L (afluente) e 3,2±0,5 mg/L (efluente), a retenção positiva foi de 0,2±0,4 mg/L e a eficiência de 6,0±10,4%. Enquanto para o período posterior à poda, a média e o desvio padrão foram de 3,9±0,7 mg/L (afluente) e 4,0±0,4 (efluente) e acréscimo de -0,1±0,6 mg/L e eficiência foi negativa em 4,2±13,9%. No período monitorado anterior à poda a retenção foi

maior ou igual a zero em 100% das semanas e para o período após a poda a retenção positiva ocorreu em apenas 16,6% das semanas.

No período estendido anterior à poda a retenção da concentração de fósforo total foi de 14,4 mg/período. No período estendido posterior à poda foram registrados acréscimos na concentração de fósforo total.

Tabela 22. Concentração fósforo total– média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC2 nas semanas e nos períodos monitorados

LC2 – <i>Heliconia psittacorum</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Concentração P			
		Média semanal (mg/L)		Retenção (mg/L)	Eficiência (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	5	3,0	3,0	0,0	0,7
2 ^a	3	2,5	1,9	0,6	22,5
3 ^a	5	3,7	3,5	0,2	4,8
4 ^a	5	4,0	3,5	0,5	11,6
5 ^a	4	4,3	3,8	0,5	11,1
6 ^a	2	3,7	2,9	0,8	21,4
Média e desvio padrão	24	3,4±0,6	3,2±0,5	0,2±0,4	6,0±10,4
Poda					
7 ^a	2	4,5	3,8	0,7	14,9
8 ^a	2	3,8	4,0	-0,2	-4,9
9 ^a	1	3,6	3,8	-0,2	-4,7
10 ^a	1	4,7	4,9	-0,2	-4,3
11 ^a	1	3,0	3,8	-0,7	-24,4
12 ^a	1	3,5	4,1	-0,6	-18,6
Média e desvio padrão	8	3,9±0,7	4,0±0,4	-0,1±0,6	-4,2±13,9

Na Tabela 23 podem ser observadas as cargas médias semanais de entrada e saída de fósforo total no LC2, onde a maior eficiência de retenção da carga de fósforo total no período anterior à poda ocorreu na 6^a semana com 24,8% e 786,8 mg/dia, seguida pela 4^a semana com 16,7% de eficiência e 758,9 mg/dia de carga média retida. No período posterior à poda a retenção positiva ocorreu na 7^a semana com eficiência de 14,9% e 471,1 mg/dia de massa retida. A partir da 9^a semana ocorreram acréscimos de fósforo total no sistema, chegando a 23,0% na 11^a semana.

Nos períodos monitorados, anterior e posterior à poda, a média e desvio padrão para a carga de fósforo total foi de: 3.701,9±937,8 mg/dia para o afluente e 3.226,1±761,1 mg/dia para o efluente; de 3.651,7±892,5 mg/dia para o afluente e 3.749,8±1.143,1 mg/dia para o

efluente, respectivamente A retenção foi de $475,8 \pm 409,8$ mg/dia e $11,7 \pm 10,0\%$ de eficiência antes da poda e acréscimos de $98,1 \pm 484,1$ mg/dia e $-1,8 \pm 13,4\%$ depois da poda. A retenção positiva ocorreu em 100% do período monitorado antes da poda e em 33,3% do período monitorado após a poda.

Comparando o LC2 com o LC1 verificou-se que a eficiência nos períodos analisados, antes e depois da poda, foi a mesma para ambos os LC com 100% e 33,3% das semanas, respectivamente.

No período estendido antes da poda a retenção da carga de fósforo total foi de 34,3 g/período e para o período estendido após a poda foi registrados acréscimos na carga de fósforo total.

Tabela 23. Carga fósforo total – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC2 nas semanas e nos períodos monitorados

LC2 – <i>Heliconia psittacorum</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Carga P			
		Média semanal (mg/dia)		Retenção (mg/dia)	Eficiência (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	5	3.184,4	2.881,4	303,0	9,5
2 ^a	3	2.504,4	2.513,9	-9,5	-0,4
3 ^a	5	4.386,2	3.861,5	524,6	12,0
4 ^a	5	4.548,3	3.789,4	758,9	16,7
5 ^a	4	3.597,2	3.111,8	485,3	13,5
6 ^a	2	3.174,3	2.387,5	786,8	24,8
Média e desvio padrão	24	3.701,9±937,8	3.226,1±761,1	475,8±409,8	11,7±10,0
Poda					
7 ^a	2	3.169,6	2.698,5	471,1	14,9
8 ^a	2	3.068,1	2.902,8	165,3	0,4
9 ^a	1	3.427,7	3.539,9	-112,2	-3,3
10 ^a	1	5.674,0	5.785,6	-111,6	-2,0
11 ^a	1	3.873,1	4.762,7	-889,6	-23,0
12 ^a	1	3.865,1	4.503,3	-638,2	-16,5
Média e desvio padrão	8	3.651,7±892,5	3.749,8±1143,1	-98,1±484,1	-1,8±13,4

b) Nitrato (NO³⁻)

O Nitrato foi avaliado por 5 dias seguidos na 3^a semana de monitoramento e a partir da 6^a até a 12^a semana, uma vez por semana. Então, a 3^a semana representa a média de cinco dias de análises diárias.

Na Tabela 24, observa-se a concentração de entrada e saída de nitrato, bem como a retenção e a eficiência de retenção para o LC2. O nitrato foi reduzido em todas as semanas monitoradas, sendo que a maior retenção ocorreu na 10ª semana (1 dia monitoramento) com 1,0 mg/L e 55,6% de eficiência e valores de 1,8 mg/L (entrada) e 0,8 mg/L (saída), seguida pela 11ª semana (1 dia) com retenção de 1,2 mg/L, eficiência de 48% e valores de 2,5 mg/L (entrada) e 1,3 mg/L (saída), ambas as semanas após a poda.

No período monitorado anterior à poda, a média e o desvio padrão na concentração de nitrato foi de $1,8 \pm 0,5$ mg/L para o afluente e $1,4 \pm 0,5$ mg/L para o efluente. A eficiência média de retenção foi de $12,2 \pm 47,7\%$ e a concentração média retida foi de $0,4 \pm 0,9$ mg/L. A concentração de nitrato foi retida em 100% desse período. No período posterior à poda a retenção também ocorreu em 100% do período com média e desvio padrão de $1,7 \pm 0,4$ mg/L para o afluente e $1,2 \pm 0,2$ mg/L para o efluente, com retenção de $0,6 \pm 0,4$ mg/L e eficiência de retenção foi de $29,8 \pm 17,9\%$.

No período estendido antes da poda, a concentração de nitrato retido foi de 28,8 mg/período e após a poda a retenção foi de 20,4 mg/período.

Tabela 24. Concentração nitrato – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC2 nas semanas e nos períodos monitorados

Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	LC2 – <i>Heliconia psittacorum</i>			
		Concentração NO ³⁻			
		Média semanal (mg/L)		Retenção (mg/L)	Eficiência (%)
		Entrada	Saída		
1ª	0	-	-	-	-
2ª	0	-	-	-	-
3ª	5	1,7	1,4	0,3	19,5
4ª	0	-	-	-	-
5ª	0	-	-	-	-
6ª	1	1,9	1,3	0,6	31,6
Média e desvio padrão	6	1,8±0,5	1,4±0,5	0,4±0,9	12,2±47,7
Poda					
7ª	1	1,2	0,9	0,3	25,0
8ª	1	1,5	1,3	0,2	13,3
9ª	1	1,7	1,3	0,4	23,5
10ª	1	1,8	0,8	1,0	55,6
11ª	1	2,5	1,3	1,2	48,0
12ª	1	1,5	1,3	0,2	13,3
Média e desvio padrão	6	1,7±0,4	1,2±0,2	0,6±0,4	29,8±17,9

Na Tabela 25 podem ser visualizadas as reduções na carga de nitrato do LC2. Assim como nas concentrações de nitrato, as retenções de carga foram mais expressivas na 11ª semana com 1.560,2 mg/dia e na 10ª semana com 1.248,8 mg/dia e a eficiência na retenção foi de 49,2%, 56,6%, respectivamente.

Para o período monitorado anterior à poda as cargas médias de nitrato e o desvio padrão, de entrada e saída, foram quantificadas em 1.984,6±516,7 mg/dia e 1.461,1±608,6 mg/dia com retenção de 523,4±1.016,5 mg/dia e 18,6±44,5% de eficiência. A retenção foi positiva em 100% das semanas analisadas antes da poda. No período posterior à poda, a média e o desvio padrão para o afluente e para o efluente foram de 1.774,4±834,5 mg/dia e 1.134,4±363,3 mg/dia, respectivamente, para a retenção e eficiência foram de 640,0±604,8 mg/dia e 31,0±17,6%. Nesse período a retenção foi positiva em 100% das semanas monitoradas.

No período estendido antes da poda a carga retida de nitrato foi de 37,6 g/período e no período estendido após a poda a retenção foi de 21,8 g/período.

Tabela 25. Carga Nitrato – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC2 nas semanas e nos períodos monitorados

		LC2 – <i>Heliconia psittacorum</i>			
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Carga NO ³⁻			
		Média semanal (mg/dia)		Retenção (mg/dia)	Eficiência (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	0	-	-	-	-
2 ^a	0	-	-	-	-
3 ^a	5	2.046,3	1.533,4	512,9	25,1
4 ^a	0	-	-	-	-
5 ^a	0	-	-	-	-
6 ^a	1	1.675,8	1.099,8	576,00	34,4
Média e desvio padrão	6	1.984,6±516,7	1.461,1±608,6	523,4±1016,5	18,6±44,5
Poda					
7 ^a	1	790,6	592,9	197,6	25,0
8 ^a	1	1.196,1	1.006,2	189,9	15,9
9 ^a	1	1.606,5	1.212,1	394,4	24,5
10 ^a	1	2.206,4	957,6	1.248,8	56,6
11 ^a	1	3.172,5	1.612,3	1.560,2	49,2
12 ^a	1	1.674,0	1.425,1	248,9	14,9
Média e desvio padrão	6	1.774,4±834,5	1.134,4±363,3	640,0±604,8	31,0±17,6

c) Nitrogênio amoniacal (NH_3)

A concentração de entrada e saída de nitrogênio amoniacal, bem como a retenção e a eficiência, nas semanas monitoradas podem ser vistas na Tabela 26. Nesse LC, essa variável foi analisada, 2 semanas antes da poda e 6 semanas após a poda, sendo que a 1ª semana analisada foi composta por 5 dias seguidos de monitoramento, as outras semanas com três, dois e um dia de monitoramento cada.

A eficiência na retenção da concentração do nitrogênio amoniacal foi positiva na 3ª (5 dias), na 6ª (3 dias), na 7ª (2 dias) e na 8ª (2 dias) semana, sendo a retenção e a eficiência de retenção de 12,7 mg/L (21,9%), 2,7 mg/L (9,3%), 2,6 mg/L (7,5%) e 1,1 mg/L (2,6%), respectivamente. Na 10ª semana ocorreu o maior acréscimo com valor de 6,5 mg/L e eficiência negativa de 21,7%.

Nos períodos monitorados, a média e o desvio padrão, antes da poda foram de 47,2±20,6 mg/L (afluente), 38,2±11,7 mg/L (efluente), 9,0±14,1 mg/L para a retenção e 13,8±18,0% de eficiência. No período posterior à poda, a média e o desvio padrão foram de 34,9±4,7 mg/L (afluente), 35,5±3,2 mg/L (efluente), -0,6±3,9 mg/L para a retenção e -2,9±12,3% para a eficiência de retenção. O período anterior à poda foi mais eficiente em relação ao período posterior à poda.

No período estendido anterior à poda a retenção para a concentração de nitrogênio amoniacal foi de 0,6 g/período. No período posterior à poda foram registrados acréscimos na concentração de nitrogênio amoniacal.

Tabela 26. Concentração nitrogênio amoniacal - média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC2 nas semanas e nos períodos monitorados

LC2 – <i>Heliconia psittacorum</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Concentração NH³			
		Média semanal (mg/L)		Retenção (mg/L)	Eficiência (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	0	-	-	-	-
2 ^a	0	-	-	-	-
3 ^a	5	57,8	45,1	12,7	21,9
4 ^a	0	-	-	-	-
5 ^a	0	-	-	-	-
6 ^a	3	29,5	26,7	2,7	9,3
Média e desvio padrão	8	47,2±20,6	38,2±11,7	9,0±14,1	13,8±18,0
Poda					
7 ^a	2	34,6	32,0	2,6	7,5
8 ^a	2	40,7	39,7	1,1	2,6
9 ^a	1	28,6	34,4	-5,8	-20,3
10 ^a	1	29,9	36,4	-6,5	-21,7
11 ^a	1	33,5	34,2	-0,7	-2,1
12 ^a	1	36,5	35,8	0,7	1,9
Média e desvio padrão	8	34,9±4,7	35,5±3,2	-0,6±3,9	-2,9±12,3

Na Tabela 27 têm-se as cargas médias semanais afluentes e efluentes o nitrogênio amoniacal. A carga média semanal foi reduzida significativamente na 3^a semana com retenção de 18.828,1 mg/dia e eficiência 27,6%, seguida pela 6^a semana com 3.539,7 mg/dia e eficiência de 13,2%.

No período monitorado anterior à poda, a média e o desvio padrão foram 52.638,8±26.803,0 mg/dia (afluente), 39.543,9±16.192,4 mg/dia (efluente), com retenção de 13.094,9±17.769,1 mg/dia e eficiência de 19,4±17,7%. Nesse período a retenção positiva ocorreu em 100% das semanas analisadas. No período posterior à poda a média e o desvio padrão foram, 32.569,4±7.167,2 mg/dia (afluente), 32.777,0±8.295,9 mg/dia (efluente), com acréscimo de 207,6±3.928,5 mg/dia e eficiência negativa de 0,6±12,5%. A retenção positiva ocorreu em 66,6% das semanas analisadas, o dobro em relação à concentração. O período anterior à poda foi mais eficiente na retenção das cargas de nitrogênio amoniacal do que o período posterior à poda.

A carga de nitrogênio amoniacal retida no período estendido anterior à poda foi de 942,8 g/período. No período estendido após a poda ocorreram acréscimos na concentração de nitrogênio amoniacal.

Tabela 27. Carga nitrogênio amoniacal - média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC2 nas semanas e nos períodos monitorados

LC2 – <i>Heliconia psittacorum</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Carga NH ³			
		Média semanal (mg/dia)		Retenção (mg/dia)	Eficiência (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	0	-	-	-	-
2 ^a	0	-	-	-	-
3 ^a	5	68.175,2	49.347,1	18.828,1	23,1
4 ^a	0	-	-	-	-
5 ^a	5	-	-	-	-
6 ^a	3	26.744,9	23.205,2	3.539,7	13,1
Média e desvio padrão	8	52.638,8±26.803,0	39.543,9±16.192,4	13.094,9±17.769,1	19,4±17,7
Poda					
7 ^a	2	25.004,2	22.598,5	2.405,7	8,2
8 ^a	2	27727,1	25502,1	2225,1	7,4
9 ^a	1	27.027,0	32.074,6	-5.047,6	-18,7
10 ^a	1	36.651,4	43.570,8	-6.919,4	-18,9
11 ^a	1	42.511,5	42.414,8	96,7	0,2
12 ^a	1	40.734,0	39.244,0	1.490,0	3,7
Média e desvio padrão	8	32.569,4±7.167,2	32.777,0±8.295,9	-207,6±3.928,5	-0,6±12,5

d) Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A concentração média semanal da DQO no LC2 pode ser observada na Tabela 28. A maior retenção ocorreu na 8^a semana com 73,4 mg/L e 47,8% de eficiência, seguida pela 7^a semana com 53,2 mg/L e 45,6% de eficiência, ambas com dois dias de monitoramento e posteriores a poda.

A média e o desvio padrão para a concentração de DQO no período monitorado anterior à poda foram de 79,6±12,2 mg/L para o afluente, 52,1±13,1 mg/L para o efluente, a eficiência média de retenção foi de 31,5±28,3% e a retenção de 26,2±21,7 mg/L. No período monitorado posterior à poda, a média e o desvio padrão foram de 117,3±30,8 mg/L para o afluente e 69,1±11,9 mg/L para o efluente. A retenção nesse período foi de 44,4±24,0 mg/L e a eficiência de retenção de 38,9±12,6%. A poda não influenciou na retenção da concentração de DQO que foi reduzida em 100% das semanas monitoradas tanto antes quanto depois da poda.

No período estendido anterior à poda a retenção foi de 1,9 g/período e posteriormente à poda a retenção foi de 1,5 g/período.

Tabela 28. Concentração DQO - média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC2 nas semanas e nos períodos monitorados

LC2 – <i>Heliconia psittacorum</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Concentração DQO			
		Média semanal (mg/L)		Retenção (mg/L)	Eficiência (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	0	-	-	-	-
2 ^a	0	-	-	-	-
3 ^a	5	81,2	43,7	37,5	46,2
4 ^a	0	-	-	-	-
5 ^a	0	-	-	-	-
6 ^a	3	76,3	69,0	7,3	9,6
Média e desvio padrão	8	79,6±12,2	52,1±13,1	26,2±21,7	31,5±28,3
Poda					
7 ^a	2	116,6	63,4	53,2	45,6
8 ^a	2	153,4	80,0	73,4	47,8
9 ^a	1	72,2	63,7	8,6	11,9
10 ^a	1	72,0	45,5	26,5	36,8
11 ^a	1	120,1	75,9	44,2	36,8
12 ^a	1	98,5	75,5	23,0	23,4
Média e desvio padrão	8	117,3±30,8	69,1±11,9	44,4±24,0	38,9±12,6

A Tabela 29 apresenta os valores médios semanais da cargas de DQO no LC2. A maior redução da carga de DQO, antes da poda ocorreu na 3^a semana (média 5 dias) com 48.284,7 mg/dia e 50,4% de eficiência. Após a poda a maior retenção ocorreu na 8^a semana (média de 2 dias) com 59.592,4 mg/dia e 49,8% de eficiência positiva, seguida pela 11^a semana (1 dia monitoramento) com 58.212,56 mg/dia e eficiência de 38,2%.

A carga média e o desvio padrão de DQO no período monitorado antes da poda, foram de 86.495,7±20.099,4 mg/dia (afluente) e 52.126,9±7.495,4 mg/dia (efluente). A retenção foi de 34.368,8±24.252,4 mg/dia e a eficiência média de retenção foi de 33,7±30,3%. No período posterior à poda, foi de 103.221,0±27.585,7 mg/dia para o afluente, 62.672,5±17.811,5 mg/dia para o efluente, a retenção foi de 40.548,5±18.064,9 mg/L e eficiência de 38,3±13,5%. O período monitorado posterior à poda foi mais eficiente que o período anterior à poda.

No período estendido antes da poda a retenção da concentração de nitrato foi de 2.474,5 g/período e após a poda foi de 1.378,6 g/período.

Tabela 29. Carga DQO - média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC2 nas semanas e nos períodos monitorados

LC2 – <i>Heliconia psittacorum</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Carga DQO			
		Média semanal (mg/dia)		Retenção (mg/ semana)	Eficiência (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	0	-	-	-	-
2 ^a	0	-	-	-	-
3 ^a	5	95.897,1	47.612,5	48.284,7	50,4
4 ^a	0	-	-	-	-
5 ^a	0	-	-	-	-
6 ^a	3	70.826,5	59.651,0	11.175,6	15,8
Média e desvio padrão	8	86.495,7±20.099,4	52.126,9±7.495,4	34.368,8±24.252,4	39,7±30,3
Poda					
7 ^a	2	83.627,7	45.073,4	38.554,3	46,1
8 ^a	2	119.829,6	60.237,3	59.592,4	49,8
9 ^a	1	68.266,8	59.351,92	8.914,88	13,1
10 ^a	1	88.282,1	54.511,38	33.770,74	38,3
11 ^a	1	152.356,1	94.143,58	58.212,56	38,2
12 ^a	1	109.948,3	82.752,14	27.196,18	24,7
Média e desvio padrão	8	103.221,0±27.585,7	62.672,5±17.811,5	40.548,5±18.064,9	38,3±13,5

e) Oxigênio Dissolvido (OD)

Na Tabela 30, pode-se observar a média semanal para a concentração afluenta e efluente de OD, bem como o acréscimo ou déficit da mesma no LC2. Nesse LC foram observados acréscimos na concentração de OD na 3^a semana, antes da poda, com 0,30 mg/L e 24,1% e na 7^a semana, depois da poda, com 0,17 mg/L e 9,8%.

O período monitorado antes da poda apresentou déficit, com média e desvio padrão de 0,2±0,5 mg/L e 8,5±36,3%, porém nesse período ocorreu acréscimo na concentração de OD em 33,3% das semanas analisadas. No período depois da poda, a média e o desvio padrão para o déficit de OD foram de 0,6±0,6 mg/L e 15,3±20,6 % com acréscimo na concentração de OD em 16,6% das semanas monitoradas.

No período estendido antes da poda ocorreu acréscimo da concentração de OD de 14,4 mg/L e após a poda o acréscimo foi de 20,4 mg/L.

Comparando o LC2 com o LC1, apenas no período monitorado após a poda, o déficit na concentração de OD foi praticamente o mesmo em ambos os LC. No entanto o LC2 apresentou uma semana com acréscimo da mesma, enquanto o LC1 não apresentou acréscimo em nenhuma das semanas analisadas para o mesmo período.

Tabela 30. Concentração de OD - média semanal entrada e saída, diferença entrada e saída e eficiência OD do LC2 nas semanas e nos períodos monitorados

LC2 – <i>Heliconia psittacorum</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Concentração OD			
		Média semanal (mg/L)		Diferença entrada-saída (mg/L)	Eficiência (%)
		Entrada	saída		
1 ^a	5	1,3	0,7	0,58	44,84
2 ^a	0	-	-	-	-
3 ^a	5	1,2	1,5	-0,30*	-24,12*
4 ^a	0	-	-	-	-
5 ^a	0	-	-	-	-
6 ^a	3	2,6	2,3	0,26	10,15
Média e desvio padrão	13	1,6±0,7	1,4±0,7	0,2±0,5	8,5±36,3
Poda					
7 ^a	2	1,7	1,9	-0,17*	-9,80*
8 ^a	2	3,9	3,1	0,80	20,77
9 ^a	1	1,9	1,4	0,49	25,74
10 ^a	1	2,5	2,2	0,28	11,26
11 ^a	1	3,6	2,3	1,26	35,23
12 ^a	1	3,6	2,3	1,30	36,28
Média e desvio padrão	8	2,8±1,0	2,3±0,6	0,6±0,6	15,3±20,6

*Valores negativos significam acréscimo de OD no LC

f) Potencial hidrogeniônico (pH)

Na Tabela 31 têm-se os valores de pH de entrada e saída no LC2 e a diferença entre ambas. Na qual se observa que os valores de pH de saída foram inferiores aos valores de pH de entrada, transformando o pH do meio em menos alcalino. A máxima diferença (0,7), entre o afluente e o efluente ocorreu na 4^a semana (antes da poda) com valores de 8,2 e 7,6, respectivamente. E após a poda a maior diferença ocorreu na 12^a semana com 0,6 e valores de entrada de 8,1 e de saída de 7,5. O pH foi reduzido em 100% das semanas monitoradas.

No período monitorado, antes da poda, a média e o desvio padrão para o afluente foi de 7,9±0,2 e para o efluente foi de 7,4±0,1, a diferença entre ambas foi de 0,5±0,2. Nesse período

os valores do pH de entrada variaram de 7,8 a 8,2 e o de saída de 7,2 a 7,6. No período posterior à poda, a média e o desvio padrão para o afluente foi de $7,7 \pm 0,2$ e para o efluente foi de $7,4 \pm 0,1$, com diferença de $0,4 \pm 0,2$. Os valores do pH de entrada nesse período variaram de 7,5 a 8,1 e o pH de saída de 7,3 a 7,5.

Tabela 31. pH - média semanal entrada e saída, diferença de entrada e saída do pH do LC2 nas semanas e nos períodos monitorados

LC2 – <i>Heliconia psittacorum</i>				
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	pH		
		Média semanal		Diferença entrada/ saída
		Entrada	Saída	
1 ^a	5	7,8	7,5	0,3
2 ^a	5	7,9	7,4	0,5
3 ^a	5	7,8	7,4	0,4
4 ^a	5	8,2	7,6	0,7
5 ^a	5	8,0	7,4	0,6
6 ^a	3	7,8	7,2	0,6
Média e desvio padrão	28	$7,9 \pm 0,2$	$7,4 \pm 0,1$	$0,5 \pm 0,2$
Poda				
7 ^a	2	7,8	7,3	0,5
8 ^a	2	7,7	7,3	0,4
9 ^a	1	7,5	7,4	0,1
10 ^a	1	7,7	7,4	0,3
11 ^a	1	7,5	7,3	0,2
12 ^a	1	8,1	7,5	0,6
Média e desvio padrão	8	$7,7 \pm 0,2$	$7,4 \pm 0,1$	$0,4 \pm 0,2$

g) Condutividade elétrica (CE)

A média semanal da CE de entrada e saída e a diferença entre ambas para o LC2 está apresentada na Tabela 32. A maior diferença positiva ocorreu na 6^a semana (antes da poda) e foi de 73 $\mu\text{S/cm}$, com valores de 1.050 $\mu\text{S/cm}$ (entrada) e 977 $\mu\text{S/cm}$ (saída). Os acréscimos na CE ocorreram após a poda, na 9^a e na 10^a semana com 110 $\mu\text{S/cm}$ e 101 $\mu\text{S/cm}$ e valores de 733 $\mu\text{S/cm}$ (entrada) e 843 $\mu\text{S/cm}$ (saída) e de 817 $\mu\text{S/cm}$ (entrada) e 917 $\mu\text{S/cm}$ (saída), respectivamente.

A média e o desvio padrão para o período monitorado antes da poda foi de 976 ± 149 $\mu\text{S/cm}$ para o afluente, de 925 ± 148 $\mu\text{S/cm}$ para o efluente, a diferença entre ambos foi de 51 ± 87 $\mu\text{S/cm}$, nesse período a redução ocorreu em 100% das semanas monitoradas. No

período posterior à poda a média e o desvio padrão foi de 934 ± 165 $\mu\text{S/cm}$ (afluente), de 951 ± 136 $\mu\text{S/cm}$ (efluente) e a diferença entre ambos foi negativa em 16 ± 62 $\mu\text{S/cm}$. Nesse período a redução da CE ocorreu em 66,6% das semanas monitoradas. O período anterior à poda foi mais eficiente na redução da CE do que o período posterior à mesma.

Tabela 32. CE - média semanal entrada e saída, diferença de entrada e saída da CE no LC2 nas semanas e nos períodos monitorados

LC2 – <i>Heliconia psittacorum</i>				
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	CE		
		Média semanal (µS/cm)		Diferença entrada/ saída (µS/cm)
		Entrada	Saída	
1ª	5	856	825	31
2ª	5	873	846	27
3ª	5	982	933	48
4ª	5	1115	1051	64
5ª	5	1009	939	70
6ª	3	1050	977	73
Média e desvio padrão	28	976±149	925±148	51±87
		Poda		
7ª	2	910	865	44
8ª	2	940	868	72
9ª	1	733	843	-110
10ª	1	817	917	-101
11ª	1	926	917	10
12ª	1	1301	1267	35
Média e desvio padrão	8	934±165	951±136	-16±62

h) Temperatura da água (Temp)

A média semanal da temperatura da água no LC2 pode ser vista na Tabela 33. A temperatura da água do afluente, antes da poda, variou de 20,2 a 24,0°C e do efluente variou de 18,7 a 22,9°C. Depois da poda a variação foi de 20,2 a 25,7°C para o afluente e de 19,7 a 24,4°C para o efluente.

A maior diferença, antes da poda, ocorreu na 5^a semana com 1,5°C e temperaturas da água de 20,2°C (entrada) e de 18,7°C (saída). Após a poda a maior diferença foi de 1,9°C e ocorreu na 8^a semana com valores de 23,1°C (entrada) e 21,3°C (saída).

No período monitorado anterior à poda a média e o desvio padrão foi de $22,4 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ para a entrada e $21,2 \pm 1,8^{\circ}\text{C}$ para a saída com diferença de $1,2 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. No período monitorado posterior à poda a média e o desvio padrão foram de $23,2 \pm 2,1^{\circ}\text{C}$ para a entrada e $22,0 \pm 1,9^{\circ}\text{C}$ para a saída e a diferença entre ambas foi de $1,2 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$. As temperaturas foram diminuídas em todas as semanas monitoradas para os dois períodos analisados.

Tabela 33. Temperatura da água - média semanal entrada e saída, diferença de entrada e saída da temperatura do LC2 nas semanas e nos períodos monitorados

LC2 – <i>Heliconia psittacorum</i>				
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Temperatura água		
		Média semanal (°C)		Diferença entrada/saída (°C)
		Entrada	Saída	
1 ^a	5	23,8	22,7	1,0
2 ^a	5	23,6	22,5	1,1
3 ^a	5	24,0	22,9	1,1
4 ^a	5	20,5	19,2	1,4
5 ^a	5	20,2	18,7	1,5
6 ^a	3	22,2	20,9	1,3
Média e desvio padrão	28	22,4±1,7	21,2±1,8	1,2±0,5
Poda				
7 ^a	2	20,2	19,7	0,5
8 ^a	2	23,1	21,3	1,9
9 ^a	1	25,7	24,3	1,4
10 ^a	1	25,4	24,4	1,0
11 ^a	1	23,1	22,2	0,9
12 ^a	1	24,3	23,0	1,4
Média e desvio padrão	8	23,2±2,1	22,0±1,9	1,2±0,6

4.4.3. Leito cultivado com *Cyperus alternifolius* (LC3)

4.4.3.1 Monitoramento da vegetação do LC3

A vegetação de *Cyperus alternifolius*, adaptou e desenvolveu-se rapidamente no LC3. Dois meses após o plantio, a vegetação cobria totalmente o LC. A evolução da vegetação no LC3 pode ser visualizada na Figura 105. Onde se observa a vegetação no dia do plantio, 45 dias após o plantio e 90 dias após, no dia 24/03/2009.



Figura 105. Desenvolvimento da vegetação no LC com *Cyperus alternifolius*. (a) dia do plantio (16/12/2008); (b) 45 dias após o plantio (09/02/2009); (c) 90 dias após plantio (24/03/2009).

Como essa planta teve um desenvolvimento rápido em relação à vegetação dos outros LC, optou-se pela realização de duas podas. Sendo, a primeira poda realizada no dia 04/05/2009, 4 meses após o plantio, e a segunda no dia 14/08/2009.

Na Figura 106 pode-se observar a altura máxima dessa vegetação três meses após o plantio (130 cm), o desenvolvimento da vegetação na semana da primeira poda e no dia da poda. No mês de abril a vegetação começou a apresentar sintomas da doença conhecida como ferrugem (*Puccinia sorghi*), optou-se então, por não utilizar nenhum agroquímico para o controle, pois a 1ª poda logo seria realizada no dia 04/05/2009.



Figura 106. LC com *Cyperus alternifolius*. (a) altura máxima da vegetação, 3 meses após plantio; (b) desenvolvimento da vegetação na semana da 1ª poda e, (c) dia da poda 04/05/2009.

Na Figura 107 observa-se a recuperação e o desenvolvimento da vegetação após a 1ª poda, com rebrote da vegetação após 10 dias da mesma. O desenvolvimento da vegetação 30 dias e 50 dias após a poda. O rebrote da vegetação apresentou vigor e altura inferior ao observado quando da realização do plantio.



Figura 107. Recuperação da vegetação LC com *Cyperus alternifolius* após a 1ª poda. (a) 10 dias após; (b) 28 dias após; (c) 50 dias após a 1ª poda.

No mês de julho, período de férias na Feagri, praticamente não houve vazão, o que comprometeu ainda mais o desenvolvimento da vegetação, promovendo o alastramento da ferrugem, devido ao estresse hídrico. A ferrugem por sua vez, promoveu o secamento da parte aérea das vegetação, como pode ser observada na figura 108. Na mesma figura, têm-se a vegetação no mês de julho e em agosto na semana que antecede a 2ª poda, bem como a altura máxima antes da 2ª poda, que estava entre 80 e 90 cm.

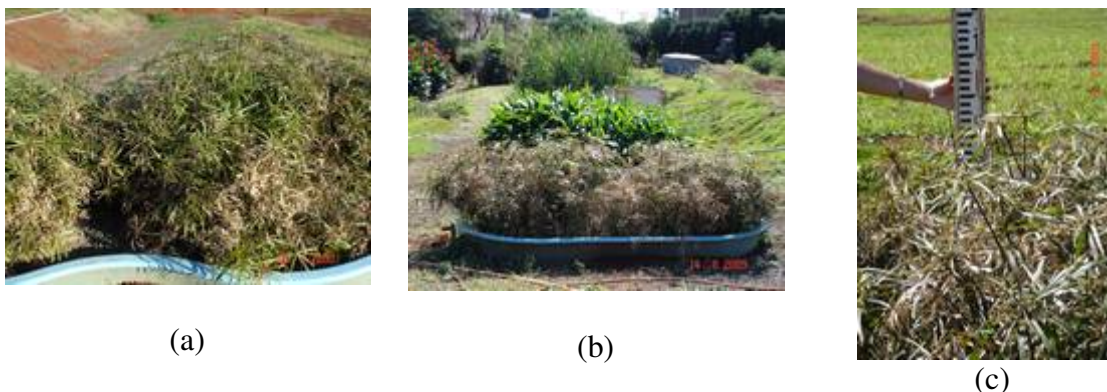


Figura 108. Vegetação no LC com *Cyperus alternifolius*. (a) mês de julho de 2009 com forte ataque de ferrugem; (b) no mês de agosto na semana que antecede a 2ª poda; (c) Altura máxima antes da 2ª poda em 14/08/2009.

No dia da realização da 2ª poda duas plantas foram substituídas. Porém, o desenvolvimento da vegetação do LC como um todo, na 2ª rebrota ficou abaixo do esperado. Como pode ser observado na Figura 109.



Figura 109. Recuperação da vegetação no LC com *Cyperus alternifolius* após a 2ª poda. (a) rebrota das plantas com 10 dias. (b) desenvolvimento da vegetação com 30 dias e, (c) vegetação em outubro de 2009, final do monitoramento.

A altura média das plantas no período de monitoramento, janeiro a outubro de 2009, pode ser observada na Figura 110. Na qual se observa que a altura média das plantas na 1ª poda estava em 91,4 cm e na 2ª poda, a altura média estava em 57,0 cm. Após a 2ª poda, no final do monitoramento, a altura média das plantas estava em aproximadamente 32,2cm.

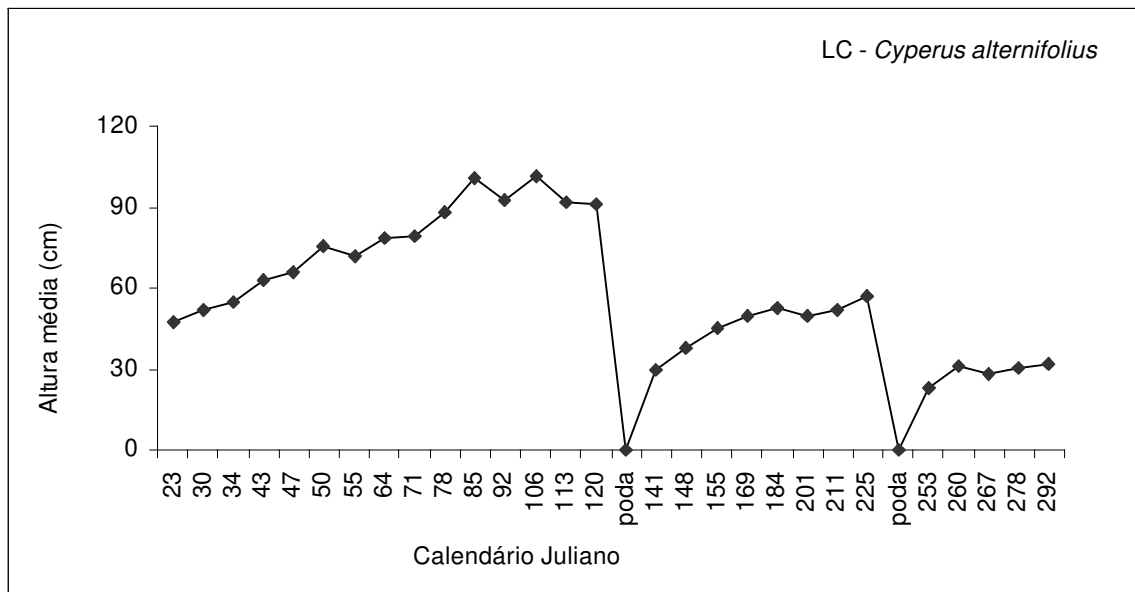


Figura 110. Altura média das plantas de *Cyperus alternifolius* no LC, no período de janeiro a outubro de 2009.

a) Índice de área foliar (IAF), produção de biomassa e exportação de nutrientes do *Cyperus alternifolius*

Na Figura 111 pode-se observar o IAF medido para o *Cyperus alternifolius*. Na qual se têm que IAF médio dessa planta, de janeiro até a primeira poda, em 04/05/2009 foi 10,0 chegando ao máximo de 15,7 no dia 19/03/2009 (DJ 78). Entre a 1ª e a 2ª poda o IAF médio estava em 6,7 sendo que o IAF mais alto (10,6) ocorreu no dia 13/08/2009 (DJ 225). Após a 2ª poda até o último dia de monitoramento da vegetação o IAF médio estava em 0,9.

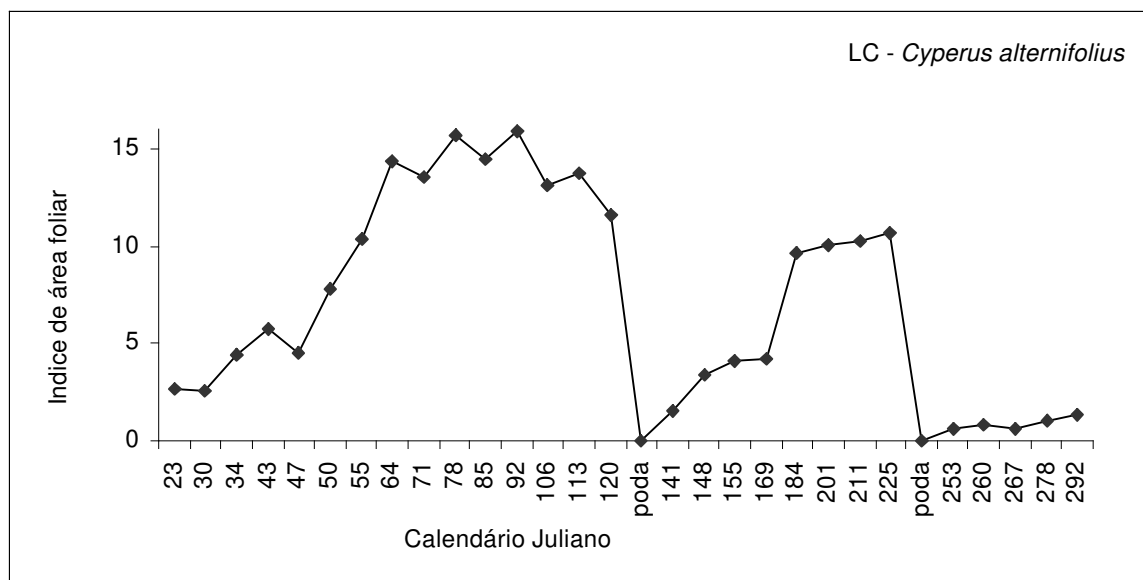


Figura 111. Índice de área foliar (IAF) no LC com *Cyperus alternifolius* no período de janeiro a outubro de 2009.

A quantidade de biomassa verde (folhas e hastes) produzida na primeira poda foi de 18,5 kg e a biomassa seca foi de 4,11 kg, na segunda poda a produção de biomassa verde foi de 10,5 kg e a biomassa seca foi de 2,34 kg. A menor quantidade de biomassa verde na segunda poda se deve ao menor desenvolvimento da cultura, como já relatado anteriormente. O severo ataque da ferrugem diminuiu a área verde foliar, conseqüentemente a quantidade de água nas folhas. Na análise foliar, houve diferença na extração de N entre as duas podas realizadas, sendo 25,8 g/kg (1ª poda) e 24,5 g/kg (2ª poda). No entanto, a extração de P foi a mesma para as duas podas, 3,0 g/kg. A quantidade total de nutrientes exportados pelas plantas de *Cyperus alternifolius*, foi de: 106,0 g/N e 12,3 g/P na 1ª poda e, de 57,3 g/N e 7,0 g/P na 2ª poda.

Considerando a exportação dos nutrientes por metro quadrado obteve-se: 25,9 g/m² de N e 3,0 g/m² de P na 1ª poda e de 13,9 g/m² de N e 1,7 g/m² de P na 2ª poda. A média de nutrientes exportadas pelas plantas do LC3 entre as duas podas foi de 19,9 g/m² para o N e 2,4 g/m² para o P.

4.4.3.2.2. Monitoramento da água no leito cultivado com *Cyperus alternifolius* (LC3)

4.4.3.2.2.1. Quantidade da água - Escala horária

a) Vazão (Q)

As vazões horárias afluentes e efluentes nos dias 03 e 04/06/2009 podem ser observadas na Figura 112. No dia 03/06/2009, a vazão total afluente foi de 1.036,8 L/h e a vazão total de saída foi de 979,2 L/h. No dia 04/06/2009, a vazão total de entrada foi de 896,4L/h e a vazão total de saída foi de 873,0 L/h. A diferença entre a vazão de entrada e a vazão de saída foi considerada como sendo evapotranspiração do LC3, a maior perda de água ocorreu às 11:00 h em ambos os dias com 16,2 L/h para o primeiro e 7,2 L/h para o segundo dia. A maior altura da lâmina d'água perdida no dia 03/06/2009 ocorreu às 11:00h com 4 mm/h e no dia 04/06/2009 às 13:00 h com 1,8mm/h. O TDH no dia 03/06/2009 foi de 1,2 dias e, no dia 04/06/2009 foi de 1,4 dias.

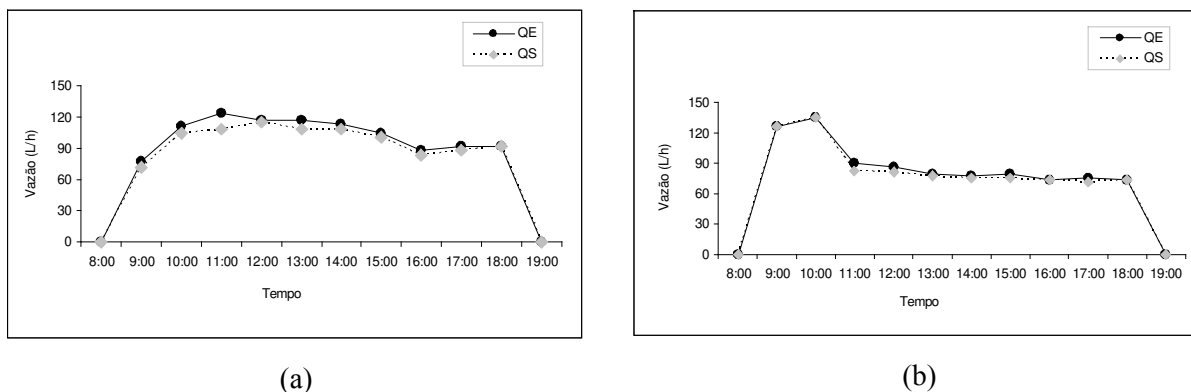


Figura 112. Vazão horária de entrada(QE) e saída (QS) no LC com *Cyperus alternifolius* para os dias 03/06/2009 (a) e 04/06/2009 (b).

4.4.3.2.2.2. Qualidade da água - Escala horária

a) Fósforo total (Pt)

O comportamento da concentração de fósforo total no LC3, nos dias 03 e 04/06/2009, pode ser observado na Figura 113. No primeiro dia (Figura 121a), ocorreu acréscimo de P_T no

sistema, no período das 9:00 às 13:00h, após este período o LC reteve fósforo total até o final do dia, porém não o suficiente para transformar a retenção diária em positiva, que permaneceu negativa em 25,8%. No entanto, para o dia 04/06/2009 a retenção na concentração de fósforo foi positiva em 100% do dia e obtendo eficiência de retenção de 280% (Figura 121b). Na Figura 114, podem ser observadas as retenções de fósforo total para os dias 03 e 04/06/2009.

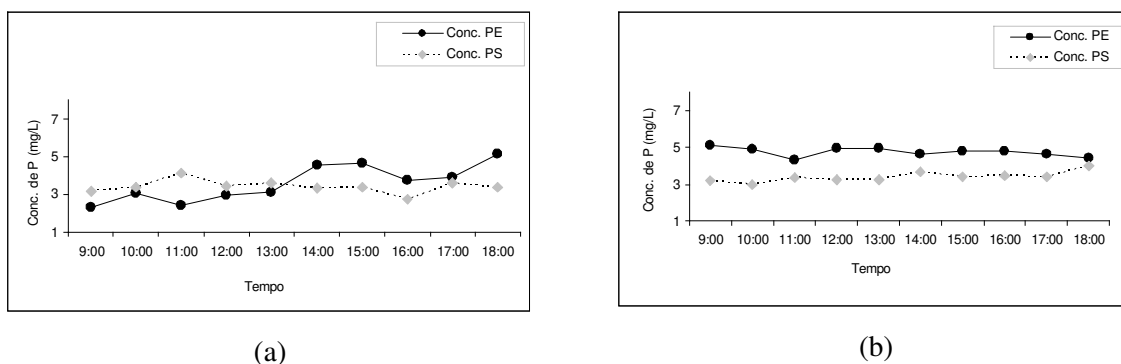


Figura 113. Concentração horária de entrada (Conc. PE) e saída (Conc. PS) de fósforo total no LC com *Cyperus alternifolius* para os dias 03/06/2009 (a) e 04/06/2009 (b).

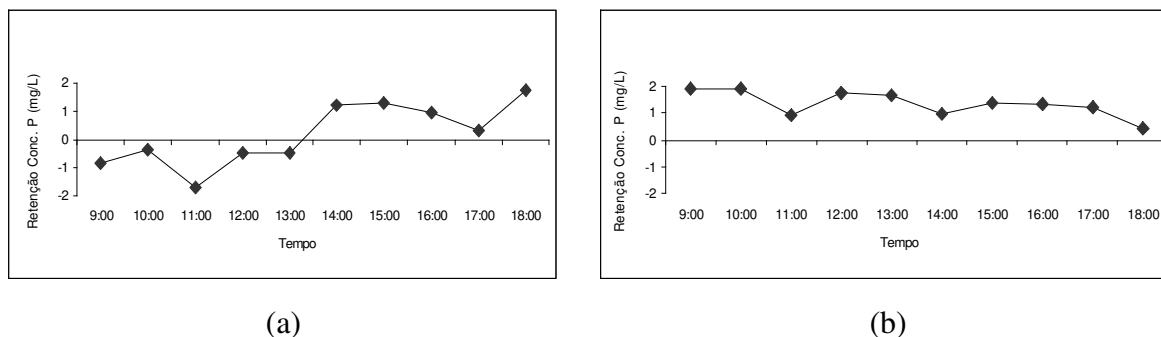


Figura 114. Retenção da concentração de fósforo total no LC com *Cyperus alternifolius* para os dias 03/06/2009 (a) e 04/06/2009 (b).

O balanço de massa para as cargas horárias de fósforo total afluentes e efluentes, no dia 03/06/2009 e no dia 04/06/2009, podem ser observadas na Figura 115. No dia 03/06/2009 a carga de fósforo total manteve-se negativa em 50% do dia, porém as retenções positivas ocorridas no período seguinte superaram os acréscimos e, o balanço no final do dia foi positivo com eficiência de 37,7% e carga de fósforo total retida de 324 mg/dia. No dia 04/06/2009, a carga retida foi de 1.351,8 mg/dia com eficiência de retenção de 300,1%. As retenções efetivas nos dias 03 e 04/06/2009 podem ser observadas na Figura 116.

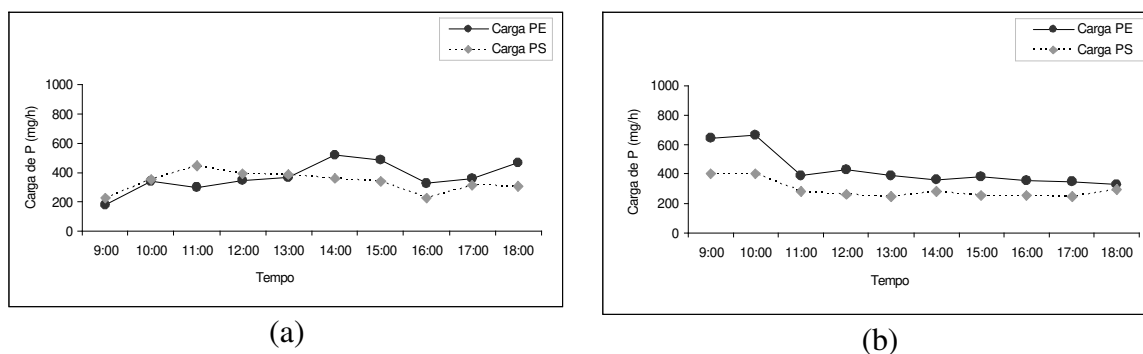


Figura 115. Carga horária de entrada (Carga PE) e saída (Carga PS) de fósforo total no LC com *Cyperus alternifolius* para os dias 03/06/2009 (a) e 04/06/2009 (b).

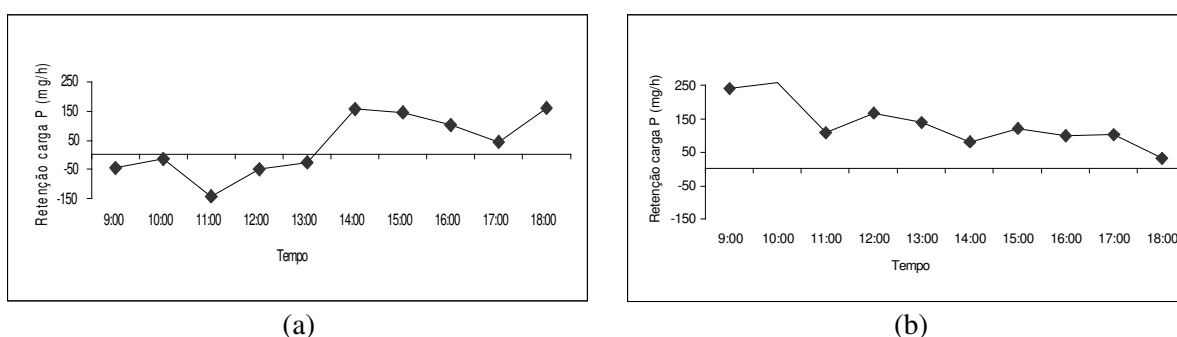


Figura 116. Retenção da carga de fósforo total no LC com *Cyperus alternifolius* para os dias 03/06/2009 (a) e 04/06/2009 (b).

b) Oxigênio dissolvido (OD)

A concentração de OD para os dias 03 e 04/06/2009 pode ser observada na Figura 117. No dia 03/06/2009 o aumento máximo de OD ocorreu às 15:00 h com valores de 0,08mg/L (entrada) para 2,62 mg/L (saída). No dia 04/06/2009 o aumento máximo de OD ocorreu às 17:00 h com valores de 0,11 mg/L (entrada) para 2,96 mg/L (saída). O acréscimo na concentração de OD no dia 03/06/2009 ocorreu em 50% no dia, enquanto no dia 04/06/2009 essa eficiência ocorreu em 100% no dia.

Nesses dois dias analisados ocorria um evento na FEAGRI, no qual o número de pessoas aumentou, em relação aos dias normais, com aumentou a vazão, provavelmente acima da capacidade da ETE, promovendo forte odor nos LC. A concentração de OD afluente estava normal no início do dia 03/06/2009, no entanto após as 13:00 h e durante todo o dia

subseqüente a concentração de OD afluyente estava praticamente zero. Na Figura 118 podem ser observadas as diferenças horárias da concentração de OD no LC3.

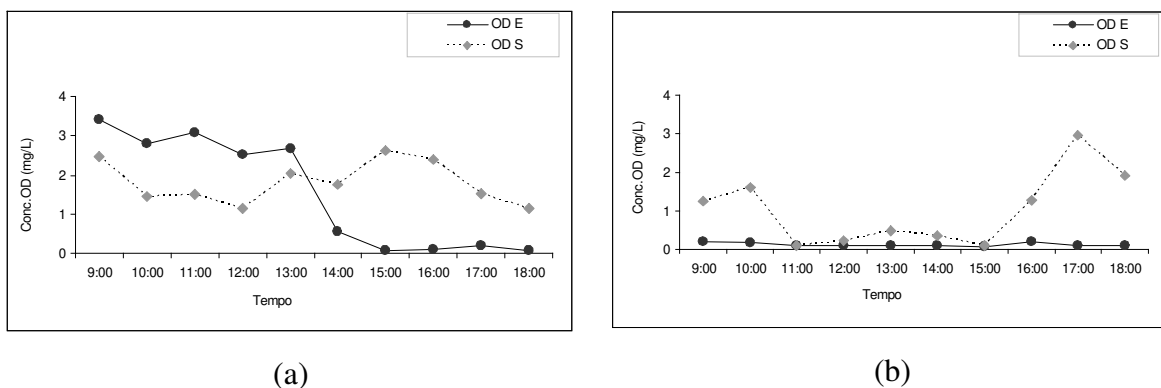


Figura 117. Concentração de OD horária de entrada (OD E) e saída (OD S) no LC com *Cyperus alternifolius* para os dias 03/06/2009 (a) e 04/06/2009 (b).

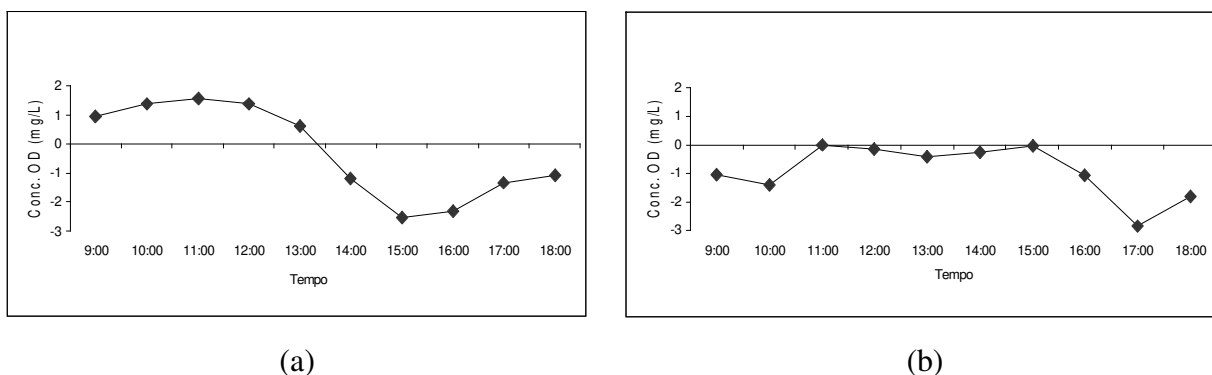
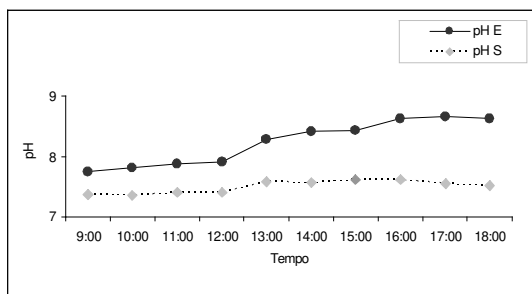


Figura 118. Diferença horária da concentração de OD de entrada e saída no LC com *Cyperus alternifolius* para os dias 03/06/2009 (a) e 04/06/2009 (b).*

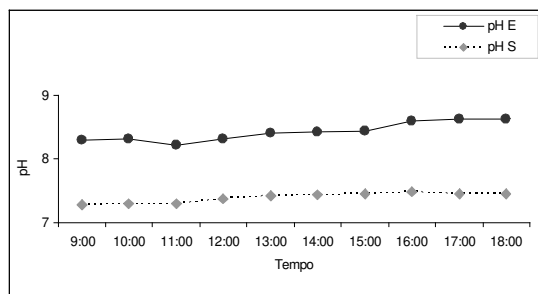
c) Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH horário de entrada e saída no LC3 para os dias 03 e 04/06/2009, pode ser observado na Figura 119. O pH foi reduzido em 100% das horas analisadas para ambos os dias e as maiores diminuições ocorreram às 18:00 h para o primeiro dia com uma diferença de 1,11 e valores de 8,63 (entrada) para 7,52 (saída). No segundo dia a diferença foi de 1,17 às 17:00 h com valores 8,62 (entrada) para 7,45 (saída). Na Figura 120 podem ser observadas as diferenças de entrada e saída no pH para os dias 03 e 04/06/2009.

* Valores negativos significam acréscimo de OD no LC

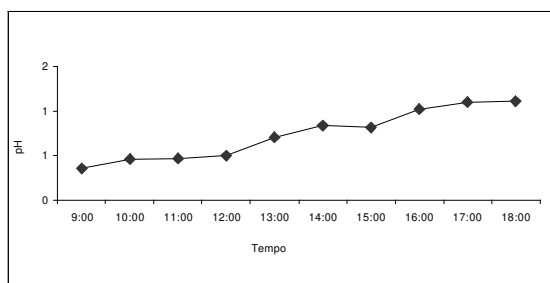


(a)

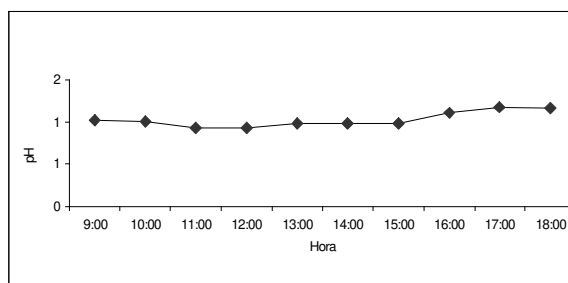


(b)

Figura 119. pH de entrada (pH E) e saída (pH S) no LC com *Cyperus alternifolius* para os dias 03/06/2009 (a) e 04/06/2009 (b).



(a)

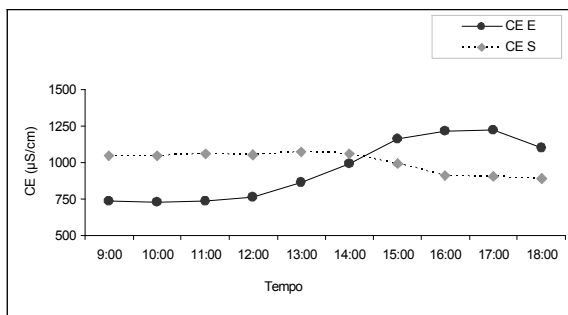


(b)

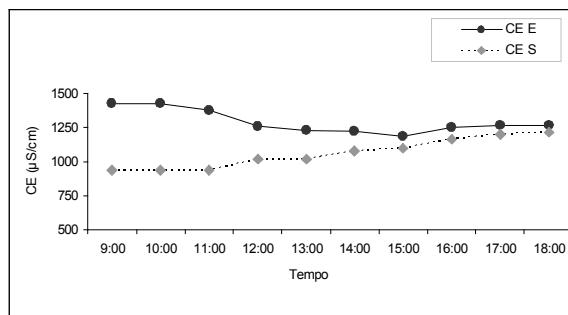
Figura 120. Diferença horária de pH de entrada e saída no LC com *Cyperus alternifolius* para os dias 03/06/2009 (a) e 04/06/2009 (b).

d) Condutividade elétrica (CE)

Na Figura 121, pode ser observada a CE para os dias 03 e 04/06/2009. No dia 03/06/2009 ocorreu aumento na CE no período das 9:00 h às 14:00 h, isto é, em 50% do dia, sendo que o maior aumento ocorreu às 11:00 h com 324 μ S/cm. No dia 04/03/2009, a CE foi reduzida durante todo o dia. As maiores reduções ocorreram nos três primeiros horários do dia chegando a 491 μ S/cm. A diferença de entrada e saída na CE para os dias 03 e 04/06/2009 podem ser observadas na Figura 122.

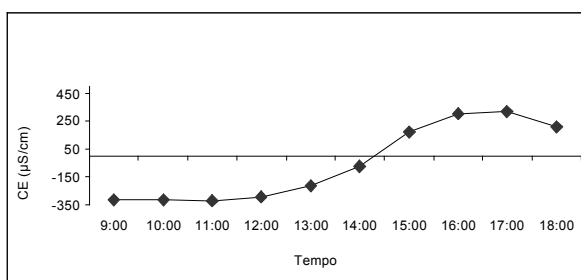


(a)

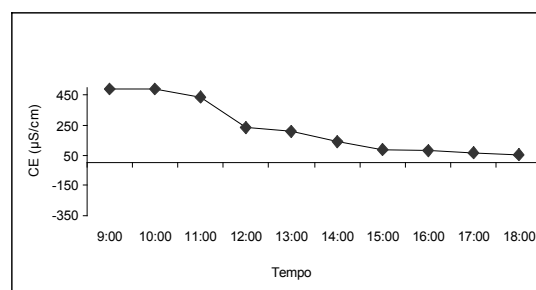


(b)

Figura 121. Condutividade elétrica de entrada (CE E) e saída (CE S) no LC com *Cyperus alternifolius* para os dias 03/06/2009 (a) e 04/06/2009 (b).



(a)

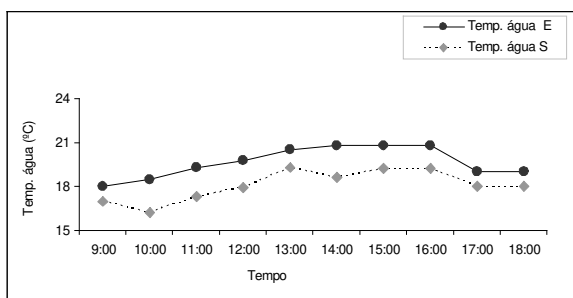


(b)

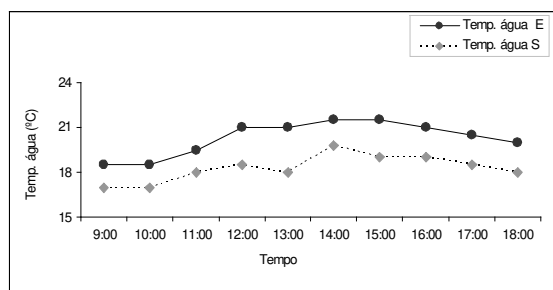
Figura 122. Diferença horária da CE de entrada e saída no LC com *Cyperus alternifolius* para os dias 03/06/2009 (a) e 04/06/2009 (b).

e) Temperatura da água (Temp)

A variação na temperatura da água afluente e efluente nos dias 03 e 04/06/2009 pode ser visualizadas na Figura 123. No dia 03/06/2009 as variações na temperatura da água chegaram a 2,3°C às 10:00 h com valores de 18,5°C para entrada e 16,2°C para a saída. No dia 04/06/2009 as variações na temperatura da água chegaram a 3,0°C às 13:00 h com valores de 21,0°C (entrada) e 18,0°C (saída). As diferenças na temperatura da água do LC3 para os dias 03 e 04/06/2009, podem ser observadas na Figura 124.

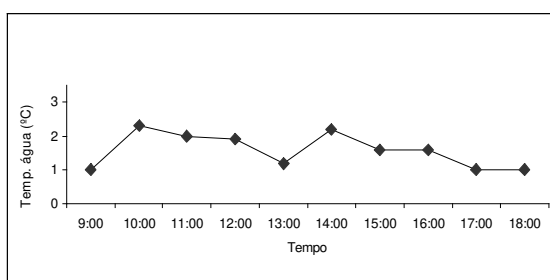


(a)

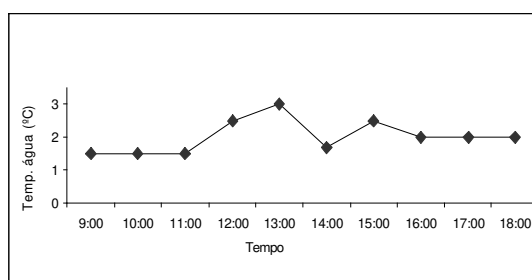


(b)

Figura 123. Temperatura da água de entrada (Temp. água E) e saída (Temp. água S) no LC com *Cyperus alternifolius* para os dias 03/06/2009 (a) e 04/06/2009 (b).



(a)



(b)

Figura 124. Diferença na temperatura da água de entrada e saída do LC3 (a) dia 03/06/2009; (b) dia 04/06/2009

4.4.3.2.2.3. Quantidade da água - Escala diária

a) Vazão (Q)

As vazões afluentes e efluentes no LC3, para os dias monitorados em 2009 estão apresentados na Figura 125. Assim como nos LC anteriores as vazões desse LC também oscilaram durante todo o período monitorado. A partir da diferença entre as vazões de entrada e saída obtiveram-se as taxas de evapotranspiração e a altura da lâmina d'água evaporada (Tabela 34).

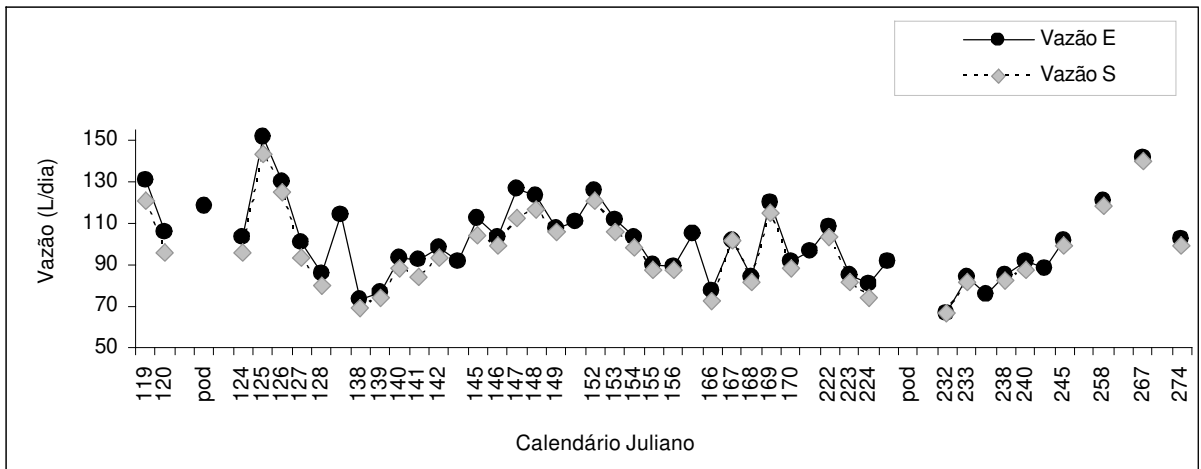


Figura 125. Vazão - médias diárias de entrada e saída no LC com *Cyperus alternifolius* nos dias monitorados em 2009.

Tabela 34. Taxa de evapotranspiração, altura da lâmina d'água evaporada e TDH no LC3

Data	Dia Juliano (DJ)	Taxa evapotranspiração (L/dia)	Altura lâmina d'água evaporada (mm/dia)	TDH (dias)
29/4	119	95,4	23,3	1,0
30/4	120	97,2	23,7	1,2
		Poda		
4/5	124	70,2	17,1	1,2
5/5	125	82,8	20,2	0,8
6/5	126	54,0	13,2	1,0
7/5	127	81,0	19,8	1,2
8/5	128	54,0	13,2	1,5
18/5	138	46,8	11,4	1,7
19/5	139	30,6	7,5	1,6
20/5	140	45,0	11,0	1,3
21/5	141	79,2	19,3	1,4
22/5	142	50,4	12,3	1,3
25/5	145	79,2	19,3	1,1
26/5	146	39,6	9,7	1,2
27/5	147	142,2	34,7	1,0
28/5	148	70,2	17,1	1,0
29/5	149	14,4	3,5	1,2
1/6	152	50,4	12,3	1,0
2/6	153	57,6	14,0	1,1
3/6	154	57,6	14,0	1,2
4/6	155	23,4	5,7	1,4
5/6	156	18,0	4,4	1,4
15/6	166	43,2	10,5	1,6
16/6	167	3,6	0,9	1,2
17/6	168	18,0	4,4	1,5
18/6	169	46,8	11,4	1,0
19/6	170	32,4	7,9	1,4
11/8	222	45,0	11,0	1,2
12/8	223	36,0	8,8	1,5
13/8	224	64,8	15,8	1,5
		Poda		
20/8	232	3,6	0,9	1,9
21/8	233	23,4	5,7	1,5
26/8	238	27,0	6,6	1,5
28/8	240	39,6	9,7	1,4
2/9	245	23,4	5,7	1,2
15/9	258	28,8	7,0	1,0
24/9	267	21,6	5,3	0,9
1/10	274	32,4	7,9	1,3

Na Figura 126 verifica-se que a maior perda de água por evapotranspiração ocorreu no dia 27/05/2009 (DJ 147) com 142,2ml/dia e 34,7mm/dia de altura da lâmina d'água evaporada; seguido pelo dia 30/04/2009 (DJ 120) com 97,2ml/dia de evapotranspiração e 23,7mm/dia de altura da lâmina d'água.

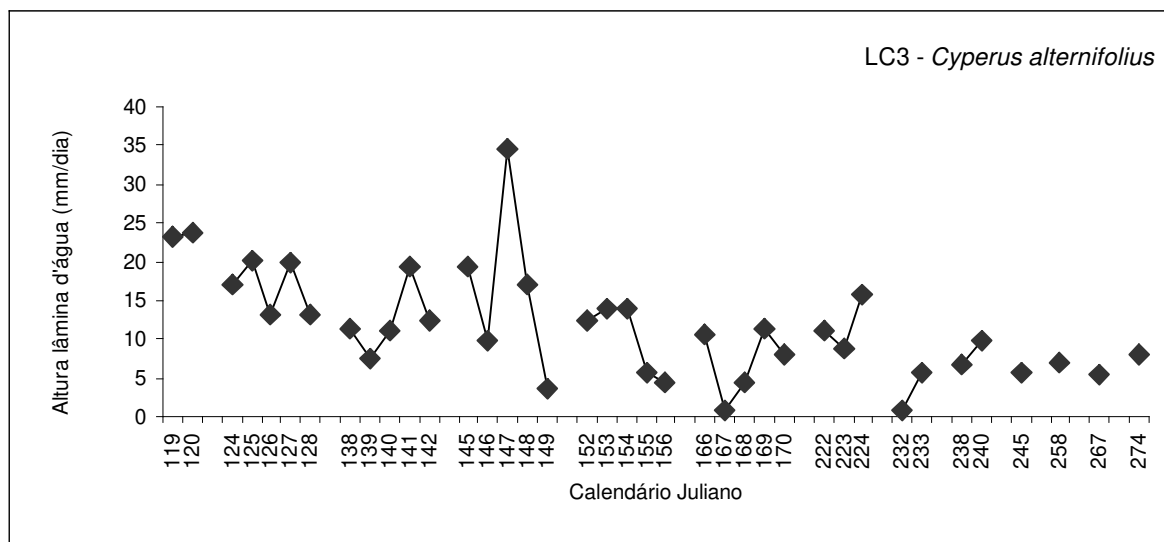


Figura 126. Altura diária total da lâmina d'água evaporada no LC com *Cyperus alternifolius* nos dias monitorados em 2009.

Na Figura 127 estão apresentados os TDH diários do LC3, onde se observa que o menor TDH foi de 0,8 dias e ocorreu no dia 05/05/2009 (DJ 125). O maior TDH foi de 1,9 dias, no dia 20/08/2009 (DJ 232). O TDH entre 1,0 e 1,2 dias ocorreu em 47,4% dos dias analisados. Comparando com o LC1 (54,1%) e com o LC2 (61,1%), o LC3 apresentou a menor quantidade de dias com TDH entre 1 e 1,2 dias.

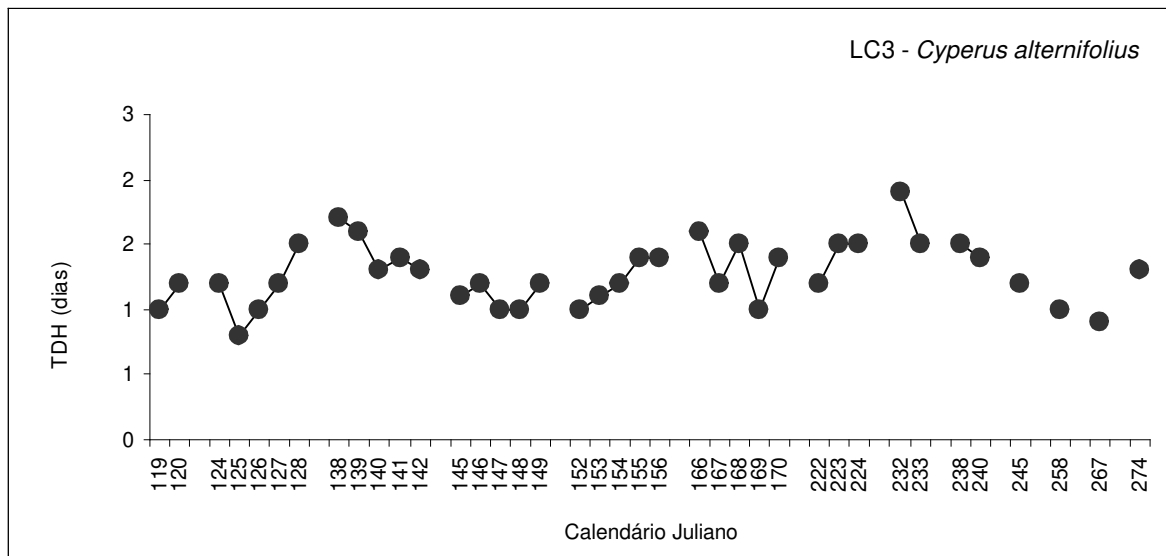


Figura 127. Tempo de detenção hidráulica (TDH) no LC com *Cyperus alternifolius* nos dias monitorados em 2009.

4.4.3.2.2.4. Qualidade da água - Escala diária

a) Fósforo total (P_T)

Na Figura 128 observa-se a concentração de entrada e saída de fósforo total no LC3 nos dias monitorados em 2009. A retenção da concentração de fósforo foi positiva em 44,1% dos dias totais analisados, sendo que antes da 2ª poda 42,3% dos dias obtiveram retenção positiva e após a 2ª poda apenas 12,5%. No dia 20/05/2009 (DJ 140) ocorreu à maior retenção positiva com 35,1% de eficiência e valores de 2,2 mg/L (entrada) e 1,4 mg/L (saída).

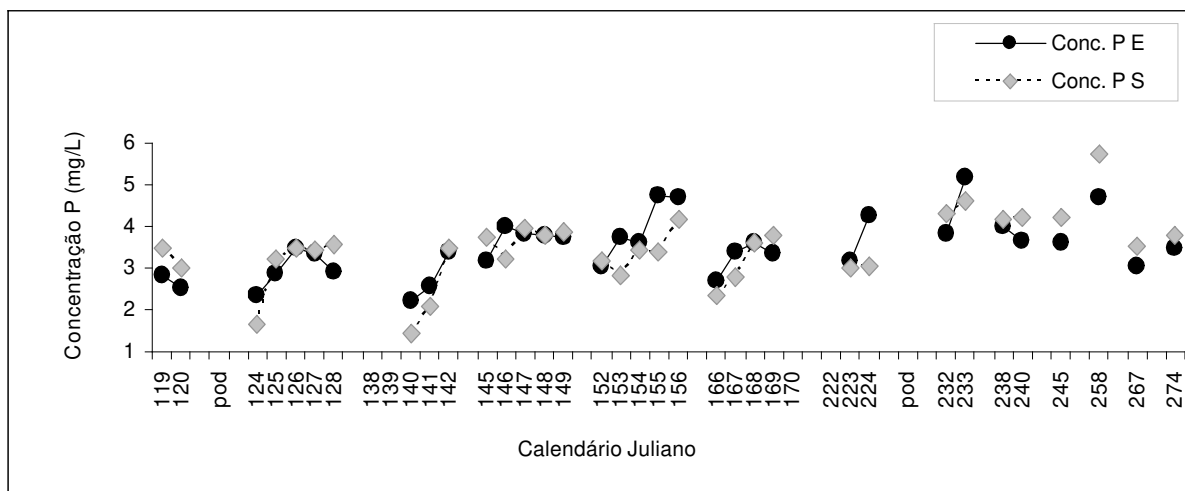


Figura 128. Concentração de fósforo total – médias diárias de entrada e saída no LC com *Cyperus alternifolius* nos dias monitorados em 2009.

Na Figura 129 podem-se observar as cargas afluentes e efluentes de fósforo total para os dias monitorados em 2009. Onde a retenção positiva ocorreu em 69,2% após a 1ª poda e em 25% dos dias monitorados após a 2ª poda. A eficiência máxima de retenção positiva para a carga de fósforo total foi de 37,7%, no dia 20/05/2009 (DJ 140), quantificada em 772,0 mg/dia de fósforo total retido; seguido pelo dia 04/05/2009 (DJ 124), com 36,6% de eficiência de retenção e 914,4 mg/dia de fósforo total retido. Após a 2ª poda foram registrados acréscimos em praticamente todos os dias. Com exceção dos dias 21/08/2009 (DJ 233) com eficiência de 15,3% e 26/08/2009 (DJ 238) com 0,2%, retenção. As retenções das cargas fósforo total podem ser visualizadas na Figura 130.

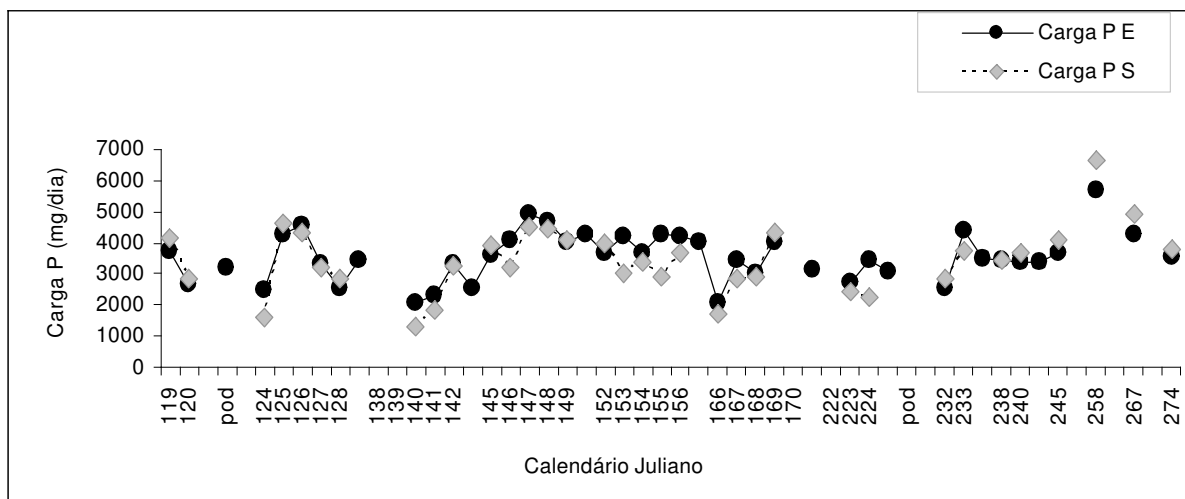


Figura 129. Carga de fósforo total – médias diárias de entrada e saída no LC com *Cyperus alternifolius* nos dias monitorados em 2009.

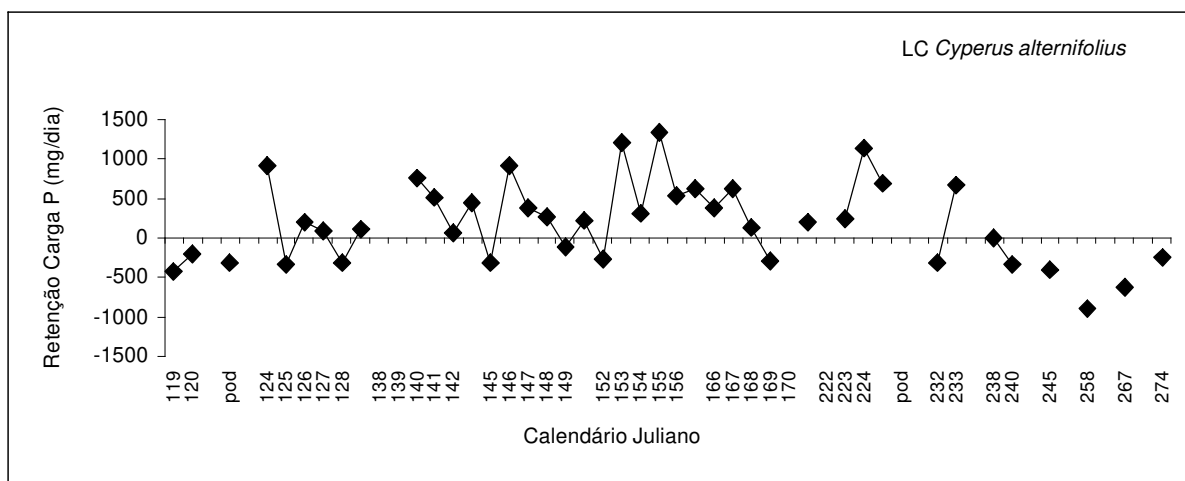


Figura 130. Retenção da carga de fósforo total ocorrida no LC com *Cyperus alternifolius* nos dias monitorados em 2009.

b) Nitrato (NO_3^-)

A Figura 131 apresenta as concentrações afluentes e efluentes de nitrato nos dias monitorados em 2009. Nesse LC a retenção de nitrato foi avaliada em um total de 22 dias. Sendo, 5 dias seguidos, do dia 04/05/2009 (DJ 124) ao dia 08/05/2009 (DJ 128) na semana da primeira poda. Outros 5 dias seguidos do dia 18/05/2009 (DJ 138) ao dia 22/05/2009 (DJ 142)

e mais 5 dias seguidos do dia 01/06/2009 (DJ 152) ao dia 05/06/2009 (DJ 156). Posteriormente, foi um dia antes da 2ª poda e mais 6 dias intercalados após a 2ª poda.

A eficiência máxima para a concentração de nitrato ocorreu no dia 21/05/2009 (DJ 141) com entrada de 1,6 mg/L, saída de 0,7 mg/L e 56,3% de eficiência, seguida pelo dia 04/06/2009 (DJ 155) com entrada 3,5 mg/L, saída de 1,6 mg/L e eficiência de 54,3%. O maior acréscimo ocorreu no dia 22/05/2009 (DJ 142) com 57,1%, no entanto, nos oito dias anteriores a eficiência foi positiva. A retenção da concentração de nitrato foi positiva em 63,6% dos dias totais analisados.

Considerando apenas os dias comuns, a partir do dia juliano 223, entre o LC3, LC1 e LC2, foram comparados as eficiências de retenção entre os mesmos. Sendo assim, o LC2 foi o mais eficiente dentre os três com retenção de 0,57 mg/L, seguido pelo LC1 com 0,47 mg/L. O LC3 promoveu acréscimo na concentração de nitrato com 0,03 mg/L.

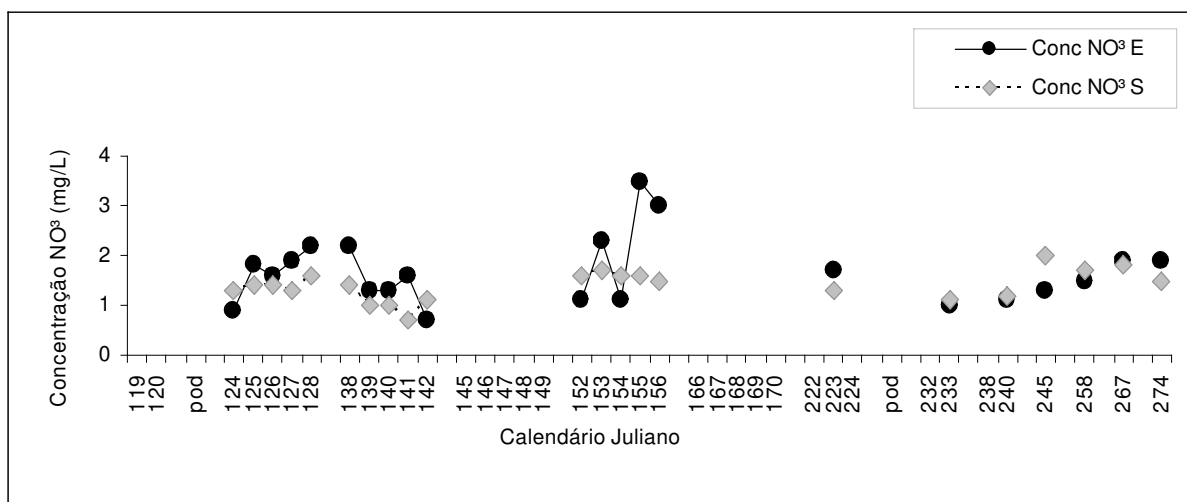


Figura 131. Concentração de nitrato - médias diárias de entrada e saída no LC com *Cyperus alternifolius* nos dias monitorados em 2009.

As cargas de nitrato afluentes e efluentes do LC3 estão apresentadas na Figura 132. Na qual se observa que a maior retenção positiva para a carga de nitrato permaneceu no 21/05/2009 (DJ 141), como na concentração, com entrada de 1.477,0 mg/dia e saída de 590,9 mg/dia e 60,0% de eficiência, seguida pelo dia 04/06/2009 (DJ 155), com 3.137,4 mg/dia (entrada) e 1.396,8 mg/dia (saída), retenção de 1.740,6 mg/dia e 55,5% de eficiência, ambos os dias após a 1ª poda. O maior Acréscimo ocorreu no dia 02/09/2009 (DJ 245), depois da 2ª

poda, com 1.317,4 mg/dia de entrada e 1.980,0 mg/dia de saída e 50,3%. Na Figura 133 podem-se observar as retenções médias diárias para as cargas de nitrato no LC3.

Considerando somente os dias comuns monitorados no LC1, LC2 e LC3, obteve-se a retenção para cada LC antes (AP) e depois da poda (DP), onde: LC1, AP 698,6 mg/dia e DP 531,7 mg/dia; LC2, AP 576,0 mg/dia e DP 640,0 mg/dia; LC3, AP 387,4 mg/dia e DP -52,9 mg/dia. Antes da poda o LC1 foi mais eficiente na carga retida de nitrato dentre os três LC e após a poda o LC2 foi mais eficiente na retenção da carga de nitrato.

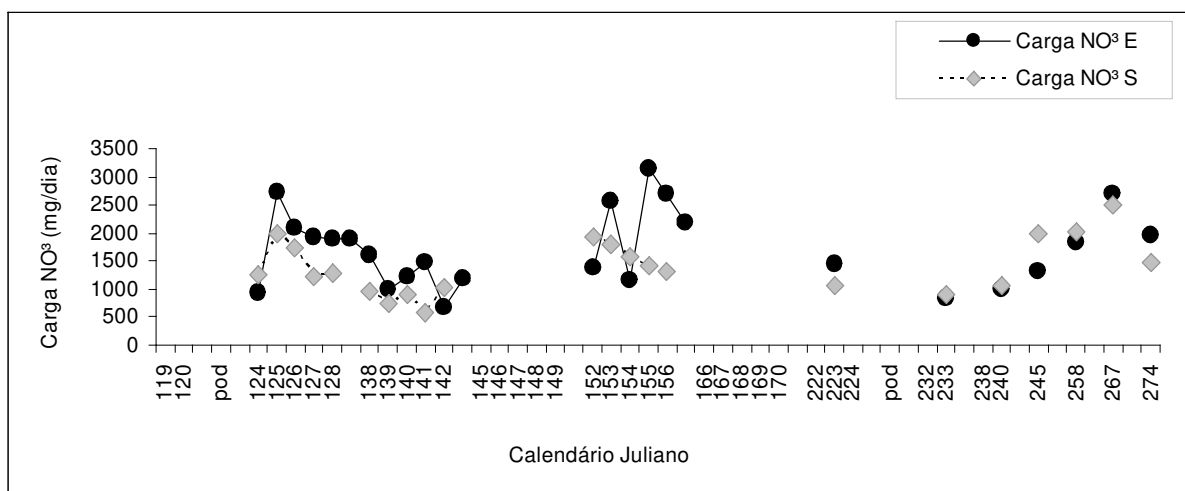


Figura 132. Carga de nitrato - médias diárias de entrada e saída no LC com *Cyperus alternifolius* nos dias monitorados em 2009.

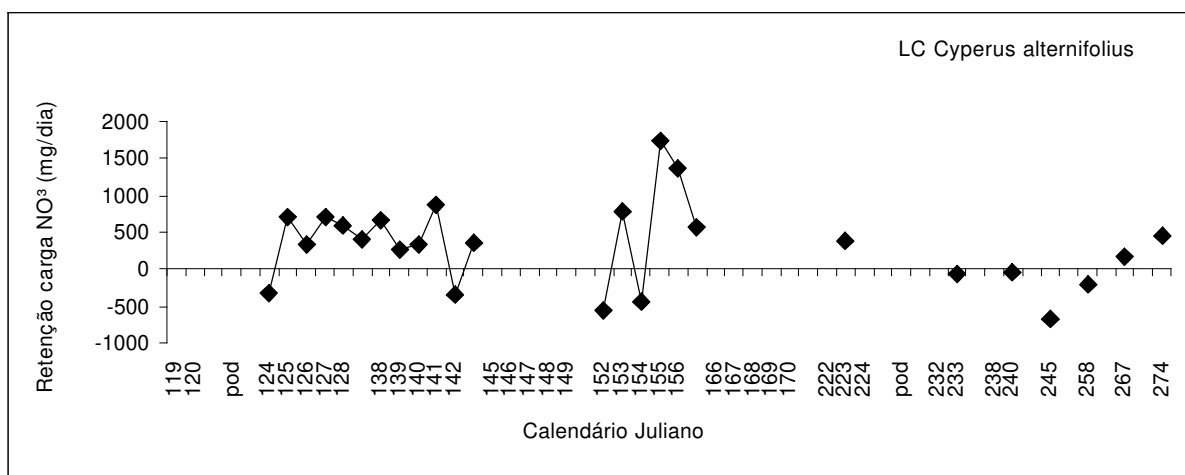


Figura 133. Retenção da carga de nitrato ocorrida no LC com *Cyperus alternifolius* nos dias monitorados em 2009

c) Nitrogênio amoniacal (NH³)

A Figura 134 apresenta a concentração afluenta e efluente de NH³ no LC3. Essa variável foi analisada por 13 dias no período anterior à poda e, 8 dias no período posterior à mesma. Nesse LC a eficiência média diária de retenção foi de 2,6 mg/L. Com eficiência máxima de retenção positiva, 30,5% no dia 19/05/2009 (DJ 139), seguido pelo dia 04/06/2009 (DJ 155) com 29,5% de eficiência, após a 1ª poda. Após a 2ª poda, a máxima eficiência de retenção ocorreu no dia 26/08/2009 (DJ 238) com eficiência de 11,7%, seguido pelo dia 28/08/2009 (DJ 240) com 10,1% de eficiência de retenção. A concentração de NH³ após a 1ª poda foi retida positivamente em 69,2% dos dias monitorados. Após a 2ª poda a retenção positiva diminuiu para 50% dos dias analisados.

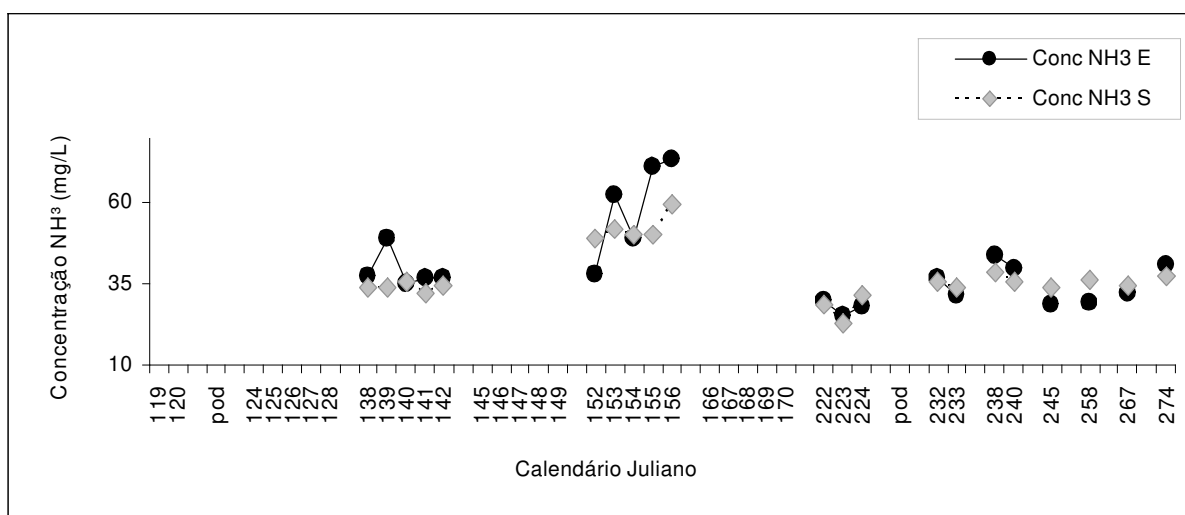


Figura 134. Concentração de nitrogênio amoniacal - médias diárias de entrada e saída no LC com *Cyperus alternifolius* nos dias monitorados em 2009.

As cargas de NH³ afluentes e efluentes do LC3 estão apresentadas na Figura 135. Onde se verifica que no período posterior à 1ª poda, a maior eficiência de retenção ocorreu no dia 19/05/2009 (DJ 139) com 12.572,5 mg/dia e 33,3% de eficiência, seguido pelo dia 04/06/2009 (DJ 155) com 20.003,8 mg/dia e 31,3% de eficiência. Nesse período ocorreu retenção positiva em 84,6% dos dias monitorados. No período posterior à 2ª poda, as retenções positivas ocorreram em 50% dos dias analisados e as maiores retenções e eficiências ocorreram nos dias 26/08/2009 e 28/08/2009 com 5.372,5 mg/dia e 14,5% de eficiência para o

primeiro e 5.060,2 mg/dia e 14,0% de eficiência para o segundo. Na Figura 136, podem ser observadas as retenções diárias para as cargas de nitrogênio amoniacal nos dias analisados em 2009.

Comparando-se as retenções das cargas do NH_3 a partir do dia Juliano 223, com os LC anteriores têm-se que o LC3 foi o menos eficiente, com retenção média diária de 444,5 mg/dia, seguido pelo LC2 com 814,0 mg/dia e pelo LC1 que foi o mais eficiente dentre os três LC com média de retenção diária de 2.297,2 mg/dia.

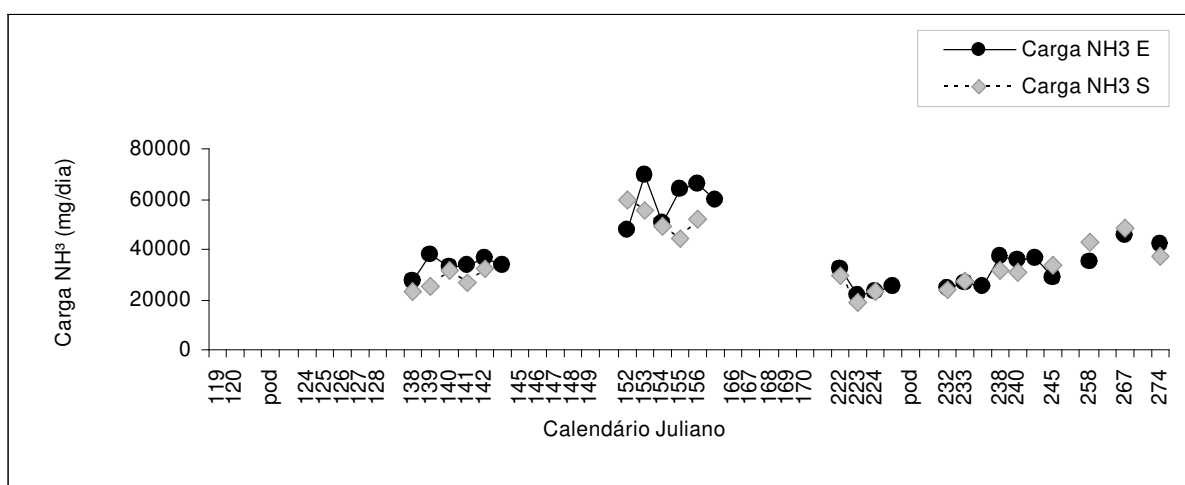


Figura 135. Carga de nitrogênio amoniacal - médias diárias de entrada e saída no LC com *Cyperus alternifolius* nos dias monitorados em 2009.

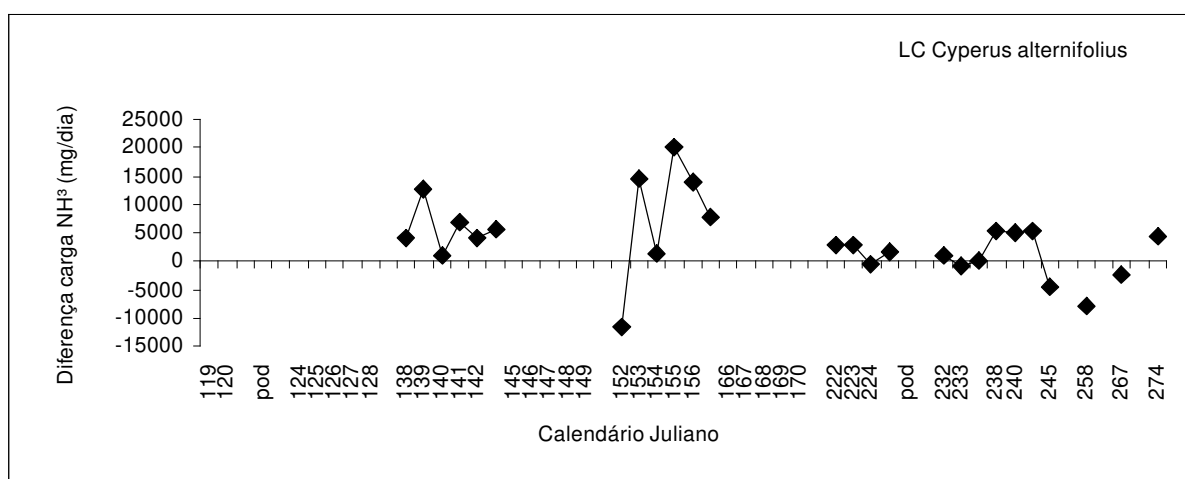


Figura 136. Retenção da carga de nitrogênio amoniacal ocorrida no LC *Cyperus alternifolius* nos dias monitorados em 2009.

d) Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A concentração de entrada e saída de DQO no LC3 pode ser observada na Figura 137. A DQO foi analisada em 18 dias no período após a 1ª poda e 8 dias após a 2ª poda. Sendo que, após a 1ª poda, 44,4% dos dias monitorados obtiveram eficiência de retenção superior a 40%, chegando à eficiência de retenção de 67,0 %, no dia 19/05/2009 (DJ 139). Nesse período, após a 1ª poda, ocorreu retenção positiva em 16,6% dos dias monitorados e, após a 2ª poda a retenção positiva ocorreu em 100% dos dias monitorados. A maior eficiência de retenção, após a 2ª poda, ocorreu no dia 24/09/2009 (DJ 267) com 59,7%. As eficiências de retenção acima de 40% ocorreram em 37,5% dos dias monitorados após a 2ª poda.

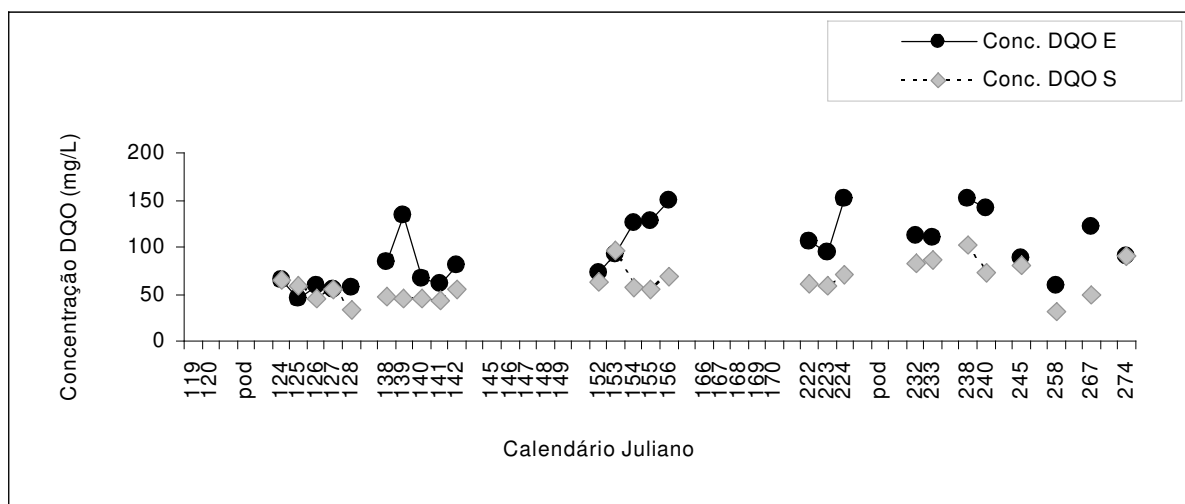


Figura 137. Concentração de DQO - médias diárias de entrada e saída no LC com *Cyperus alternifolius* nos dias monitorados em 2009

A carga de entrada e saída de DQO pode ser observada na Figura 138. Na qual a eficiência máxima de retenção positiva permaneceu no mesmo dia da concentração 19/05/2009 (DJ 139) com 68,3% e 70.320,4 mg/dia de carga retida. As eficiências de retenção superiores a 40% ocorreram em 50% dos dias analisados e os acréscimos diminuíram em relação à concentração de DQO, ficando em 5,5% dos dias analisados, consequentemente a retenção positiva ocorreu em 94,4% dos dias monitorados, após a 1ª poda. Após a 2ª poda a máxima retenção positiva ocorreu no dia 24/09/2009 com 103.804,7 mg/dia de carga retida e 60,4% de eficiência de retenção. No período após a 2ª poda a eficiência de retenção da carga

de DQO superior a 40% ocorreram também em 37,5% dos dias monitorados, assim como, na concentração de DQO. As retenções diárias podem ser vistas na Figura 139.

Considerando a retenção da carga de DQO do LC3 a partir do dia 222 e, comparando com o LC1 e com o LC2 obteve-se que, no LC3 a carga média diária retida antes da 2ª poda foi de 51.582,0 mg/dia e após a 2ª poda a carga retida foi de 37.867,1 mg/dia. Enquanto para o LC1 a carga retida antes da 1ª poda foi de 19.088,3 mg/dia e para o LC2 foi de 11.175,6 mg/dia e após a poda a carga de DQO retida foi de 40.484,9 e de 40.548,5 mg/dia, respectivamente. O LC3 foi mais eficiente que os LC anteriores no período anterior à 2ª poda, após a mesma tanto o LC1 quanto o LC2 foram mais eficientes que o LC3.

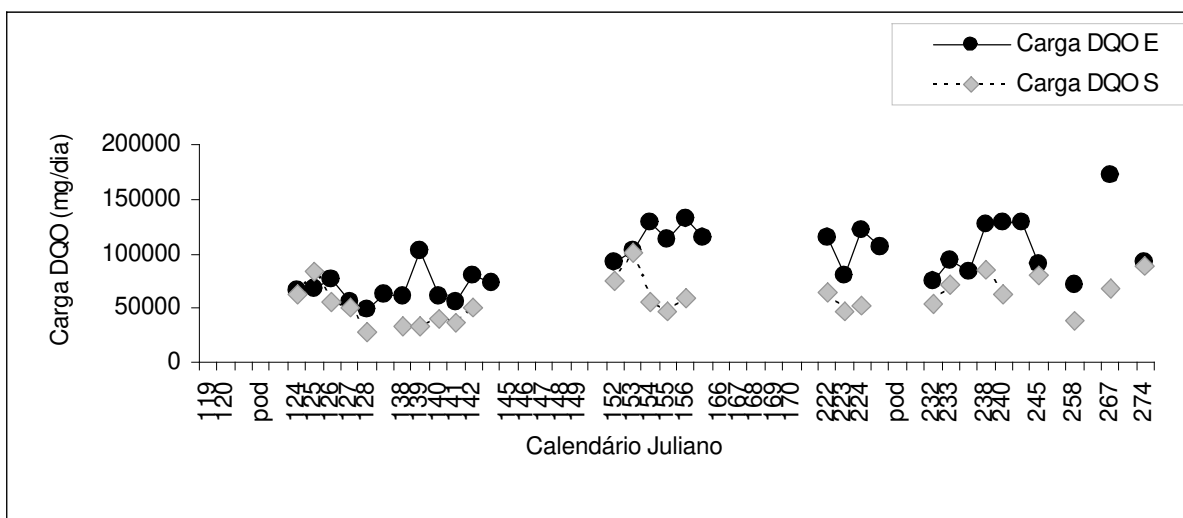


Figura 138. Carga de DQO - médias diárias de entrada e saída no LC com *Cyperus alternifolius* nos dias monitorados em 2009

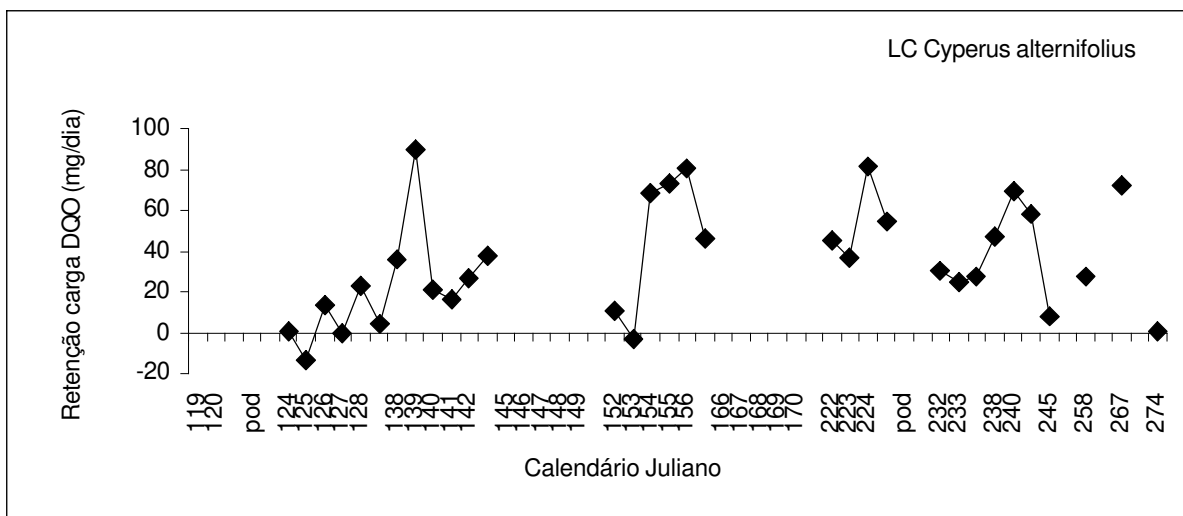


Figura 139. Retenção da carga de DQO ocorrida no LC com *Cyperus alternifolius* nos dias monitorados em 2009

e) Oxigênio dissolvido (OD)

A concentração de OD foi monitorada durante 21 dias no LC3. Apresentando acréscimo em 47,6% dos dias monitorados (Figura 140). Do dia 03 ao dia 05/06/09 (DJ 154 ao DJ 156) ocorreu um evento intitulado de “IV Jornada de Estudos em Assentamentos Rurais” na FEAGRI/ UNICAMP. Evento esse, responsável por aproximadamente 320 pessoas a mais que o habitual, promovendo um aumento considerável da quantidade de esgoto diário, e conseqüente redução no TDH dos reatores anaeróbios compartimentados (RAC). O LC3 mostrou-se altamente eficaz na manutenção e no aumento da concentração de OD nesses dias do evento. O maior acréscimo na concentração de OD ocorreu no dia 04/06/09 (DJ 155) com eficiência de 726,6% e valores de entrada 0,12mg/L e de saída de 1,03mg/L. As diferenças entre a concentração de OD de entrada e de saída do LC3 podem ser observadas na Figura 141.

Comparando-se o LC3 com os LC anteriores, LC1 e LC2, a partir do dia DJ 222 até o dia DJ 274, obteve-se que o LC3 foi mais eficiente, aumentando a concentração de OD em 54,5% dos dias monitorados enquanto o LC1 em apenas 9,1% e o LC2 em 18,2% dos dias monitorados.

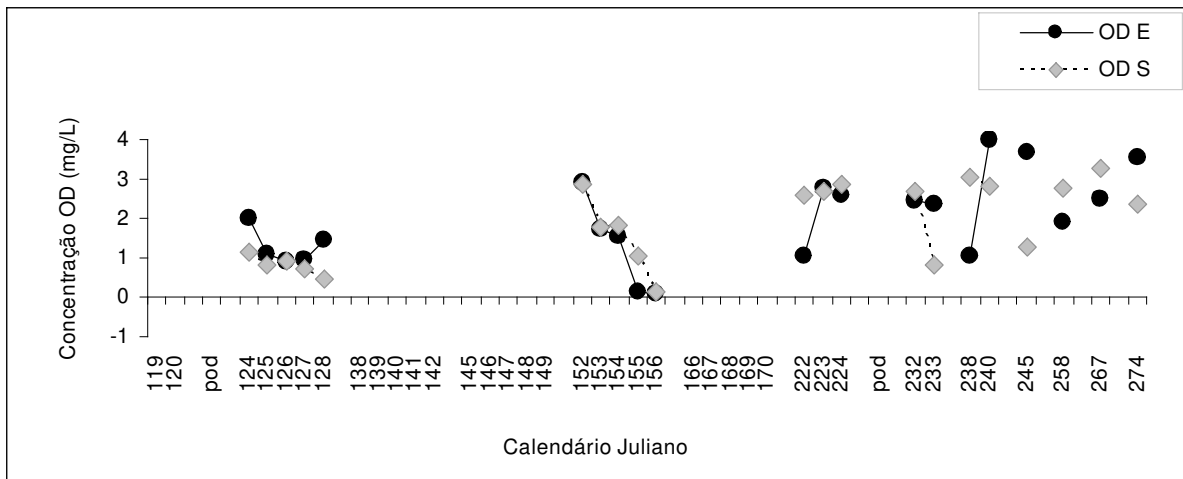


Figura 140. Concentração de OD - médias diárias de entrada e saída no LC com *Cyperus alternifolius* nos dias monitorados em 2009

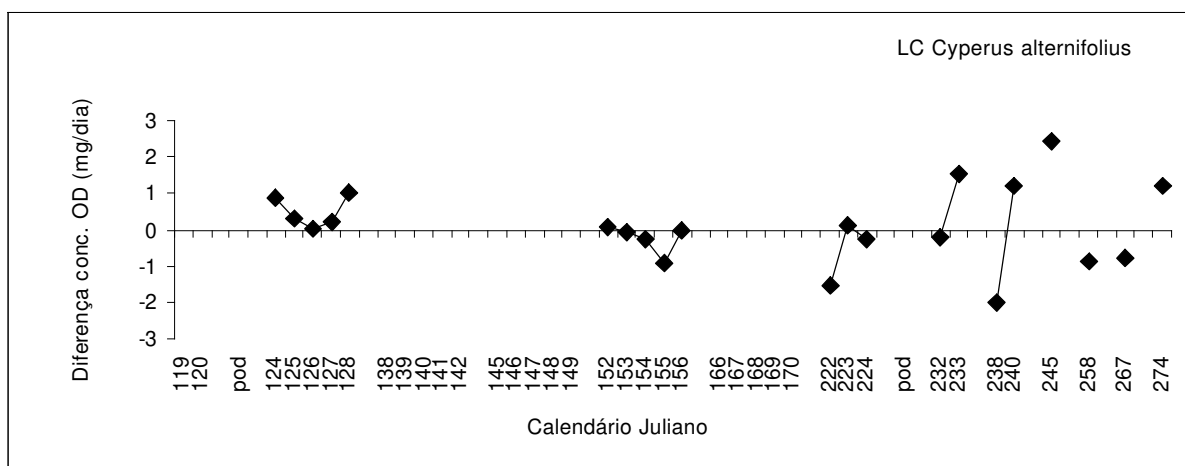


Figura 141. Diferença da OD de entrada e saída no LC com *Cyperus alternifolius* nos dias monitorados em 2009

f) Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH foi reduzido em 100% dos dias monitorados em 2009. Os valores do pH de entrada e de saída podem ser observados na Figura 142. A maior variação ocorreu no dia 04/06/2009 (DJ 142) com valores de 8,4 (entrada) e 7,4 (saída) e diferença de 1,0, seguido pelo dia 05/05/2009 (DJ 156) com valores de 8,4 (entrada) e 7,5 (saída) e diferença de 0,9.

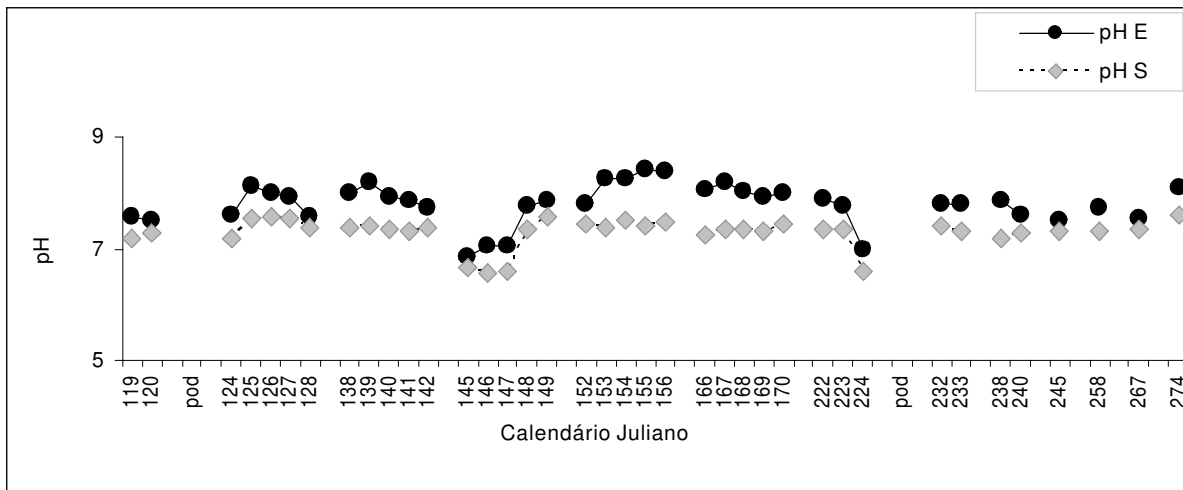


Figura 142. pH - médias diárias de entrada e saída no LC com *Cyperus alternifolius* nos dias monitorados em 2009

g) Condutividade elétrica (CE)

O comportamento da CE de entrada e saída no LC3 pode ser observado na Figura 143. Onde a CE apresentou maior redução, 293 $\mu\text{S}/\text{cm}$, no dia 15/06/2009 (DJ 166), com valores de 934 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (entrada) e 641 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (saída), a segunda maior redução ocorreu no dia 04/06/2009 (DJ 155), 231 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com valores de 1.291 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (entrada) e 1.060 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (saída). A redução da CE ocorreu em 42,1% dos dias totais monitorados. No período posterior à 1ª poda a CE foi reduzida em 43,3% e depois da 2ª poda, ocorreu em 37,5%. O comportamento da CE de entrada e saída no LC3 pode ser observado na Figura 144.

Considerando apenas os dias monitorados para os LC anteriores, observou-se que no LC3 ocorreu redução da CE em 33,3% dos dias após a 1ª poda e 25,0% dos dias após a 2ª poda. O LC2 obteve redução em 61,1% antes poda e 50,0% depois da poda, enquanto o LC1 reduziu a CE em 55,5% dos dias antes da poda e 62,5% dos dias depois da poda.

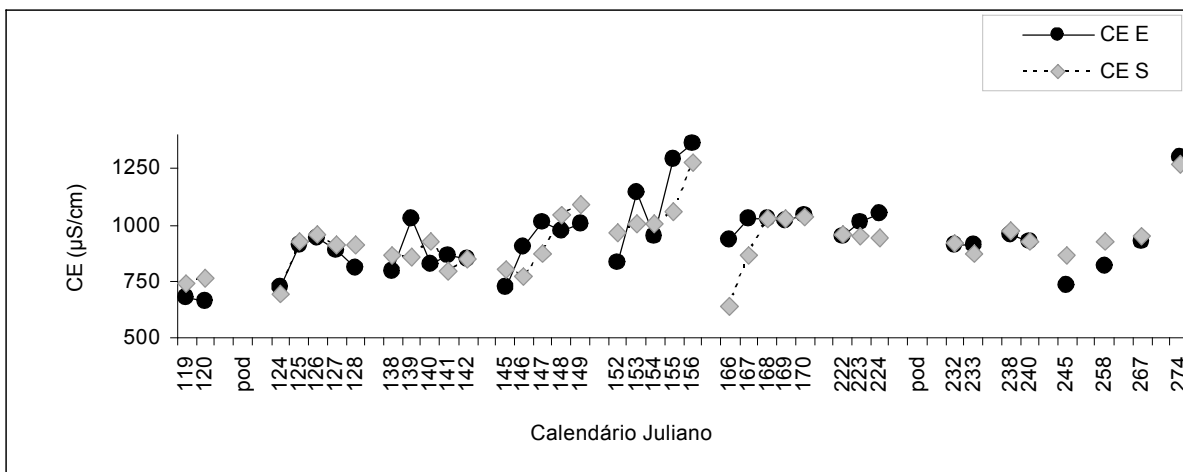


Figura 143. CE - médias diárias de entrada e saída no LC com *Cyperus alternifolius* nos dias monitorados em 2009

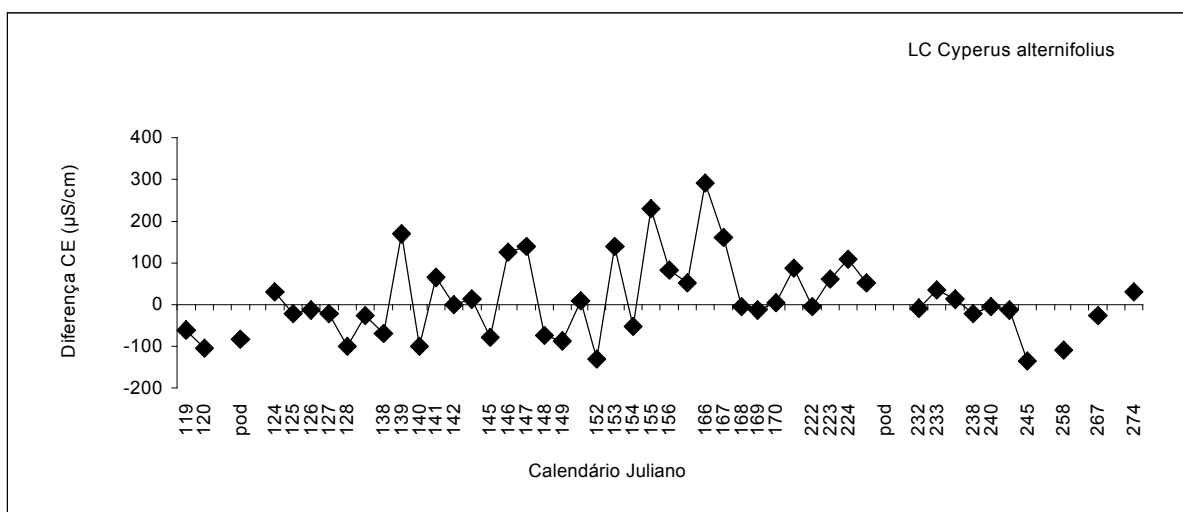


Figura 144. Diferença da CE de entrada e saída no LC com *Cyperus alternifolius* nos dias monitorados em 2009

h) Temperatura da água (Temp)

Na Figura 145 podem ser observadas as temperaturas médias diárias da água de entrada e saída no LC3. A maior variação ocorreu no dia 01/10/2009 (DJ 274) com diferença de 2,4°C, e temperatura da água de 24,3°C (entrada) e de 21,9°C (saída). Na Figura 146 observam-se as diferenças nas temperaturas diárias de entrada e saída do LC3.

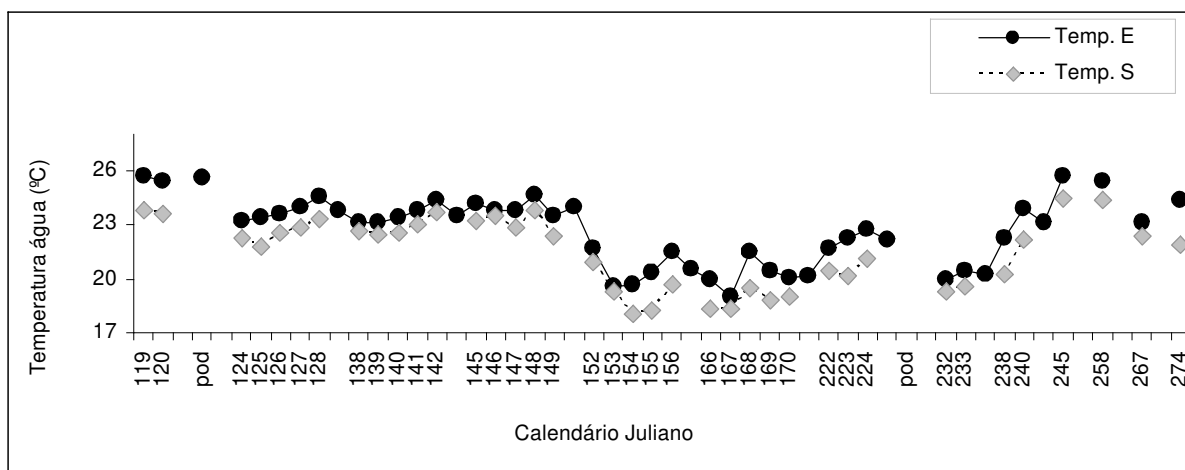


Figura 145. Temperatura da água - médias diárias de entrada e saída no LC com *Cyperus alternifolius* nos dias monitorados em 2009

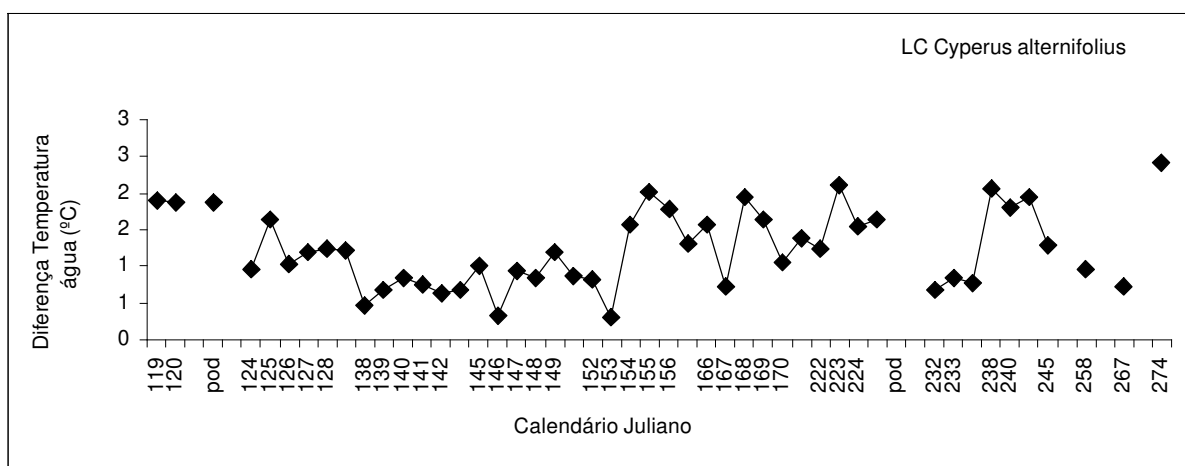


Figura 146. Diferença da temperatura da água de entrada e saída no LC com *Cyperus alternifolius* nos dias monitorados em 2009

4.4.3.2.2.4. Quantidade da água - Escala semanal, período monitorado e período estendido

a) Vazão (Q)

A Tabela 35 apresenta os valores médios de vazão (afluente e efluente), da evapotranspiração, da altura lâmina d'água evaporada e do TDH nas semanas monitoradas. Bem como, a média e o desvio padrão para os períodos antes e depois da 1ª poda e da 2ª poda

no LC3. Da 2ª a 5ª semana o monitoramento ocorreu nos cinco dias da semana. As médias e o desvio padrão da taxa de evapotranspiração e da altura da lâmina d'água evaporada foram obtidas a partir dos dados diários.

A vazão média para o afluente, no período monitorado, antes da 1ª poda foi de 118,0 L/dia e para o efluente foi de 108,4 L/dia. O desvio padrão foi de 17,7 L/dia para o afluente e 17,8 L/dia para o efluente. A taxa média da evapotranspiração foi de 96,3 L/dia e desvio padrão de 1,3 L/dia, a altura de lâmina d'água perdida foi de $23,5 \pm 0,3$ mm/dia e o TDH médio foi de $1,1 \pm 0,2$ dias, sendo que nesse período o LC3 foi monitorado por 2 dias.

A 2ª até a 7ª semana é correspondente ao período após a 1ª poda, onde a vazão média do afluente variou de 86,9 a 114,8 L/dia e a vazão média do efluente variou de 81,8 a 107,9 L/dia na 3ª e na 4ª semana, respectivamente. A maior taxa de evapotranspiração também ocorreu na 4ª semana com 69,1 L/dia, seguida pela 2ª semana com 68,4 L/dia. Conseqüentemente as maiores alturas da lâmina d'água evaporada também ocorreram nestas duas semanas com 16,7 mm/dia para a 2ª semana e 16,9 mm/dia para a 4ª semana. O maior TDH ocorreu na 3ª semana com 1,5 dias, seguida pela 7ª semana com 1,4 dias. Nesse período após a 1ª poda a média e o desvio padrão do afluente foi de $101,8 \pm 18,7$ L/dia e do efluente foi de $96,6 \pm 17,6$ L/dia. A média e o desvio padrão da evapotranspiração e da altura da lâmina d'água evaporada foram de $51,3 \pm 27,7$ L/dia e de $12,5 \pm 6,7$ mm/dia, respectivamente, e o TDH médio foi de $1,3 \pm 0,2$ dias. Nesse período foram monitorados de 28 dias.

No período após a 2ª poda foram monitorados 8 dias, sendo 2 dias na 8ª e 9ª semana e 1 dia, por semana, até 13ª semana. A 8ª semana apresentou a menor vazão de entrada e de saída com 75,4 L/dia e 74,1 L/dia e, também maior TDH de 1,7 dias. No entanto, na 12ª semana ocorreram às maiores vazões de entrada (142,0 L/dia) e de saída (139,9 L/dia), e o menor TDH (0,9 dias). A média e o desvio padrão nesse período foram de $99,2 \pm 23,5$ L/dia para o afluente e de $96,8 \pm 23,2$ L/dia para o efluente. As taxa média de evapotranspiração e o desvio padrão foi de $25,0 \pm 10,4$ L/dia com $6,1 \pm 2,5$ mm/dia de altura de lâmina d'água perdida. O TDH foi de $1,3 \pm 0,3$ dias.

Tabela 35. Vazão – média semanal entrada e saída, altura lâmina d’água evaporada e TDH no LC3 nas semanas e nos períodos monitorados

LC3 – <i>Cyperus alternifolius</i>						
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Vazão				
		Média semanal (L/semana)		Taxa de evapotranspiração (L/semana)	Altura lâmina d’água evaporada (mm/semana)	TDH (dias)
		Entrada	saída			
1 ^a	2	118,0	108,4	96,3	23,5	1,1
Média e desvio padrão	2	118,0±17,7	108,4±17,8	96,3±1,3	23,5±0,3	1,1±0,2
		Poda				
2 ^a	5	114,3	107,4	68,4	16,7	1,1
3 ^a	5	86,9	81,8	50,4	12,3	1,5
4 ^a	5	114,8	107,9	69,1	16,9	1,1
5 ^a	5	104,2	100,0	41,4	10,1	1,2
6 ^a	5	94,9	92,0	28,8	7,0	1,3
7 ^a	3	91,4	86,6	48,6	11,9	1,4
Média e desvio padrão	28	101,8±18,7	96,6±17,6	51,3±27,7	12,5±6,7	1,3±0,2
		Poda				
8 ^a	2	75,4	74,1	13,5	3,3	1,7
9 ^a	2	88,1	84,8	33,3	8,1	1,4
10 ^a	1	101,3	99,0	23,4	5,7	1,2
11 ^a	1	121,0	118,1	28,8	7,0	1,0
12 ^a	1	142,0	139,9	21,6	5,3	0,9
13 ^a	1	102,6	99,4	32,4	7,9	1,3
Média e desvio padrão	8	99,2±23,5	96,8±23,2	25,0±10,4	6,1±2,5	1,3±0,3

4.4.3.2.2.5. Qualidade da água - Escala semanal, período monitorado e período estendido

a) Fósforo total (PT)

Na Tabela 36 podem-se observar as médias semanais de entrada e saída para a concentração de fósforo total, bem como a retenção média e a eficiência de retenção nos períodos monitorados no LC3. A maior eficiência de retenção ocorreu na 3^a semana, com 30,3%, seguida pela 7^a semana com 18,5% de eficiência. Após a 2^a poda somente 12,5% das semanas monitoradas apresentaram eficiência positiva, sendo que 1,1% foi a eficiência máxima desse período.

Nos períodos analisados, a média e o desvio padrão da retenção e da eficiência de retenção para a concentração de fósforo total, foram registrados acréscimos para o período anterior à 1^a poda com 0,6±0,1 mg/L e de 21,0±2,9%. No período após a 1^a poda o LC3

apresentou retenção positiva com $0,2 \pm 0,5$ mg/L e $6,3 \pm 16,0\%$. Após a 2ª poda ocorreu novamente acréscimo na retenção de fósforo total no sistema com $0,4 \pm 0,5$ mg/L e eficiência negativa de $10,8 \pm 10,2\%$. A retenção positiva no período após a 1ª poda ocorreu em 66,6% das semanas monitoradas.

No período estendido após a 1ª poda a retenção de concentração de fósforo total foi de 14,4 mg/período, no período estendido após a 2ª poda ocorreu acréscimo de fósforo total no LC.

Tabela 36. Concentração fósforo total– média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC3 nas semanas e nos períodos monitorados

LC3 – <i>Cyperus alternifolius</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Conc. P			
		Média semanal (mg/L)		Retenção (mg/L)	Eficiência de retenção (%)
		Entrada	Saída		
1ª	2	2,7	3,2	-0,6	-21,1
Média e desvio padrão	2	2,7±0,2	3,2±0,4	-0,6±0,1	-21,0±2,9
Poda					
2ª	5	3,0	3,1	-0,1	-2,7
3ª	3	2,8	1,9	0,8	30,3
4ª	5	3,7	3,7	0,0	-0,2
5ª	5	4,0	3,4	0,6	14,1
6ª	4	3,2	3,2	0,0	0,5
7ª	2	3,7	3,0	0,7	18,5
Média e desvio padrão	24	3,4±0,6	3,2±0,7	0,2±0,5	6,3±16,0
Poda					
8ª	2	4,5	4,5	0,0	1,1
9ª	2	3,8	4,2	-0,4	-10,2
10ª	1	3,6	4,2	-0,6	-16,6
11ª	1	4,7	5,7	-1,0	-22,3
12ª	1	3,0	3,5	-0,5	-16,0
13ª	1	3,5	3,8	-0,3	-9,1
Média e desvio padrão	8	3,9±0,7	4,3±0,7	-0,4±0,5	-10,8±10,2

Na Tabela 37, podem ser observadas as médias semanais de entrada e saída, a retenção média e eficiência de retenção, para as cargas de fósforo total nos períodos monitorados.

As maiores retenções da carga de fósforo total ocorreram na 3ª e na 7ª semana com 30,8% e 454,1 mg/dia e 22,7% e 694,2 mg/dia, respectivamente. Entre a 1ª e a 2ª poda a retenção para as cargas de fósforo se mantiveram positivas em 100% das semanas

monitoradas. Após a 2ª poda, apenas a 8ª semana apresentou retenção positiva, todas as demais promoveram acréscimo nas cargas de fósforo total no sistema.

A média e o desvio padrão para a carga de fósforo total no período anterior à 1ª poda foram de $3.178,4 \pm 751,7$ mg/dia para o afluente e para o efluente foi de $3.496,2 \pm 919,0$ mg/dia, o acréscimo foi de $317,8 \pm 167,3$ mg/dia e a eficiência foi negativa em $9,6 \pm 3,0\%$. Para o período após a 1ª poda, a média e o desvio padrão foram de $3.551,9 \pm 849,7$ mg/dia (afluente) e $3.231,5 \pm 984,0$ mg/dia (efluente) com retenção positiva de $354,2 \pm 506,1$ mg/dia e eficiência de retenção de $10,9 \pm 15,3\%$. No período posterior à 2ª poda a média e o desvio padrão foram de $3.874,3 \pm 943,7$ mg/dia para o afluente e $4.140,3 \pm 1.159,2$ mg/dia para o efluente com acréscimo de $265,9 \pm 464,1$ mg/dia e eficiência negativa em $6,8 \pm 10,2\%$.

Considerando as médias de cargas retidas no período monitorado antes da 1ª poda para o LC1, para o LC2 e no período após a 1ª poda no LC3 independente do número de semanas monitoradas para cada LC, verificou-se que estes períodos foram positivos para os três LC. Após esse período todos os LC apresentaram acréscimos de fósforo total no sistema. Considerando o período anterior à poda para o LC2 foi o mais eficiente com 475,8 mg/dia, seguido pelo LC3 com 354,2 mg/dia e pelo LC1 com 299,7 mg/dia.

A carga média retida no período estendido após a 1ª poda no LC3 foi de 25,5 g/período. No período posterior à 2ª poda ocorreram acréscimos na carga de fósforo total.

Tabela 37. Carga fósforo total– média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC3 nas semanas e nos períodos monitorados

LC3 – <i>Cyperus alternifolius</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Carga P			
		Média semanal (mg/dia)		Retenção (mg/dia)	Eficiência de retenção (%)
		Entrada	Saída		
1ª	2	3.178,4	3.496,2	-317,8	-10,0
Média e desvio padrão	2	3.178,4±751,7	3.496,2±919,0	-3.17,8±167,3	-9,6±3,0
Poda					
2ª	5	3.437,6	3.323,9	113,7	3,3
3ª	3	2.571,0	2.116,8	454,1	30,8
4ª	5	4.268,9	4.037,4	231,5	5,4
5ª	5	4.020,8	3.385,4	635,5	15,8
6ª	4	3.159,9	2.948,2	211,7	3,9
7ª	2	3.059,4	2.365,1	694,2	22,7
Média e desvio padrão	24	3.551,9±849,7	3.231,5±984,0	354,2±506,1	10,9±15,3
Poda					
8ª	2	3.480,8	3.296,0	184,7	5,3
9ª	2	3.387,2	3.553,7	-166,5	-4,9
10ª	1	3.699,0	4.095,7	-396,7	-10,7
11ª	1	5.719,5	6.616,9	-897,5	-15,7
12ª	1	4.299,8	4.921,7	-621,9	-14,5
13ª	1	3.540,4	3.788,2	-247,8	-7,0
Média e desvio padrão	8	3.874,3±943,7	4.140,3±1.159,2	-265,9±464,1	-6,8±10,2

b) Nitrato (NO³⁻)

A Tabela 38 apresenta a concentração de entrada e saída de nitrato, a retenção e a eficiência de retenção no LC3. Esta variável foi analisada em dez semanas das treze monitoradas para esse LC, a concentração de nitrato na 2^a, 3^a e 5^a semana corresponde à média de cinco dias da semana. A partir da 7^a semana corresponde a apenas um dia por semana. A maior retenção ocorreu na 5^a semana (após a 1^a poda) com 0,60 mg/L e 27,3% de eficiência seguida pela 3^a semana com 0,38 mg/L e 26,8% de eficiência de retenção. Após a 2^a poda ocorreu acréscimo de nitrato no sistema, chegando a 53,8% e 0,70 mg/L, na 10^a semana. A partir da 12^a semana a retenção tornou-se positiva.

A média e o desvio padrão para a concentração de nitrato do afluente e do efluente no período monitorado após a 1^a poda foi de 1,8±0,8 mg/L e 1,3±0,3 mg/L, a retenção foi de

0,4±0,7 mg/L e a eficiência foi de 12,1±38,0%. Nesse período após a 1ª poda a retenção ocorreu em 100% das semanas monitoradas.

No período monitorado posterior à 2ª poda a média e o desvio padrão foram de 1,5±0,4 mg/L para o afluente e, 1,6±0,4 mg/L para o efluente, havendo acréscimo de 0,1±0,4 mg/L e eficiência de retenção negativa de 10,0±25,0% na concentração de nitrato. Nesse período a eficiência positiva ocorreu em 33,3% das semanas.

No período estendido após a 1ª poda a concentração média retida de nitrato foi de 28,8 mg/período, enquanto no período estendido posterior à 2ª poda ocorreu acréscimo na concentração de nitrato no LC3.

Tabela 38. Concentração de Nitrato – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC3 nas semanas e nos períodos monitorados

LC3 – <i>Cyperus alternifolius</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Conc. NO ³ -		Retenção (mg/L)	Eficiência de retenção (%)
		Média semanal (mg/L)			
		Entrada	Saída		
1 ^a	-	-	-	-	-
			Poda		
2 ^a	5	1,7	1,4	0,28	16,7
3 ^a	5	1,4	1,0	0,38	26,8
4 ^a	-	-	-	-	-
5 ^a	5	2,2	1,6	0,60	27,3
6 ^a	-	-	-	-	-
7 ^a	1	1,7	1,3	0,40	23,5
Média e desvio padrão	16	1,8±0,8	1,3±0,3	0,4±0,7	12,1±38,0
			Poda		
8 ^a	1	1,0	1,1	-0,10	-10,0
9 ^a	1	1,1	1,2	-0,10	-9,1
10 ^a	1	1,3	2,0	-0,70	-53,8
11 ^a	1	1,5	1,7	-0,20	-13,3
12 ^a	1	1,9	1,8	0,10	5,3
13 ^a	1	1,9	1,5	0,40	21,1
Média e desvio padrão	6	1,5±0,4	1,6±0,4	-0,1±0,4	-10,0±25,0

Na Tabela 39 estão apresentadas as cargas de nitrato de entrada e saída, a retenção e a eficiência de retenção das semanas monitoradas e do período monitorado no LC3. As maiores retenções positivas da carga de nitrato ocorreram nas semanas entre a 1ª poda e a 2ª poda, sendo que na 3ª semana, ocorreu a maior retenção positiva com 357,8 mg/dia e 29,8 % de eficiência. Após a 2ª poda a eficiência tornou-se negativa na 8ª semana, voltando a ficar

positiva somente a partir da 12ª semana, atingindo eficiência de retenção de 23,5 % na 13ª semana.

No período monitorado após a 1ª poda a média e o desvio padrão foram de, 1.744,2±726,9 mg/dia para o afluente e, 1.298,7±422,9 mg/dia para o efluente. A retenção foi de 445,4±635,7 mg/dia e eficiência de 16,7±35,9%. Nesse período a retenção ocorreu em 100% das semanas monitoradas. Enquanto no período monitorado posterior à 2ª poda a retenção ocorreu em 33,3% das semanas monitoradas com média e desvio padrão para o afluente de 1.604,0±690,8 mg/dia e para o efluente 1.657,0±623,1 mg/dia, o acréscimo foi de 52,9±376,3 mg/dia e a eficiência foi negativa em 7,0±24,6%.

No período estendido depois da 1ª poda a carga média retida de nitrato foi de 32,1 g/período. No período posterior à 2ª poda houve acréscimos da carga de nitrato no sistema.

Tabela 39. Carga de Nitrato – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC3 nas semanas e nos períodos monitorados

LC3 – <i>Cyperus alternifolius</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Carga NO ³ -			
		Média semanal (mg/dia)		Retenção (mg/dia)	Eficiência de retenção (%)
		Entrada	Saída		
1ª	-	-	-	-	-
Poda					
2ª	5	1.907,7	1.498,1	409,5	21,5
3ª	5	1.199,3	841,4	357,8	29,8
4ª	-	-	-	-	-
5ª	5	2.184,9	1.604,4	580,5	26,6
6ª	-	-	-	-	-
7ª	1	1.447,4	1.060,0	387,4	27,6
Média e desvio padrão	16	1.744,2±726,9	1.298,7±422,9	445,4±635,7	16,7±35,9
Poda					
8ª	1	840,6	898,9	-58,3	-8,0
9ª	1	1.003,9	1.047,6	-43,7	-5,0
10ª	1	1.317,4	1.980,0	-662,6	-50,3
11ª	1	1.814,4	2.007,4	-193,0	-10,6
12ª	1	2.698,4	2.517,5	180,9	6,7
13ª	1	1.949,4	1.490,4	459,0	23,5
Média e desvio padrão	6	1.604,0±690,8	1.657,0±623,1	-52,9±376,3	-7,0±24,6

c) Nitrogênio amoniacal (NH₃)

A Tabela 40 apresenta a concentração média de entrada e saída, a retenção e a eficiência do nitrogênio amoniacal nas semanas monitoradas, com média e desvio padrão para os períodos monitorados no LC3.

O nitrogênio amoniacal foi analisado em 9 semanas sendo a 3^a e a 5^a semana com 5 dias de monitoramento, a 7^a semana com 3 dias, a 8^a e a 9^a semana com 2 dias e da 10^a até a 13^a semana, um dia de monitoramento.

As maiores retenções positivas ocorreram após a 1^a poda, na 3^a semana com 12,7% de eficiência, seguida pela 5^a semana com 11,2 % de eficiência e pela 7^a semana com 0,4%. Após a 2^a poda a eficiência positiva ocorreu na 9^a e na 13^a semana com 6,5% e 7,4% de eficiência, respectivamente.

Nos períodos monitorados o LC3 obteve média e desvio padrão, após a 1^a poda de 44,1±16,0 mg/L para o afluente, 39,6±11,1 mg/L para o efluente, 4,5±8,7 mg/L para a retenção e 7,0±16,4% de eficiência. A eficiência positiva ocorreu em 100% das semanas monitoradas. No período após a 2^a poda a média e o desvio padrão foram de 35,3±5,7 mg/L (afluente), 35,7±1,7 mg/L (efluente) com acréscimos de 0,4±4,5 mg/L e eficiência negativa de 3,1±13,6%. A eficiência positiva ocorreu em 33,3% das semanas monitoradas. O período depois da 1^a poda foi mais eficiente na retenção da concentração do NH₃ do que o período após a 2^a poda.

A concentração de nitrogênio amoniacal retido no período estendido depois da 1^a poda foi de 324,0 mg/período. Enquanto no período após a 2^a poda ocorreu acréscimo na concentração de nitrogênio amoniacal.

Tabela 40. Concentração de nitrogênio amoniacal – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC3 nas semanas e nos períodos monitorados

LC3 – <i>Cyperus alternifolius</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Conc. NH ³			
		Média semanal (mg/L)		Retenção (mg/L)	Eficiência de retenção (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	-	-	-	-	-
		Poda			
2 ^a	-	-	-	-	-
3 ^a	5	39,1	34,1	5,0	12,7
4 ^a	-	-	-	-	-
5 ^a	5	58,8	52,2	6,6	11,2
6 ^a	-	-	-	-	-
7 ^a	3	27,7	27,6	0,10	0,4
Média e desvio padrão	13	44,1±16,0	39,6±11,1	4,5±8,7	7,0±16,4
		Poda			
8 ^a	2	48,1	48,5	-0,5	-1,0
9 ^a	2	65,6	61,3	4,3	6,5
10 ^a	1	28,6	33,9	-5,3	-18,5
11 ^a	1	29,1	36,4	-7,3	-25,1
12 ^a	1	32,3	34,4	-2,1	-6,5
13 ^a	1	40,7	37,7	3,0	7,4
Média e desvio padrão	8	35,3±5,7	35,7±1,7	-0,4±4,5	-3,1±13,6

Na Tabela 41 podem-se observar as cargas médias de entrada e saída do nitrogênio amoniacal, a retenção e a eficiência de retenção nas semanas monitoradas. Além da média e do desvio padrão para os períodos monitorados.

A maior eficiência de retenção da carga de nitrogênio amoniacal ocorreu na 3^a semana com 17,0% com 5.725,2 mg/dia, seguida pela 9^a semana com 14,3% e 5.216,3 mg/dia. Na 11^a semana ocorreu a maior retenção negativa com aumento de nitrogênio amoniacal no LC de - 7.781,8 mg/dia e -22,1% de eficiência negativa.

Nos períodos monitorados, após a 1^a poda e após a 2^a poda, a média e o desvio padrão para as cargas NH₃ foram de, 41.778,0±16.406,7 mg/dia (afluente), 36.264,5±13.853,0 mg/dia (efluente) com retenção de 5.513,6±8.190,0 mg/dia e eficiência de 11,7±15,2%. Nesse período, após a 1^a poda, a retenção positiva ocorreu em 100% das semanas monitoradas. No período posterior à 2^a poda a média e o desvio padrão foi de 34.518,8±7.402,6 mg/dia (afluente), 34.516,1±8.032,9 mg/dia (efluente), com retenção de 2,7±4.798,4 mg/dia e eficiência negativa de 0,5±13,6%. Nesse período a retenção foi positiva em 33,3% das semanas monitoradas.

Considerando o período monitorado depois da 1ª poda para o LC3 e antes da 1ª poda para o LC1 e para o LC2, independentemente da quantidade de semanas analisadas. Obteve-se que o LC2 foi mais eficiente na retenção da carga de nitrogênio amoniacal com 13.094,9 mg/dia, seguido pelo LC1 que reteve uma carga de 5.845,4 mg/dia e por último o LC3 que reteve 5.513,6 mg/dia.

No período estendido após a 1ª poda a carga de nitrogênio amoniacal retido foi de 397,0 g/período, enquanto no período após a 2ª poda a carga retida foi de 0,92 g/período.

Tabela 41. Carga de nitrogênio amoniacal – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC3 nas semanas e nos períodos monitorados

LC3 – <i>Cyperus alternifolius</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Carga NH ³			
		Média semanal (mg/dia)		Retenção (mg/dia)	Eficiência de retenção (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	-	-	-	-	-
		Poda			
2 ^a	-	-	-	-	-
3 ^a	5	33.669,8	27.944,6	5.725,2	17,0
4 ^a	-	-	-	-	-
5 ^a	5	59.646,1	52.008,3	7.637,7	12,8
6 ^a	-	-	-	-	-
7 ^a	3	25.511,6	23.891,0	1.620,6	6,4
Média e desvio padrão	13	41.778,0±16.406,7	36.264,5±13.853,0	5.513,6±8.190,0	11,7±15,2
		Poda			
8 ^a	2	25.577,6	25.633,4	-55,8	-0,2
9 ^a	2	36.590,8	31.374,5	5.216,3	14,3
10 ^a	1	28.983,2	33.561,0	-4.577,8	-15,8
11 ^a	1	35.199,4	42.981,1	-7.781,8	-22,1
12 ^a	1	45.872,5	48.111,8	-2.239,4	-4,9
13 ^a	1	41.758,2	37.458,7	4.299,5	10,3
Média e desvio padrão	8	34.518,8±7.402,6	34.516,1±8.032,9	2,7±4.798,4	-0,5±13,6

d) Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Na Tabela 42 observa-se a concentração média de DQO no LC3, a qual foi mensurada em dez das treze semanas monitoradas. A maior retenção ocorreu na 12ª semana, após a 2ª poda, (1 dia) com 59,7% e 72,4 mg/L de concentração de DQO retida. No entanto, várias semanas apresentaram eficiência de redução acima de 40% como, por exemplo, a 3ª semana

com 44,5%, a 5ª semana com 40,5%, a 7ª semana com 46,2%, todas após à 1ª poda, além da 11ª semana com 45,9%, após à 2ª poda.

A média e o desvio padrão para a concentração de DQO no período posterior à 1ª poda foram de 109,2±29,7 mg/L para o afluente e 74,3±23,1 mg/L para o efluente, a retenção foi de 34,9±26,3 mg/L e eficiência de 30,6±20,2%. No período posterior à 2ª poda a média e o desvio padrão foram de 109,2±29,7 mg/L para o afluente e 74,3±23,1 mg/L para o efluente, a retenção foi de 34,9±26,3 mg/L e eficiência de 30,6±20,2%. Comparando os dois períodos, verifica-se que a retenção, em ambos os períodos, foi praticamente à mesma. A concentração de DQO foi reduzida em 100% das semanas, em ambos os períodos monitorados.

No período estendido depois da 1ª poda a concentração retida de DQO foi de 2,4 g/período e no período após a 2ª poda a retenção foi de 1,2 g/período.

Tabela 42. Concentração de DQO – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC3 nas semanas e nos períodos monitorados

LC3 – <i>Cyperus alternifolius</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Média semanal (mg/L)		Retenção (mg/L)	Eficiência de retenção (%)
		Entrada	Saída		
1ª	-	-	-	-	-
			poda		
2ª	5	55,9	51,3	4,6	8,2
3ª	5	85,0	47,2	37,8	44,5
4ª	-	-	-	-	-
5ª	5	113,0	67,2	45,8	40,5
6ª	-	-	-	-	-
7ª	3	117,4	63,2	54,2	46,2
Média e desvio padrão	18	90,1±34,2	56,6±13,5	33,5±32,4	30,3±25,6
			Poda		
8ª	2	170,2	115,8	54,4	31,9
9ª	2	230,9	145,4	85,5	37,0
10ª	1	88,5	80,7	7,7	8,7
11ª	1	58,9	31,9	27,0	45,9
12ª	1	121,1	48,8	72,4	59,7
13ª	1	90,16	89,29	0,9	1,0
Média e desvio padrão	8	109,2±29,7	74,3±23,1	34,9±26,3	30,6±20,2

A Tabela 43 apresenta as cargas médias de DQO do afluente e do efluente, a retenção e a eficiência de retenção nas semanas monitoradas no LC3. A carga média de DQO teve maior

eficiência de retenção na 12ª semana, após a 2ª poda, com 60,4% e 103.804,7 mg/dia e na 7ª semana, após a 2ª poda, com 49% de eficiência de retenção e 51.582,0 mg/dia.

As cargas médias de DQO e o desvio padrão para o período monitorado, antes da 1ª poda foi de 86.963,2±27.604,7 mg/dia para o afluente e de 54.211,2±18.680,4 mg/dia para o efluente, a retenção foi de 32.752,1±28.088,9 mg/dia e a eficiência foi de 34,2±23,9%. No período monitorado posterior à 1ª poda, a média e o desvio padrão para o afluente e para o efluente no LC3 foi de 106.247,1±31.842,3 mg/dia e 68.353,4±15.093,2 mg/dia, respectivamente. A média e o desvio padrão para a retenção foi de 37.893,6±30.244,1 mg/dia e para a eficiência foi de 32,4±19,7%. As cargas de DQO também foram praticamente às mesmas em ambos os períodos, como na concentração, porém o período posterior à 1ª poda foi ligeiramente mais eficiente que o período após a 2ª poda. As cargas de DQO foram reduzidas em 100% dos períodos monitorados.

Comparando a média e o desvio padrão da retenção e da eficiência de retenção da carga de DQO após a 2ª poda para o LC3 e após a poda para o LC1 e o LC2. Verificou-se que LC2 foi o mais eficiente com 40.548,5±18.064,9 mg/dia e 39,4±14,9% e ficando próximo do LC1 com 40.484,9±22.918,7 mg/dia e 37,2±13,4% ambos superiores ao LC3 com 37.867,1±33.134,5 mg/dia e 32,4±19,7%.

No período estendido depois da 1ª poda a carga retida para a DQO no LC3 foi de 2,3 Kg/período, para o período após a 2ª poda a carga retida foi de 1,3 Kg/período.

Tabela 43. Carga de DQO – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC3 nas semanas e nos períodos monitorados

LC3 – <i>Cyperus alternifolius</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Carga DQO			
		Média semanal (mg/dia)		Retenção (mg/dia)	Eficiência de retenção (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	-	-	-	-	-
		poda			
2 ^a	5	63.011,5	55.979,4	7.032,1	11,2
3 ^a	5	72.253,6	38.781,1	33.472,5	46,3
4 ^a	-	-	-	-	-
5 ^a	5	114.209,9	67.756,4	46.453,5	40,7
6 ^a	-	-	-	-	-
7 ^a	3	105.987,7	54.405,6	51.582,0	48,7
Média e desvio padrão	18	86.963,2±27.604,7	54.211,2±18.680,4	32.752,1±28.088,9	34,2±23,9
		Poda			
8 ^a	2	84.015,1	62.553,7	21.461,4	25,5
9 ^a	2	128.337,9	73.799,7	54.538,2	42,5
10 ^a	1	89.655,5	79.927,7	9.727,85	10,9
11 ^a	1	71.251,5	37.632,1	33.619,39	47,2
12 ^a	1	172.000,4	68.195,7	103.804,69	60,4
13 ^a	1	92.504,2	88.718,5	3.785,62	4,1
Média e desvio padrão	8	106.247,1±31.842,3	68.353,4±15.093,2	37.893,6±30.244,1	32,4±19,7

e) Oxigênio Dissolvido (OD)

A Tabela 44 apresenta a média semanal de entrada e saída, a diferença de entrada e saída e a eficiência na concentração de OD no LC3. Onde se observa que o maior acréscimo, no período posterior à 2^a da poda, ocorreu na 5^a semana com 0,23 mg/L e 150,0% de eficiência, essa alta eficiência se deve a baixa concentração de OD no afluente do LC, devido ao evento que ocorreu nessa semana, já explicado anteriormente na escala horária e diária. No período após a 2^a poda, o maior aumento na concentração de OD ocorreu na 8^a semana com 0,24 mg/L e 79,3% de eficiência.

No período monitorado após a 1^a poda, a média e o desvio padrão foram de 0,0±0,7 mg/L e com eficiência negativa de 57,1±207,2%. Para o período monitorado após a 2^a poda a média e o desvio padrão foi de 0,3±1,5 mg/L e eficiência negativa de 10,0±83,2%. Nesse anterior à 2^a poda, ocorreu acréscimo em 66,6% das semanas monitoradas, enquanto no período posterior à 2^a poda esse acréscimo ocorreu em 50% das semanas monitoradas.

Comparando o LC3 com o LC1 e LC2 apenas para o período posterior à 2ª poda, observou-se que o LC3 foi o único dos três LC que promoveu acréscimo na concentração de OD.

Tabela 44. Concentração de OD – média semanal entrada e saída, diferença entrada e saída e eficiência OD do LC3 nas semanas e nos períodos monitorados

LC3 – <i>Cyperus alternifolius</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Média semanal (mg/L)		OD	Eficiência (%)
		Entrada	saída	Diferença entrada-saída (mg/L)	
1ª	-	-	-	-	-
			Poda		
2ª	5	1,28	0,80	0,48	32,8
3ª	-	-	-	-	-
4ª	-	-	-	-	-
5ª	5	1,29	1,52	-0,23*	-150,0*
6ª	-	-	-	-	-
7ª	3	2,14	2,71	-0,57*	-50,8*
Média e desvio padrão	13	1,5±0,9	1,5±1,0	0,0±0,7	-57,1±207,2
			Poda		
8ª	2	2,41	1,75	0,66	27,5
9ª	2	2,54	2,94	-0,24*	-79,3*
10ª	1	3,70	1,27	2,43	65,6
11ª	1	1,90	2,79	-0,89*	-46,8*
12ª	1	2,52	3,28	-0,76*	-30,2*
13ª	1	3,57	2,35	1,22	34,2
Média e desvio padrão	8	2,7±1,0	2,4±0,9	0,3±1,5	-10,0±83,2

f) Potencial hidrogeniônico (pH)

Na Tabela 45 têm-se os valores do pH de entrada e saída e a diferença entre ambos no LC3. Na qual se observa que os valores de pH de saída foram inferiores aos valores do pH de entrada, transformando o pH do meio em menos alcalino. A diferença máxima entre o afluente e o efluente ocorreu na 5ª semana (depois 1ª poda) com 0,8 e valores de 8,2 (entrada) para 7,4 (saída). Após a 2ª poda a maior diferença ocorreu na 13ª semana com 0,5 e valores de 8,1 (entrada) e 7,6 (saída).

* Valores negativos indicam acréscimo de OD no LC

No período anterior à 1ª poda a média e o desvio padrão foi de $7,5 \pm 0,0$ (afluente) e $7,2 \pm 0,1$ (efluente) e a diferença foi de $0,3 \pm 0,1$. Para o período posterior à 1ª poda os valores do pH de entrada variou de 7,6 a 8,2 e o pH de saída variou de 6,9 a 7,4 com média e desvio padrão de $7,8 \pm 0,4$ para o afluente, $7,3 \pm 0,3$ para o efluente e diferença de $0,6 \pm 0,2$. Enquanto para o período posterior à 2ª poda o pH de entrada variou de 7,5 a 8,1 e o de saída de 7,2 a 7,6, a média e o desvio padrão foram de $7,7 \pm 0,2$ para a entrada e $7,3 \pm 0,1$ para a saída com diferença de $0,4 \pm 0,2$.

Tabela 45. pH – média semanal entrada e saída, diferença de entrada e saída do pH do LC3 as semanas e nos períodos monitorados

LC3 – <i>Cyperus alternifolius</i>				
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	pH		Diferença entrada saída
		Média semanal Entrada	Média semanal Saída	
1ª	2	7,5	7,2	0,3
Média e desvio padrão	2	$7,5 \pm 0,0$	$7,2 \pm 0,1$	$0,3 \pm 0,1$
Poda				
2ª	5	7,8	7,4	0,4
3ª	5	7,9	7,4	0,6
4ª	5	7,3	6,9	0,4
5ª	5	8,2	7,4	0,8
6ª	5	8,0	7,3	0,7
7ª	3	7,6	7,1	0,5
Média e desvio padrão	28	$7,8 \pm 0,4$	$7,3 \pm 0,3$	$0,6 \pm 0,2$
Poda				
8ª	2	7,8	7,3	0,4
9ª	2	7,7	7,2	0,5
10ª	1	7,5	7,3	0,2
11ª	1	7,7	7,3	0,4
12ª	1	7,5	7,3	0,2
13ª	1	8,1	7,6	0,5
Média e desvio padrão	8	$7,7 \pm 0,2$	$7,3 \pm 0,1$	$0,4 \pm 0,2$

g) Condutividade elétrica (CE)

Na Tabela 46 observa-se a média da CE de entrada e saída nas semanas monitoradas, bem como a média e o desvio padrão do afluente do efluente e a diferença entre ambos para os períodos monitorados. Na semana anterior à 1ª poda a diferença entre a entrada e a saída foi negativa em $82 \mu\text{S}/\text{cm}$. A maior redução da CE, após a 1ª poda, ocorreu na 6ª semana com 88

$\mu\text{S/cm}$ e valores de $1.009 \mu\text{S/cm}$ (entrada) e $921 \mu\text{S/cm}$ (saída). Enquanto na 10ª semana, após a 2ª poda, ocorreu acréscimo de $134 \mu\text{S/cm}$.

A média e o desvio padrão da CE no período monitorado antes da 1ª poda foram de $670 \pm 15 \mu\text{S/cm}$ para o afluente e do efluente de $752 \pm 14 \mu\text{S/cm}$, a diferença de entrada e saída foi negativa em $82 \pm 29 \mu\text{S/cm}$. No período após a 1ª poda, a média e o desvio padrão para o afluente foi de $961 \pm 145 \mu\text{S/cm}$, para o efluente foi de $931 \pm 128 \mu\text{S/cm}$ e a diferença entre ambos foi de $30 \pm 108 \mu\text{S/cm}$. No período após a 2ª poda a média e o desvio padrão foi de $934 \pm 165 \mu\text{S/cm}$ (afluente), $963 \pm 129 \mu\text{S/cm}$ (efluente) com diferença negativa entre o afluente e o efluente de $29 \pm 61 \mu\text{S/cm}$. No período monitorado após a 1ª poda ocorreu diminuição da CE em 88,8% das semanas monitoradas, sendo o período mais eficiente para esta variável nesse LC.

Tabela 46. CE – média semanal entrada e saída, diferença de entrada e saída da CE no LC3 nas semanas e nos períodos monitorados

LC3 – <i>Cyperus alternifolius</i>				
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	CE		Diferença entrada saída (µS/cm)
		Média semanal (µS/cm)		
		Entrada	Saída	
1ª	2	670	752	-82
Média e desvio padrão	2	670±15	752±14	-82±29
		Poda		
2ª	5	856	881	-25
3ª	5	873	860	13
4ª	5	924	918	6
5ª	5	1.115	1.062	53
6ª	5	1.009	921	88
7ª	3	688	632	56
Média e desvio padrão	28	961±145	931±128	30±108
		Poda		
8ª	2	910	895	14
9ª	2	940	951	-12
10ª	1	733	867	-134
11ª	1	817	923	-107
12ª	1	926	952	-26
13ª	1	1.301	1.271	30
Média e desvio padrão	8	934±165	963±129	-29±61

h) Temperatura da água (Temp)

A temperatura da água do LC3 nas semanas monitoradas pode ser visualizada na Tabela 47. A temperatura da água foi diminuída no LC em todas as semanas monitoradas sendo que a máxima diferença ocorreu na 13ª semana com 2,4°C e valores de 24,3°C (entrada) e 21,9°C (saída).

A média e o desvio padrão da temperatura da água, no período monitorado antes da 1ª poda foram de 25,6±0,2°C para o afluente e de 23,7±0,2°C para o efluente, com diferença entre ambos de 1,9±0,0°C. No período após a 1ª poda a média e o desvio padrão foi de 22,4±1,7°C (afluente), 21,2±1,9°C (efluente) com diferença de 1,1±0,5°C. Para o período, após a 2ª poda, a média e o desvio padrão para o afluente foi de 23,2±2,1°C para o efluente foi de 21,8±2,0°C com diferença entre ambas de 1,4±0,7°C.

Tabela 47. Temperatura da água – média semanal entrada e saída, diferença de entrada e saída da temperatura no LC3 nas semanas e nos períodos monitorados

LC3 – <i>Cyperus alternifolius</i>				
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Temperatura		
		Média semanal (°C)		Diferença entrada-saída (°C)
		Entrada	Saída	
1ª	2	25,6	23,7	1,9
Média e desvio padrão	2	25,6±0,2	23,7±0,2	1,9±0,0
		Poda		
2ª	5	23,8	22,5	1,2
3ª	5	23,6	22,9	0,7
4ª	5	24,0	23,1	0,9
5ª	5	20,5	19,2	1,3
6ª	5	20,2	18,8	1,4
7ª	3	22,2	20,6	1,6
Média e desvio padrão	28	22,4±1,7	21,2±1,9	1,1±0,5
		Poda		
8ª	2	20,2	19,5	0,8
9ª	2	23,1	21,2	1,9
10ª	1	25,7	24,5	1,3
11ª	1	25,4	24,4	1,0
12ª	1	23,1	22,4	0,7
13ª	1	24,3	21,9	2,4
Média e desvio padrão	8	23,2±2,1	21,8±2,0	1,4±0,7

4.4.4. Leito cultivado com Brita (LC4)

4.4.4.1. Monitoramento da água no leito cultivado com Brita (LC4)

4.4.4.1.1. Quantidade da água - Escala horária

a) Vazão (Q)

O comportamento das vazões horárias de entrada e de saída, para os dias 12/08/2009 e 13/08/09, podem ser observados na Figura 147. Sendo que, no dia 12/08/2009 a vazão de entrada apresentou um pico no início do dia com 129,6L/h, porém no restante do dia se manteve entre 61,2 e 91,8 L/h. No dia 13/08/2009 a vazão inicial foi de 64,8 L/h e ao longo do dia permaneceu entre 81,0L/h e 99,0L/h, ao final do dia estava em 54,0 L/h e no último horário estava em 52,2 L/h. Em ambos os dias, as vazões de saída foram praticamente iguais as vazões de entrada, conseqüentemente as taxas de evapotranspiração também foram baixas, quando comparadas com outros dias de monitoramento. A evapotranspiração e a altura da lâmina d'água evaporada foram de 28,8 L/dia e 7,0mm/dia para o dia 12/08/2009 e de 21,6 L/dia e 5,3mm/dia para o dia 13/08/2009. O TDH no dia 12/08/2009, foi de 1,2 dias e no dia 13/08/2009 foi de 1,3 dias.

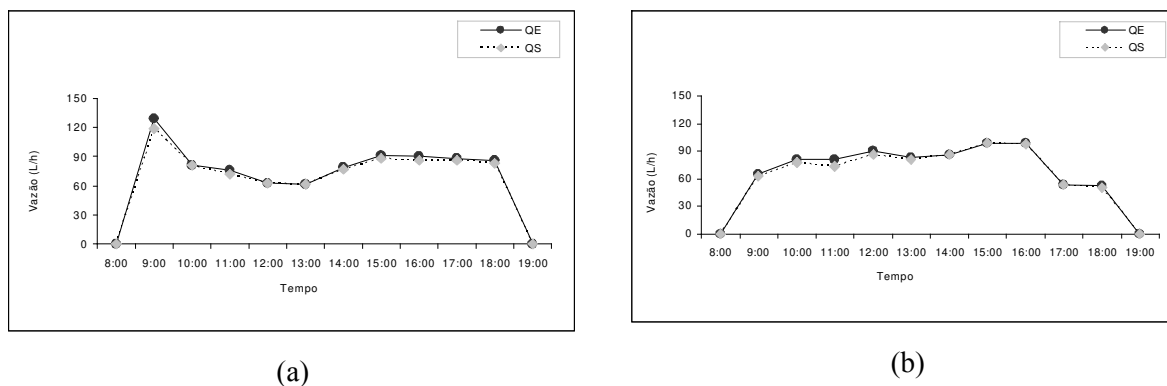
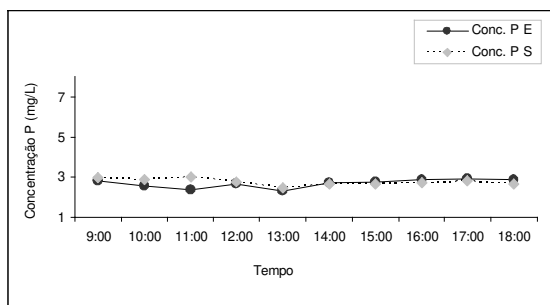


Figura 147. Vazão horária de entrada e saída no LC com Brita para os dias 12/08/2009 (a) e 13/08/2009 (b).

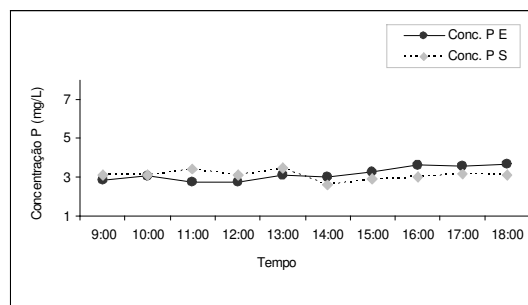
4.4.4.1.2. Qualidade da água - Escala horária

a) Fósforo total (P_T)

A concentração de fósforo total no LC4, nos dias 12/08/2009 e 13/08/2009, podem ser observadas na Figura 148. No dia 12/08/2009 pode-se observar que a saída de fósforo total foi superior à entrada das 9:00h às 13:00h, no entanto a partir das 14:00h o LC reteve fósforo total e essa retenção foi pequena, porém positiva até o final do dia. No dia 13/08/2009, também ocorreu acréscimo no mesmo horário do dia anterior, das 9:00h às 13:00h. A partir das 14:00h a retenção se tornou positiva até o final do dia, transformando a retenção diária em positiva. Na Figura 149, podem ser observadas as retenções da concentração de fósforo total para os dias analisados.

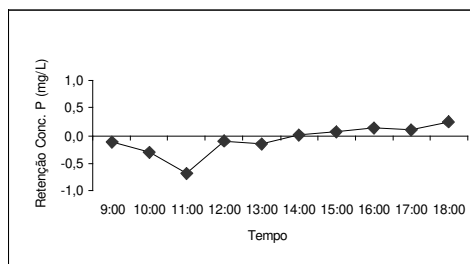


(a)

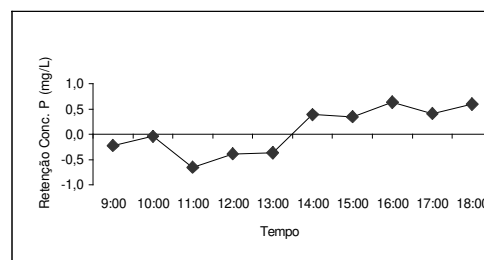


(b)

Figura 148. Concentração horária de entrada e saída de fósforo no LC com brita para os dias 12/08/2009 (a) e 13/08/2009 (b).



(a)



(b)

Figura 149. Retenção da concentração de fósforo no LC de brita para os dias 12/08/2009 (a) e 13/08/2009 (b).

O balanço de massa para as cargas horárias de fósforo total de entrada e saída, no dia 12 e 13/08/2009, podem ser observadas na Figura 150. A carga retida no LC4, no dia 12/08/2009, foi de 23,2 mg/dia e as retenções foram positivas em 60% do dia analisado. No dia 13/08/2009, a eficiência positiva também ocorreu em 60% do dia e foram mais altas do que no dia anterior. A carga retida nesse dia foi de 116,5 mg/dia. As retenções efetivas de carga de P_T nos dias 12 e 13/08/2009 podem ser observadas na Figura 151.

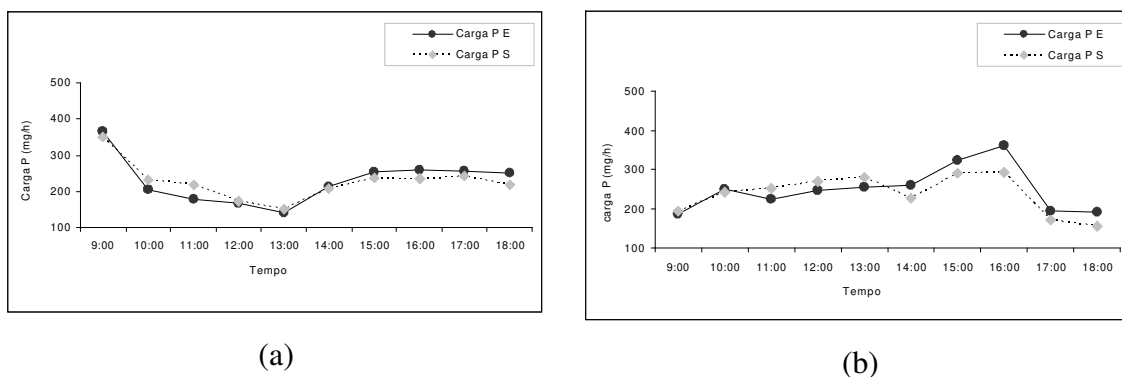


Figura 150. Carga horária de entrada e saída de fósforo no LC com brita para os dias 12/08/2009 (a) e 13/08/2009 (b).

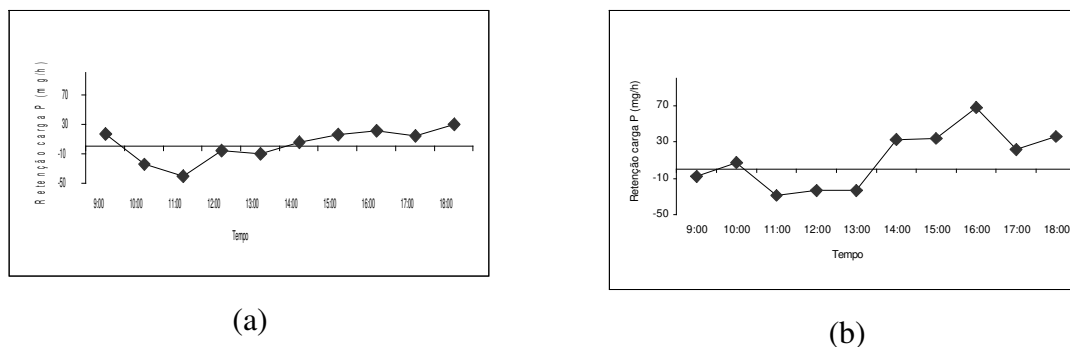


Figura 151. Retenção da carga de fósforo no LC com brita para os dias 12/08/2009 (a) e 13/08/2009 (b).

b) Oxigênio dissolvido (OD)

O comportamento da concentração de oxigênio dissolvido (OD) para os dias 12/08/2009 e 13/08/2009 pode ser observado na Figura 152. Nesses dias a análise da concentração de OD foi efetuada três vezes ao dia, às 9:00 h, às 13:00 h e às 18:00 h. Em

ambos os dias ocorreram acréscimos de OD em 100% do período analisado. Os maiores aumentos ocorreram no primeiro e no último horário. As diferenças diárias de entrada e saída na concentração de OD no LC4 podem ser observadas na Figura 153.

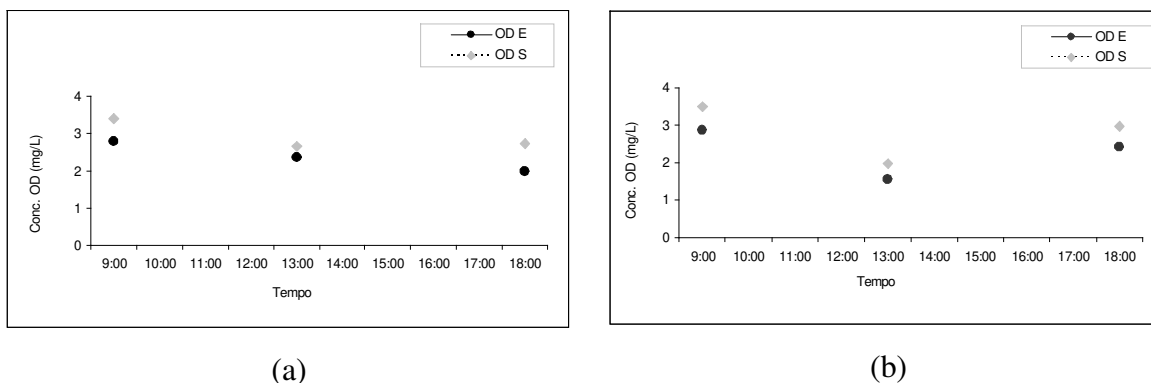


Figura 152. Concentração de OD de entrada e saída de fósforo no LC com brita para os dias 12/08/2009 (a) e 13/08/2009 (b).

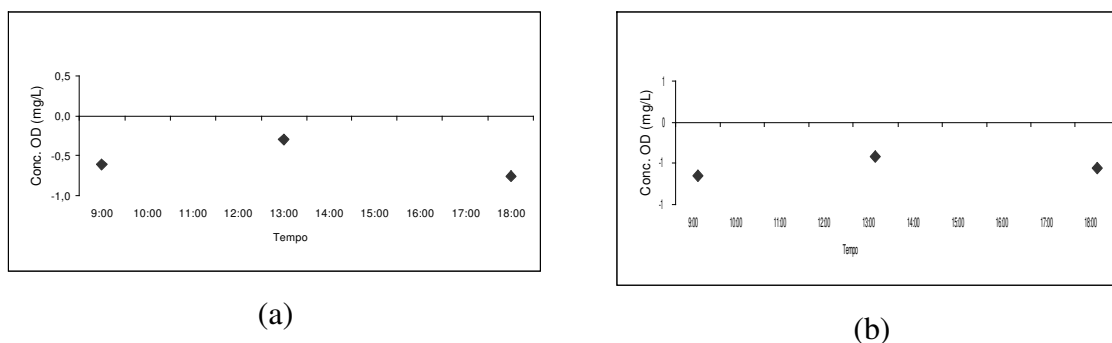
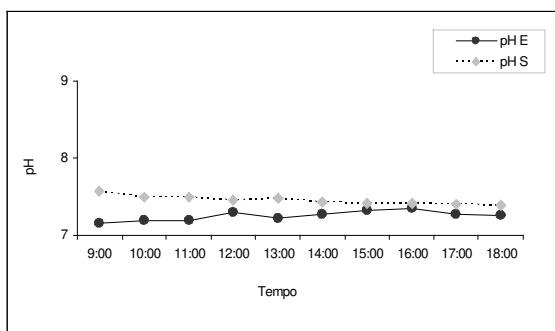


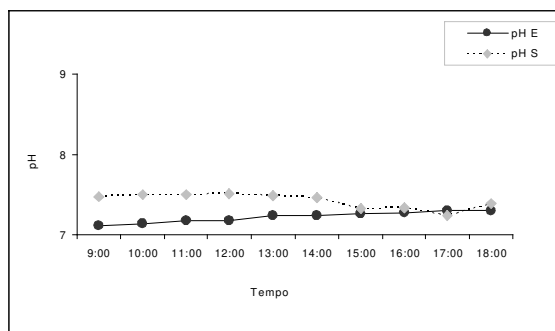
Figura 153. Diferença na concentração de OD de entrada e saída do LC com brita para os dias 12/08/2009 (a) e 13/08/2009 (b).

c) Potencial hidrogeniônico (pH)

Na Figura 154, pode-se observar o comportamento do pH no LC4, nos dias 12 e 13/08/2009. No dia 12/08/2009 ocorreu aumento do pH em 100% do dia e o maior registrado foi às 9:00h com 0,42 e valores de 7,15 (entrada) para 7,57 (saída). No dia 13/08/2009 o aumento no pH ocorreu em 90% do dia e o maior acréscimo ocorreu às 9:00 e às 10:00h com 0,36. Na Figura 155 estão apresentadas as diferenças horárias de pH entre a entrada e a saída nos dias 12 e 13/08/2009.

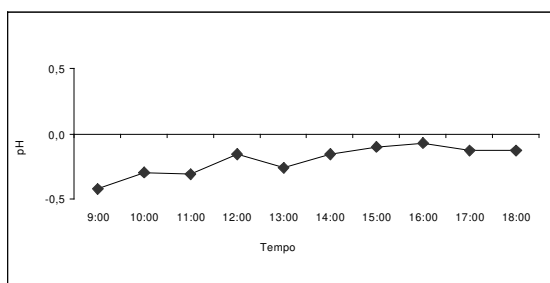


(a)

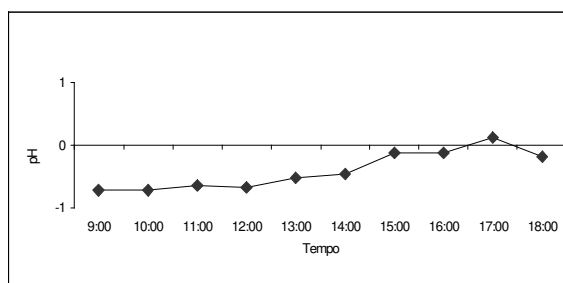


(b)

Figura 154. pH horário de entrada e saída de fósforo no LC com brita para os dias 12/08/2009 (a) e 13/08/2009 (b).



(a)

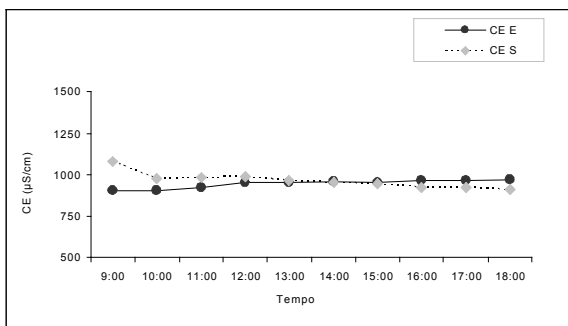


(b)

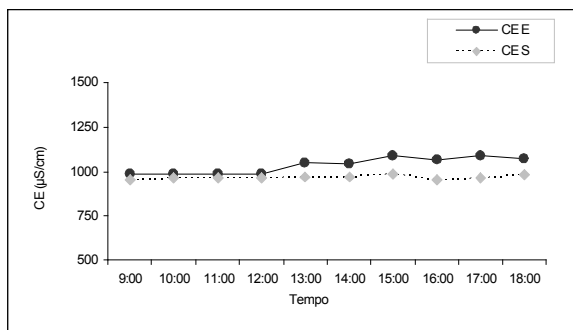
Figura 155. Diferença pH horário de entrada e saída do LC com brita para os dias 12/08/2009 (a) e 13/08/2009 (b).

d) Condutividade elétrica (CE)

Na Figura 156, pode ser observada a condutividade elétrica (CE) para os dias 12 e 13/08/2009. No dia 12/08/2009 ocorreu acréscimo na CE de entrada no período das 9:00h às 13:00h, onde a máxima negativa foi de $174\mu\text{S}/\text{cm}$ às 9:00 h. No dia 13/08/2009, a CE de entrada foi diminuída em todo o período monitorado e a máxima redução ocorreu às 17:00h com $126\mu\text{S}/\text{cm}$. As diferenças de entrada e saída na CE para os dias avaliados podem ser visualizadas na Figura 157.

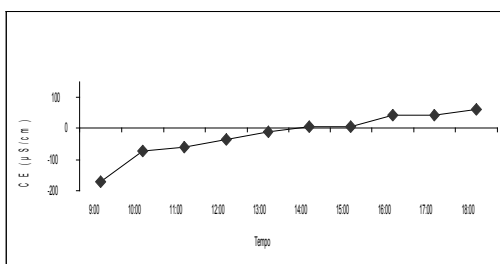


(a)

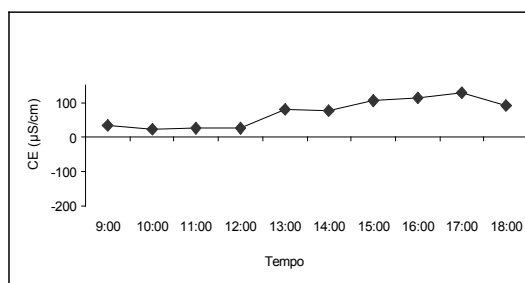


(b)

Figura 156. CE horária de entrada e saída de fósforo no LC com brita para os dias 12/08/2009 (a) e 13/08/2009 (b).



(a)

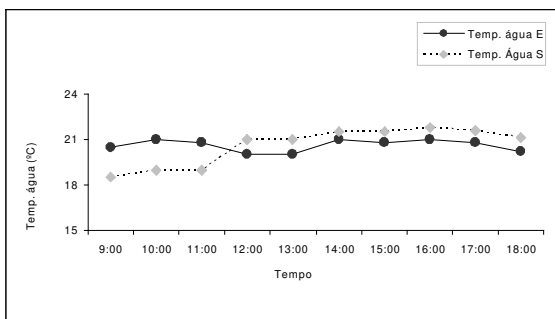


(b)

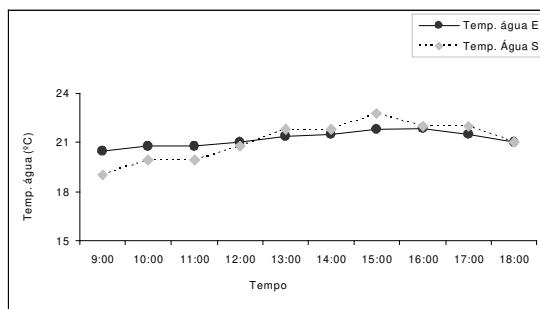
Figura 157. Diferença na CE de entrada e saída do LC com brita para os dias 12/08/2009 (a) e 13/08/2009 (b).

e) Temperatura da água (Temp)

As variações na temperatura da água do LC4 nos dias 12 e 13/08/2009 podem ser visualizadas na Figura 158. No dia 12/08/2009 a temperatura da água de saída foi superior a temperatura da água de entrada das 12:00 às 18:00h com diferença de até um grau. No dia 13/08/2009, a temperatura da água de saída foi superior a temperatura da água de entrada das 13:00 h às 17:00 h com diferença máxima de um grau. Na Figura 159 têm-se as diferenças entre a temperatura da água de entrada e a temperatura da água de saída.

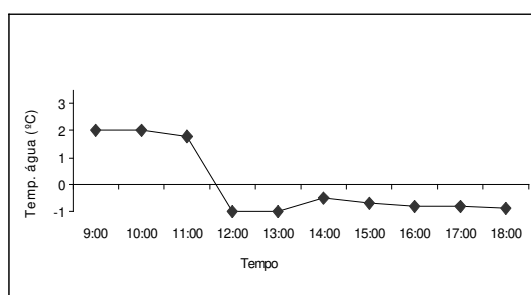


(a)

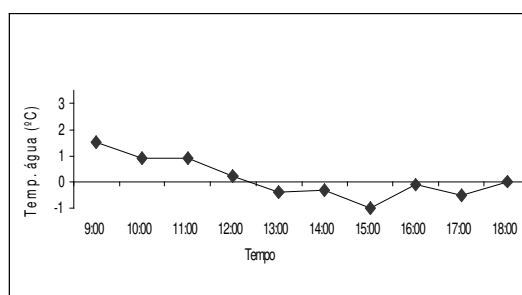


(b)

Figura 158. Temperatura da água horária de entrada e saída do LC com brita para os dias 12/08/2009 (a) e 13/08/2009 (b).



(a)



(b)

Figura 159. Diferença na temperatura da água de entrada e saída do LC com brita para os dias 12/08/2009 (a) e 13/08/2009 (b).

4.4.4.2.3. Quantidade da água - Escala diária

a) Vazão (Q)

As vazões diárias podem ser observadas na Figura 160 onde as vazões de entrada foram maiores ou iguais as vazões de saída. Na Tabela 48 têm-se as taxas de evaporação, a altura da lâmina d'água evaporada e o TDH para os dias monitorados. Verifica-se que a maior perda de água ocorreu no dia 19/05/2009 (DJ 139) com 180,0 ml/dia e 43,9 mm/dia de altura da lâmina d'água, seguido pelo dia 21/05/2009 (DJ 141) com 106,2 ml/dia de evaporação e 25,9 mm/dia de altura da lâmina d'água (Figura 161). O TDH médio para esse LC foi de 1,2 dias, sendo que no dia 21/08/2009 (DJ 233) o TDH foi de 1,9 dias (Figura 162).

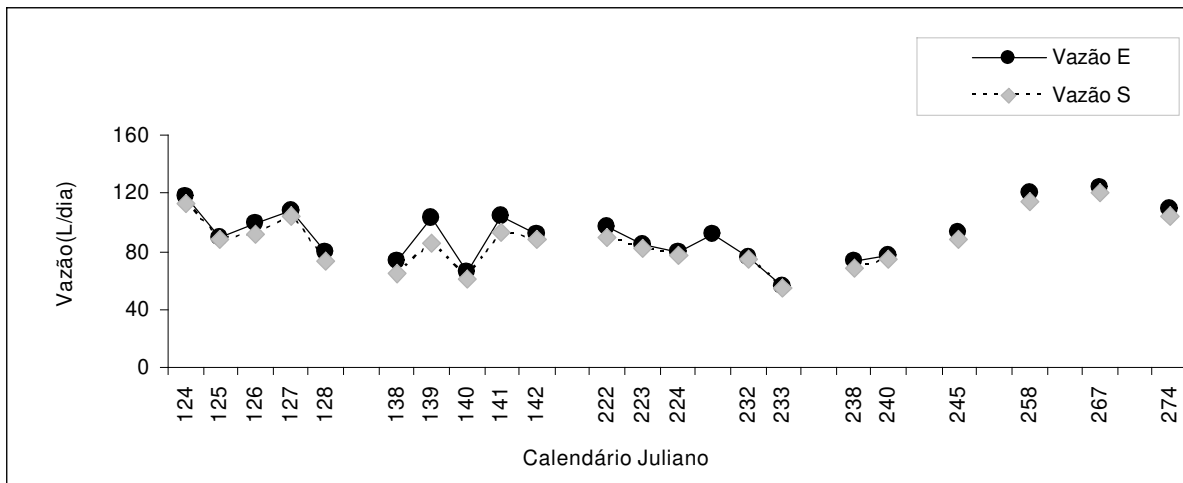


Figura 160. Vazões - médias diárias de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009

Tabela 48. Taxa de evapotranspiração, altura da lâmina d'água evaporada e TDH no LC4

Data	Dia Juliano (DJ)	Taxa de evaporação (ml/dia)	Altura lâmina d'água evaporada (mm/dia)	TDH (dias)
4/5	124	45,0	11,0	0,9
5/5	125	21,6	5,3	1,2
6/5	126	70,2	17,1	1,1
7/5	127	43,2	10,5	1,0
8/5	128	70,2	17,1	1,3
18/5	138	91,8	22,4	1,4
19/5	139	180,0	43,9	1,0
20/5	140	48,6	11,9	1,6
21/5	141	106,2	25,9	1,0
22/5	142	29,5	7,2	1,2
11/8	222	79,2	19,3	1,1
12/8	223	28,8	7,0	1,2
13/8	224	21,6	5,3	1,3
20/8	232	5,4	1,3	1,4
21/8	233	9,0	2,2	1,9
26/8	238	55,8	13,6	1,4
28/8	240	27,0	6,6	1,4
2/9	245	50,4	12,3	1,1
15/9	258	55,8	13,6	0,9
24/9	267	34,2	8,3	1,0
1/10	274	54,0	13,2	1,0

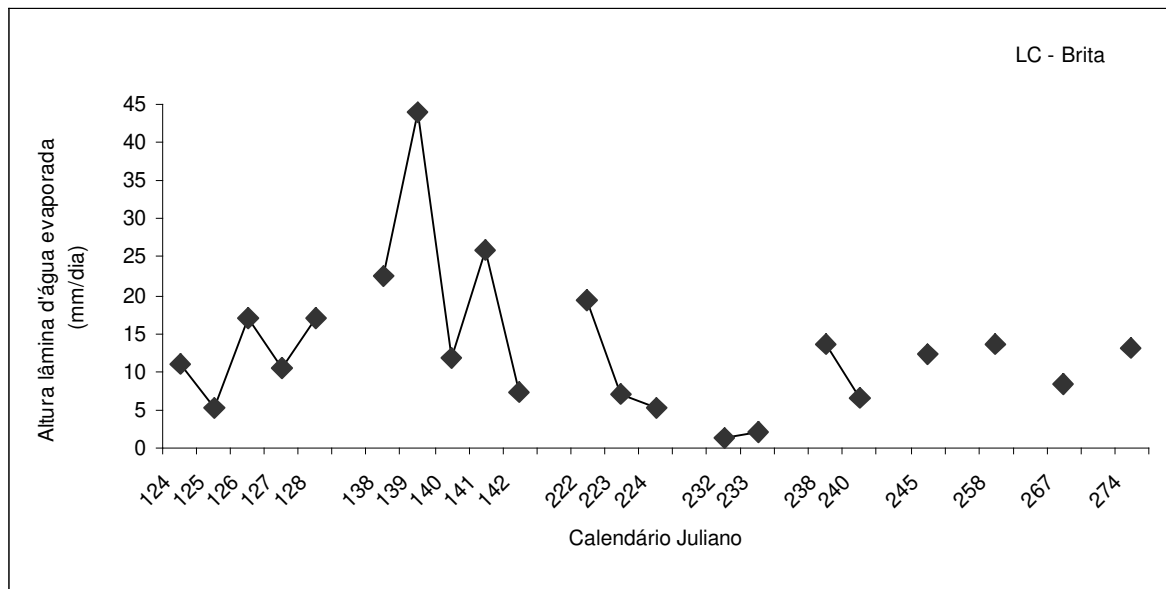


Figura 161. Altura diária total da lâmina d'água evaporada no LC com Brita nos dias monitorados em 2009

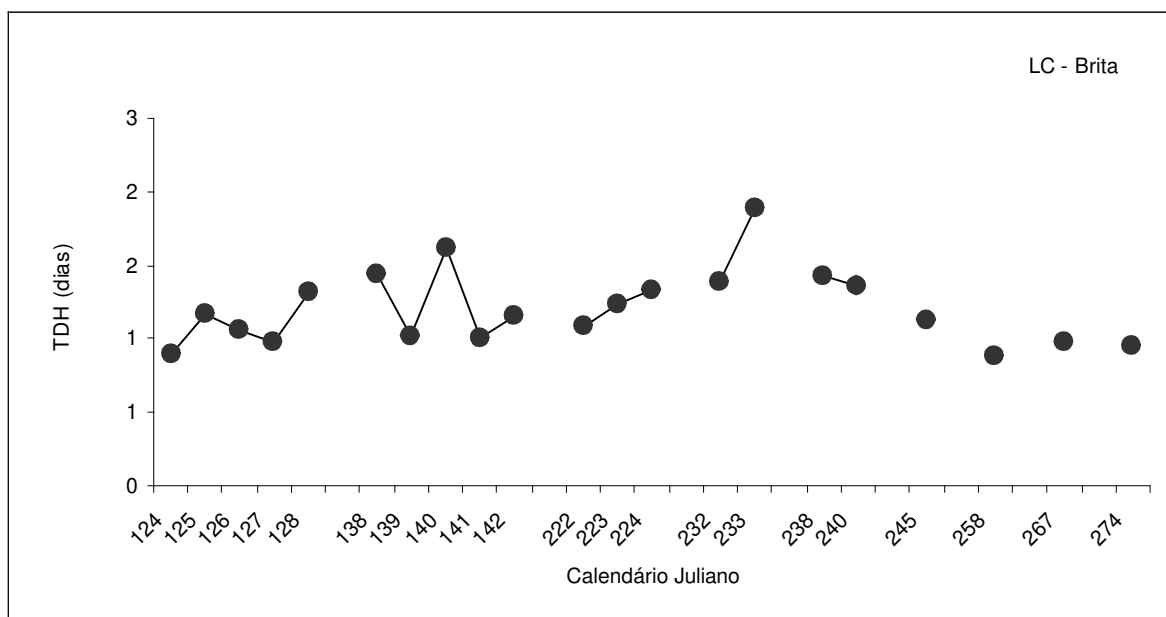


Figura 162. Tempo de detenção hidráulica (TDH) no LC com Brita nos dias monitorados em 2009

4.4.4.2.4. Qualidade da água - Escala diária

a) Fósforo total (Pt)

Na Figura 163, observa-se a concentração de entrada e saída do fósforo total no LC4 para os dias monitorados em 2009. Onde a retenção positiva ocorreu em 38,9% dos dias monitorados. A maior retenção positiva ocorreu no dia 21/05/2009 (DJ 141) com 17,2% de eficiência. Os acréscimos chegaram a 27,7% no dia 21/08/2009 (DJ 232), logo após a poda do LC2, afluente do LC4.

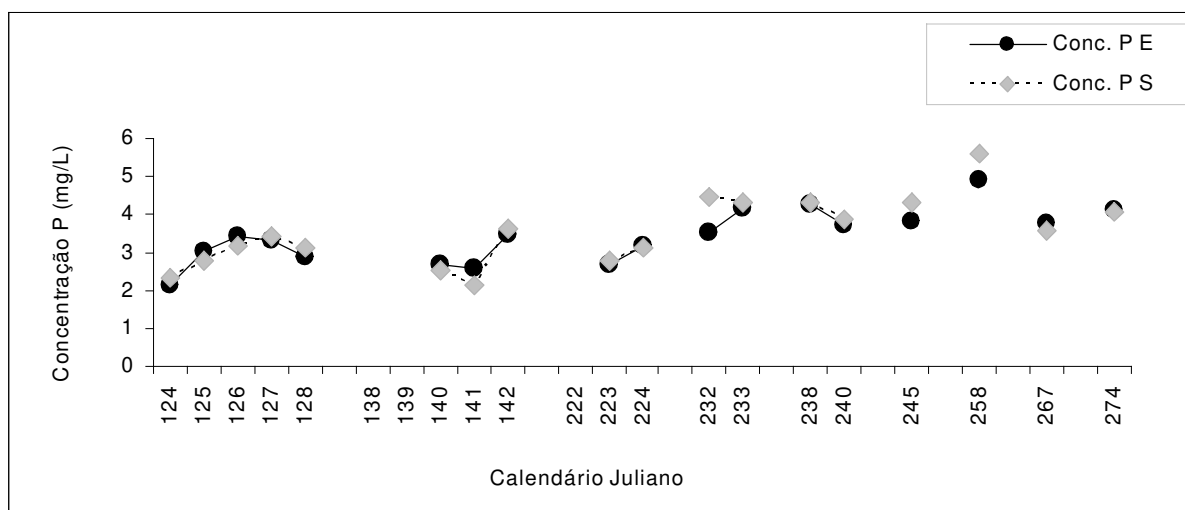


Figura 163. Concentração de fósforo total - médias diárias de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009

A Figura 164 mostra o comportamento das cargas de entrada e saída de fósforo total no LC4 para os dias monitorados em 2009. Onde a eficiência máxima de retenção ocorreu no dia 21/05/2009 (DJ 141) com 25,4%, quantificada em 685,1 mg/dia de carga de fósforo total retida; seguido pelo dia 06/05/2009 (DJ 126), com 14,4% de eficiência de retenção e, 493,6 mg/dia de carga de fósforo total retida. Dia 20/08/2009 (DJ 232), apresentou acréscimo máximo de 25,8%, seguido pelo dia 15/09/2009 (DJ 258) com acréscimo de 9,2%. As diferenças entre a entrada e a saída para as cargas de fósforo total nos dias monitorados podem ser observadas na Figura 165.

Comparando-se o LC4 com o LC2, seu afluente, para os dias comuns entre ambos os LC. Obteve-se que o LC2 foi mais eficiente na retenção Pt antes da poda, com carga retida de

306,0 mg/dia, enquanto o LC4 reteve uma carga de 117,1 mg/dia. No período posterior à poda do LC2 os dois LC apresentaram acréscimo. No entanto, o LC4 promoveu menor acréscimo de fósforo total no sistema, com 2,4 mg/dia enquanto o LC2 liberou 98,1 mg/dia de fósforo total.

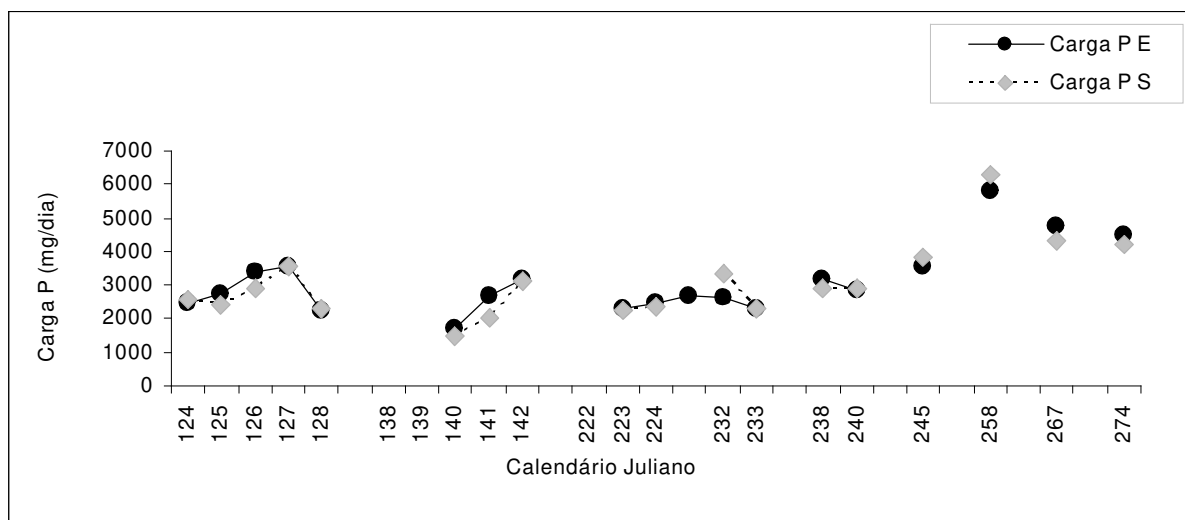


Figura 164. Carga de fósforo total - médias diárias de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009

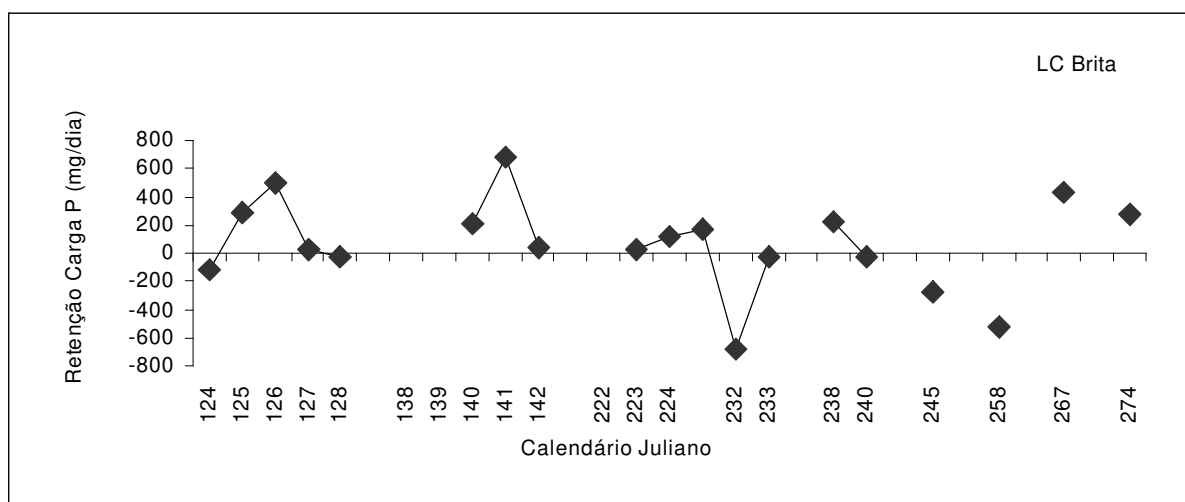


Figura 165. Retenção da carga de fósforo total ocorrida no LC com brita nos dias monitorados em 2009

b) Nitrato (NO_3^-)

A avaliação da concentração de nitrato no LC4 foi realizada em sete dias intercalados e pode ser observada na Figura 166. Na qual se encontram as concentrações afluentes e

efluentes para os dias monitorados em 2009. A máxima eficiência positiva ocorreu nos dias 12/08/2009 (DJ 223), seguido pelo dia 28/08/2009 (DJ 240) os valores para o primeiro foram 1,5 mg/L (entrada) e 1,3 mg/L (saída) e 13,3% de eficiência, para o segundo 1,3 mg/L (entrada) e 1,2 mg/L (saída) e 7,7% de eficiência. O maior acréscimo ocorreu no dia 15/09/2009 (DJ 258) com 100,0% e valores de 0,8 mg/L (entrada) e 1,6 mg/L (saída). O LC4 apresentou retenção positiva em 28,6% dos dias analisados. Nenhuma retenção ou retenção igual a zero em 28,6% e, acréscimo na concentração de nitrato em 42,9% dos dias analisados.

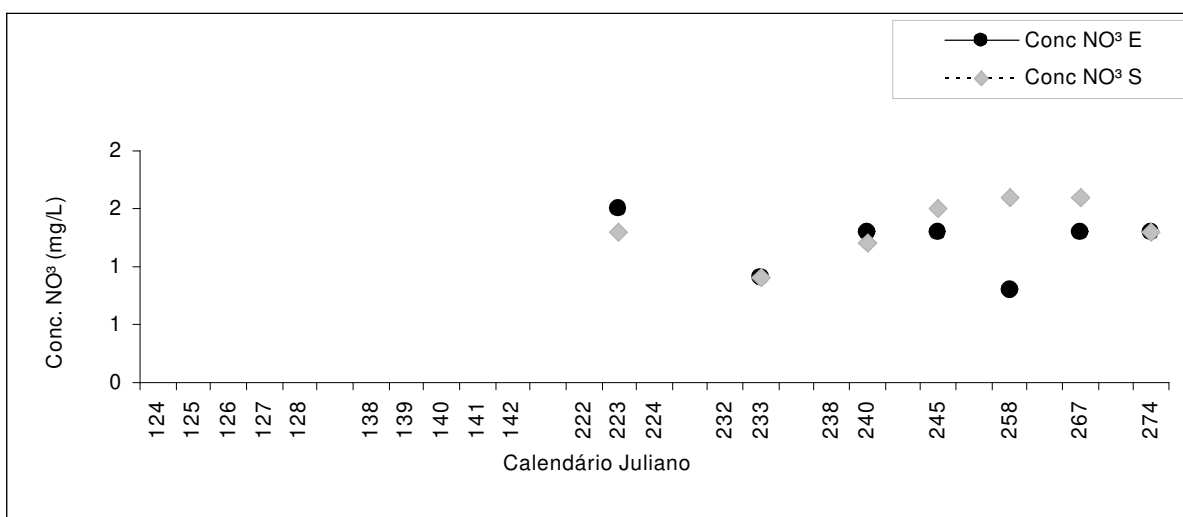


Figura 166. Concentração de nitrato - médias diárias de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009

A carga de nitrato pode ser visualizada na Figura 167. Onde a carga máxima retida foi de 206,6 mg/dia e eficiência de retenção de 16,3% no dia 12/08/2009 (DJ 147) com valores de 1.269,0 mg/dia (entrada) e 1.062,4 mg/dia (saída). A segunda maior retenção da carga de nitrato ocorreu no dia 28/08/2009 (DJ 146) com eficiência de retenção de 10,9% e carga de 1.006,2 mg/dia para a entrada e 896,4 mg/dia para a saída. Os acréscimos permaneceram como na concentração, chegando a 90,7% e acréscimo de carga de 868,3 mg/dia. Na Figura 168, observam-se as retenções da carga de nitrato ocorrida no LC com brita nos dias monitorados em 2009.

Analisando novamente o LC2 e o LC4, com os dias comuns para ambos. Obteve-se que o LC2 reteve uma carga média de 631,3 mg/dia, enquanto o LC4 liberou uma carga média de 128,8 mg/dia.

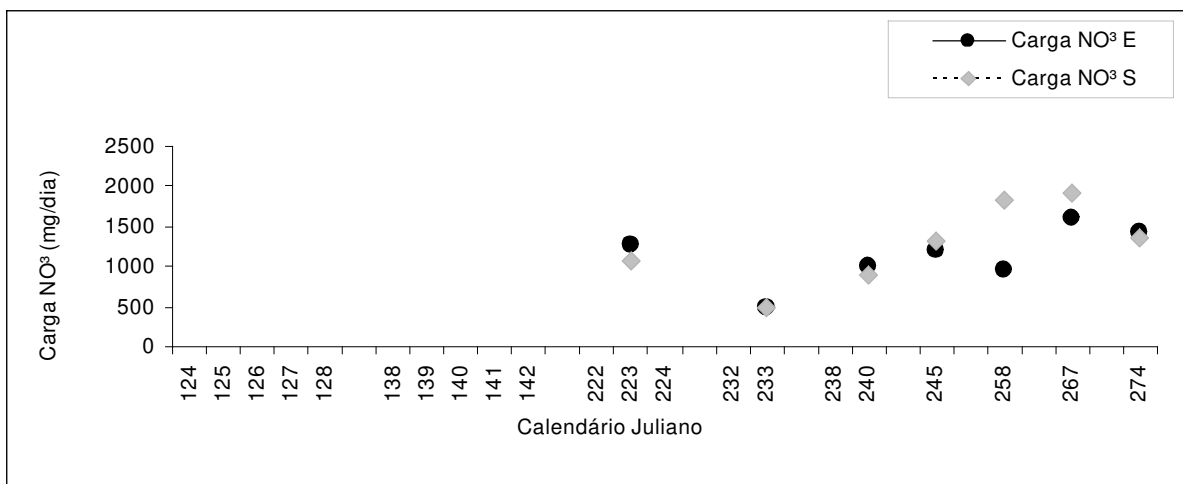


Figura 167. Carga de nitrato - médias diárias de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009

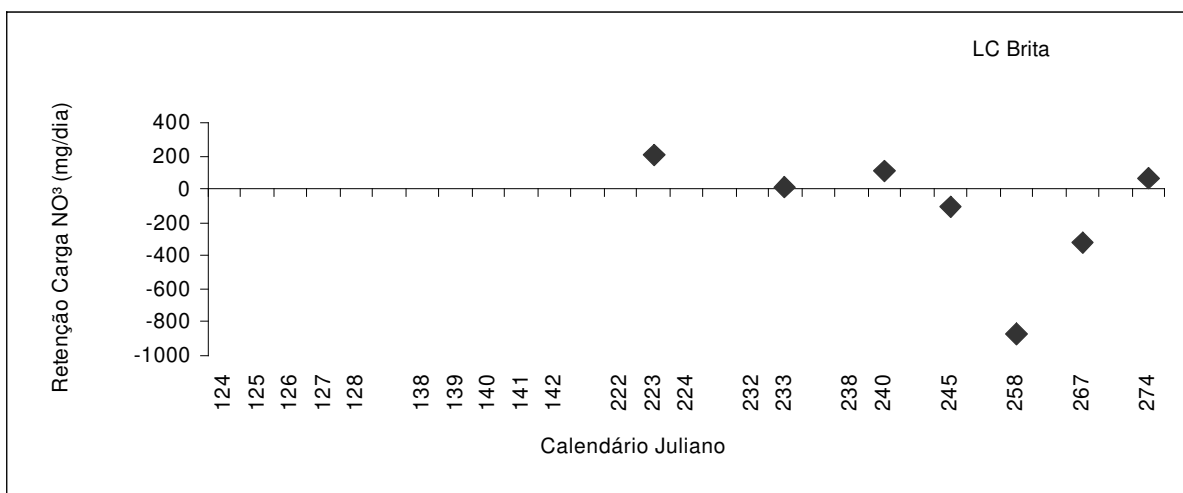


Figura 168. Retenção da carga de nitrato ocorrida no LC com brita nos dias monitorados em 2009

c) Nitrogênio amoniacal (NH₃)

A concentração de entrada e saída do nitrogênio amoniacal nos dias monitorados no LC4 pode ser observada na Figura 169. Na qual se verifica que a eficiência máxima positiva ocorreu no dia 11/08/2009 com 13,4%, seguido pelos dias 26/08/2009 (DJ 238) e 28/08/2009 (DJ 240) com 9,5% e 11,0%, respectivamente. A retenção foi positiva em 45,5% dos dias monitorados.

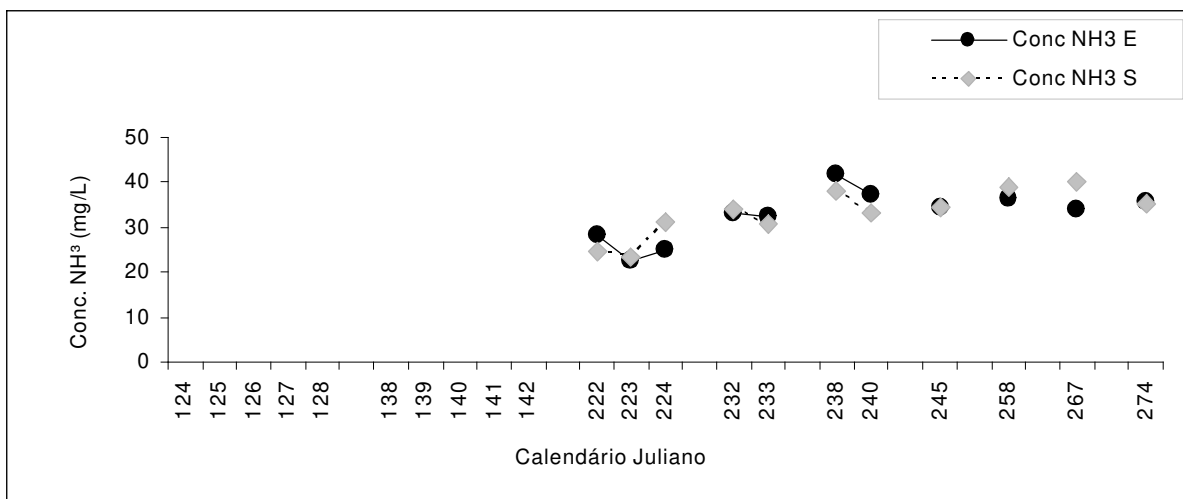


Figura 169. Concentração de nitrogênio amoniacal - médias diárias de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009

A Figura 170 apresenta as cargas de nitrogênio amoniacal de entrada e saída para o LC4 nos dias monitorados. As cargas diárias de NH_3 não se alteraram em relação à concentração, permanecendo nos dias 11, 26 e 28/08/2009 as maiores retenções e valores de 5.627,2 mg/dia (20,5%), 5.058,0 mg/dia (16,4%) e 4.069,8 mg/dia (14,1%), respectivamente. A retenção positiva ocorreu em 63,3% dos dias analisados. Na Figura 171, observam-se as retenções das cargas de NH_3 ocorrida no LC com brita nos dias monitorados em 2009.

Na Comparação dos mesmos dias avaliados para a carga diária de NH_3 entre o LC2 e o LC4, obteve-se que a retenção para ambos os LC foi praticamente à mesma, com 814,3 mg/dia e 806,2 mg/dia, respectivamente.

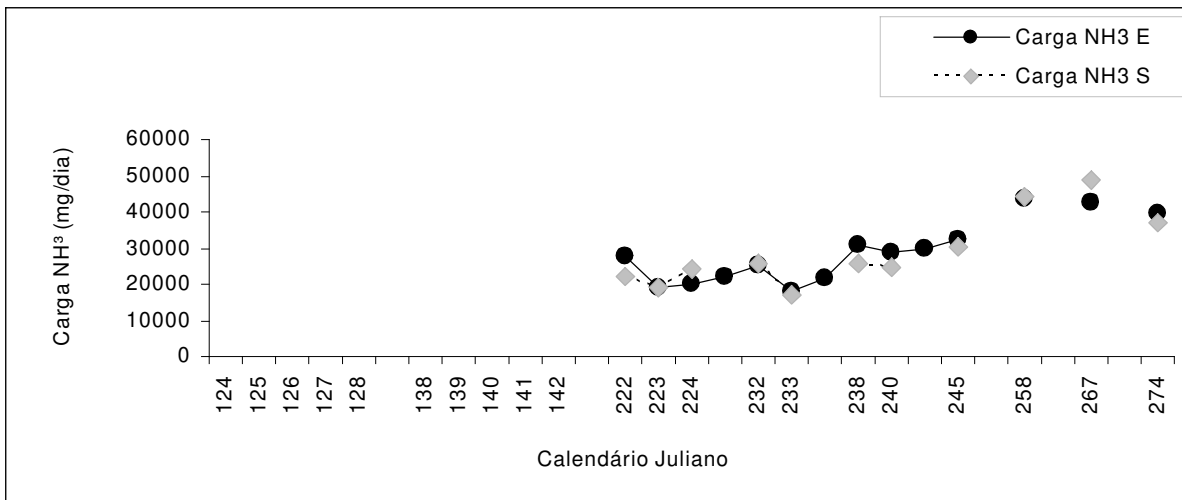


Figura 170. Carga de nitrogênio amoniacal - médias diárias de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009

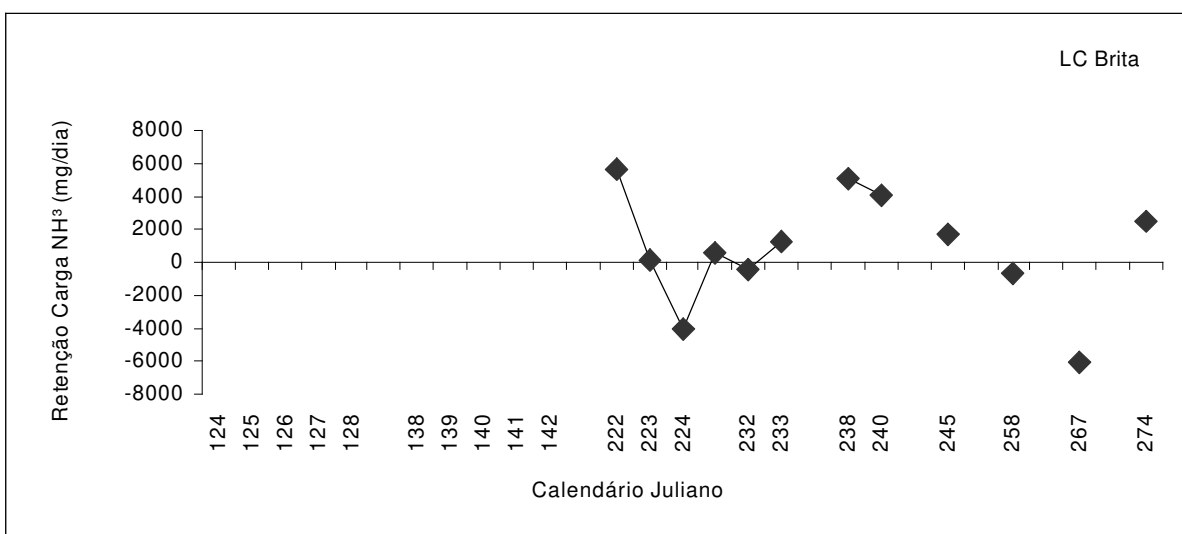


Figura 171. Retenção da carga de nitrogênio amoniacal ocorrida no LC com brita nos dias monitorados em 2009

d) Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Na Figura 172 podem ser observadas as concentrações de entrada e saída para a DQO no LC4. A retenção máxima positiva ocorreu no dia 11/08/2009 (DJ 222) com 22,1 mg/L de

DQO retida (26,5%) e valores de 83,3 mg/L (entrada) e 61,3 mg/L (saída), seguido pelo dia 28/08/2009 (DJ 240) em que a retenção foi de 18,6% com 13,8 mg/L. A retenção positiva ocorreu em 72,3% dos dias monitorados com retenção média de 3,4 mg/L.

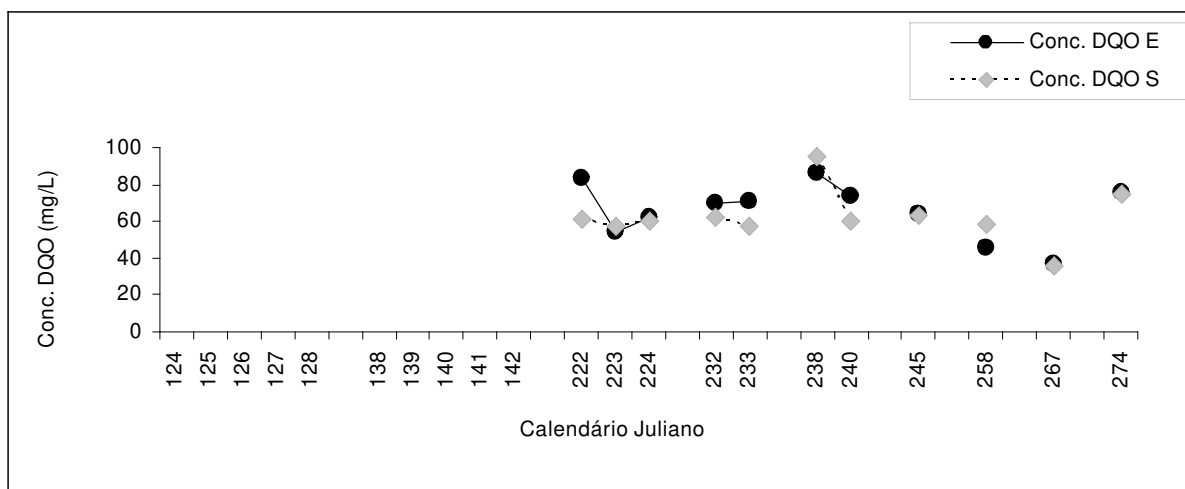


Figura 172. Concentração de DQO - médias diárias de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009

As cargas médias de DQO de entrada e saída no LC2 podem ser visualizadas na Figura 173. A máxima retenção positiva ocorreu no dia 11/08/2009 (DJ 222) com 26.243,5 mg/dia e 32,5% de eficiência. A segunda maior eficiência ocorreu no dia 28/08/2009 (DJ 240) com 12.289,0 mg/dia e 21,5% de eficiência. A retenção positiva para carga de DQO permaneceu a mesma da concentração de DQO, isto é, em 72,3% dos dias analisados. As retenções para a carga de DQO nos dias monitorados podem ser observadas na Figura 174.

Considerando-se os dias a partir do dia juliano 222, comparou-se a retenção da carga do LC2 com o LC4. Onde a carga média diária retida no LC2 foi de 32.537,7 mg/dia, enquanto no LC4 a carga média retida foi de 4.707 mg/dia. Demonstrando a superioridade de eficiência do LC2 para esta variável em relação ao LC4.

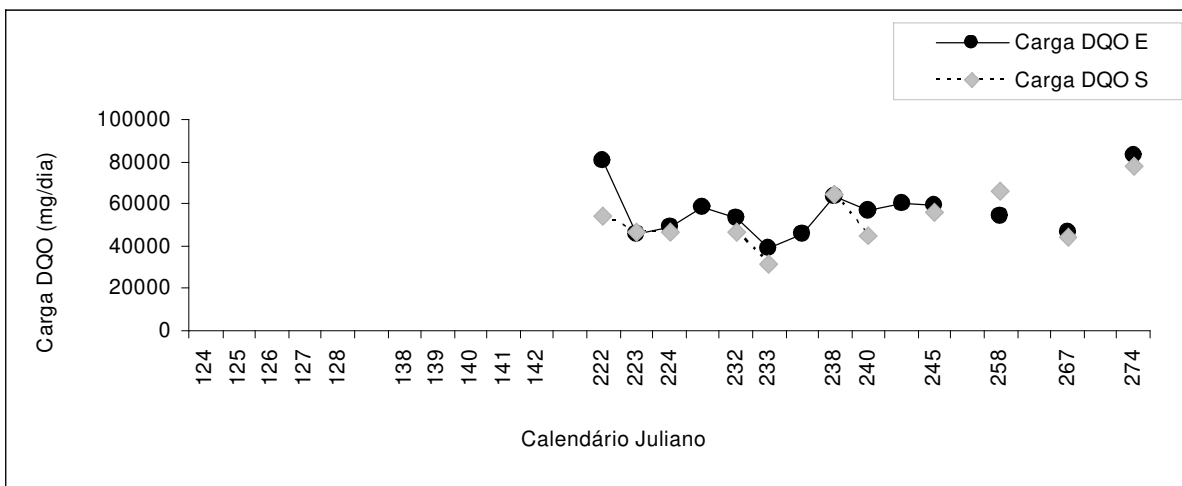


Figura 173. Carga de DQO - médias diárias de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009

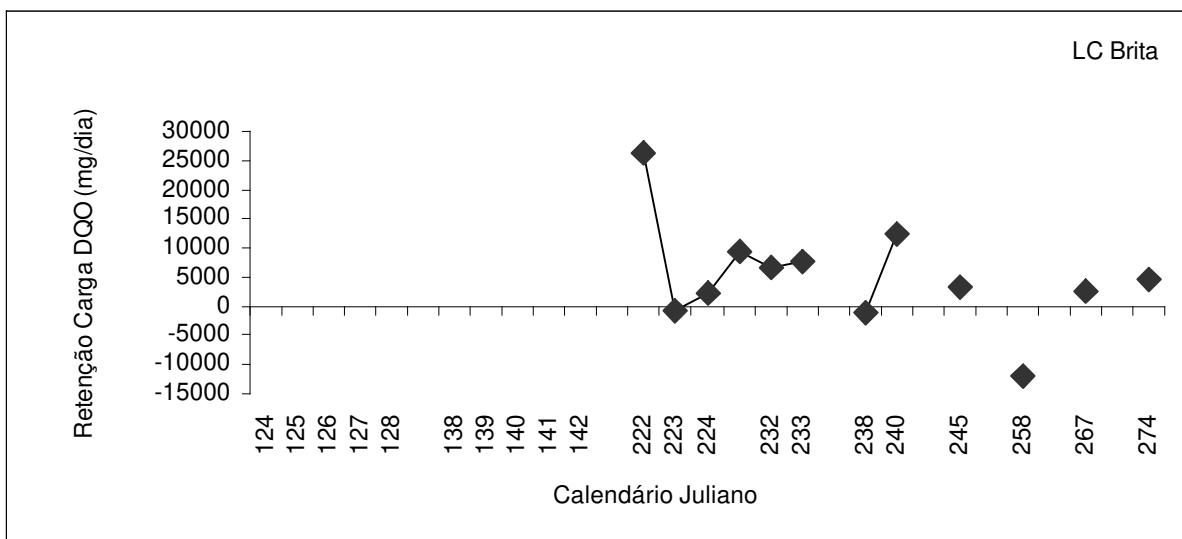


Figura 174. Retenção da carga de DQO ocorrida no LC com brita nos dias monitorados em 2009

e) Oxigênio dissolvido (OD)

A concentração de OD foi monitorada durante 16 dias, sendo 5 dias logo no início do monitoramento e o restante após o dia 11/08/09 (DJ 222). Na Figura 175 podem ser observadas as variações da concentração de OD de entrada e saída para os dias monitorados. Acréscimos na concentração de OD ocorreram em 68,8% do total dos dias monitorados e a partir do 11/08/09 (DJ 222) foram registrados acréscimos em todos os dias. Chegando a

eficiência de 53,1% no dia 02/09/2009 (DJ 245), seguido pelo dia 01/10/2009 com 51,5% de eficiência. Na Figura 176, está apresentada a diferença entre a concentração de entrada e a concentração de saída de OD do LC4.

Comparando-se o LC4 com o LC2 a partir do dia 11/08/09 (DJ 222), observou-se que o LC4 foi eficiente em 100% dos dias, promovendo aumento na concentração de OD, enquanto o LC2 foi eficiente em 12,5% para os mesmos dias analisados.

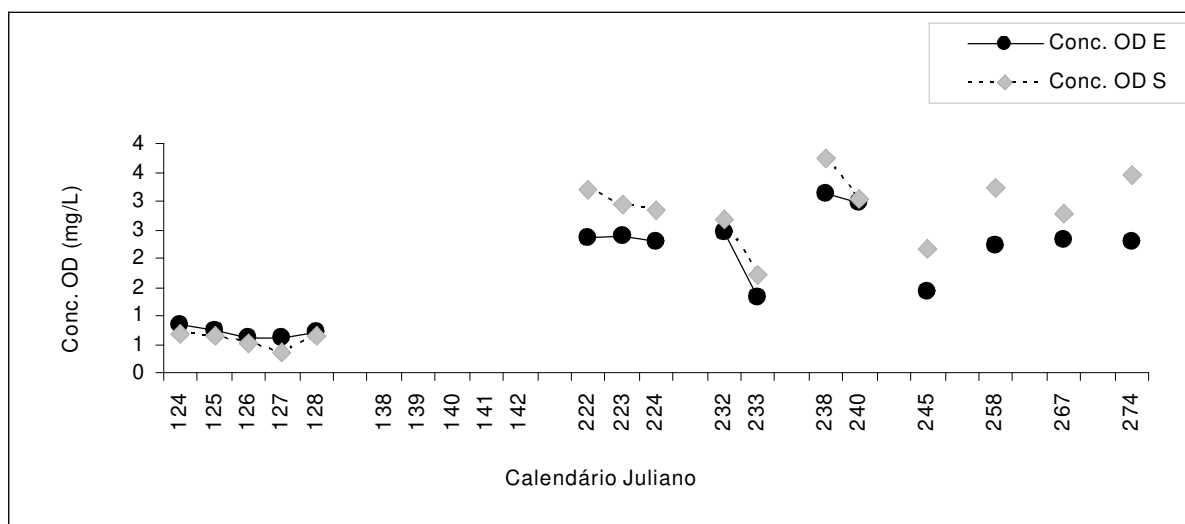


Figura 175. Concentração de OD - médias diárias de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009

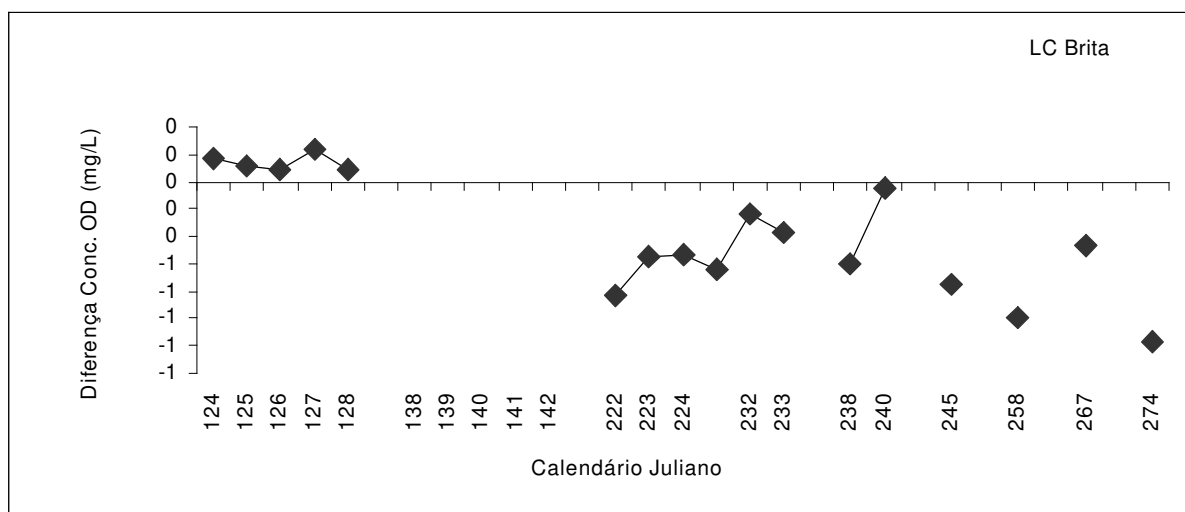


Figura 176. Diferença da concentração de OD de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009*

* Valores negativos significam acréscimo na concentração de OD

f) Potencial hidrogeniônico (pH)

A Figura 177 mostra a variação do pH de entrada e saída nos dias monitorados em 2009. O pH de saída foi maior que o pH de entrada, tornando o meio mais alcalino, em 90,5% dos dias analisados. Comparando-se o LC4 com o LC2, observou-se que o LC4 aumentou o pH em quase todos os dias, enquanto o LC2 diminuiu o pH do meio em todos os dias analisados.

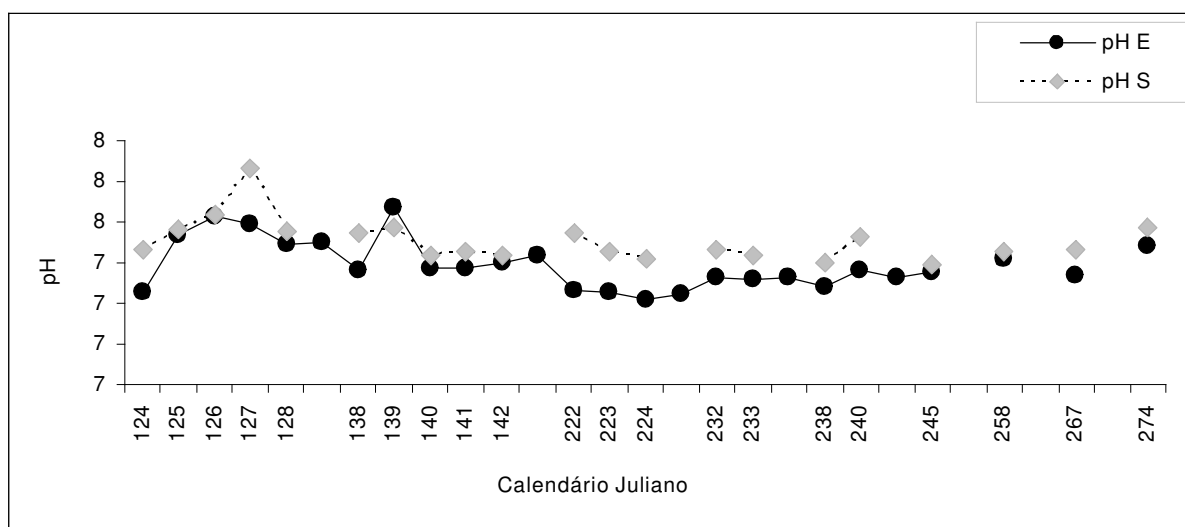


Figura 177. pH - médias diárias de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009

g) Condutividade elétrica (CE)

As variações da CE de entrada e saída no LC4 nos dias monitorados em 2009 podem ser observadas na Figura 178. A CE foi reduzida em 53,4% dos dias monitorados, a maior redução ocorreu no dia 07/05/2009 (DJ 126) com 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e valores de entrada e saída de 890 e 791 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente. O maior aumento da CE ocorreu no dia 11/08/2009 (DJ 222) com valores de entrada de 953 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e de saída 1049 $\mu\text{S}/\text{cm}$. As diferenças entre a CE de entrada e a CE saída podem ser visualizadas na Figura 179.

Comparando-se os dias coincidentes entre o LC4 e o LC2, verificou-se que o LC2 foi mais eficiente na redução da CE com 61,9% dos dias, enquanto o LC4 promoveu redução em 53,4% dos dias monitorados.

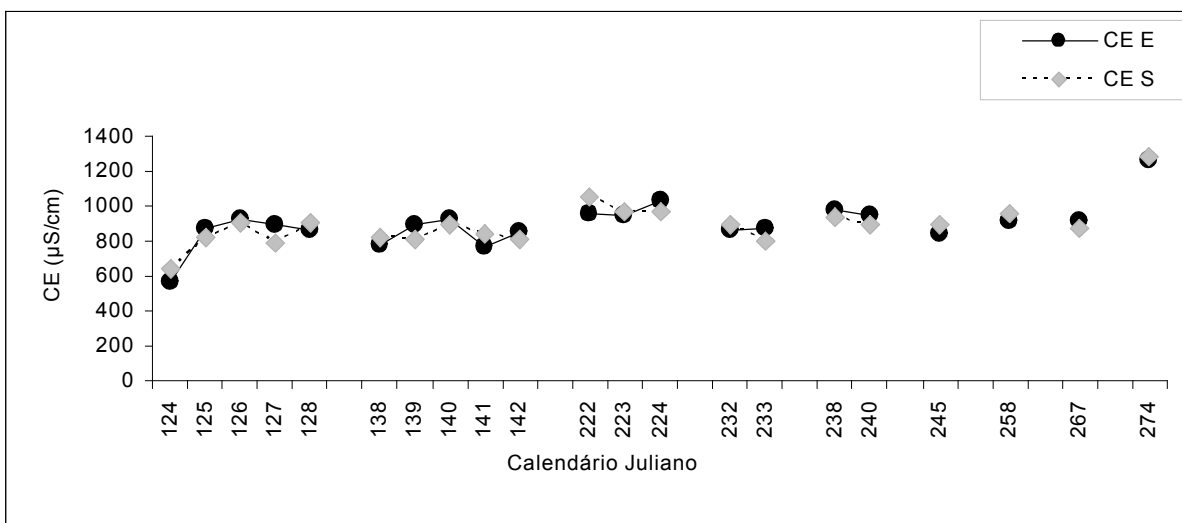


Figura 178. CE - médias diárias de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009

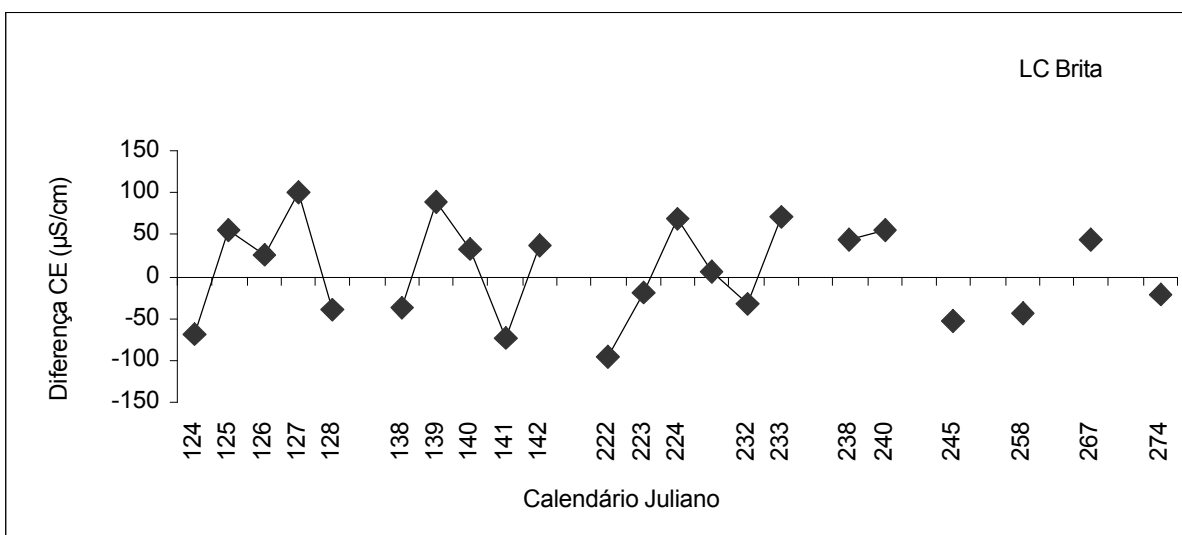


Figura 179. Diferença da CE de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009

h) Temperatura da água (Temp)

Na Figura 180, têm-se a variação da temperatura média da água de entrada e saída do LC4 nos dias monitorados em 2009. As temperaturas de entrada e saída obtiveram maior variação no dia 22/05/09 (DJ 142) no qual a redução foi de 1,6°C, com temperatura de 24,3 °C

(entrada) e 22,7 °C (saída). No dia 02/09/2009 (DJ 245) a temperatura da água do LC teve acréscimo de 0,3°C com valores de 24,3°C (entrada) e de 22,7°C (saída). Na Figura 181, observa-se a diferença na temperatura da água afluente e efluente do LC4.

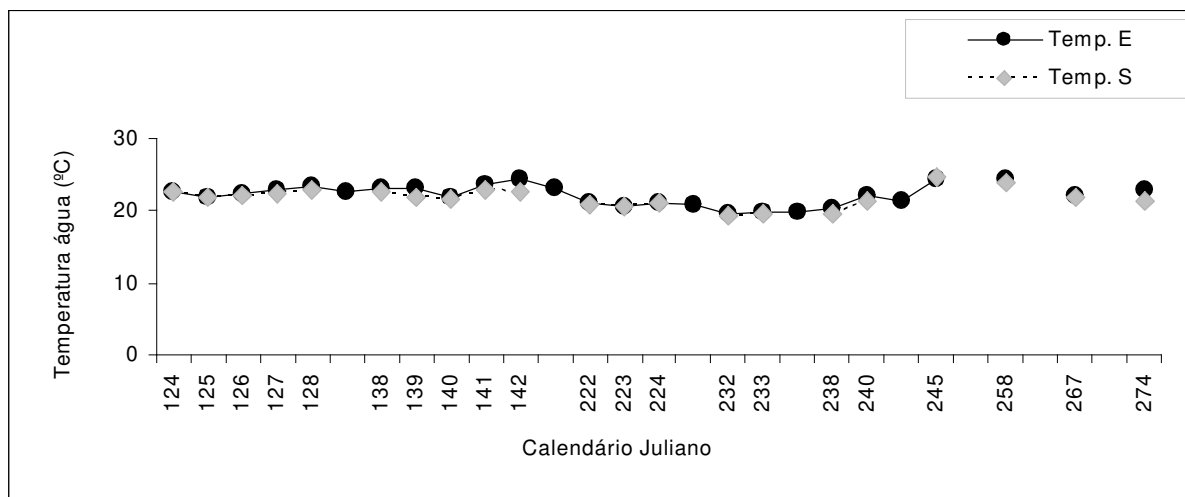


Figura 180. Temperatura da água - médias diárias de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009

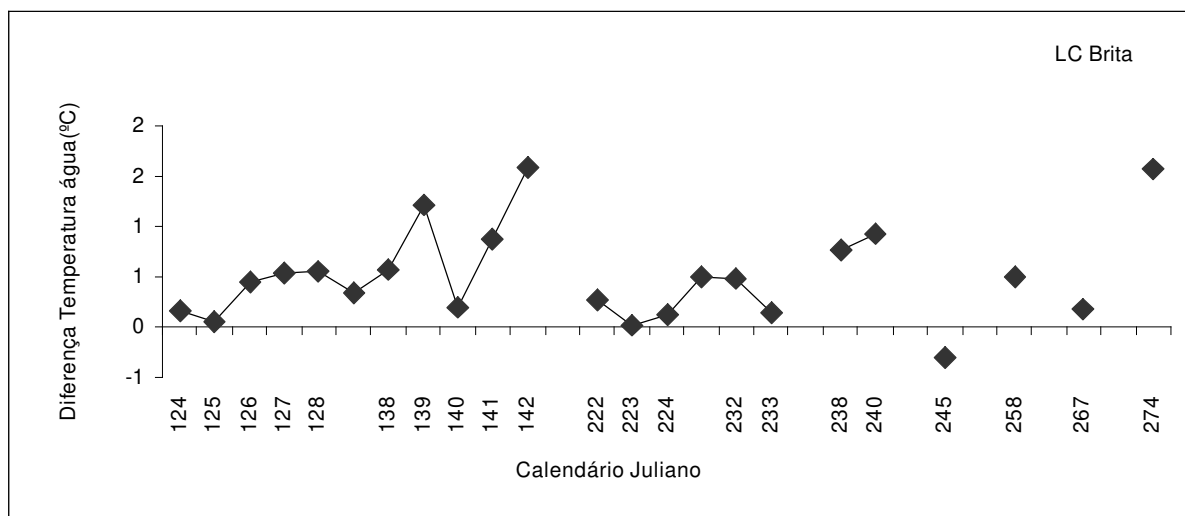


Figura 181. Diferença na temperatura da água de entrada e saída no LC com brita nos dias monitorados em 2009

4.4.4.2.5. Quantidade da água - Escala semanal, período monitorado e período estendido

a) Vazão (Q)

A Tabela 49 apresenta os valores médios de vazão para as nove semanas monitoradas no LC4. A vazão média para o afluente no período monitorado variou de 65,4 a 124 L/dia e para o efluente variou de 64,7 a 120,6 L/dia. A maior taxa de evaporação ocorreu na 2ª semana, com 5 dias de monitoramento (91,2 L/dia) e altura de lâmina d'água evaporada de 22,2 mm/dia, seguida pela 7ª semana, com 1 dia de monitoramento com 55,8 L/dia e 13,6 mm/dia de altura de lâmina d'água perdida. Nessas duas semanas, 2ª e 4ª semana, o TDH foi de 1,2 dias e de 0,9 dias, respectivamente. O maior TDH foi registrado na 4ª semana com 1,6 dias e na 5ª semana com 1,4 dias.

O período monitorado apresentou média e desvio padrão para o afluente e para o efluente de $91,4 \pm 18,7$ e $86,1 \pm 18,0$ L/dia, respectivamente. A taxa de evaporação foi de $53,7 \pm 38,9$ L/dia, a altura da lâmina d'água evaporada foi de $13,1 \pm 9,5$ mm/dia. O TDH médio e o desvio padrão foram de $1,2 \pm 0,3$ dias, com TDH máximo de 1,6 dias e mínimo de 0,9 dias.

Tabela 49. Vazão – média semanal entrada e saída, altura lâmina d'água evaporada e TDH no LC4 nas semanas e no período monitorado

LC4 - Brita						
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Vazão				
		Média semanal (L/dia)		Taxa de evaporação (L/dia)	Altura lâmina d'água evaporada (mm/dia)	TDH (dias)
		Entrada	Saída			
1ª	5	98,9	93,9	50,0	12,2	1,1
2ª	5	87,4	78,3	91,2	22,2	1,2
3ª	3	86,9	82,6	43,2	10,5	1,2
4ª	2	65,4	64,7	7,2	1,8	1,6
5ª	2	75,4	71,3	41,4	10,1	1,4
6ª	1	93,2	88,2	50,4	12,3	1,1
7ª	1	119,7	114,1	55,8	13,6	0,9
8ª	1	124,0	120,6	34,2	8,3	1,0
9ª	1	109,6	104,2	54,0	13,2	1,0
Média e desvio padrão	21	$91,4 \pm 18,7$	$86,1 \pm 18,0$	$53,7 \pm 38,9$	$13,1 \pm 9,5$	$1,2 \pm 0,3$

4.4.4.2.6. Qualidade da água - Escala semanal, período monitorado e período estendido

a) Fósforo total (Pt)

Na Tabela 50 está apresentada a concentração de fósforo total do afluente e do efluente, bem como a retenção e a eficiência de retenção de fósforo total no LC4. Na qual se observa que a maior eficiência positiva ocorreu na 2ª semana com 6,1% e, que a partir da 3ª até a 7ª semana, houve acréscimos chegando a 15,6% na 4ª semana. Na 8ª e 9ª semana a retenção tornou-se novamente positiva. Para o período analisado, a retenção e a eficiência de retenção foram negativas, com média e desvio padrão de $-0,1 \pm 0,4$ mg/L e $-2,3 \pm 10,2\%$, respectivamente. O LC4 foi eficiente na retenção de fósforo total em 33,3% do período monitorado.

No período estendido total ocorreram acréscimos na retenção da concentração de fósforo total no LC4.

Tabela 50. Concentração Fósforo – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC4 nas semanas e no período monitorado

LC4 - Brita					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Média semanal (mg/L)		Conc. P	
		Entrada	Saída	Retenção (mg/L)	Eficiência (%)
1ª	5	3,0	3,0	0,0	-0,4
2ª	3	2,9	2,8	0,1	6,1
3ª	2	2,9	2,9	0,0	-0,4
4ª	2	3,8	4,4	-0,6	-15,6
5ª	2	4,0	4,1	-0,1	-1,9
6ª	1	3,8	4,3	-0,5	-13,8
7ª	1	4,9	5,6	-0,7	-14,4
8ª	1	3,8	3,6	0,2	5,3
9ª	1	4,1	4,1	0,0	1,0
Média e desvio padrão	18	3,4±0,7	3,5±0,9	-0,1±0,4	-2,3±10,2

Na Tabela 51 estão apresentadas as cargas de entrada e saída, a retenção e a eficiência de retenção para as cargas de fósforo total no LC4. A maior eficiência de retenção ocorreu na 2ª e na 8ª semana, ambas com 9,2% de eficiência. O número de semanas com eficiência positiva aumentou consideravelmente, em relação à concentração de fósforo total. No período

monitorado ocorreu retenção positiva em 66,7% do período. A média e o desvio padrão foram $64,0 \pm 337,7$ mg/dia (retenção) e $2,4 \pm 11,0\%$ (eficiência).

No período estendido total a retenção da carga de fósforo total no LC4 foi de 6,8 g/período.

Tabela 51. Carga Fósforo – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC4 nas semanas e no período monitorado

Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	LC4 - Brita		Carga P	
		Média semanal (mg/dia)		Retenção (mg/dia)	Eficiência (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	5	2.728,2	2.530,6	197,6	7,2
2 ^a	3	2.722,6	2.473,0	249,6	9,2
3 ^a	2	2.569,2	2.852,3	-283,1	-11,0
4 ^a	2	2.716,8	2.613,7	103,1	3,8
5 ^a	2	3.201,9	3.351,2	-149,3	-4,7
6 ^a	1	5.785,6	6.315,7	-530,2	-9,2
7 ^a	1	2.462,0	2.574,8	-112,8	-4,6
8 ^a	1	4.762,7	4.324,1	438,5	9,2
9 ^a	1	4.503,3	4.225,8	277,5	6,2
Média e desvio padrão	18	3.127,7$\pm$1.023,9	3.063,7$\pm$1.110,8	64,0$\pm$337,7	2,4$\pm$11,0

b) Nitrato (NO₃)

Na Tabela 52 encontram-se os valores médios semanais e o desvio padrão para o afluente, efluente, retenção e eficiência de retenção para a concentração de nitrato no LC4. A maior eficiência de retenção ocorreu na 3^a semana com 13,3%. No período monitorado a média e o desvio padrão do afluente foi $1,2 \pm 0,3$ mg/L e do efluente foi $1,3 \pm 0,3$ mg/L, com acréscimo de $0,1 \pm 0,3$ mg/L e eficiência também negativa de $16,8 \pm 38,8\%$. Nesse período monitorado a retenção positiva ou igual a zero ocorreu em 57,1% das semanas monitoradas.

Tabela 52. Concentração de Nitrato – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC4 nas semanas e no período monitorado

		LC4 - Brita			
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Conc. NO ³⁻			
		Média semanal (mg/L)		Retenção (mg/L)	Eficiência (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	-	-	-	-	-
2 ^a	-	-	-	-	-
3 ^a	1	1,5	1,3	0,2	13,3
4 ^a	1	0,9	0,9	0,0	0,0
5 ^a	1	1,3	1,2	0,1	7,7
6 ^a	1	1,3	1,5	-0,2	-15,4
7 ^a	1	0,8	1,6	-0,8	-100,0
8 ^a	1	1,3	1,6	-0,3	-23,1
9 ^a	1	1,3	1,3	0,0	0,0
Média e desvio padrão	7	1,2±0,3	1,3±0,3	-0,1±0,3	-16,8±38,8

Na Tabela 53 estão expostas as cargas médias semanais de nitrato para o LC4. As reduções médias na carga de nitrato foram maiores na 3^a semana com 206,6 mg/dia e na 5^a semana com 109,8 mg/dia a eficiência de retenção foi de 16,3% e 10,9%, respectivamente. O maior acréscimo foi de 90,7%, ocorrendo na 7^a semana com 868,3 mg/dia. As cargas médias de nitrato foram reduzidas em 57,1% das semanas monitoradas. A média e o desvio padrão para as cargas de nitrato no período monitorado foram de 1.140,2±362,5 mg/dia para o afluente, de 1.269,0±507,3 mg/dia para o efluente, com acréscimo de 128,8±367,5 mg/dia e eficiência negativa de 12,3±36,6%.

No período estendido total não foram registrados acréscimos na retenção da carga de nitrato.

Tabela 53. Carga de Nitrato – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC4 nas semanas e no período monitorado

LC4 - Brita					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Carga NO ³⁻			
		Média semanal (mg/dia)		Retenção (mg/dia)	Eficiência (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	-	-	-	-	-
2 ^a	-	-	-	-	-
3 ^a	1	1.269,0	1.062,4	206,6	16,3
4 ^a	1	499,0	490,9	8,1	1,6
5 ^a	1	1.006,2	896,4	109,8	10,9
6 ^a	1	1.212,1	1.323,0	-110,9	-9,1
7 ^a	1	957,6	1.825,9	-868,3	-90,7
8 ^a	1	1.612,3	1.929,6	-317,3	-19,7
9 ^a	1	1.425,1	1.354,9	70,2	4,9
Média e desvio padrão	7	1.140,2±362,5	1.269,0±507,3	-128,8±367,5	-12,3±36,6

c) Nitrogênio amoniacal (NH³)

Na Tabela 54 encontram-se as médias semanais de entrada e saída, a retenção e a eficiência de retenção para a concentração do nitrogênio amoniacal no LC4. Onde a máxima retenção ocorreu na 5^a semana com 4,1 mg/L e 10,3% de eficiência. No período monitorado o LC4 apresentou retenção positiva em 42,9% das semanas. A média e o desvio padrão para o afluente e para o efluente foi 32,9±5,6 mg/L e 33,0±5,4 mg/L, respectivamente. Com acréscimo de 0,2±3,6 mg/L e eficiência negativa de 1,2±11,6%.

Tabela 54. Concentração de nitrogênio amoniacal – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC4 nas semanas e no período monitorado

LC4 - Brita					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Conc. NH ³			
		Média semanal (mg/L)		Retenção (mg/L)	Eficiência (%)
		Entrada	saída		
1 ^a	-	-	-	-	-
2 ^a	-	-	-	-	-
3 ^a	3	25,3	26,3	-1,0	-4,5
4 ^a	2	32,8	32,4	0,5	1,4
5 ^a	2	39,7	35,6	4,1	10,3
6 ^a	1	34,4	34,5	-0,1	-0,3
7 ^a	1	36,4	38,8	-2,4	-6,6
8 ^a	1	34,2	40,2	-6,0	-17,5
9 ^a	1	35,8	35,3	0,5	1,4
Média e desvio padrão	11	32,9±5,6	33,0±5,4	-0,2±3,6	-1,2±11,6

A Figura 55 apresenta a carga média do nitrogênio amoniacal do afluente, do efluente, a retenção e a eficiência de retenção do NH³ no LC4. Sendo que a maior retenção positiva ocorreu na 5^a semana com 4.563,9 mg/dia e 15,3% de eficiência, seguida pela 9^a semana com 2.454,3 mg/dia e retenção de 6,3% de eficiência. No período monitorado a retenção positiva ocorreu em 71,4% das semanas monitoradas, apresentando média e desvio padrão de 29.666,1±9.098,3 mg/dia (afluente), 28.860,1±10.219,5 mg/dia (efluente), com retenção de 806,0±3.621,2 mg/dia e eficiência de 2,9±12,4%.

Considerando os mesmos dias monitorados para o LC4 e para o LC2, observou-se que ambos os LC obtiveram, praticamente, a mesma quantidade de carga retida, 806,0 mg/dia para o LC4 e 814,4 mg/dia para o LC2.

A carga retida no período estendido total, para o LC4, foi de 85,4 g/período.

Tabela 55. Carga de nitrogênio amoniacal – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC4 nas semanas e no período monitorado

LC4 - Brita					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Carga NH ³			
		Média semanal (mg/dia)		Retenção (mg/dia)	Eficiência (%)
		Entrada	saída		
1 ^a	-	-	-	-	-
2 ^a	-	-	-	-	-
3 ^a	3	22.108,6	21.564,0	544,6	2,5
4 ^a	2	21.491,0	21.101,5	389,5	1,8
5 ^a	2	29.857,5	25.293,6	4.563,9	15,3
6 ^a	1	32.074,6	30.429,0	1.645,6	5,1
7 ^a	1	43.570,8	44.278,6	-707,8	-1,6
8 ^a	1	42.414,8	48.481,2	-6.066,4	-14,3
9 ^a	1	39.244,0	36.789,7	2.454,3	6,3
Média e desvio padrão	11	29.666,1±9.098,3	28.860,1±10.219,5	806,0±3.621,2	2,9±12,4

d) Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Na Tabela 56, observam-se as médias semanais da concentração de DQO no LC4. A máxima retenção para esse LC ocorreu na 4^a semana com 10,7 mg/L e 15,1% de eficiência. O período monitorado apresentou média e desvio padrão de retenção de 3,2±10,2 mg/L e eficiência de retenção de 3,4±15,2%. Nesse período a retenção positiva da concentração de DQO ocorreu em 85,7% das semanas monitoradas.

Tabela 56. Concentração de DQO – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC4 nas semanas e no período monitorado

LC4 - Brita					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Conc. DQO			
		Média semanal (mg/L)		Retenção (mg/L)	Eficiência (%)
		Entrada	saída		
1 ^a	-	-	-	-	-
2 ^a	-	-	-	-	-
3 ^a	3	66,6	59,7	6,8	7,7
4 ^a	2	70,4	59,8	10,7	15,1
5 ^a	2	80,0	77,6	2,5	4,2
6 ^a	1	63,7	63,4	0,2	0,4
7 ^a	1	45,5	58,2	-12,6	-27,8
8 ^a	1	37,3	36,4	1,0	2,7
9 ^a	1	75,5	75,0	0,5	0,7
Média e desvio padrão	11	65,7±15,1	62,4±14,1	3,2±10,2	3,4±15,2

A Tabela 57 apresenta as cargas médias semanais do período monitorado para o LC4. A maior retenção na carga ocorreu na 3ª semana com 9.253,3 mg/dia, seguida pela 4ª semana com 7.155,0 mg/dia e eficiência de retenção de 15,8% e 16,1%, respectivamente. No período monitorado a média e o desvio padrão para o afluente foi de 57.395,9±13.835,1 mg/dia e para o efluente de 52.689,2±13.000,9 mg/dia com retenção de 4.706,7±9.420,6 mg/dia e eficiência de retenção de 7,5±14,3%.

Comparando o LC4 com o LC2, para as mesmas semanas analisadas, verificou-se que o LC2 foi superior ao LC4. A média de retenção no LC2 foi de 32.537,7±23.117,5 mg/dia e eficiência de 29,8±24,8%, enquanto no LC4 a retenção foi de 4.706,7±9.420,6 mg/dia e 7,5±14,3% de eficiência, demonstrando a maior eficiência do LC2, com plantas, em relação ao LC4, sem plantas.

No período estendido total a carga retida de DQO foi de 498,9 g/período.

Tabela 57. Carga de DQO – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC4 nas semanas e no período monitorado

Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	LC4 - Brita			
		Carga DQO			
		Média semanal (mg/dia)		Retenção (mg/dia)	Eficiência (%)
		Entrada	saída		
1ª	-	-	-	-	-
2ª	-	-	-	-	-
3ª	3	58.603,1	49.349,8	9.253,3	15,8
4ª	2	46.073,4	38.918,4	7.155,0	16,1
5ª	2	60.237,3	54.701,9	5.535,4	9,8
6ª	1	59.351,9	55.945,3	3.406,7	5,7
7ª	1	54.511,4	66.395,0	-11.883,6	-21,8
8ª	1	46.309,1	43.838,1	2.471,0	5,3
9ª	1	82.752,1	78.112,9	4.639,2	5,6
Média e desvio padrão	11	57.395,9±13.835,1	52.689,2±13.000,9	4.706,7±9.420,6	7,5±14,3

e) Oxigênio Dissolvido (OD)

Na Tabela 58 pode-se observar a concentração de entrada e saída de OD, além da diferença de concentração de entrada e saída e a eficiência de acréscimo. O maior acréscimo ocorreu na 6ª semana com diferença de 0,8 mg/L e 53,1% de eficiência de acréscimo, seguida pela 9ª semana com 1,2 mg/L e eficiência de 51,5% e pela 7ª semana com 1,0 mg/L e

eficiência de acréscimo de 44,8%. Sendo que a 9ª e a 7ª semana foram monitoradas por 1 dia. No período monitorado ocorreram acréscimos na concentração de OD em 87,5% das semanas monitoradas, onde a média e o desvio padrão para a diferença de entrada e saída foi negativa com $0,4 \pm 0,4$ mg/L e $28,2 \pm 16,6\%$ para a eficiência de acréscimo. Em comparação com o LC2, o LC4 foi mais eficiente no acréscimo de OD.

Tabela 58. OD – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC4 nas semanas e no período monitorado

Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	LC4 - Brita			
		OD			
		Média semanal (mg/L)		Diferença entrada-saída (mg/L)	Eficiência (%)
		Entrada	saída		
1ª	5	0,7	0,6	0,1	19,5
2ª	-	-	-	-	-
3ª	3	2,3	3,0	-0,6*	-27,4*
4ª	2	1,9	2,2	-0,3*	-16,1*
5ª	2	3,1	3,4	-0,3*	-10,6*
6ª	1	1,4	2,2	-0,8*	-53,1*
7ª	1	2,2	3,2	-1,0*	-44,8*
8ª	1	2,3	2,8	-0,5*	-19,9*
9ª	1	2,3	3,5	-1,2*	-51,5*
Média e desvio padrão	16	1,8±0,9	2,2±1,2	-0,4±0,4	-28,2±16,6

*Valores negativos indicam acréscimo de OD

f) Potencial hidrogeniônico (pH)

Na Tabela 59 têm-se os valores de pH no LC4 ao longo das semanas monitoradas, na qual se observa que os valores de pH de saída foram superiores aos valores do pH de entrada, no entanto esses aumentos não ultrapassaram 0,2.

O aumento no pH do LC4 ocorreu em praticamente todo o período monitorado. Onde a média e o desvio padrão do pH do afluente foi de $7,4 \pm 0,1$ e do efluente de $7,5 \pm 0,1$. A diferença entre o pH de entrada e saída foi negativa, indicando aumento do pH de $0,1 \pm 0,1$.

Tabela 59. pH – média semanal entrada e saída, diferença entrada – saída do LC4 nas semanas e no período monitorado

LC4 - Brita				
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	pH		
		Média semanal		Diferença entrada-saída
		Entrada	saída	
1 ^a	5	7,5	7,6	-0,1
2 ^a	5	7,4	7,5	-0,1
3 ^a	3	7,2	7,5	-0,2
4 ^a	2	7,3	7,5	-0,1
5 ^a	2	7,3	7,5	-0,1
6 ^a	1	7,4	7,4	0,0
7 ^a	1	7,4	7,5	0,0
8 ^a	1	7,3	7,5	-0,1
9 ^a	1	7,5	7,6	-0,1
Média e desvio padrão	21	7,4±0,1	7,5±0,1	-0,1±0,1

g) Condutividade elétrica (CE)

A CE do LC4 está apresentada na Tabela 60, na qual se observa que a CE de entrada foi reduzida em 44,4% das semanas monitoradas. Sendo que a maior redução ocorreu na 2^a semana com 57 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e valores de 893 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (entrada) e 836 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (saída), seguido pela 5^a semana com redução de 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e valores de entrada de 966 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e de saída de 917 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e pela 8^a semana com redução de 44 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e valores de 917 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para a entrada e 872 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para a saída.

A média e o desvio padrão da CE no período monitorado foram de 900±126 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para o afluente e de 893±124 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para o efluente. A eficiência média de retenção foi negativa em 7±59%.

Tabela 60. CE – média semanal entrada e saída, diferença entrada – saída do LC4 nas semanas e no período monitorado

LC4 - Brita				
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	CE		
		Média semanal ($\mu\text{S/cm}$)		Diferença entrada-saída ($\mu\text{S/cm}$)
		Entrada	saída	
1 ^a	5	808	810	-3
2 ^a	5	893	836	57
3 ^a	3	977	993	-15
4 ^a	2	865	847	18
5 ^a	2	966	917	50
6 ^a	1	733	895	-162
7 ^a	1	900	961	-61
8 ^a	1	917	872	44
9 ^a	1	1267	1289	-22
Média e desvio padrão	21	900$\pm$126	893$\pm$124	7$\pm$59

h) Temperatura da água (Temp)

A temperatura da água do afluente e do efluente do LC4, nas semanas monitoradas pode ser visualizada na Tabela 61. A maior diferença de temperatura da água ocorreu na 9^a semana com 1,6°C e valores de 23,0 e 21,4 para entrada e saída, respectivamente. Seguida pela 2^a semana com 0,9°C de diferença e valores de 23,2 para a entrada e de 22,3 para a saída.

A média e o desvio padrão temperatura da água para o afluente foi de 22,3 $\pm$ 1,4°C e do efluente de 21,8 $\pm$ 1,4°C e diferença entre ambos de 0,5 $\pm$ 0,5°C.

Tabela 61. Temperatura da água – média semanal entrada e saída, diferença entrada – saída do LC4 nas semanas e no período monitorado

LC4 - Brita				
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Temperatura		
		Média semanal (°C)		Diferença entrada-saída (°C)
		Entrada	saída	
1 ^a	5	22,7	22,4	0,3
2 ^a	5	23,2	22,3	0,9
3 ^a	3	20,9	20,8	0,1
4 ^a	2	19,7	19,4	0,3
5 ^a	2	21,3	20,4	0,8
6 ^a	1	24,3	24,6	-0,3
7 ^a	1	24,4	23,9	0,5
8 ^a	1	22,2	22,0	0,2
9 ^a	1	23,0	21,4	1,6
Média e desvio padrão	21	22,3$\pm$1,4	21,8$\pm$1,4	0,5$\pm$0,5

4.4.5. Leito cultivado com *Colocasia esculenta* (LC5)

4.4.5.1. Monitoramento da vegetação do LC5

A vegetação do LC5 desenvolveu-se rápido, e três meses após o plantio o LC estava praticamente todo coberto pela vegetação. A Figura 182 mostra o LC5 no dia do plantio (11/02/2009), o desenvolvimento da vegetação, aos 45 dias (24/03/2009) e aos 90 dias após plantio (13/05/2009).

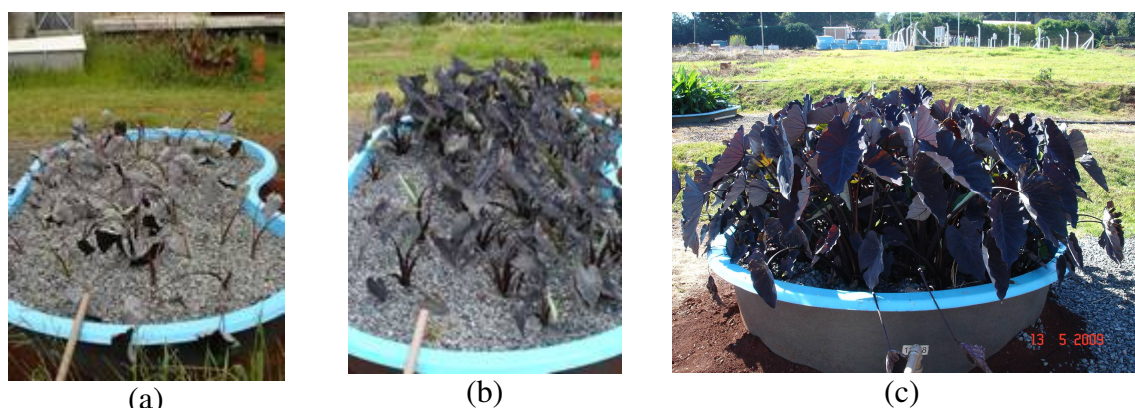


Figura 182. Desenvolvimento da vegetação do LC com *Colocasia esculenta*. (a) no dia do plantio em 11/02/09; (b) 45 dias após o plantio no dia 24/03/2009 e (c) 90 dias após o plantio em 13/05/2009.

A poda da vegetação foi realizada no dia 14/08/2009. Nessa semana as plantas apresentavam altura média de 33,5cm e altura máxima de aproximadamente 70 cm como pode ser observada na Figura 183. Na mesma figura também se pode visualizar o desenvolvimento da vegetação no mês de junho e na semana da poda em agosto de 2009. Na Figura 184 apresenta-se a altura média da vegetação durante todo o período de monitoramento, março a outubro.



Figura 183. LC com *Colocasia esculenta*. (a) Altura máxima da vegetação; (b) Desenvolvimento da vegetação antes da poda no mês de junho, 5 meses após plantio; (c) Desenvolvimento da vegetação na semana da poda em agosto de 2009.

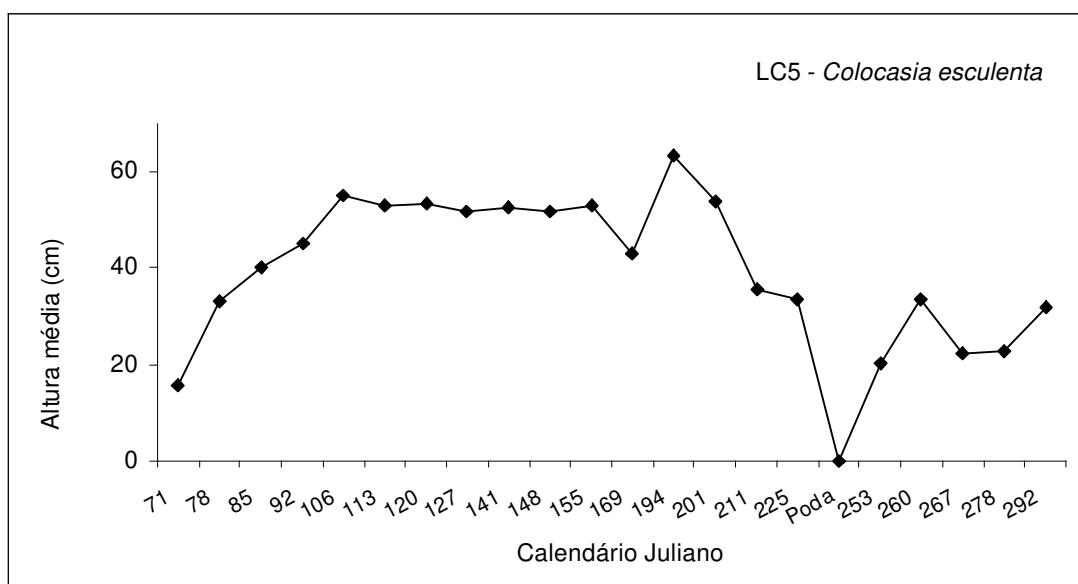


Figura 184. Altura média das plantas de *Colocasia esculenta* no LC no período de março a outubro de 2009.

Após a poda a vegetação recuperou-se rapidamente como pode ser observado na Figura 185, onde se tem a vegetação, uma semana após a poda no dia 21/08/2009, 45 dias após a poda, no dia 21/09/2009 e no dia 19/10/2009, quando a altura média das plantas estava em aproximadamente 31,9cm. A evolução do número de plantas no LC5 desde o plantio até a poda e a recuperação das mesmas após a poda, pode ser visualizada na Figura 186.



Figura 185. Recuperação da vegetação do LC com *Colocasia esculenta* após a poda. (a) 5 dias após a poda no dia 21/08/2009; (b) 45 dias após a poda no dia 21/09/2009 e (c) 50 dias após a poda no dia 01/10/2009.

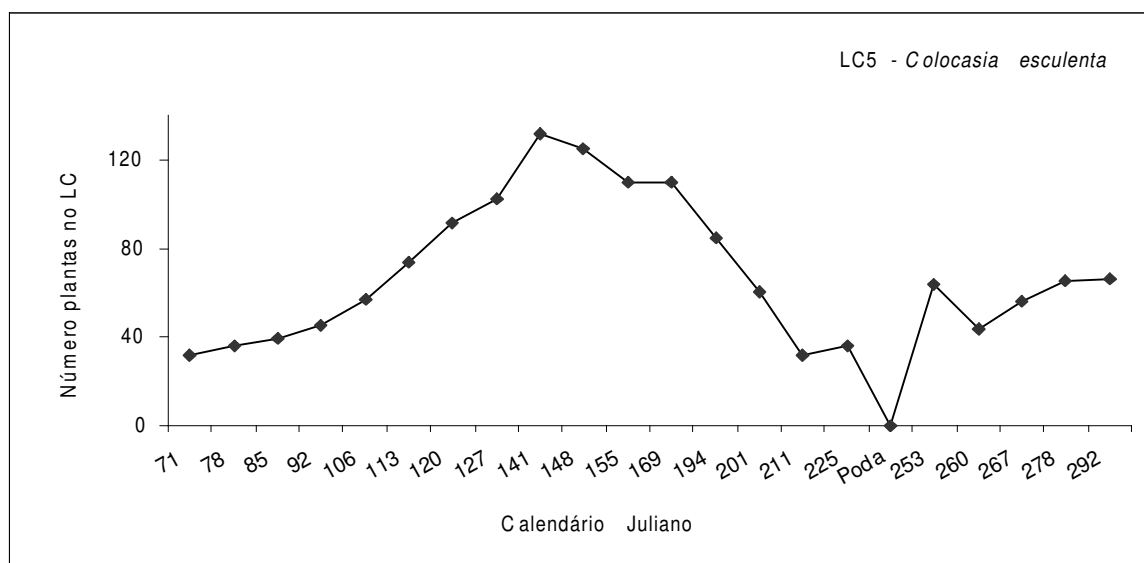


Figura 186. Evolução do número de plantas de *Colocasia esculenta* no LC no período de fevereiro a outubro de 2009.

a) Índice de área foliar (IAF), produção de biomassa e exportação de nutrientes da *Colocasia esculenta*

O IAF médio na vegetação de *Colocasia esculenta* no período anterior à poda foi de 1,5, chegando ao máximo de 3,4 em maio de 2009. Após a poda, a média do IAF foi de 0,2 e no último dia de monitoramento o IAF medido estava em 0,4. A Figura 187 apresenta o IAF desde o início do monitoramento em 13/03/2009, a poda em 14/08/2009 e o retorno do monitoramento após a poda, no dia 10/09/2009, até o término do monitoramento no dia 19/10/2009. Observa-se também que essa vegetação apresentou um rápido crescimento chegando a um IAF máximo e decrescendo em seguida.

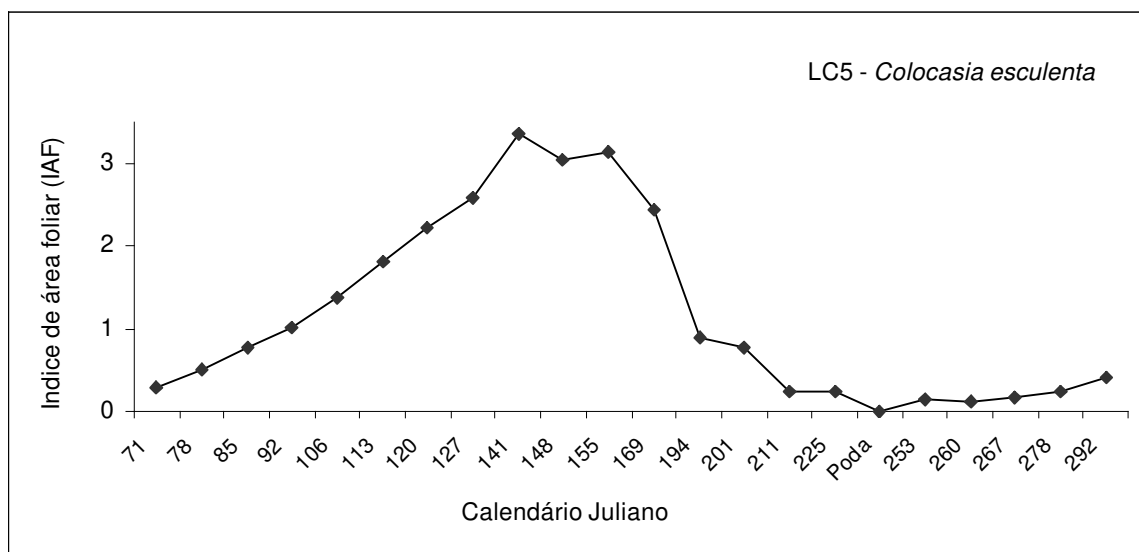


Figura 187. Índice de área foliar (IAF) no LC com *Colocasia esculenta* no período de março a outubro de 2009.

A quantidade de biomassa verde produzida a partir da poda da vegetação desse LC, foi de 5,50 Kg e a biomassa seca foi de 0,80 Kg. A partir da análise foliar realizada em laboratório especializado, verificou-se a quantidade de nitrogênio e fósforo fixada na planta. Para o nitrogênio a fixação foi de 37,2 g/kg e para o fósforo a fixação foi de 6,8 g/kg. Considerando-se a biomassa seca total, a planta exportou um total de 29,8 g de N e 5,4 g de P. Ao considerar a exportação de N e P por metro quadrado, tem-se que as plantas de *Colocasia esculenta* exportaram 7,1 g/m² e 1,3 g/m², respectivamente, no período de 5 meses de desenvolvimento (desde o plantio até a poda).

4.4.5.2. Monitoramento da água no leito cultivado com *Colocasia esculenta* (LC5)

4.4.5.2.1. Quantidade da água - Escala horária

a) Vazão (Q)

As vazões horárias de entrada e de saída, nos dias 17/06/2009 e 18/06/2009 podem ser observadas na Figura 188. Verifica-se que as vazões de entrada e saída foram praticamente iguais ao longo do dia 17/06/2009, sendo que a taxa de evapotranspiração e a altura da lâmina d'água perdida para esse dia foram de 10,8 L/dia e 2,6 mm/dia, respectivamente. Enquanto no

dia 18/06/2009, as vazões de entrada apresentaram oscilações ao longo do dia, e a taxa de evapotranspiração foi maior que o dia anterior, com 106,2 L/dia e altura da lâmina d'água perdida de 25,9mm/dia. O TDH no dia 17/06/2009, foi de 1,3 dias, e, no dia 18/06/2009 foi de 0,9 dias.

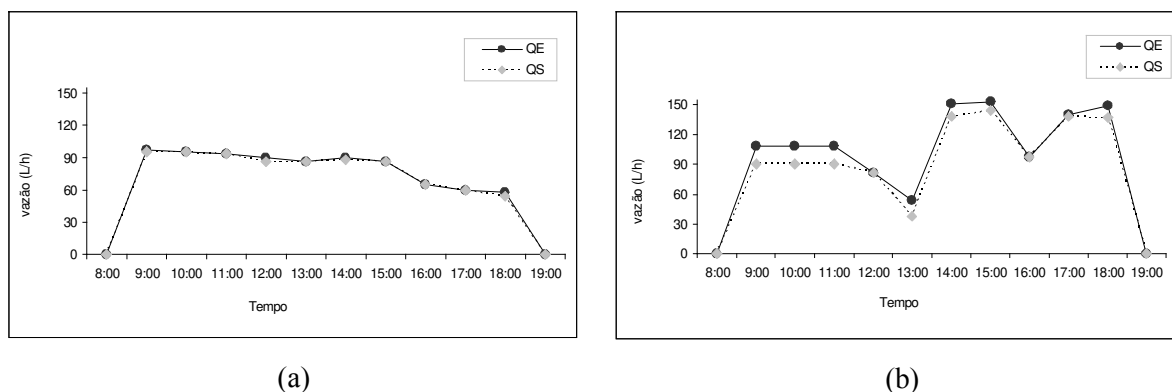
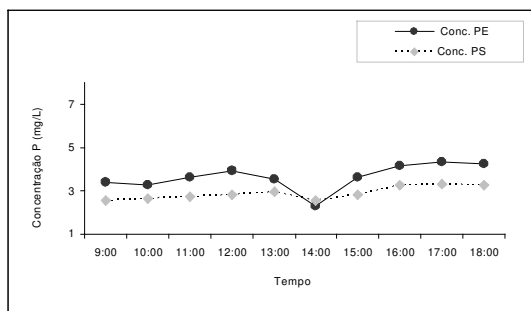


Figura 188. Vazão horária de entrada (QE) e saída (QS) no LC com *Colocasia esculenta*, para os dias 17/06/2009 (a) e 18/06/2009 (b).

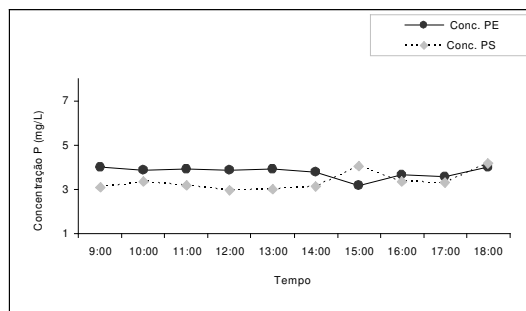
4.4.5.2.2. Qualidade da água - Escala horária

a) Fósforo total (PT)

O comportamento da concentração de fósforo total no LC5, nos dias 17 e 18/06/2009, podem ser observados na Figura 189. Onde no dia 17/06/2009 ocorreu retenção positiva em 90% das horas analisadas e a eficiência diária foi de 192,6%. No dia 18/06/2009 a retenção positiva ocorreu em 80% do dia com eficiência de 103,1%. Na Figura 190, podem ser observadas as retenções de fósforo total para os dias 17 e 18/06/2009.

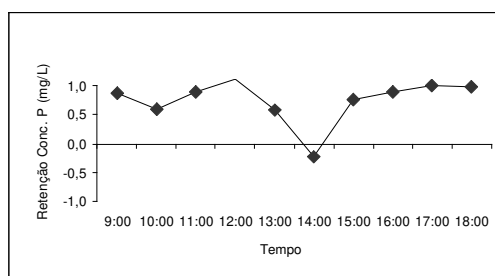


(a)

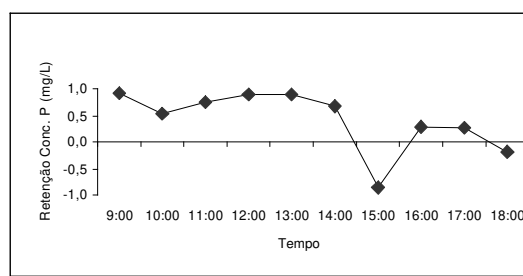


(b)

Figura 189. Concentração horária de fósforo total de entrada (Conc. PE) e saída (Conc. PS) do LC com *Colocasia esculenta*, para os dias 17/06/2009 (a) e 18/06/2009 (b).



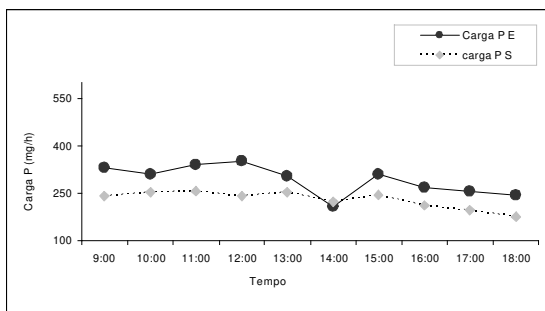
(a)



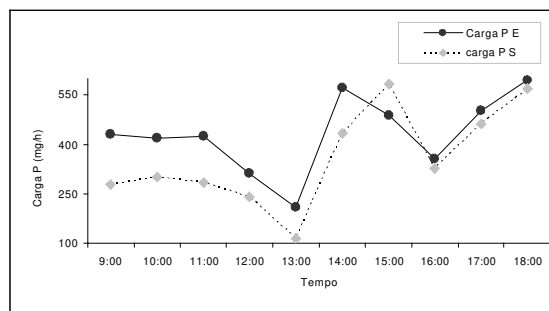
(b)

Figura 190. Retenção da concentração de fósforo total no LC com *Colocasia esculenta*, para os dias 17/06/2009 (a) e 18/06/2009 (b).

O balanço de massa para as cargas horárias de entrada e saída de fósforo total nos dias 17 e 18/06/2009 podem ser observadas na Figura 191. A carga total retida no LC5, no dia 17/06/2009, foi de 625,1 mg/dia com eficiência de retenção de 203,8%. No dia 18/06/2009, a carga retida foi de 720,0 mg/dia com eficiência de retenção de 191,2%. As retenções efetivas dos dias 17 e 18/06/2009 podem ser observadas na Figura 192.

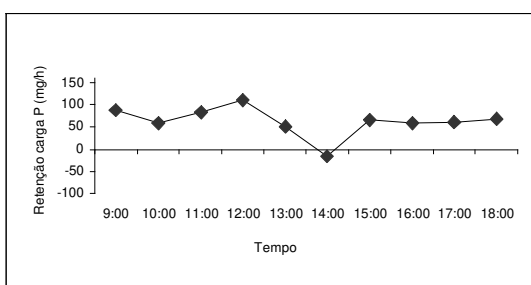


(a)

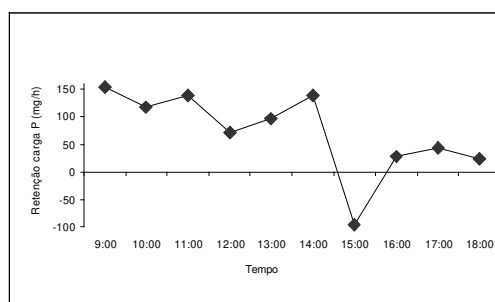


(b)

Figura 191. Carga horária de fósforo total de entrada (Carga PE) e saída (Carga PS) no LC com *Colocasia esculenta*, para os dias 17/06/2009 (a) e 18/06/2009 (b).



(a)

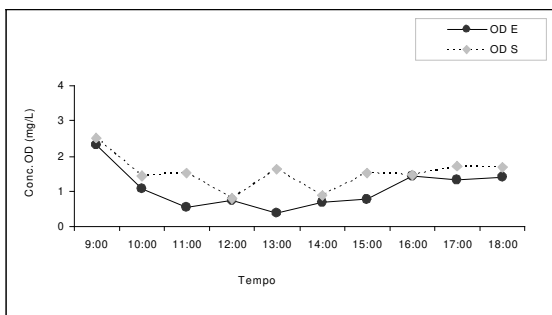


(b)

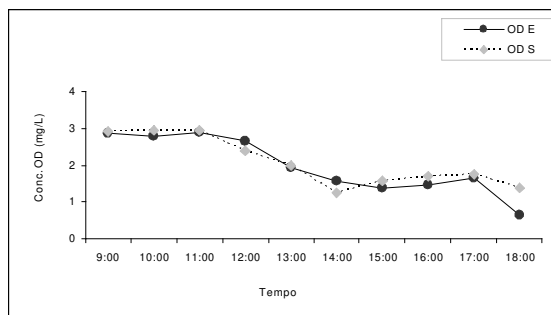
Figura 192. Retenção da carga de fósforo total no LC com *Colocasia esculenta*, para os dias 17/06/2009 (a) e 18/06/2009 (b).

b) Oxigênio dissolvido (OD)

A concentração diária de OD de entrada e saída para os dias 17 e 18/06/2009 pode ser observada na Figura 193. No dia 17/06/2009 o aumento da concentração de OD ocorreu em 100% do dia. Sendo que às 13:00 h o acréscimo foi mais significativo, com 1,22mg/L, os valores foram 0,40mg/L (entrada) e 1,62 (saída). No dia 18/06/2009 o aumento ocorreu em 80% do dia e o maior acréscimo foi às 18:00h com 0,75mg/L e com valores de 0,64mg/L (entrada) e de 1,39mg/L (saída). O aumento na concentração de OD no LC5 pode ser observado na Figura 194.

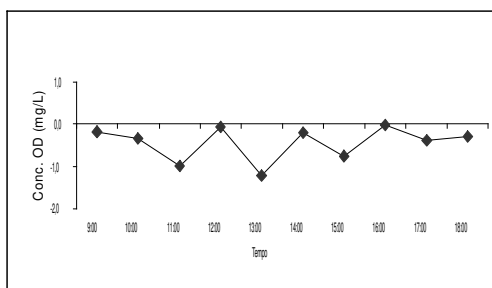


(a)

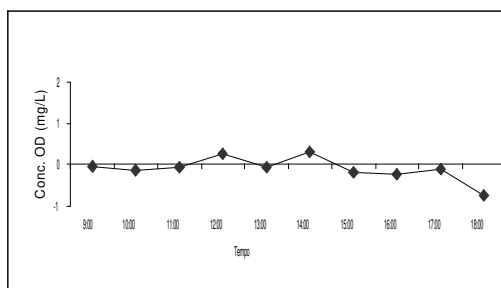


(b)

Figura 193. Concentração horária de OD de entrada (OD E) e saída (OD S) no LC com *Colocasia esculenta*, para os dias 17/06/2009 (a) e 18/06/2009 (b).



(a)

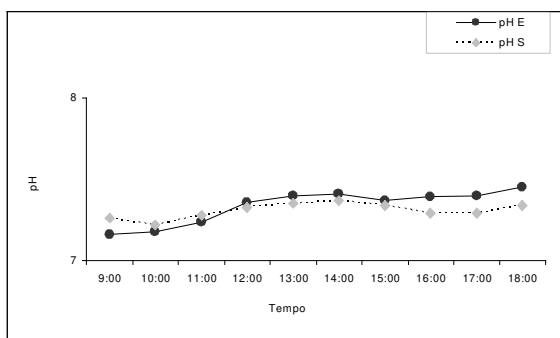


(b)

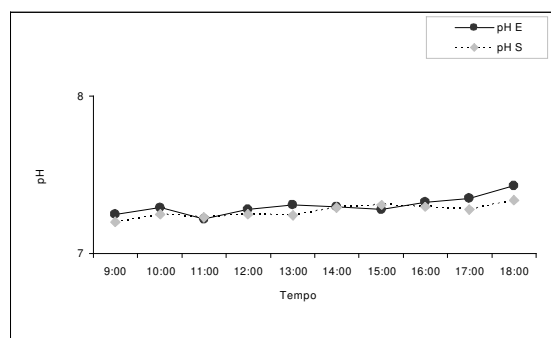
Figura 194. Diferença na concentração horária de OD no LC com *Colocasia esculenta*, para os dias 17/06/2009 (a) e 18/06/2009 (b).

c) Potencial Hidrogeniônico (pH)

Na Figura 195 pode ser observado o comportamento do pH no LC5, nos dias 17 e 18/05/2009. Sendo que no primeiro dia ocorreu aumento de pH nos três primeiros horários, 9:00, 10:00 e 11:00 h, e o mesmo foi reduzido em 70% do dia analisado. No segundo dia ocorreu redução em 80% do dia. A diferença entre o pH de entrada e saída para os dias 17 e 18/06/2009 podem ser observadas na Figura 196.

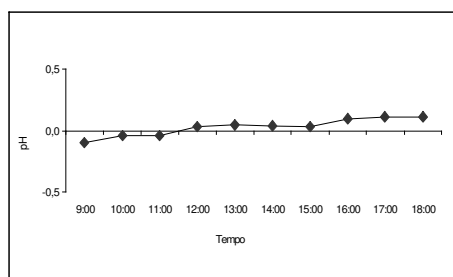


(a)

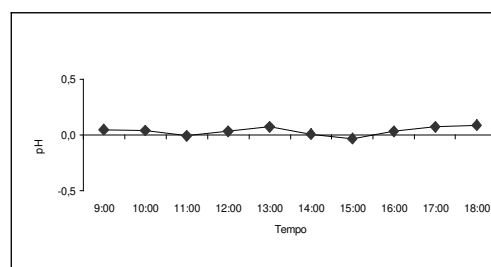


(b)

Figura 195. pH horário de entrada (pH E) e saída (pH S) no LC com *Colocasia esculenta*, para os dias 17/06/2009 (a) e 18/06/2009 (b).



(a)

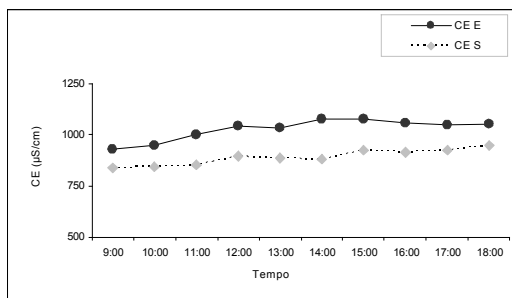


(b)

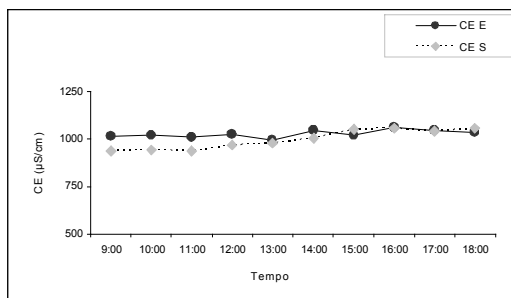
Figura 196. Diferença do pH horário no LC com *Colocasia esculenta*, para os dias 17/06/2009 (a) e 18/06/2009 (b).

d) Condutividade elétrica (CE)

A CE para os dias 17 e 18/06/2009 pode ser observada na Figura 197. No dia 17/06/2009 a CE foi reduzida durante todo o dia com variações de 91 a 153 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Enquanto no dia 18/06/2009 houve redução da CE em 80% do dia e as reduções variaram de 6 a 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$. As diferenças entre a CE de entrada e saída nos dias analisados podem ser vistas na Figura 198.

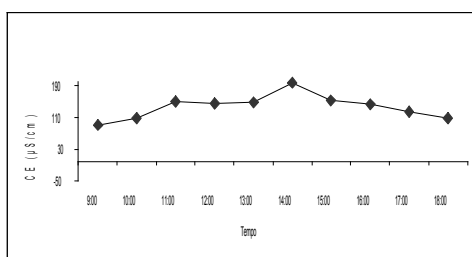


(a)

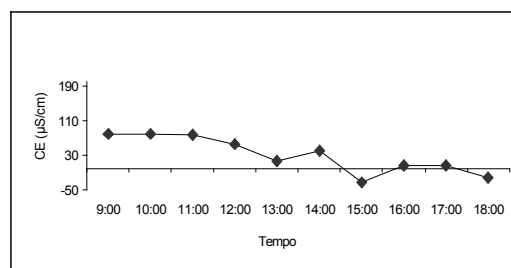


(b)

Figura 197. Condutividade elétrica horária de entrada (CE E) e saída (CE S) no LC com *Colocasia esculenta*, para os dias 17/06/2009 (a) e 18/06/2009 (b).



(a)

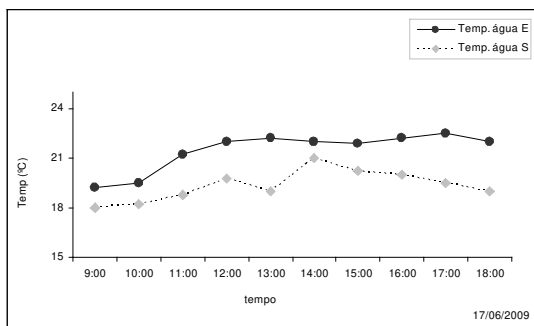


(b)

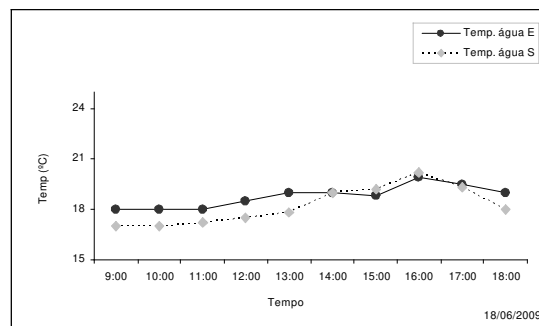
Figura 198. Diferença do CE no LC com *Colocasia esculenta*, para os dias 17/06/2009 (a) e 18/06/2009 (b).

e) Temperatura da água (Temp)

A Figura 199 apresenta a variação de temperatura da água nos dias 17 e 18/06/2009. No dia 17/06/2009 a temperatura da água do afluente foi reduzida durante todo o dia. Nesse dia a temperatura da água chegou a ser diminuída em 3,2°C às 12:00 h com valores de 22,2°C (entrada) e 19,0°C (saída), em 3,0°C às 17:00h com valores de 22,5°C (entrada) e 19,0°C (saída), e às 18:00 h com valores de 22,0°C e 19,5°C. Enquanto, no dia 18/06/2009 as diferenças não ultrapassaram 1,2°C às 13:00h. As diferenças horárias da temperatura da água afluente e efluente no LC5 podem ser observadas na Figura 200.

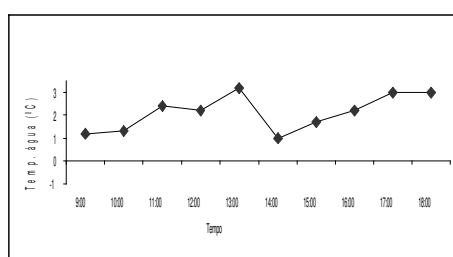


(a)

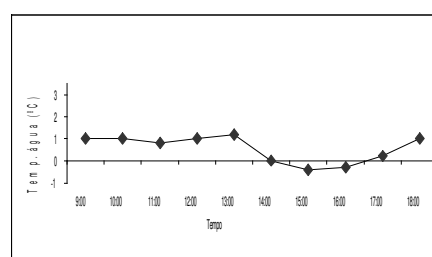


(b)

Figura 199. Temperatura da água horária de entrada (Temp. água E) e saída (Temp. água S) no LC com *Colocasia esculenta*, para os dias 17/06/2009 (a) e 18/06/2009 (b).



(a)



(b)

Figura 200. Diferença da temperatura da água no LC com *Colocasia esculenta*, para os dias 17/06/2009 (a) e 18/06/2009 (b).

4.4.5.2.3. Quantidade da água - Escala diária

a) Vazão (Q)

A Figura 201 apresenta as vazões de entrada e saída do LC5, para os dias monitorados em 2009. Na Tabela 62 podem-se observar as taxas de evapotranspiração e a altura da lâmina d'água evaporada nos dias monitorados. Nessa tabela verifica-se que a maior perda de água por evapotranspiração ocorreu no dia 18/06/2009 (DJ 169) com 106,2 ml/dia e, 25,9 mm/dia de altura a lâmina d'água; seguido pelo dia 11/08/2009 (DJ 222) com 104,4ml/dia de evapotranspiração e 25,5mm/dia de altura da lâmina d'água perdida (Figura 202). O TDH para esses dois dias foram de 0,9 e 1,0 dias, respectivamente. O TDH médio para os dias analisados no LC5 foi de 1,1 dias (Figura 203).

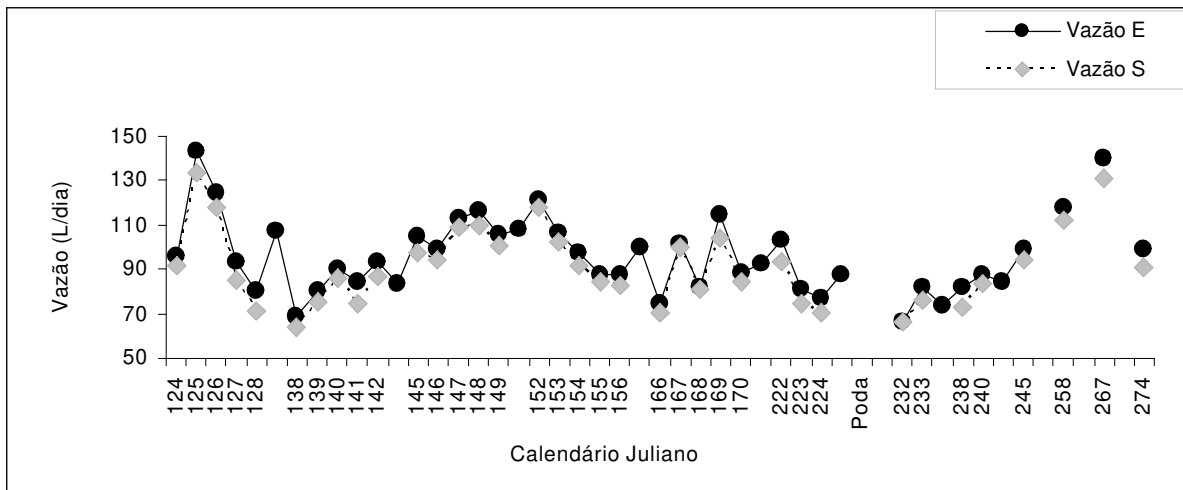


Figura 201. Vazão - médias diárias de entrada e saída no LC com *Colocasia esculenta* nos dias monitorados em 2009

Tabela 62. Taxa de evapotranspiração, altura da lâmina d'água evaporada e TDH no LC5

Data	Dia Juliano (DJ)	Taxa evapotranspiração (ml/dia)	Altura lâmina d'água evaporada (mm/dia)	TDH (dias)
4/5	124	46,8	11,4	1,1
5/5	125	95,4	23,3	0,7
6/5	126	64,8	15,8	0,8
7/5	127	75,6	18,4	1,1
8/5	128	90,0	22,0	1,3
18/5	138	52,2	12,7	1,5
19/5	139	46,8	11,4	1,3
20/5	140	34,2	8,3	1,2
21/5	141	100,8	24,6	1,2
22/5	142	63,0	15,4	1,1
25/5	145	70,2	17,1	1,0
26/5	146	48,6	11,9	1,1
27/5	147	41,4	10,1	0,9
28/5	148	70,2	17,1	0,9
29/5	149	52,2	12,7	1,0
1/6	152	30,6	7,5	0,9
2/6	153	37,8	9,2	1,0
3/6	154	57,6	14,0	1,1
4/6	155	32,4	7,9	1,2
5/6	156	46,8	11,4	1,2
15/6	166	41,4	10,1	1,4
16/6	167	19,8	4,8	1,0
17/6	168	10,8	2,6	1,3
18/6	169	106,2	25,9	0,9
19/6	170	36,0	8,8	1,2
11/8	222	104,4	25,5	1,0
12/8	223	70,2	17,1	1,3
13/8	224	66,6	16,2	1,4
Poda				
20/8	232	0,0	0,0	1,6
21/8	233	52,2	12,7	1,3
26/8	238	91,8	22,4	1,3
28/8	240	34,2	8,3	1,2
2/9	245	50,4	12,3	1,1
15/9	258	54,0	13,2	0,9
24/9	267	86,4	21,1	0,8
1/10	274	86,4	21,1	1,1

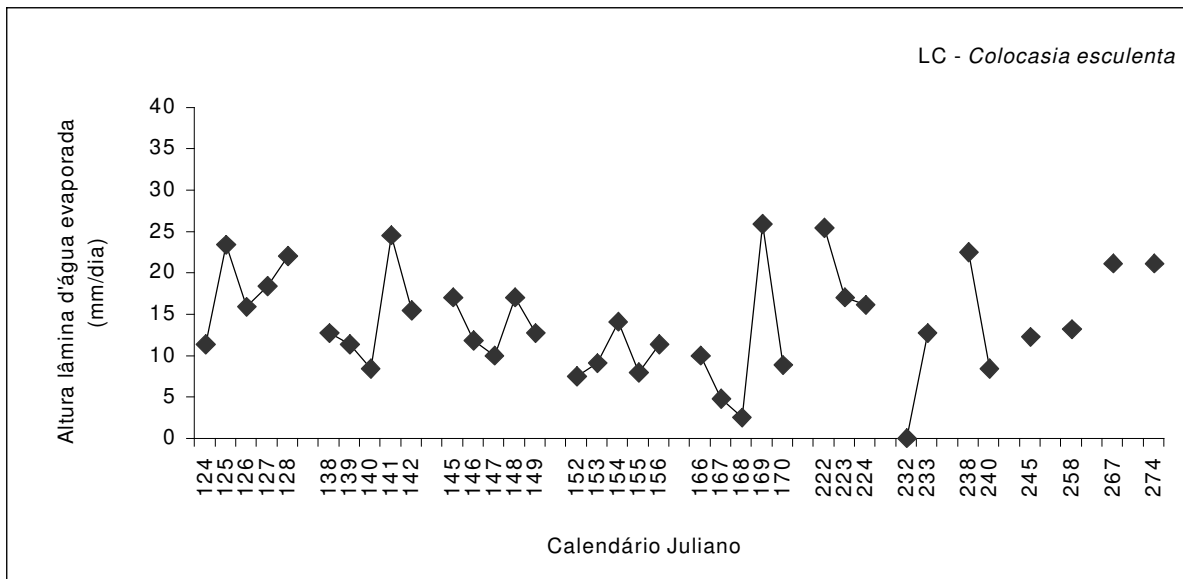


Figura 202. Altura diária total da lâmina d'água evaporada no LC com *Colocasia esculenta* nos dias monitorados em 2009

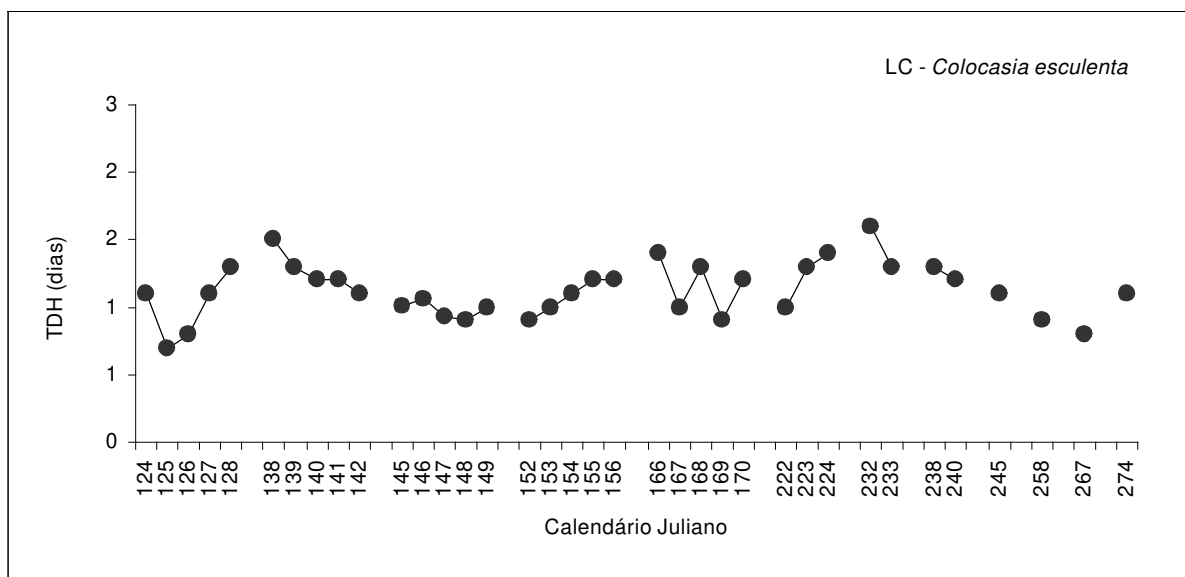


Figura 203. Tempo de detenção hidráulica (TDH) no LC com *Colocasia esculenta* nos dias monitorados em 2009

4.4.5.2.4. Qualidade da água - Escala diária

a) Fósforo total (Pt)

Na Figura 204 observa-se a concentração de fósforo total afluente e efluente do LC5 para os dias monitorados. A eficiência de retenção de fósforo total foi positiva em 60,2% dos dias monitorados. Sendo que, antes da poda a eficiência positiva foi de 58,3% e após a poda foi de 37,5%. A eficiência máxima positiva ocorreu no dia 26/08/09 (DJ 238), após a poda, com 40,1% e valores de 2,5 mg/L (entrada) para 1,8 mg/L (saída). O maior acréscimo ocorreu no dia 20/05/2009 (DJ 140) com 28,4%.

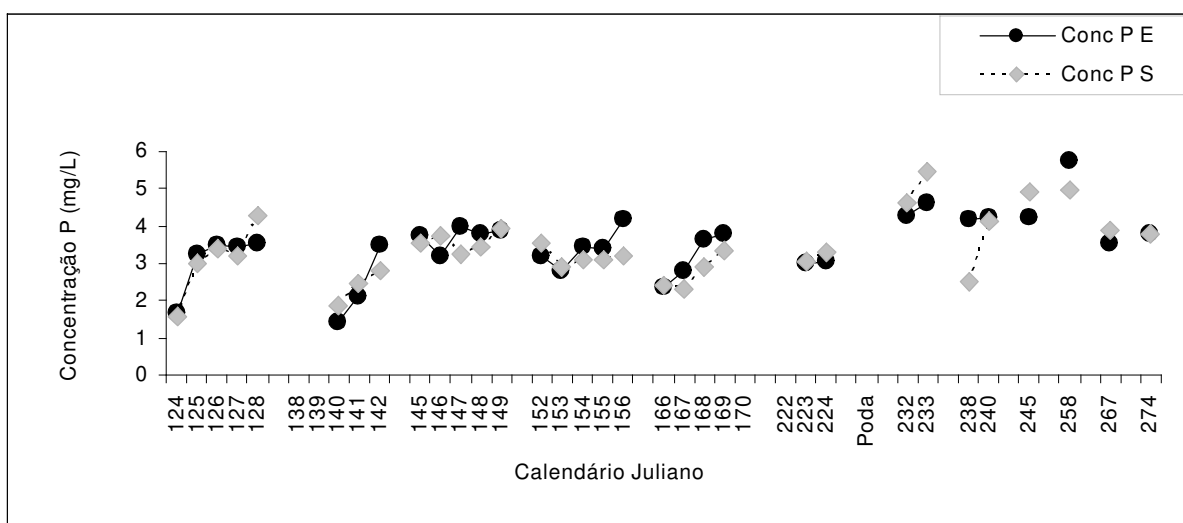


Figura 204. Concentração de fósforo total - médias diárias de entrada e saída no LC com *Colocasia esculenta* nos dias monitorados em 2009

A Figura 205 apresenta as cargas de entrada e saída de fósforo total do LC5. Onde a eficiência máxima da retenção da carga de fósforo total de 46,8%, ocorreu no dia 26/08/2009 (DJ 238), quantificada em 1.542,8 mg/dia; no dia 05/06/2009 (DJ 156), a eficiência de retenção foi de 27,8% e 1.014,6 mg/dia de carga de fósforo total retida. O maior acréscimo no LC5 ocorreu no dia 20/05/2009 (DJ 128) com 23,5%, seguido pelo dia 26/05/2009 (DJ 146) e dia 21/08/2009 (DJ 233) com 10,5% em ambos os dias. Os dias com alta eficiência positiva e com acréscimos no LC5, não corresponderam com os dias de alta eficiência positiva e de acréscimo do LC3, afluente do LC5. Portanto a dinâmica para a carga de fósforo total do LC3

parece não ter influenciado a dinâmica da carga de fósforo total no LC5. As retenções das cargas médias de entrada e saída de fósforo total nos dias monitorados em 2009 podem ser observadas na Figura 206.

A retenção positiva nos dias anteriores à poda ocorreu em 79,2%, após a mesma ocorreu em 50%. Esse percentual positivo de 50% após a poda foi o maior dentre os LC avaliados, o LC1 e o LC2 apresentaram 37,5% e o LC3 25,0%.

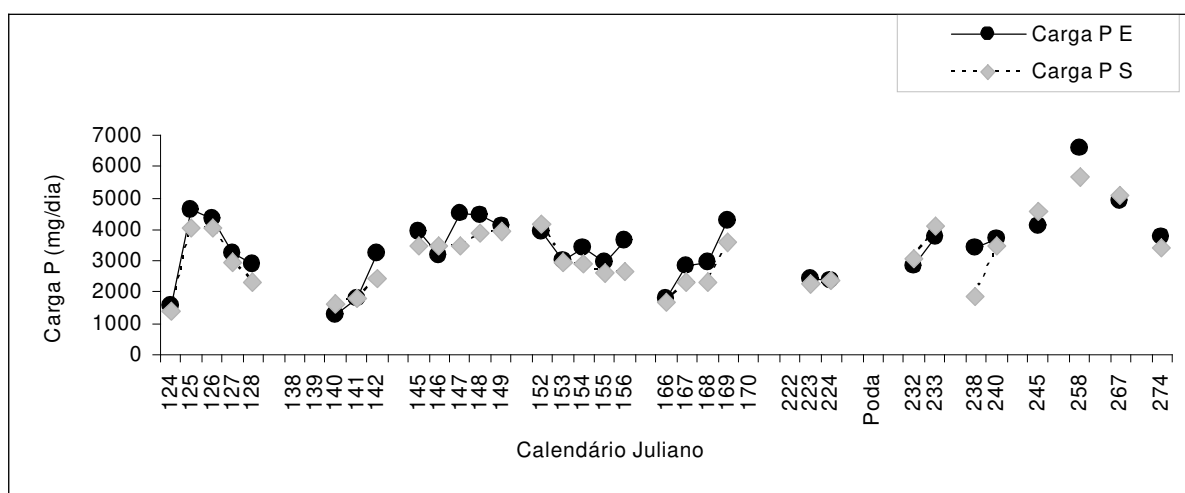


Figura 205. Carga de fósforo total - médias diárias de entrada e saída no LC com *Colocasia esculenta* nos dias monitorados em 2009

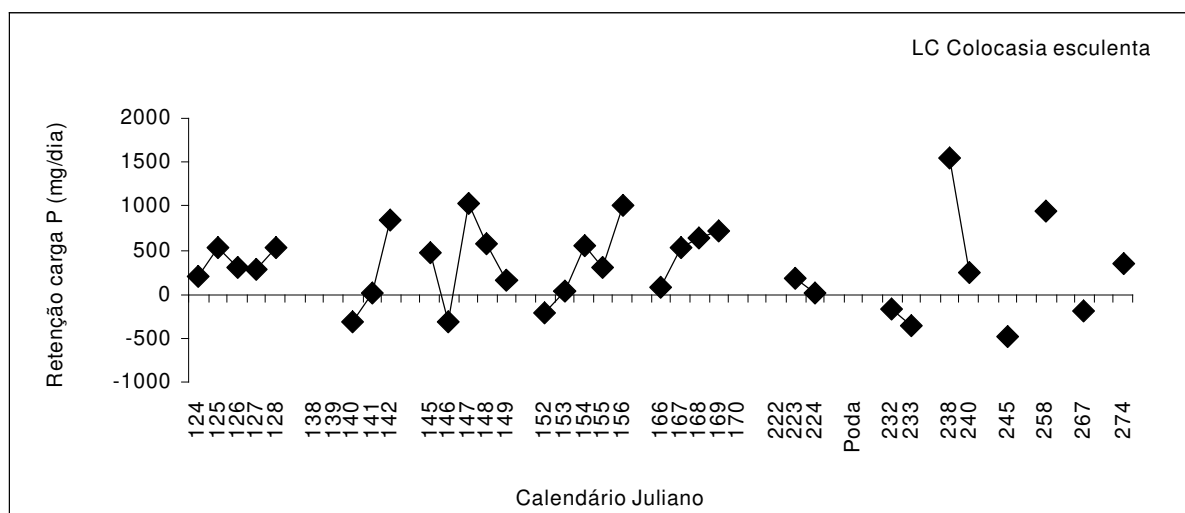


Figura 206. Retenção da carga de fósforo total ocorrida no LC com *Colocasia esculenta* nos dias monitorados em 2009

b) Nitrato (NO_3^-)

A Figura 207 apresenta as concentrações de entrada e saída do nitrato nos dias monitorados em 2009. Nesse LC a retenção de nitrato foi avaliada em um total de 12 dias sendo, 5 dias seguidos do dia 15/06/2009 (DJ 166) ao dia 19/06/2009 (DJ 170), posteriormente, um dia antes da poda e mais 6 dias após a poda.

A eficiência máxima para a concentração de nitrato ocorreu no dia 15/06/2009 (DJ 166), com valores de entrada de 2,1 mg/L e saída de 1,2 mg/L e 42,9% de eficiência, seguida pelo dia 12/08/2009 (DJ 223) com entrada 1,2 mg/L, saída de 0,7 mg/L e eficiência de 41,7%. Acréscimo nesse período antes da poda ocorreu no dia 18/06/2009 (DJ 169) com 21,4%. Após a poda o LC manteve-se com retenção igual a zero por 2 dias, tornando-se positivo novamente nos últimos quatro dias de monitoramento. A retenção da concentração de nitrato foi positiva em 75,0% do total de dias analisados. Acréscimos na concentração de nitrato ocorreram em 8,3%, no período anterior à poda. Retenções iguais a zero representaram 16,7% ocorrendo logo após a poda.

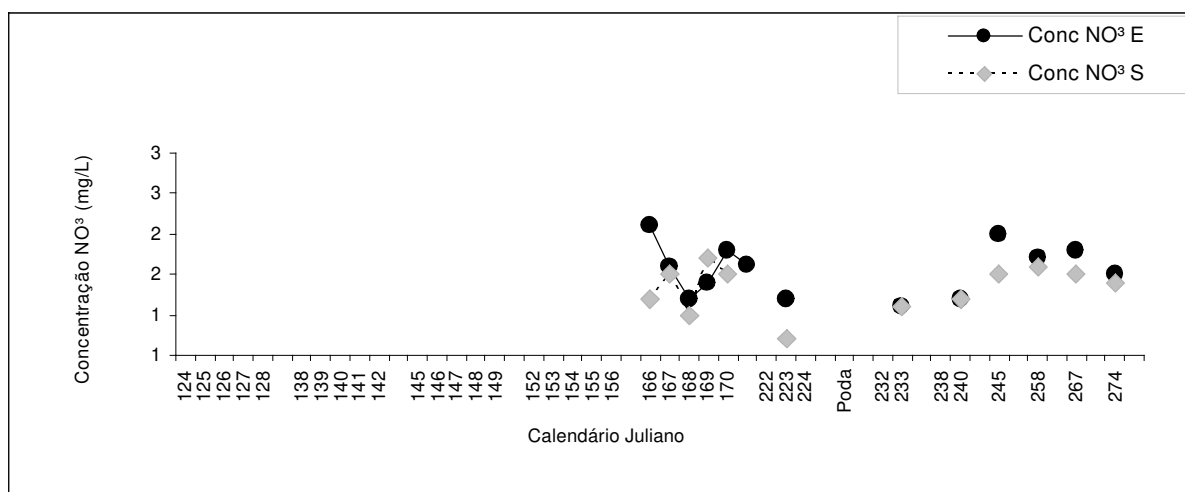


Figura 207. Concentração de nitrato - médias diárias de entrada e saída no LC com *Colocasia esculenta* nos dias monitorados em 2009

As cargas de entrada e saída de nitrato estão apresentadas na Figura 208. A maior eficiência de retenção para a carga de nitrato ocorreu no dia 12/08/2009 (DJ 223) com entrada

de 979,5 mg/dia e saída de 521,6 mg/dia e 46,7% de eficiência. O único acréscimo ocorreu no dia 18/06/2009 com 1.610,3 mg/dia de entrada e 1.774,8 mg/dia de saída e 10,2% de eficiência negativa. Antes da poda, a retenção positiva ocorreu em 85,7% dos dias analisados e após a poda a retenção positiva ocorreu em 100% dos dias analisados. Na Figura 209 podem-se observar as retenções diárias para as cargas de nitrato.

Comparando a retenção média da carga de nitrato do LC5 com a retenção média do LC3, para os mesmos dias, obteve-se que a retenção média antes da poda para o LC5 foi de 456,8 mg/dia e para o LC3 foi de 387,4 mg/dia. Depois da poda a carga média retida no LC5, foi de 273,8 mg/dia enquanto no LC3 houve acréscimo de 155,3 mg/dia. Isso pode ter ocorrido pelo bom desenvolvimento da vegetação do LC5 após a poda. Enquanto no LC3 as plantas apresentaram senescência após a 2ª poda.

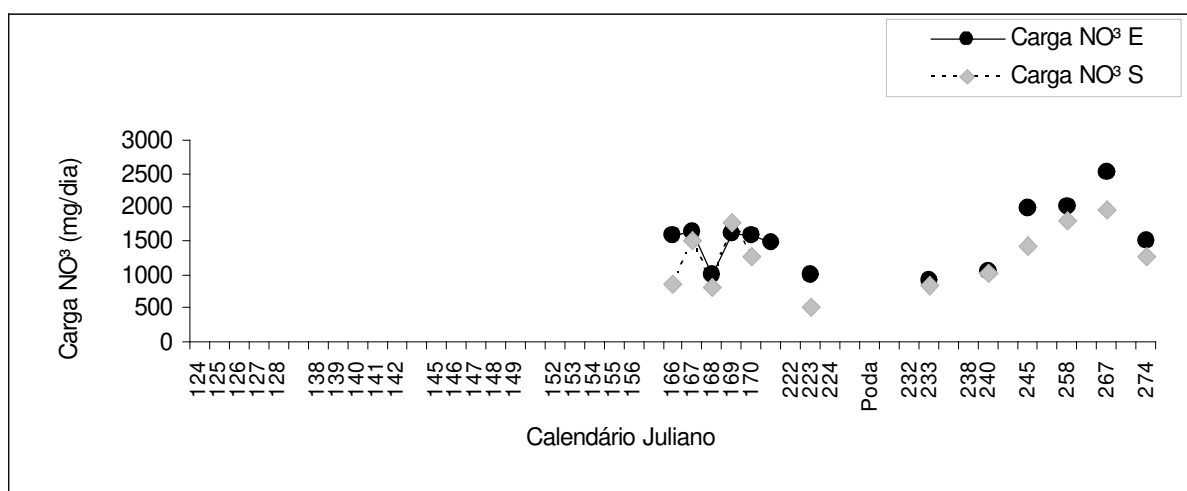


Figura 208. Carga de nitrato - médias diárias de entrada e saída no LC com *Colocasia esculenta* nos dias monitorados em 2009

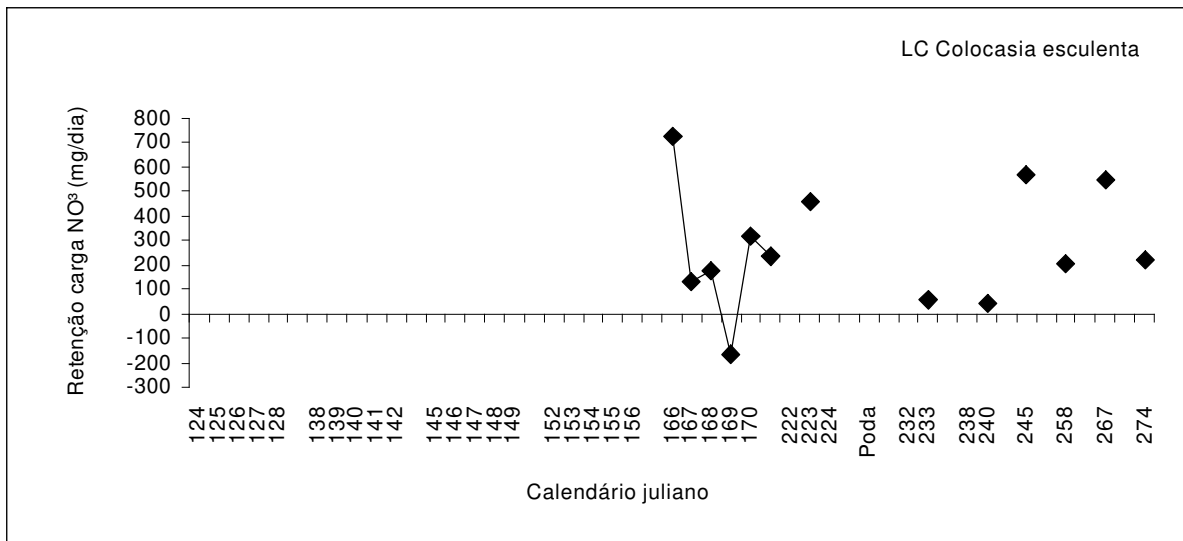


Figura 209. Retenção da carga de nitrato ocorrida no LC com *Colocasia esculenta* nos dias monitorados em 2009

c) Nitrogênio amoniacal (NH³)

Na Figura 210 pode ser observada a concentração de entrada e saída de NH³ no LC5. Com retenção máxima positiva de 34,1% no dia 11/08/2009 (DJ 167), antes da poda, seguido pelo dia 26/08/2009 (DJ 238) depois da poda, com 30,4% de retenção positiva. A retenção positiva ocorreu em 75,0% dos dias monitorados antes da poda e, em 37,5% após a poda.

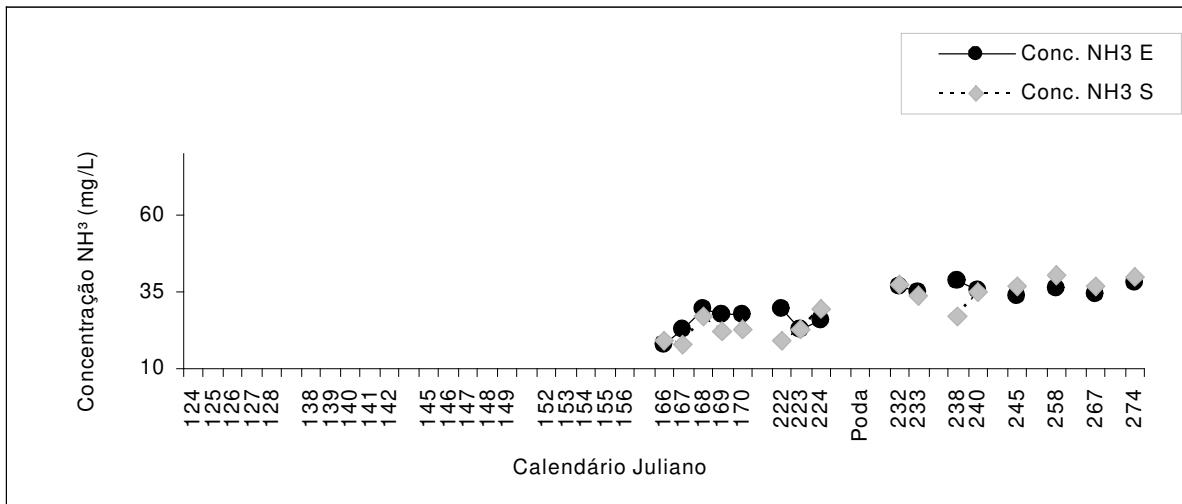


Figura 210. Concentração de nitrogênio amoniacal - médias diárias de entrada e saída no LC com *Colocasia esculenta* nos dias monitorados em 2009

As cargas de entrada e saída de NH_3 do LC5 estão apresentadas na Figura 211. A máxima retenção positiva ocorreu em 11/08/2009 (DJ 228) com 12.382,9 mg/dia e 40,8% de eficiência de retenção, seguido pelo dia 26/08/2009 (DJ 238) com 12.084,7 mg/dia e 38,2% de eficiência de retenção. O LC5 apresentou retenção positiva em 75,0% dos dias, antes da poda. Após a poda as retenções positivas ocorreram em 62,5% dos dias analisados. Na Figura 212, podem ser observadas as retenções diárias para as cargas de nitrogênio amoniacal nos dias analisados em 2009.

Comparando-se as retenções das cargas do NH_3 do LC5 a partir do dia Juliano 222, com o LC3 tem-se, que o LC5 foi superior na retenção da Carga do NH_3 tanto antes quanto depois da poda com carga média retida de 4.411,7 mg/dia e de 1.776,5 mg/dia, respectivamente. Enquanto o LC3 reteve 1.620,6 mg/dia antes da poda e apenas 2,7 mg/dia após a mesma.

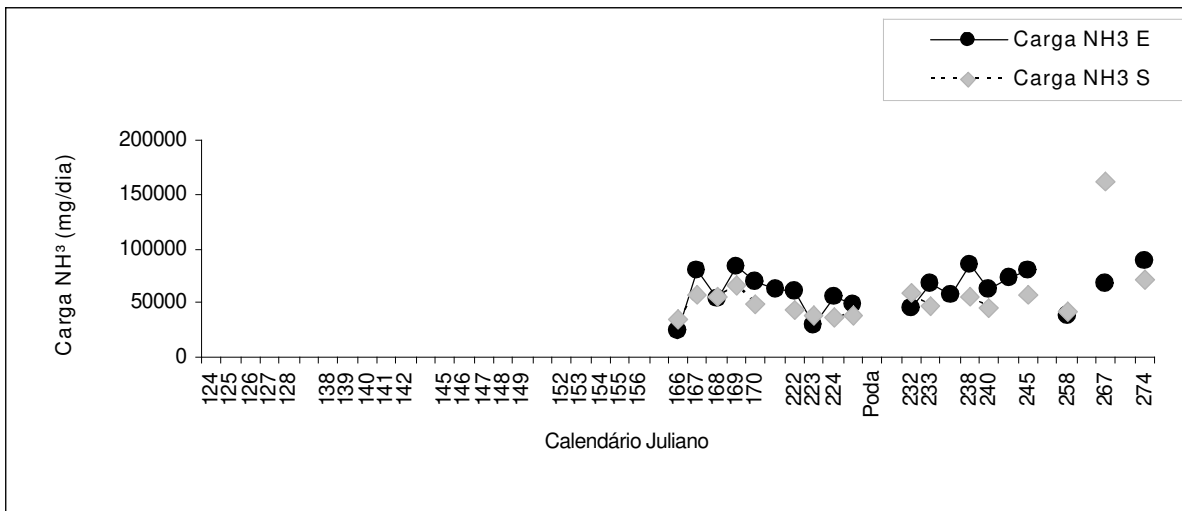


Figura 211. Carga de nitrogênio amoniacal - médias diárias de entrada e saída no LC com *Colocasia esculenta* nos dias monitorados em 2009

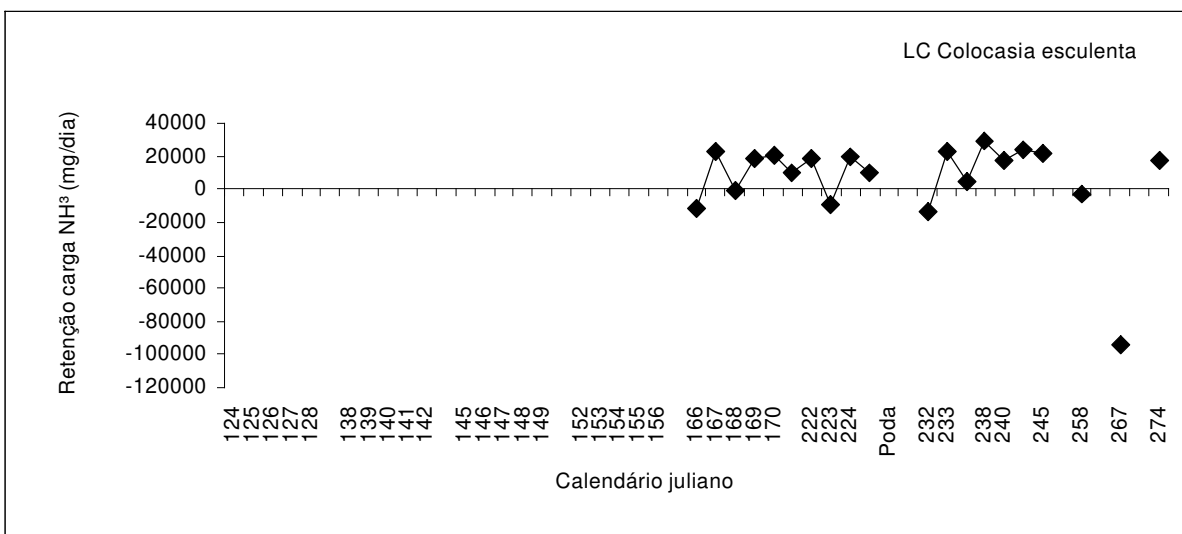


Figura 212. Retenção da carga de nitrogênio amoniacal ocorrida no LC com *Colocasia esculenta* nos dias monitorados em 2009

d) Demanda química de oxigênio (DQO)

A concentração de entrada e saída da DQO no LC5 pode ser observada na Figura 213. A retenção média diária da concentração de DQO nos dias monitorados foi de 3,1 mg/L. A maior eficiência positiva ocorreu no dia 13/08/2009 (DJ 224) antes da poda, com 29,7%,

seguido pelo dia 21/08/2009 (DJ 233) com 28,2%, no dia anterior, 20/08/2009 (DJ 232) ocorreu acréscimo na concentração de DQO de 31,4%. A retenção foi positiva para a concentração de DQO em 62,5% dos dias totais analisados. A retenção positiva ocorreu em 62,5% dos dias, tanto antes quanto depois da poda. Porém, após a poda ocorreu acréscimo de 74,8 mg/L/dia, com eficiência negativa de 153,4% no dia 24/09/2009 (DJ 267).

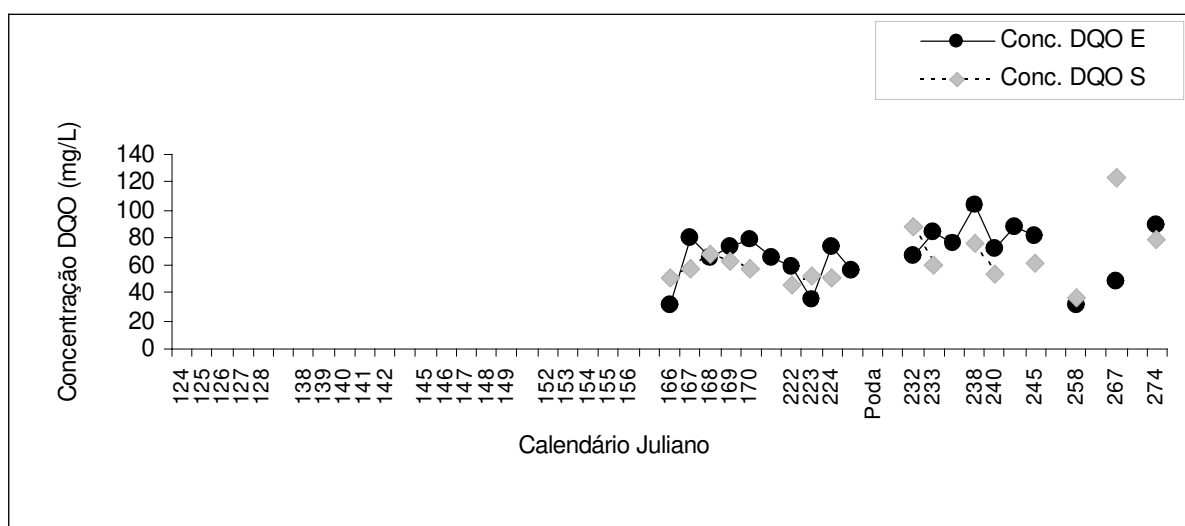


Figura 213. Concentração de DQO - médias diárias de entrada e saída no LC com *Colocasia esculenta* nos dias monitorados em 2009

A carga de entrada e saída de DQO do LC5 pode ser observada na Figura 214. A eficiência máxima positiva foi de 35,8% com retenção de 20.104,1 mg/dia no dia 13/08/2009 (DJ 224) antes da poda, seguida pelo dia 26/08/2009 (DJ 238) após a poda, com retenção de 29.554,6 mg/dia e 34,9% de eficiência. As retenções médias diárias podem ser vistas na Figura 215.

Considerando-se a partir do dia juliano 222 na comparação do LC5 com o LC3. Obteve-se que, o LC5 reteve uma carga média diária, antes da poda, de 9.719,38 mg/dia, enquanto o LC3 reteve uma carga média diária, também antes da poda, de 51.582,0 mg/dia. Sendo o LC3 mais eficiente que o LC5. Após a poda, o LC5 apresentou acréscimo de DQO, enquanto o LC3 continuou retendo carga positivamente com 37.867,1 mg/dia.

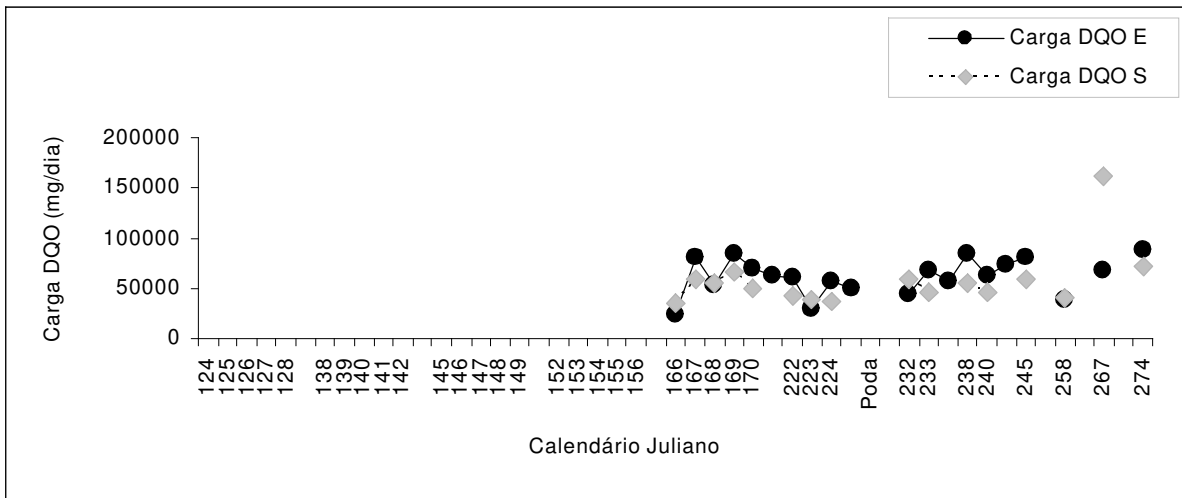


Figura 214. Carga de DQO - médias diárias de entrada e saída no LC com *Colocasia esculenta* nos dias monitorados em 2009

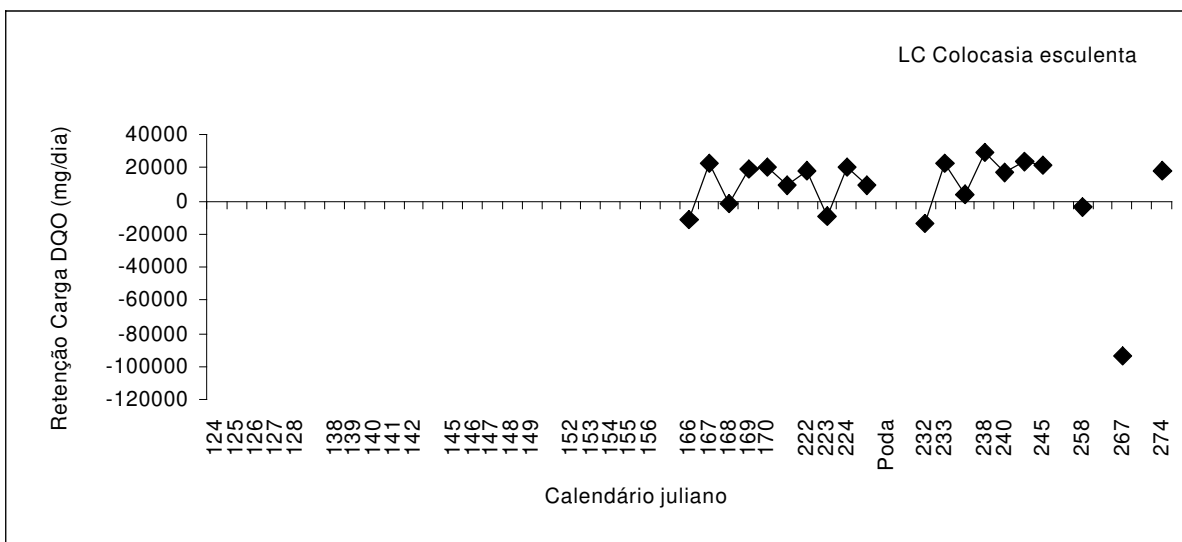


Figura 215. Retenção da carga de DQO ocorrida no LC com *Colocasia esculenta* nos dias monitorados em 2009

e) Oxigênio dissolvido (OD)

A concentração de OD no LC5 foi monitorada durante 21 dias, sendo 13 dias antes da poda, e 8 dias, após a mesma. As concentrações de entrada e saída de OD no LC5 podem ser observadas na Figura 216.

O acréscimo na concentração de OD no LC5, antes da poda ocorreu em 61,5% e em 62,5% dos dias, após a poda. A eficiência de acréscimo na concentração de OD antes da poda chegou a 78,3% no dia 19/06/2009 (DJ 170) e após a poda não passou de 33,5% no dia 21/08/2009 (DJ 233). Na Figura 217 está apresentada a diferença da concentração de OD de entrada e saída do LC5 para os dias monitorados em 2009.

Comparando-se o LC5 com o LC3, a partir do 11/08/2009 (DJ 222) tem-se que, o LC5 promoveu acréscimo da concentração de OD em 100% dos dias anteriores à poda e, em 62,5% dos dias posteriores à mesma. No LC3 o acréscimo da concentração de OD representou 66,7% dos dias, antes da poda, e 50,0% dos dias, após a poda. Demonstrando que o LC5 foi mais eficiente no acréscimo da concentração de OD do que o LC3.

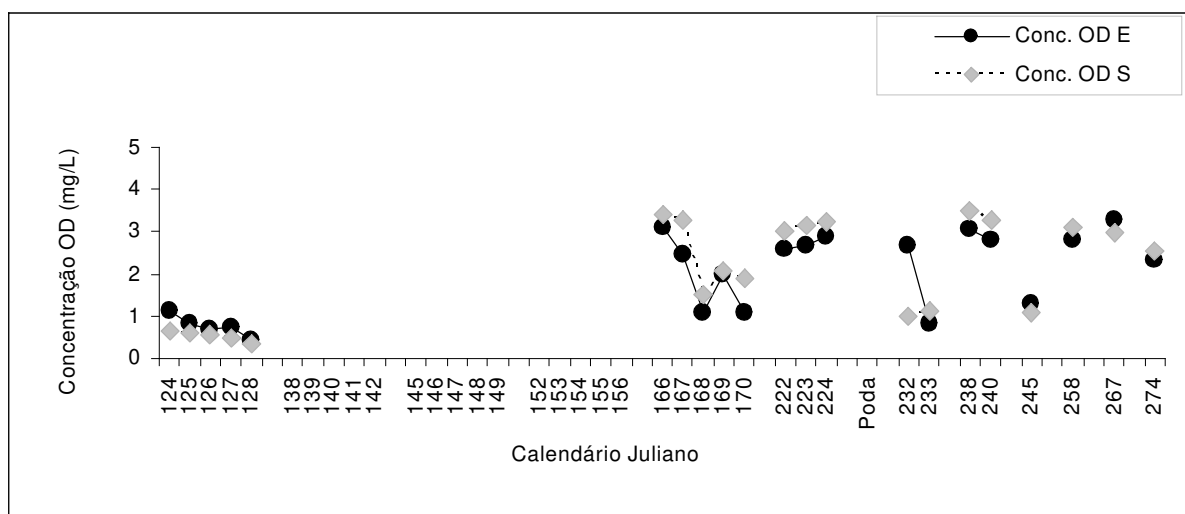


Figura 216. Concentração de OD - médias diárias de entrada e saída no LC com *Colocasia esculenta* nos dias monitorados em 2009

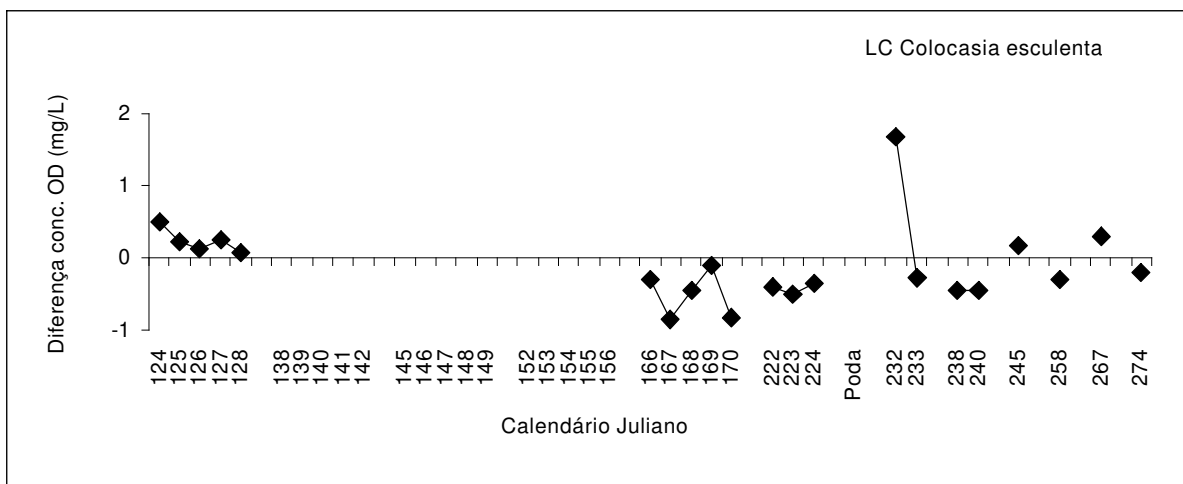


Figura 217. Diferença da concentração de OD de entrada e saída no LC *Colocasia esculenta* nos dias monitorados em 2009

f) Potencial hidrogeniônico (pH)

A Figura 218 apresenta a variação no pH de entrada e saída no LC5 para os dias monitorados em 2009. Onde se observa que na maior parte dos dias analisados o pH de entrada variou de 7,17 a 7,60 enquanto o pH de saída variou de 7,20 a 7,59. No entanto, do dia 25 ao dia 27/05/2009 (DJ 145 a DJ 147) o pH de entrada variou de 6,55 a 6,65 e o pH de saída também variou de 6,52 a 6,55. Após a poda o pH de saída foi aumentado em 87,5% do dias monitorados.

Comparando o LC5 com o LC3, observou-se que o LC5 diminuiu o pH em 85,7% dos dias monitorados antes da poda e, em 12,5% depois da poda, enquanto o LC3 reduziu o pH em 100% dos dias, tanto antes quanto depois da poda.

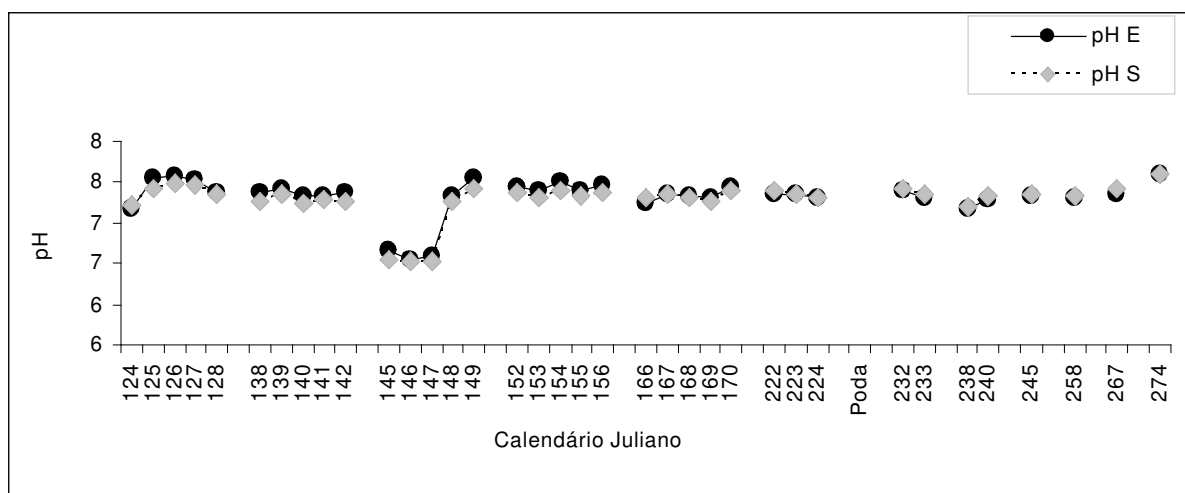


Figura 218. pH - médias diárias de entrada e saída no LC com *Colocasia esculenta* nos dias monitorados em 2009

g) Condutividade elétrica (CE)

A CE de entrada e saída referente aos dias analisados no LC5 está apresentada na Figura 219. A redução da CE ocorreu em 61,1% dos dias totais analisados, nos dias anteriores à poda essa redução representou 60,7% e posteriormente à poda ocorreu em 62,5% dos dias. A maior redução da CE ocorreu após a poda, com 214 $\mu\text{S}/\text{cm}$, no dia 26/08/2009 (DJ 238), com valores de 975 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (entrada) e 761 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (saída), seguido pela redução no dia 16/06/2009 (DJ 167), antes da poda, com 140 $\mu\text{S}/\text{cm}$, e valores de 867 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (entrada) e 797 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (saída) e pelo dia 17/06/2009 (DJ 168), com redução de 137 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e valores de 1.028 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (entrada) e 892 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (saída). O maior aumento na CE foi de 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$, no dia 15/09/2009 (DJ 258), após a poda, com valores de 923 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (entrada) e 1.1073 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (saída). A diferença entre a CE de entrada e de saída pode ser observada na Figura 220.

Comparando-se o LC5 com o LC3, obteve-se que, o LC5 foi mais eficiente na redução da CE, tanto nos dias totais (61,1%) quanto nos dias anteriores e posteriores à poda, com 60,7% e 62,5%, respectivamente. Enquanto o LC3 obteve 41,6% para os dias totais, 46,4% antes da poda e 25,0% de diminuição da CE depois da poda.

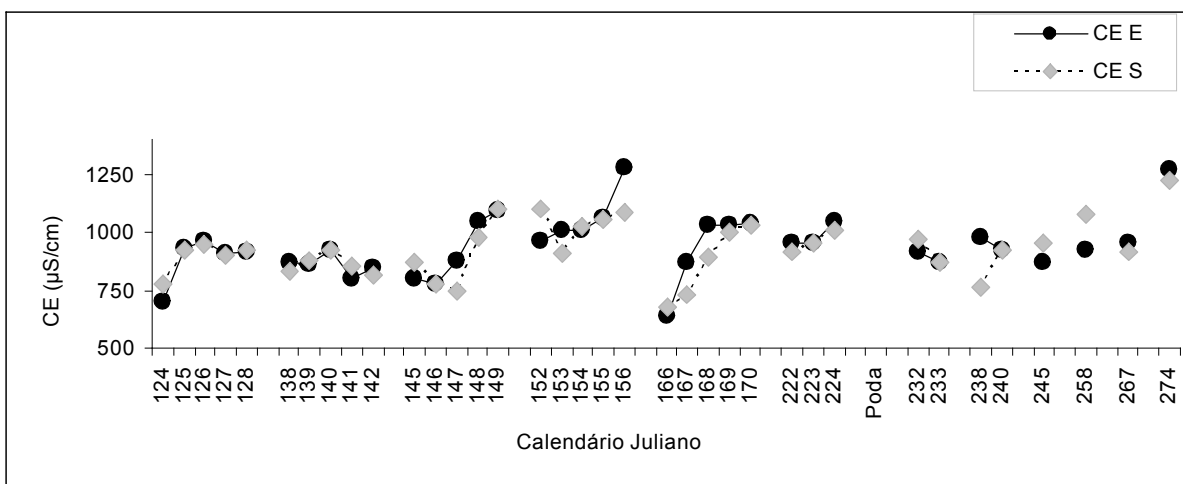


Figura 219. CE - médias diárias de entrada e saída no LC com *Colocasia esculenta* nos dias monitorados em 2009

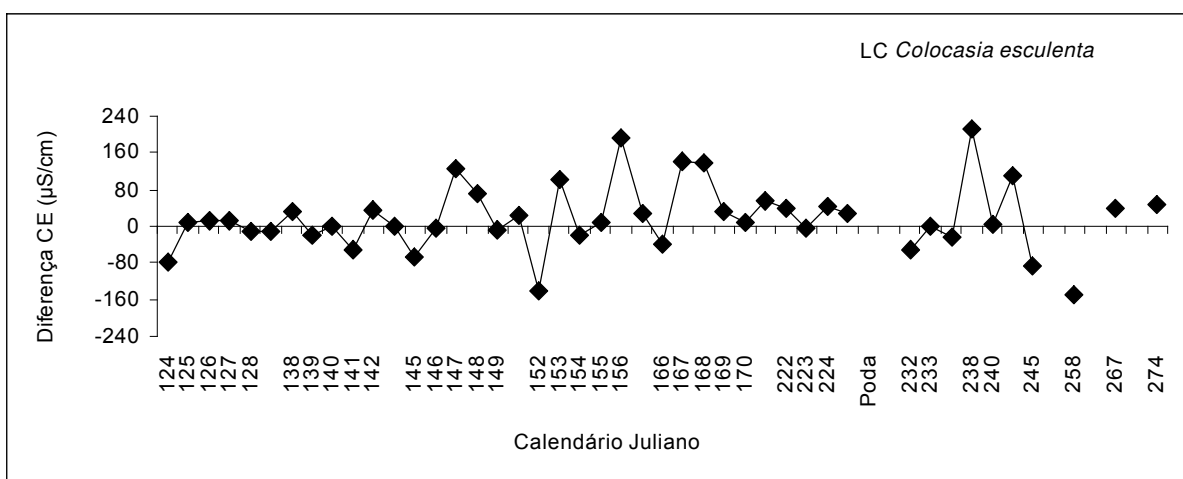


Figura 220. Diferença da CE de entrada e saída no LC com *Colocasia esculenta* nos dias monitorados em 2009

h) Temperatura da água (Temp)

As variações das temperaturas médias da água de entrada e saída do LC5 podem ser visualizadas na Figura 221. As temperaturas da água de entrada foram reduzidas em até 2,1°C no dia 17/06/2009 (DJ 169) com valores de 21,5°C (entrada) e 19,4°C (saída). As reduções ocorreram em todos os dias monitorados com exceção do dia 02/09/2009 (DJ 245) quando

ocorreu um aumento de 2,0°C, com valores de 22,1°C (entrada) e 24,1°C (saída). Na Figura 222 observam-se as diferenças entre a temperatura da água de entrada e saída do LC5.

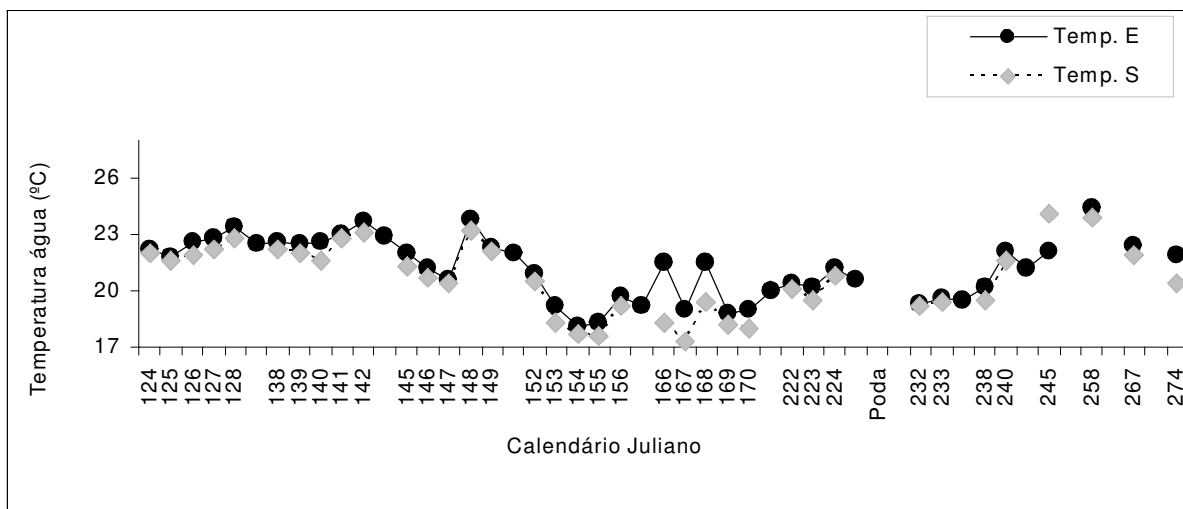


Figura 221. Temperatura da água - médias diárias de entrada e saída no LC com *Colocasia esculenta* nos dias monitorados em 2009

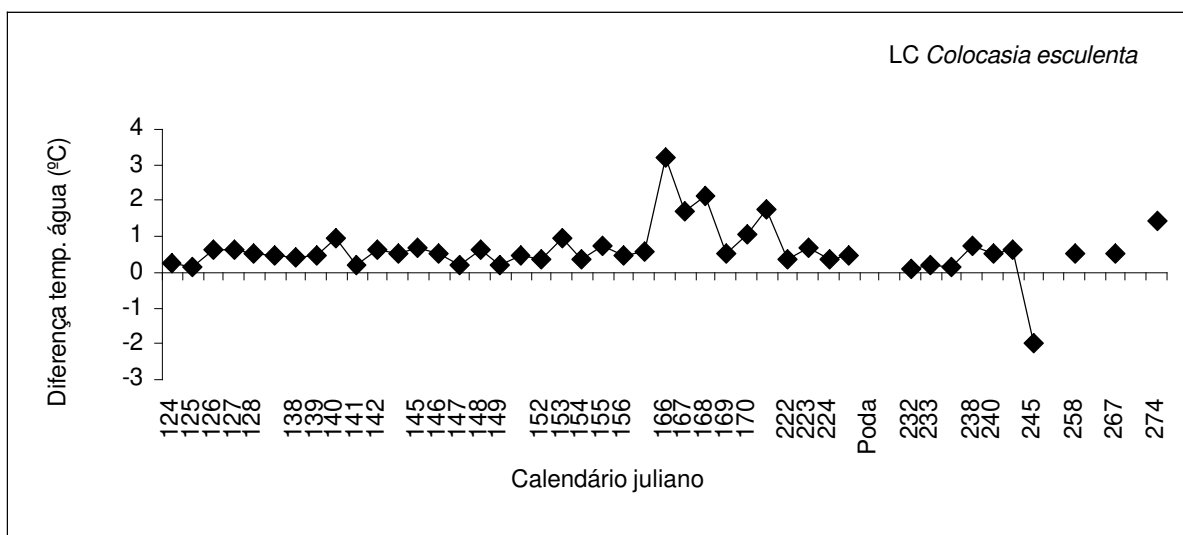


Figura 222. Diferença na temperatura da água de entrada e saída no LC com *Colocasia esculenta* nos dias monitorados em 2009

4.4.5.2.5. Quantidade da água - Escala semanal, período monitorado e período estendido

a) Vazão (Q)

A Tabela 63 apresenta os valores médios de vazão (entrada e saída), da evapotranspiração, da altura lâmina d'água evaporada e do TDH para as semanas monitoradas. Além da média e do desvio padrão para os períodos analisados, antes e depois da poda no LC5. Da 1ª a 5ª semana o monitoramento ocorreu nos cinco dias da semana.

A vazão média do afluente variou de 74,1 a 139,9 L/dia e do efluente de 71,5 a 131,2 L/dia na 7ª e na 11ª semana, respectivamente. As maiores taxas de evapotranspiração ocorreram na semana da poda (6ª semana), na 11ª e na 12ª semana, após a poda, com valores de 80,4 L/dia para a 6ª semana e de 86,4 L/dia para a 11ª e 12ª semana, a altura da lâmina d'água evaporada nessas semanas foi de 19,6 e 21,1 mm/dia, respectivamente. O maior TDH ocorreu na 7ª semana com 1,4 dias e o menor TDH na 3ª semana com 0,7 dias.

A média e o desvio padrão do afluente e do efluente no período anterior à poda foram de, $97,0 \pm 17,2$ e $91,3 \pm 16,8$ L/dia. No período posterior à poda foi de $96,8 \pm 23,2$ (afluente) e $91,1 \pm 21,7$ L/dia (efluente). A taxa de evapotranspiração nos períodos monitorados foi praticamente às mesmas com $55,9 \pm 27,5$ L/dia, antes da poda e $54,5 \pm 29,3$ L/dia após a poda. A altura da lâmina d'água evaporada foi de $13,6 \pm 6,7$ mm/dia, antes da poda e após a poda $15,3 \pm 5,4$ mm/dia. O TDH foi o mesmo de $1,1 \pm 0,3$ dias, para ambos os períodos.

Tabela 63. Vazão – média semanal entrada e saída, altura lâmina d’água evaporada e TDH no LC5 nas semanas e nos períodos monitorados

LC5 – <i>Colocasia esculenta</i>						
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Vazão				
		Média Semanal (L/dia)		Taxa de evapotranspiração (L/dia)	Altura lâmina d’água evaporada (mm/dia)	TDH (Dias)
		Entrada	Saída			
1 ^a	5	107,4	100,0	74,5	18,2	1,0
2 ^a	5	83,3	77,3	59,4	14,5	1,3
3 ^a	5	107,9	102,2	56,5	13,8	0,7
4 ^a	5	100,0	95,9	41,0	10,0	1,1
5 ^a	5	92,3	88,1	42,8	10,4	1,2
6 ^a	3	87,4	79,4	80,4	19,6	1,2
Média e desvio padrão	28	97,0±17,2	91,3±16,8	55,9±27,5	13,6±6,7	1,1±0,3
Poda						
7 ^a	2	74,1	71,5	26,1	12,7	1,4
8 ^a	2	84,8	78,5	63,0	15,4	1,2
9 ^a	1	99,0	94,0	50,4	12,3	1,1
10 ^a	1	118,1	112,7	54,0	13,2	0,9
11 ^a	1	139,9	131,2	86,4	21,1	0,8
12 ^a	1	99,4	90,7	86,4	21,1	1,1
Média e desvio padrão	8	96,8±23,2	91,1±21,7	54,5±29,3	15,3±5,4	1,1±0,3

4.4.5.2.6. Qualidade da água - Escala semanal, períodos monitorados e período analisado

a) Fósforo total (Pt)

A Tabela 64 apresenta a concentração média semanal de entrada e de saída para o fósforo total, bem como, a retenção e a eficiência de retenção para o mesmo. Antes da poda a retenção máxima ocorreu na 5^a semana com 20,0% de eficiência, nesse período a retenção positiva ocorreu em 66,6% das semanas monitoradas, com média e desvio padrão de 0,1±0,4 mg/L para a retenção e de 2,3±13,8% para a eficiência. A máxima eficiência de retenção positiva, após a poda, ocorreu na 8^a semana com 21,2%. A média e o desvio padrão para o período posterior à poda foram de 0,0±0,8 mg/L para a retenção e de 0,5±19,0% para a eficiência de retenção.

Considerando o período estendido antes da poda (de maio a agosto) a média de retenção foi de 7,2 mg/L/período e após a poda (de agosto a outubro) a concentração retida foi de 1,5 mg/L/período.

Tabela 64. Concentração de fósforo total – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC5 nas semanas e nos períodos monitorados

LC5 – <i>Colocasia esculenta</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Concentração fósforo total			
		Média semanal (mg/L)		Retenção (mg/L)	Eficiência (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	5	3,07	3,09	0,0	-0,7
2 ^a	3	1,93	1,83	0,1	4,9
3 ^a	5	3,72	3,57	0,2	4,0
4 ^a	5	3,40	3,16	0,2	6,9
5 ^a	4	3,22	2,58	0,7	20,0
6 ^a	2	3,03	3,18	-0,2	-4,9
Média e desvio padrão	24	3,2±0,7	3,1±0,6	0,1±0,4	2,3±13,8
Poda					
7 ^a	2	4,45	5,03	-0,6	-13,0
8 ^a	2	4,20	3,31	0,9	21,2
9 ^a	1	4,23	4,91	-0,7	-16,0
10 ^a	1	5,73	4,99	0,7	13,0
11 ^a	1	3,53	3,87	-0,4	-9,8
12 ^a	1	3,78	3,79	0,0	-0,2
Média e desvio padrão	8	4,3±0,7	4,3±0,9	0,0±0,8	0,5±19,0

Na Tabela 65 podem ser visualizadas as cargas de entrada e saída de fósforo total, a retenção e a eficiência de retenção para o LC5. A 8^a semana apresentou a maior eficiência com 25,8% (889,3 mg/dia) seguida pela 5^a semana 15,8% (485,9 mg/dia) e pela 10^a semana (952,2 mg/dia).

A média e o desvio padrão para afluente no período anterior à poda foram de 3.199,0±975,2 mg/dia, para o efluente foi de 2.860,0±845,3 mg/dia com retenção de 338,9±376,7 mg/dia e eficiência de retenção de 9,2±11,9%. No período posterior à poda a média e o desvio padrão foram de 235,4±701,3 mg/dia e eficiência de 5,5±18,6%. A retenção positiva ocorreu em 100% do período anterior à poda e em 50% do período posterior à poda.

A carga média retida no período estendido antes da poda foi de 24,4 g/período e após a poda foi de 8,0 g/período.

Tabela 65. Carga Fósforo total– média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC5 nas semanas e nos períodos monitorados

LC5 – <i>Colocasia esculenta</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Carga fósforo total			
		Média semanal (mg/dia)		Retenção (mg/dia)	Eficiência (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	5	3.323,9	2.956,0	367,9	11,6
2 ^a	3	2.119,4	1.943,2	176,2	0,5
3 ^a	5	4.034,6	3.648,8	385,8	8,4
4 ^a	5	3.395,9	3.054,6	341,3	10,1
5 ^a	4	2.958,5	2.472,6	485,9	15,2
6 ^a	2	2.405,8	2.311,9	93,8	3,8
Média e desvio padrão	24	3.199,0±975,2	2.860,0±845,3	338,9±376,7	9,2±11,9
Poda					
7 ^a	2	3.296,0	3.562,0	-266,0	-7,9
8 ^a	2	3.553,7	2.664,5	889,3	25,8
9 ^a	1	4.095,7	4.573,8	-478,1	-11,7
10 ^a	1	6.616,9	5.664,7	952,2	14,4
11 ^a	1	4.921,7	5.110,6	-188,9	-3,8
12 ^a	1	3.788,2	3.437,0	351,2	9,3
Média e desvio padrão	8	4.140,3±1.159,2	3.904,9±1.214,9	235,4±701,3	5,5±18,6

b) Nitrato (NO³⁻)

O Nitrato foi avaliado em duas semanas antes da poda, na 5^a e na 6^a semana, sendo que na 5^a semana a média semanal representa 5 dias de monitoramento. A partir da 6^a até a 12^a semana o monitoramento representa 1 dia por semana.

Na Tabela 66 a maior eficiência de retenção positiva ocorreu na 6^a semana (antes da poda) com 41,7% de eficiência, seguida pela 9^a semana (depois da poda) com 25,0% de eficiência de retenção. A retenção na concentração de nitrato foi maior ou igual a zero em 100% das semanas analisadas tanto antes quanto depois da poda.

No período anterior a poda a média e o desvio padrão de concentração de nitrato retida foi de 0,3±0,4 mg/L e eficiência de 17,1±24,0%. Para o período após a poda, a média e o desvio padrão da concentração de nitrato retido foram de 0,2±0,2 mg/L e 9,0±9,9%, demonstrando maior eficiência antes da poda.

A média de concentração de nitrato retida no período estendido antes da poda foi de 21,6 mg/período e após a poda foi de 6,8 mg/período.

Tabela 66. Concentração de Nitrato – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC5 nas semanas e nos períodos monitorados

LC5 – <i>Colocasia esculenta</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Conc. NO ³⁻			
		Média semanal (mg/L)		Retenção (mg/L)	Eficiência (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	-	-	-	-	-
2 ^a	-	-	-	-	-
3 ^a	-	-	-	-	-
4 ^a	-	-	-	-	-
5 ^a	5	1,6	1,4	0,2	14,8
6 ^a	1	1,2	0,7	0,5	41,7
Média e desvio padrão	6	1,6±0,4	1,3±0,4	0,3±0,4	17,1±24,0
Poda					
7 ^a	1	1,1	1,1	0,0	0,0
8 ^a	1	1,2	1,2	0,0	0,0
9 ^a	1	2,0	1,5	0,5	25,0
10 ^a	1	1,7	1,6	0,1	5,9
11 ^a	1	1,8	1,5	0,3	16,7
12 ^a	1	1,5	1,4	0,1	6,7
Média e desvio padrão	6	1,6±0,4	1,4±0,2	0,2±0,2	9,0±9,9

Na Tabela 67, podem ser observadas as cargas de nitrato para o LC5. Onde a maior eficiência na redução da carga de nitrato ocorreu na 6^a semana com 46,7% e 456,8 mg/dia de carga retida, seguida pela 9^a semana com 28,8% e carga retida de 570,6 mg/dia. No período anterior à poda, a média e o desvio padrão para a retenção da carga de nitrato foi de 273,2±302,8 mg/dia e para a eficiência foi de 21,4±22,1%. No período após a poda a retenção foi praticamente à mesma do período anterior, com 273,8±233,5 mg/dia e a eficiência foi de 14,3±9,5.

A retenção o período estendido antes da poda foi de 19,7 g/período e após a poda a retenção foi de 9,3 g/período.

Tabela 67. Carga de Nitrato – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC5 nas semanas e nos períodos monitorados

LC5 – Colocasia esculenta					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Carga NO ³⁻		Retenção (mg/dia)	Eficiência (%)
		Média semanal (mg/dia)			
		Entrada	Saída		
1 ^a	-	-	-	-	-
2 ^a	-	-	-	-	-
3 ^a	-	-	-	-	-
4 ^a	-	-	-	-	-
5 ^a	5	1.475,7	1.239,3	236,5	16,3
6 ^a	1	978,5	521,6	456,8	46,7
Média e desvio padrão	6	1.392,9±319,1	1.119,7±473,5	273,2±302,8	21,4±22,1
Poda					
7 ^a	1	898,9	841,5	57,4	6,4
8 ^a	1	1.047,6	1.006,6	41,0	3,9
9 ^a	1	1.980,0	1.409,4	570,6	28,8
10 ^a	1	2.007,4	1.802,9	204,5	10,2
11 ^a	1	2.517,5	1.968,3	549,2	21,8
12 ^a	1	1.490,4	1.270,1	220,3	14,8
Média e desvio padrão	6	1.657,0±623,1	1.383,1±439,8	273,8±233,5	14,3±9,5

c) Nitrogênio amoniacal (NH³)

Na Tabela 68 estão apresentadas as médias semanais das concentrações de entrada e saída para o NH₃, bem como a retenção e a eficiência de retenção para o LC5. A concentração do nitrogênio amoniacal foi monitorada em oito semanas das doze monitoradas para o LC5. A maior eficiência de retenção ocorreu antes da poda, na 5^a semana (5 dias de monitoramento) com 12,6%, seguida pela 6^a semana (3 dias de monitoramento) e eficiência de 10,5%. Nesse período a média e o desvio padrão foi de 25,4±4,0 mg/L para o afluente, 22,5±4,1 mg/L para o efluente, 3,0±4,4 mg/L para a retenção e 10,4±16,3% de eficiência de retenção. No período após a poda a 7^a e a 8^a semana apresentaram retenção positiva, no restante das semanas, da 9^a a 12^a semana ocorreram acréscimos. No período, após a poda, a retenção média e o desvio padrão foram de 0,2±4,9 mg/L e a eficiência foi de 0,3±13,0%. O período antes da poda foi mais eficiente na retenção do nitrogênio amoniacal, apresentando 100% de retenção positiva nas semanas monitoradas, enquanto após a poda essa retenção positiva foi de 33,3% das semanas monitoradas.

A retenção média da concentração de nitrogênio amoniacal no período estendido antes da poda foi de 216 mg/período e após a poda a retenção foi de 6,8 mg/período.

Tabela 68. Concentração de nitrogênio amoniacal – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC5 nas semanas e nos períodos monitorados

LC5 – <i>Colocasia esculenta</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Conc. NH ³			
		Média semanal (mg/L)		Retenção (mg/L)	Eficiência (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	-	-	-	-	-
2 ^a	-	-	-	-	-
3 ^a	-	-	-	-	-
4 ^a	-	-	-	-	-
5 ^a	5	25,1	21,7	3,4	12,6
6 ^a	3	25,9	23,1	3,0	10,5
Média e desvio padrão	8	25,4±4,0	22,5±4,1	3,0±4,4	10,4±16,3
Poda					
7 ^a	2	35,8	35,5	0,3	0,8
8 ^a	2	37,1	33,7	2,6	6,8
9 ^a	1	33,9	36,5	-2,6	-7,7
10 ^a	1	36,4	40,2	-3,8	-10,4
11 ^a	1	34,4	36,5	-2,1	-6,1
12 ^a	1	37,7	40,1	-2,4	-6,4
Média e desvio padrão	8	36,0±1,6	35,8±4,3	0,2±4,9	0,3±13,0

Na Tabela 69 encontram-se as cargas de entrada e saída, a retenção e a eficiência de retenção para o nitrogênio amoniacal no LC5. A maior retenção de carga (4.361,3 mg/dia) ocorreu antes da poda, na 6^a semana (3 dias), a eficiência foi de 16,9%, seguida pela 5^a semana (5 dias) com retenção de carga de 4.411,7 mg/dia e 16,4% de eficiência. Nesse período, anterior à poda, a retenção positiva ocorreu em 100% das semanas monitoradas, apresentando média e desvio padrão de 4.380,2±4502,9 mg/dia com eficiência de 16,0±15,2%. No período após a poda, a retenção positiva ocorreu em 66,6% das semanas monitoradas. A máxima retenção nesse período foi de 6.860,8 mg/dia e eficiência de 21,7% na 8^a semana. A média e o desvio padrão para a retenção no período após a poda foi de 1.776,5±4429,4 mg/dia e 5,9±13,8% de eficiência.

No período estendido antes da poda a carga retida NH³ foi de 315,4 g/período e após a poda foi de 60,4 g/período.

Tabela 69. Carga de nitrogênio amoniacal – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC5 nas semanas e nos períodos monitorados

LC5 – Colocasia esculenta					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Carga NH ³			
		Média semanal (mg/dia)		Retenção (mg/dia)	Eficiência (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	-	-	-	-	-
2 ^a	-	-	-	-	-
3 ^a	-	-	-	-	-
4 ^a	-	-	-	-	-
5 ^a	5	23.414,7	19.053,4	4.361,3	16,4
6 ^a	3	22.919,9	18.508,1	4.411,7	15,2
Média e desvio padrão	8	23.229,1±6.020,4	18.848,9±3.094,3	4.380,2±4502,9	16,0±15,2
Poda					
7 ^a	2	26.399,7	25.277,6	1.122,1	3,9
8 ^a	2	31.374,5	24.513,7	6.860,8	21,7
9 ^a	1	33.561,0	34.295,4	-734,4	-2,2
10 ^a	1	42.981,1	45.297,4	-2.316,2	-5,4
11 ^a	1	48.111,8	47.895,3	216,5	0,5
12 ^a	1	37.458,7	36.378,7	1.080,0	2,9
Média e desvio padrão	8	34.707,6±7.792,9	32.931,2±9.989,6	1.776,5±4.429,4	5,9±13,8

d) Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A concentração de DQO de entrada, saída, a retenção e a eficiência de retenção estão apresentadas na Tabela 70. Na qual se observa que a maior retenção e eficiência ocorreram na 8^a e 9^a semana com 22,7 mg/L e 25,9% para a primeira e 19,0 mg/L e 23,5% para a segunda, ambas após a poda. No entanto, na 11^a semana após a poda, ocorreu um acréscimo na concentração de DQO de 74,8 mg/dia e 153,4% de eficiência negativa, o que influenciou na média geral desse período. No período anterior à poda a média e o desvio padrão para a retenção e para a eficiência de retenção foram de 6,3±16,7 mg/L e 1,6±34,7%, nesse período à retenção positiva ocorreu em 100% das semanas monitoradas. Enquanto, para o período após a poda ocorreram acréscimos na concentração de DQO com média e desvio padrão para a retenção de 0,2±34,2 mg/L e eficiência de retenção de 10,4±61,7%. A retenção positiva ocorreu em 66,6% das semanas monitoradas nesse período, no entanto, as retenções positivas não foram suficientes para minimizar o grande acréscimo da concentração de DQO na 11^a semana, mantendo a média desse período negativa.

Tabela 70. Concentração de DQO – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC5 nas semanas e nos períodos monitorados

LC5 – <i>Colocasia esculenta</i>					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Conc. DQO			
		Média semanal (mg/L)		Retenção (mg/L)	Eficiência (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	-	-	-	-	-
2 ^a	-	-	-	-	-
3 ^a	-	-	-	-	-
4 ^a	-	-	-	-	-
5 ^a	5	65,9	59,5	6,4	9,7
6 ^a	3	55,9	49,6	6,3	11,2
Média e desvio padrão	8	62,1±18,7	55,8±7,4	6,3±16,7	1,6±34,7
Poda					
7 ^a	2	75,6	74,2	1,3	1,8
8 ^a	2	87,5	64,8	22,7	25,9
9 ^a	1	80,7	61,7	19,0	23,5
10 ^a	1	31,9	36,4	-4,5	-14,1
11 ^a	1	48,8	123,5	-74,8	-153,4
12 ^a	1	89,3	78,3	11,0	12,3
Média e desvio padrão	8	72,1±22,8	72,3±26,2	-0,2±34,2	-10,4±61,7

A Tabela 71 mostra a carga de DQO de entrada e saída, a retenção e a eficiência de retenção no LC5. Onde se observa que a maior retenção da carga ocorreu na 8^a e na 9^a semana, após a poda, com 23.507,8 mg/dia com 31,3% de eficiência e 21.916,7 mg/dia e 27,4% de eficiência, respectivamente.

No período anterior à poda, 100% das semanas monitoradas apresentaram retenção positiva, com média e desvio padrão para a carga retida de 9.788,3±13.748,9 mg/dia e para a eficiência de 7,5±30,4 %. Enquanto para o período após a poda ocorreram acréscimos na carga de DQO com média e desvio padrão negativos.

No período estendido, antes da poda, a carga média de DQO retida foi de 704,8 g/período, no período após a poda ocorreu acréscimo de DQO no sistema.

Considerando o período após a poda e, comparando o LC5 com o LC3. Obteve-se que o LC3 apresentou maior eficiência que o LC5, com média e desvio padrão de carga retida de 37.867,1±33.134,5 mg/dia e eficiência de 32,4±19,7%, enquanto o LC5 apresentou acréscimos na carga de DQO.

Tabela 71. Carga de DQO – média semanal entrada e saída, retenção e eficiência do LC5 nas semanas e nos períodos monitorados

LC5 – Colocasia esculenta					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Carga DQO			
		Média semanal (mg/dia)		Retenção (mg/dia)	Eficiência (%)
		Entrada	Saída		
1 ^a	-	-	-	-	-
2 ^a	-	-	-	-	-
3 ^a	-	-	-	-	-
4 ^a	-	-	-	-	-
5 ^a	5	62.495,7	52.672,9	9.822,8	5,7
6 ^a	3	48.838,3	39.118,9	9.719,4	11,1
Média e desvio padrão	8	57.943,2±20.595,8	48.154,9±10.575,2	9.788,3±13.748,9	7,5±30,4
Poda					
7 ^a	2	56.618,4	52.349,0	4.269,5	0,7
8 ^a	2	73.799,7	50.291,9	23.507,8	31,3
9 ^a	1	79.927,65	58.010,90	21.916,7	27,42
10 ^a	1	37.632,10	40.959,18	-3327,1	-8,84
11 ^a	1	68.195,74	162.109,19	-93.913,45	-137,71
12 ^a	1	88.718,54	71.042,83	17.675,7	19,92
Média e desvio padrão	8	66.913,8±18.257,6	67.175,5±39.518,6	-261,7±4.0541,0	-4,4±58,7

e) Oxigênio Dissolvido (OD)

Na Tabela 72 está apresentada a concentração de OD do afluente, do efluente, a diferença entre ambos e a eficiência de acréscimo. O maior acréscimo na concentração de OD ocorreu na 5^a semana, antes da poda, com 0,45 mg/L e 26,1% de eficiência de acréscimo. No período anterior à poda, a média e o desvio padrão para a diferença entre a entrada e a saída e para a eficiência de retenção, foram negativos com 0,2±0,4 mg/L e 5,7±34,1%. No período posterior à mesma, a média e o desvio padrão foi de 0,1±0,7 mg/L e 0,5±29,3 %. Nesse período, após a poda, ocorreu acréscimo na concentração de OD em 50% das semanas monitoradas, enquanto no período anterior à poda, esse acréscimo ocorreu em 66,6% das semanas monitoradas.

Tabela 72. Concentração de OD – média semanal entrada e saída, diferença entrada-saída e do LC5 nas semanas e nos períodos monitorados

LC5 – Colocasia esculenta					
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Concentração OD			
		Média semanal (mg/L)		Diferença entrada-saída (mg/L)	Eficiência (%)
		Entrada	saída		
1 ^a	5	0,8	0,5	0,23	30,7
2 ^a	-	-	-	-	-
3 ^a	-	-	-	-	-
4 ^a	-	-	-	-	-
5 ^a	5	1,9	2,4	-0,51	-26,1*
6 ^a	3	2,7	3,1	-0,41	-15,2*
Média e desvio padrão	13	1,7±1,0	1,9±1,2	-0,2±0,4	-5,7±34,1
Poda					
7 ^a	2	1,7	1,0	0,70	40,1
8 ^a	2	2,9	3,4	-0,45	-15,2*
9 ^a	1	1,3	1,1	0,18	14,4
10 ^a	1	2,8	3,1	-0,29	-10,5*
11 ^a	1	3,3	3,0	0,30	9,3
12 ^a	1	2,3	2,5	-0,19	-8,2*
Média e desvio padrão	8	2,4±0,9	2,3±1,1	0,1±0,7	0,5±29,3

* Valores negativos significam acréscimo de OD

f) Potencial hidrogeniônico (pH)

Na Tabela 73 têm-se os valores de pH no LC5 ao longo das semanas monitoradas na qual se observa que os valores de pH de saída foram inferiores aos valores de pH de entrada, até a 6^a semana. Da 6^a a 11^a semana o pH de saída aumentou e na 12^a semana o pH de entrada foi novamente diminuído.

O pH do afluente foi diminuído em 0,09 na 2^a e na 4^a semana com pH de entrada 7,37 e pH de saída de 7,27 e 7,44 (entrada) e 7,35 (saída), respectivamente.

O pH no LC5 foi reduzido em 83,3% do período monitorado antes da poda com média e desvio padrão do pH do afluente foi de 7,31±0,27 e do efluente de 7,25±0,26. No período monitorado após a poda, o pH foi diminuído em apenas 16,6% das semanas monitoradas, a média e o desvio padrão foi 7,34±0,12 para o afluente e de 7,38±0,11 para o efluente.

Tabela 73. pH – média semanal entrada e saída, diferença entrada-saída do LC5 nas semanas e nos períodos monitorados

LC5 – <i>Colocasia esculenta</i>				
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	pH		
		Média semanal Entrada	Média semanal Saída	Diferença entrada-saída
1 ^a	5	7,44	7,38	0,06
2 ^a	5	7,37	7,27	0,09
3 ^a	5	6,94	6,85	0,08
4 ^a	5	7,44	7,35	0,09
5 ^a	5	7,34	7,33	0,01
6 ^a	3	7,34	7,35	-0,01
Média e desvio padrão	28	7,31±0,27	7,25±0,26	0,06±0,06
Poda				
7 ^a	2	7,35	7,39	-0,04
8 ^a	2	7,22	7,26	-0,04
9 ^a	1	7,32	7,36	-0,04
10 ^a	1	7,31	7,34	-0,03
11 ^a	1	7,35	7,41	-0,07
12 ^a	1	7,60	7,59	0,01
Média e desvio padrão	8	7,34±0,12	7,38±0,11	- 0,04±0,02

g) Condutividade elétrica (CE)

Na Tabela 74, encontram-se os valores da CE de entrada de saída e a diferença entre ambas. No período antes da poda, a maior diferença ocorreu na 5^a semana com 56 µS/cm positivo. Nesse período a média e o desvio padrão foi de 934±130 µS/cm/dia (entrada) e 914±113 µS/cm (saída). Após a poda, a maior diminuição da CE ocorreu na 8^a semana com 108 µS/cm e valores de entrada e saída de 951 e 843 µS/cm, respectivamente. Nesse período também ocorreu o maior aumento da CE, na 10^a semana com 150 µS/cm/dia e valores de 923 µS/cm (entrada) e 1073 µS/cm (saída).

Tabela 74. CE – média semanal entrada e saída, diferença entrada-saída do LC5 nas semanas e nos períodos monitorados

LC5 – <i>Colocasia esculenta</i>				
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	CE		
		Média semanal (µS/cm)		Diferença entrada-saída (µS/cm)
		Entrada	Saída	
1 ^a	5	881	893	-12
2 ^a	5	860	859	0
3 ^a	5	918	895	23
4 ^a	5	1.062	1.033	29
5 ^a	5	921	865	56
6 ^a	3	986	959	27
Média e desvio padrão	28	934±130	914±113	20±72
Poda				
7 ^a	2	895	920	-24
8 ^a	2	951	843	108
9 ^a	1	867	955	-88
10 ^a	1	923	1073	-150
11 ^a	1	952	913	39
12 ^a	1	1.271	1.224	47
Média e desvio padrão	8	963±129	961±138	2±108

h) Temperatura da água (Temp)

As temperaturas do LC5 nas semanas monitoradas podem ser vistas na Tabela 75. A maior diferença entre a temperatura de entrada e a temperatura de saída ocorreu, antes da poda, na 5^a semana, com diminuição de 1,7 °C e valores de 20,0 °C (entrada) e 18,2 °C (saída). Após a poda, a maior diminuição da temperatura ocorreu na 12^a semana com 1,5 °C e valores de 21,9 °C (entrada) e 20,5 °C (saída). As temperaturas foram diminuídas em 100% das semanas tanto antes quanto depois da poda.

No período anterior à poda, a média e desvio padrão foram de 21,2±1,7 °C (afluente) e 20,5±1,9 °C (efluente) e no período após a poda foram de 21,5±1,7 (afluente) e 21,2±2,0 °C (efluente).

Tabela 75. Temperatura da água – média semanal entrada e saída, diferença entrada-saída do LC5 nas semanas e nos períodos monitorados

LC5 – <i>Colocasia esculenta</i>				
Semanas monitoradas	Dias monitorados em cada semana	Temperatura		
		Média semanal (°C)		Diferença entrada-saída (°C)
		Entrada	Saída	
1 ^a	5	22,5	22,1	0,4
2 ^a	5	22,9	22,3	0,5
3 ^a	5	23,3	22,9	0,5
4 ^a	5	19,2	18,7	0,6
5 ^a	5	20,0	18,2	1,7
6 ^a	3	20,6	20,1	0,5
Média e desvio padrão	28	21,2±1,7	20,5±1,9	0,7±0,7
		Poda		
7 ^a	2	19,5	19,3	0,2
8 ^a	2	21,2	20,5	0,6
9 ^a	1	22,1	22,1	0,0
10 ^a	1	24,4	23,9	0,5
11 ^a	1	22,4	21,9	0,5
12 ^a	1	21,9	20,5	1,5
Média e desvio padrão	8	21,5±1,7	21,2±2,0	0,3±1,0

4.5. Análise estatística

Na análise estatística foram considerados apenas os dias comuns entre os LC. Sendo assim, as variáveis analisadas estatisticamente na escala horária e diária foram vazão, temperatura da água, CE, pH, fósforo total e concentração de OD totalizando 13 dias de monitoramento. As variáveis, nitrato, nitrogênio amoniacal e DQO foram analisadas somente na escala diária, e totalizaram 7 dias comuns.

a) Estatística não paramétrica

Na comparação entre os LC estudados foram realizados diferentes testes estatísticos. Primeiramente aplicou-se o teste de Shapiro-Wilk a nível de 5% de significância verificando a existência de normalidade dos dados. A maioria dos dados não apresentou normalidade, portanto os testes estatísticos utilizados foram os não-paramétricos. Para tanto, foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, ao nível de significância de 5%, para comparação entre os LC testando as hipóteses: H_0 = não há diferença entre os LC (não rejeito quando $p\text{-valor} > 0,05$) e H_1 = há diferença entre pelo menos 2 LC (não rejeito quando $p\text{-valor} < 0,05$). O teste de Kruskal-Wallis foi aplicado para as variáveis de entrada dos LC (LC1, LC2 e LC3). Quando a hipótese H_0 era rejeitada utilizava-se o teste de Mann-Whitney, fazendo o pareamento entre os LC (LC1 e LC2; LC1 e LC3; LC2 e LC3), identificando assim quais tratamentos (LC) diferiram entre si. Entre o LC4 e o LC5 foi aplicado o teste não paramétrico de Mann-Whitney ao nível de significância de 5% testando também as hipóteses: H_0 e H_1 .

Para testar a diferença entre as variáveis de entrada e saída, isto é, a eficiência para cada variável (dado de entrada – dado de saída), utilizou-se o Teste de Kruskal-Wallis entre todos os LC, quando a hipótese H_0 era rejeitada utilizava-se o teste de Mann-Whitney fazendo o pareamento dos LC (LC1 e LC2, LC1 e LC3, LC1 e LC4, LC1 e LC5; LC2 e LC3, LC2 e LC4, LC2 e LC5; LC3 e LC4, LC3 e LC4 e LC4 e LC5).

Para a realização de todas as análises, os dados foram divididos em: horários (antes e depois da poda) e diários (antes e depois da poda). As variáveis DQO, nitrato e nitrogênio amoniacal foram analisados somente em dados diários (antes e depois da poda), pois as amostras eram compostas diárias.

b) Variáveis de entrada nos LC na escala horária antes e depois da poda

Segundo o teste de Kruskal-Wallis não houve diferença estatística para as variáveis de entrada, na escala horária tanto antes quanto depois da poda entre o LC1, LC2 e LC3, demonstrando que o afluente era igual para todos os LC dessa primeira linha (Tabela 76 e Tabela 77).

Pelo teste de Mann-Whitney houve diferença estatística apenas para o pH entre o LC4 e o LC5 na escala horária, antes da poda. O LC4 apresentou pH médio mais básico de $7,6 \pm 0,3$ e o LC5 pH médio de $7,4 \pm 0,1$. As variáveis, vazão, CE, temperatura da água, concentração de OD, concentração e carga de fósforo total não diferiram estatisticamente (Tabela 78). Na escala horária, após a poda, houve diferença estatística no pH e na carga de fósforo total, sendo que o LC4 apresentou pH médio de $7,4 \pm 0,1$ e o LC5 pH médio de $7,3 \pm 0,1$, no LC5. A carga média de fósforo total foi de $408,4 \pm 130,0$ mg enquanto no LC4 a carga média foi de $366,7 \pm 141,6$ mg. As variáveis, vazão, CE, temperatura da água, concentração de OD e concentração de fósforo total não apresentaram diferença estatística (Tabela 79).

Tabela 76. Média das variáveis de entrada para o LC1, LC2 e LC3 e os p-valores na escala horária, antes da poda, de acordo com o Teste Kruskal-Wallis

Variável	LC1	LC2	LC3	p-valor
Vazão (L)	96,0	96,4	98,5	0,91
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	907,3	907,3	907,3	1,00
Temperatura água ($^{\circ}\text{C}$)	23,3	23,3	23,3	1,00
pH	7,9	7,9	7,9	0,98
Concentração OD (mg/L)	1,48	1,48	1,48	1,00
Concentração P (mg/L)	3,1	3,1	3,1	1,00
Carga P (mg)	300,0	297,8	310,2	0,73

* Médias diferem estatisticamente ao nível de significância de 5%.

Tabela 77. Média das variáveis de entrada para o LC1, LC2 e LC3 e os p-valores na escala horária, depois da poda, de acordo com o Teste Kruskal-Wallis

Variável	LC1	LC2	LC3	p-valor
Vazão (L)	2,5	3,5	2,5	0,53
CE ($\mu\text{S/cm}$)	923,8	934,4	934,4	0,99
Temperatura água ($^{\circ}\text{C}$)	23,2	23,2	23,2	0,99
pH	7,7	7,7	7,7	0,95
Concentração OD (mg/L)	2,84	2,84	2,84	1,00
Concentração P (mg/L)	3,9	3,9	3,9	1,00
Carga P (mg)	364,1	364,4	386,1	0,39

* Médias diferem estatisticamente ao nível de significância de 5%.

Tabela 78. Média das variáveis de entrada para o LC4 e LC5 e os p-valores na escala horária, antes da poda, de acordo com o Teste Mann-Whitney

Variável	LC4	LC5	p-valor
Vazão (L)	91,0	93,5	0,65
CE ($\mu\text{S/cm}$)	886,2	897,0	0,86
Temperatura água ($^{\circ}\text{C}$)	22,5	22,2	0,21
pH	7,6	7,4	0,00*
Concentração OD (mg/L)	0,96	1,06	0,33
Concentração P (mg/L)	2,9	2,8	0,98
Carga P (mg)	267,5	277,9	0,76

* Médias diferem estatisticamente ao nível de significância de 5%.

Tabela 79. Média das variáveis de entrada para o LC4 e LC5 e os p-valores na escala horária, depois da poda, de acordo com o Teste Mann-Whitney

Variável (entrada)	LC4	LC5	p-valor
Vazão (L)	91,0	96,8	0,22
CE ($\mu\text{S/cm}$)	935,0	963,3	0,07
Temperatura água ($^{\circ}\text{C}$)	22,0	21,5	0,15
pH	7,4	7,3	0,05*
Concentração OD (mg/L)	2,27	2,38	0,60
Concentração P (mg/L)	4,0	4,3	0,06
Carga P (mg)	366,7	408,4	0,01*

* Médias diferem estatisticamente ao nível de significância de 5%.

c) Diferença entre as médias de entrada e saída das variáveis dos LC na escala horária antes e depois da poda

A diferença entre a entrada e a saída das variáveis identifica a eficiência entre os tratamentos utilizados. Na Tabela 80 observa-se a média da diferença entre a entrada e a saída de cada variável para os LC com seus respectivos p-valores. De acordo com o teste de Kruskal-Wallis, escala horária antes da poda, a temperatura da água e a concentração de OD diferiram estatisticamente, o LC2 e o LC3 apresentaram médias maiores em relação aos outros LC. A concentração de OD também apresentou diferença estatística entre o LC4 e o LC5, que apesar de não terem apresentado acréscimos reais na concentração de OD, apresentaram as

menores diminuições entre os LC. Esse fato pode ter sido influenciado devido ao efluente ser originário de um LC anterior, o LC2 e o LC3, proporcionando maior oxigenação do meio.

Tabela 80. Diferença média das variáveis entre a entrada e a saída para todos os LC e seus respectivos p-valores, na escala horária, antes da poda, de acordo com o Teste Kruskal-Wallis

Variável (diferença E-S)	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	p-valor
Vazão (L)	5,8	5,5	5,7	6,4	7,0	0,15
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	27,4	39,3	10,3	17,1	1,5	0,10
Temperatura água ($^{\circ}\text{C}$)	0,5	1,1	1,1	0,5	0,5	0,00*
Concentração OD (mg/L)	0,71	0,46	0,37	0,01	0,11	0,00*
concentração P (mg/L)	0,2	0,1	0,2	0,0	0,0	0,98
carga P (mg)	31,3	30,6	33,2	17,3	25,6	0,91

* Médias diferem estatisticamente ao nível de significância de 5%.

Na Tabela 81 observa-se o pareamento dos LC no Teste de Mann-Whitney para as variáveis que diferiram estatisticamente no Teste de Kruskal-wallis na escala horária antes da poda.

Houve diferença estatística para a temperatura da água entre o LC1, LC2 e LC3, entre o LC2, LC4 e LC5, entre o LC3, LC4 e LC5. A concentração de OD diferiu estatisticamente entre todos os LC, exceto entre o LC2 e o LC3.

Tabela 81. P-valores para o teste de Mann-Whitney cuja hipótese nula foi rejeitada no teste de Kruskal-Wallis para as variáveis na escala horária, antes da poda

Variável	Pareamento dos LC									
	LC1/LC2	LC1/LC3	LC1/LC4	LC1/LC5	LC2/LC3	LC2/LC4	LC2/LC5	LC3/LC4	LC3/LC5	LC4/LC5
Temperatura água (°C)	0,00*	0,00*	0,53	0,27	0,59	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,80
Concentração OD (mg/L)	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,35	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,04*

* Médias diferem estatisticamente ao nível de significância de 5%.

Na Tabela 82 observa-se a média da diferença entre a entrada e a saída das variáveis nos LC na escala horária depois da poda e o p-valor segundo o teste de Kruskal-Wallis. As variáveis que diferiram estatisticamente foram: vazão, temperatura da água, concentração de OD e carga de fósforo total.

Para a vazão, o LC5 apresentou maior média com 5,7 L, seguido pelo LC4 com 3,6 L e pelo LC2 com 3,2 L. Na temperatura da água a média mais alta ocorreu no LC3 com 1,4°C e a menor média no LC5 com 0,3°C. A concentração de OD teve aumento somente no LC4 com 0,58 mg/L. Na carga de fósforo total o LC5 foi o mais eficiente com 23,5 mg/L de retenção, enquanto os outros LC apresentaram acréscimos.

Tabela 82. Diferença das variáveis entre a entrada e a saída do LC para todos os LC com valores médios e os p-valores na escala horária, depois da poda, de acordo com o Teste Kruskal-Wallis

Variável (diferença E-S)	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	p-valor
Vazão (L)	2,5	3,5	2,5	3,6	5,7	0,05*
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	-2,1	-16,4	-21,7	-8,1	2,0	0,69
Temperatura água (°C)	1,1	1,2	1,4	0,5	0,3	0,00*
Concentração OD (mg/L)	0,56	0,58	0,46	-0,58	0,06	0,00*
Concentração P (mg/L)	-0,2	-0,1	-0,3	-0,3	0,0	0,36
Carga P (mg)	-17,1	-9,8	-26,6	-7,4	23,5	0,01*

*Médias diferem estatisticamente ao nível de significância de 5%.

No pareamento dos LC, pelo teste de Mann-Whitney, para as variáveis que diferiram estatisticamente no teste de Kruskal-Wallis concluiu-se que: a vazão do LC1, do LC2 e do LC3 diferiu do LC5, o qual obteve maior média dentre os LC (5,7 L). Para a temperatura da água o LC4 e o LC5 diferiram do LC1, LC2 e do LC3. Na concentração de OD o LC4 e o LC5 diferiram dos outros LC. No entanto, o LC5 não apresentou acréscimo real, mas o consumo foi muito baixo em relação aos outros LC. A carga de fósforo total diferiu entre o LC1 e o LC5, o LC2 e o LC3, o LC3 e o LC4, o LC3 e o LC5. Porém, apenas o LC5 apresentou retenção positiva em relação aos outros quatro LC estudados.

Tabela 83. P-valores do teste de Mann-Whitney cuja hipótese nula foi rejeitada no teste de Kruskal-Wallis para as variáveis em escala horária, depois da poda

Variável	Pareamento LC									
	LC1/LC2	LC1/LC3	LC1/LC4	LC1/LC5	LC2/LC3	LC2/LC4	LC2/LC5	LC3/LC4	LC3/LC5	LC4/LC5
Vazão (L)	0,81	0,71	0,31	0,01*	0,93	0,49	0,02*	0,51	0,01*	0,09
Temperatura água (°C)	0,67	0,07	0,00*	0,00*	0,14	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,50
Concentração OD (mg/L)	0,73	0,98	0,00*	0,00*	0,74	0,00*	0,04*	0,00*	0,06	0,00*
Carga P (mg)	0,68	0,11	0,50	0,03*	0,05*	0,85	0,12	0,02*	0,00*	0,07

*Médias diferem estatisticamente ao nível de significância de 5%.

d) Variáveis de entrada nos LC na escala diária antes e depois da poda

Assim como na escala horária, na escala diária antes e depois da poda também não houve diferença estatística entre o afluente do LC1, LC2 e LC3, demonstrando que o efluente era o mesmo para todos os LC (Tabela 84 e Tabela 85).

Tabela 84. Média para as variáveis de entrada para o LC1, LC2 e LC3 e os p-valores para as variáveis na escala diária, antes da poda, de acordo com o Teste Kruskal-Wallis

Variável	LC1	LC2	LC3	p-valor
Vazão (L)	96,0	97,1	98,5	0,95
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	907,3	907,3	897,0	1,00
Temperatura água ($^{\circ}\text{C}$)	23,3	23,3	23,3	1,00
pH	7,9	7,9	7,8	0,97
Concentração OD (mg/L)	1,78	1,78	1,61	0,91
Concentração P (mg/L)	3,1	3,1	3,1	1,00
Carga P (mg)	3.000,4	2.978,4	3.102,0	0,98
Concentração NO_3^- (mg/L)	2,1	1,9	1,7	0,37
Carga NO_3^- (mg)	1.753,9	1.675,8	1.447,4	0,37
Concentração NH_3 (mg/L)	32,0	29,5	27,7	0,67
Carga NH_3 (mg)	29.315,0	26.744,9	25.511,6	0,96
Concentração DQO (mg/L)	96,2	76,3	117,4	0,11
Carga DQO (mg)	87.426,1	70.826,5	105.987,7	0,25

*Médias diferem estatisticamente ao nível de significância de 5%.

Tabela 85. Média para as variáveis de entrada para o LC1, LC2 e LC3 e os p-valores na escala diária, depois da poda, de acordo com o Teste Kruskal-Wallis

Variável	LC1	LC2	LC3	p-valor
Vazão (L)	94,4	94,5	99,2	0,88
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	935,3	934,4	934,4	1,00
Temperatura água ($^{\circ}\text{C}$)	23,2	23,2	23,2	1,00
pH	7,7	7,7	7,7	1,00
Concentração OD (mg/L)	2,84	2,84	2,70	0,95
Concentração P (mg/L)	3,9	3,9	3,9	1,00
Carga P (mg)	3.636,2	3.651,7	3.874,3	0,76
Concentração NO_3^- (mg/L)	1,7	1,7	1,5	0,69
Carga NO_3^- (mg)	1.795,8	1.774,4	1.604,0	0,98
Concentração NH_3 (mg/L)	35,2	34,9	35,3	0,97
Carga NH_3 (mg)	32.643,2	32.569,4	34.518,8	0,91
Concentração DQO (mg/L)	113,3	112,9	109,2	0,98
Carga DQO (mg)	105.353,8	103.221,0	106.264,7	0,95

*Médias diferem estatisticamente ao nível de significância de 5%.

A Tabela 86 apresenta a análise estatística de acordo com o teste de Mann-Whitney, na escala diária antes da poda, para o LC4 e o LC5. Onde se observa que houve diferença

estatística entre os LC, apenas para a carga de nitrogênio amoniacal, cuja média do LC5 foi mais que o dobro da média de entrada do LC4. Nessa escala, para as variáveis concentração e carga de nitrato não foram aplicados os testes estatísticos devido ao pequeno número de dados.

Tabela 86. Média para as variáveis de entrada para o LC4 e LC5 e os p-valores para as variáveis na escala diária, antes da poda, de acordo com o Teste Mann-Whitney

Variável	LC4	LC5	p-valor
Vazão (L)	91,7	93,5	0,64
CE (µS/cm)	868,0	897,0	0,43
Temperatura água (°C)	22,5	22,2	0,40
pH	7,4	7,4	0,40
Concentração OD (mg/L)	1,32	1,49	0,56
Concentração P (mg/L)	2,9	2,8	0,23
Carga P (mg)	2.694,7	2.778,9	0,37
Concentração NO ³⁻ (mg/L)	1,5	1,2	-
Carga NO ³⁻ (mg)	1.269,0	978,5	-
Concentração NH ³ (mg/L)	25,3	25,9	0,66
Carga NH ³ (mg)	22.108,6	48.838,3	0,05*
Concentração DQO (mg/L)	66,6	55,9	0,66
Carga DQO (mg)	58.603,1	39.118,9	0,08

*Médias diferem estatisticamente ao nível de significância de 5%.

Na Tabela 87 pode-se observar o resultado estatístico de acordo com o teste de Mann-Whitney na escala diária, depois da poda, para as variáveis de entrada no LC4 e no LC5. De acordo com os p-valores, houve diferença estatística para a carga de nitrogênio amoniacal, onde a média da carga de entrada no LC5 mais que 100% superior em relação a média de entrada do LC4.

Tabela 87. Média para as variáveis de entrada para o LC4 e LC5 e os p-valores para as variáveis na escala diária, depois da poda, de acordo com o Teste Mann-Whitney

Variável (entrada)	LC4	LC5	p-valor
Vazão (L)	91,0	96,8	0,64
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	950,8	963,3	0,43
Temperatura água ($^{\circ}\text{C}$)	22,0	21,5	0,40
pH	7,4	7,3	0,40
Concentração OD (mg/L)	2,27	2,38	0,56
Concentração P (mg/L)	4,0	4,3	0,23
Carga P (mg)	3.668,9	4.140,3	0,37
Concentração NO_3^- (mg/L)	1,2	1,6	0,13
Carga NO_3^- (mg)	1.118,7	1.657,0	0,17
Concentração NH_3 (mg/L)	35,7	36,0	0,49
Carga NH_3 (mg)	32.500,1	66.913,8	0,00*
Concentração DQO (mg/L)	65,4	72,1	0,43
Carga DQO (mg)	56.943,2	67.175,5	1,00

*Médias diferem estatisticamente ao nível de significância de 5%.

e) Diferença entre as médias de entrada e a saída das variáveis dos LC na escala diária antes e depois da poda

Na Tabela 88 têm-se as médias e os p-valores da diferença, entre as médias de entrada e a saída para todos os LC de acordo com o teste de Kruskal-Wallis na escala diária, antes da poda. Para as variáveis diferentes entre si, temperatura da água e concentração de OD, aplicou-se o Teste de Mann-Whitney com os LC pareados (Tabela 89).

Na Tabela 89 observa-se que na análise pareada dos LC, a temperatura da água do LC1 diferiu do LC2 e do LC3 sendo o que o LC1 apresentou $0,7^{\circ}\text{C}$ de diferença enquanto os outros dois LC apresentaram $1,1^{\circ}\text{C}$ de diferença. O LC2 e o LC3 também diferiram do LC4 e do LC5, cuja diferença de temperatura média da água para os últimos foi de $0,5^{\circ}\text{C}$. Na concentração de OD houve diferença estatística do LC1 e do LC2, com o LC4 e o LC5. O LC1 e o LC2 não aumentaram a concentração de OD no LC, diminuindo-o em $0,67 \text{ mg/L}$ e $0,46 \text{ mg/L}$, respectivamente, enquanto o LC4 foi eficiente com acréscimos de $0,15 \text{ mg/L}$ e o LC5 com acréscimos de $0,01 \text{ mg/L}$.

Tabela 88. Média das variáveis de diferença entre a entrada e a saída para todos os LC e os p-valores na escala diária, antes da poda, de acordo com o Teste Kruskal-Wallis

Variável (diferença E-S)	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	p-valor
Vazão (L)	58,4	55,0	56,9	64,3	70,1	0,37
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	27,4	39,3	8,0	5,8	1,5	0,69
Temperatura água ($^{\circ}\text{C}$)	0,7	1,1	1,1	0,5	0,5	0,00*
Concentração OD (mg/L)	0,67	0,46	0,09	-0,15	-0,01	0,00*
concentração P (mg/L)	0,2	0,1	0,2	0,0	0,0	0,98
carga P (mg)	312,6	306,0	332,0	174,1	255,6	0,80
Concentração NO_3^- (mg/L)	0,8	0,6	0,4	0,2	0,5	0,41
Carga NO_3^- (mg)	698,6	576,0	387,4	206,6	456,8	0,41
Concentração NH_3 (mg/L)	5,2	2,7	0,1	-1,0	2,2	0,23
Carga NH_3 (mg)	5.845,4	3.539,7	1.620,6	544,6	9.719,4	0,38
Concentração DQO (mg/L)	18,5	7,3	54,2	6,8	6,3	0,11
Carga DQO (mg)	19.088,3	11.175,6	51.582,0	9.253,3	9.719,4	0,15

*Médias diferem estatisticamente ao nível de significância de 5%.

Tabela 89. Teste de Mann-Whitney com os LC pareados indicando os p-valores para a diferença de entrada e a saída das variáveis na escala diária, antes da poda

Variável	Pareamento dos LC									
	LC1/LC2	LC1/LC3	LC1/LC4	LC1/LC5	LC2/LC3	LC2/LC4	LC2/LC5	LC3/LC4	LC3/LC5	LC4/LC5
Temperatura água (°C)	0,03*	0,03*	0,14	0,16	0,88	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,59
Concentração OD (mg/L)	0,16	0,07	0,00*	0,01*	0,21	0,01*	0,04*	0,32	0,56	0,37

*Médias diferem estatisticamente ao nível de significância de 5%.

Na Tabela 90, estão apresentadas as médias e os p-valores dos LC para a diferença entre a entrada e a saída, na escala diária depois da poda. Nessa tabela pode-se observar que houve diferença estatística para a temperatura da água, concentração de OD, concentração e carga de nitrato, concentração e carga de DQO.

Tabela 90. Média das variáveis de diferença entre a entrada e a saída para todos os LC com p-valores, na escala diária, depois da poda, de acordo com o Teste Kruskal-Wallis.

Variável (diferença E-S)	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	p-valor
Vazão (L)	25,0	35,1	25,0	36,5	56,9	0,10
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	-2,0	-16,4	-28,8	7,8	2,0	0,76
Temperatura água ($^{\circ}\text{C}$)	1,1	1,2	1,4	0,5	0,3	0,00*
Concentração OD (mg/L)	0,56	0,57	0,32	-0,58	0,06	0,01*
Concentração P (mg/L)	-0,2	-0,1	-0,4	-0,3	0,0	0,82
Carga P (mg)	-170,7	-98,1	-265,9	-73,7	235,4	0,60
Concentração NO_3^- (mg/L)	0,4	0,6	-0,1	-0,2	0,2	0,02*
Carga NO_3^- (mg)	531,7	640,0	-53,0	-184,7	273,8	0,03*
Concentração NH_3 (mg/L)	0,5	-0,6	-0,5	0,1	0,2	0,98
Carga NH_3 (mg)	898,7	-207,6	2,7	904,1	-261,7	0,78
Concentração DQO (mg/L)	42,0	44,4	34,9	1,9	-0,2	0,00*
Carga DQO (mg)	39.459,8	37.706,8	37.822,9	1.887,3	- 4.978,5	0,00*

*Médias diferem estatisticamente ao nível de significância de 5%.

Na Tabela 91, pode-se observar o resultado da aplicação do teste de Mann-Whitney para os LC que obtiveram hipótese H1, não rejeitada, no Teste de Kruskal-Wallis, na escala diária, depois da poda. Na temperatura da água houve diferença estatística entre o LC2, o LC4 e o LC5 e entre o LC3, o LC4 e o LC5. A temperatura da água teve menor variação no LC4 e no LC5 que apresentaram menores médias na diferença entre a entrada e a saída com 0,5 $^{\circ}\text{C}$ e 0,3 $^{\circ}\text{C}$, respectivamente, enquanto o LC2 (1,2 $^{\circ}\text{C}$) e o LC3 (1,4 $^{\circ}\text{C}$) obtiveram médias mais altas, isto é, ocorreu maior redução da temperatura de entrada nos mesmos.

Na concentração de OD o LC4 foi diferente estatisticamente do LC1, LC2 e LC5, dentre os LC estudados foi o que mais aumentou a concentração de OD no meio.

Na concentração de nitrato houve diferença do LC2 com o LC3 e o LC4, e entre o LC4 e o LC5. O LC1, LC2 e o LC5 obtiveram retenções positivas para a concentração de nitrato. A carga de nitrato também diferiu estatisticamente para os mesmos LC que a concentração e o LC1, LC2 e o LC5 permaneceram com retenções positivas.

A concentração de DQO do LC4 e do LC5 diferiu do LC1, LC2 e LC3 com retenções inferiores aos mesmos, que apresentaram médias superiores. Assim também ocorreu para a carga de DQO em que o LC1, LC2 e LC3, obtiveram retenções superiores ao LC4 e ao LC5.

Na Tabela 92 observa-se que o Tempo de detenção hidráulico para os LC foram iguais estatisticamente nos períodos, tanto antes quanto depois da poda.

Tabela 91. TDH médio nos LC no período antes da poda e depois da poda e valor de P de acordo com o Teste Kruskal-Wallis

TDH (dias)	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	Valor de P
Antes poda	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	0,11
Depois poda	1,4	1,4	1,3	1,3	1,1	0,56

5. DISCUSSÃO

Nesse item serão discutidos os resultados obtidos no presente trabalho. Para tanto, será discutida primeiramente a vegetação dos LC, posteriormente a quantidade da água (vazão, volume, TDH, evapotranspiração) e a qualidade da água (fósforo total, nitrato, nitrogênio amoniacal, DQO, CE, pH e temperatura da água).

5.1 Vegetação nos leitos cultivados

Nesse ítem serão discutidos o índice de área foliar, a biomassa produzida e a exportação dos nutrientes, nitrogênio e fósforo.

a) Índice de área foliar (IAF)

A partir do IAF foi possível identificar a diferença de desenvolvimento entre as plantas estudadas nos LC. A Tabela 92 apresenta o valor máximo de IAF encontrado para cada espécie utilizada nos LC, divididas entre os períodos de poda. Os valores máximos de IAF para o LC1, LC2 e LC3 na Tabela 92 a, b, c representam condições na semana da poda, quando a vegetação estava em seu desenvolvimento máximo. Porém, no LC5 o valor máximo de IAF (3,4) ocorreu, aproximadamente, três meses antes da poda, na semana da mesma, o IAF calculado estava em 0,2, conforme pode ser observado na Tabela 92 d.

Tabela 92. Índice de área foliar (IAF) máximo nos períodos de monitoramento

Tabela 92 a

LC1	
Período	Valor máximo do IAF
23/01/2009 a 14/08/2009	4,0
15/08/2009 a 19/10/2009	3,7

Tabela 92 b

LC2	
Período	Valor máximo do IAF
23/01/2009 a 14/08/2009	13,7
15/08/2009 a 19/10/2009	4,1

Tabela 92 c

LC3	
Período	Valor máximo do IAF
23/01/2009 a 04/05/2009	11,6
04/05/2009 a 14/08/2009	10,6
15/08/2009 a 19/10/2009	1,4

Tabela 92 d

LC5	
Período	Valor máximo do IAF
19/03/2009 a 14/08/2009	3,4*
15/08/2009 a 19/10/2009	0,4

* valor máximo encontrado dentro do período. LC1 (*Hedychium coronarium*); LC2 (*Heliconia psittacorum*); LC3 (*Cyperus alternifolius*); LC5 (*Colocasia esculenta*)

O IAF máximo calculado para o LC1 com a macrófita *Hedychium coronarium* foi 4,0. O IAF desse LC foi comparado com o LC2, que estava plantado com a planta *Heliconia psittacorum* e apresentou IAF máximo calculado de 13,7. O IAF do LC1 inferior ao LC2 pode ser explicado pelos problemas de desenvolvimento (alelopatia promovida pelo aguapé), já relatados no item resultados. Asmus et al. (2007) avaliaram a propagação semanal das plantas de *Hedychium coronarium* e de *Heliconia psittacorum* e observaram que o *Hedychium coronarium* se desenvolvia com maior rapidez (29,4%) em relação à *Heliconia psittacorum* (15,4%). Ainda segundo os autores, o *Hedychium coronarium* é uma planta de desenvolvimento rápido. Após a poda, o LC1 não apresentou mais problemas de desenvolvimento e o IAF medido estava em 3,7, próximo ao IAF medido no LC2 (4,1).

O LC3 com a macrófita *Cyperus alternifolius* apresentou IAF de 11,6 na primeira poda e de 10,6 na segunda poda, no entanto, observou-se que essa planta não se recuperou bem após as podas. Após a 2ª poda o IAF apresentava-se mais baixo do que os outros LC com

IAF medido de 1,4. A rotina IDL (Interactive Data Language) utilizada na identificação da AF se mostrou eficiente, principalmente por considerar apenas as áreas verdes da folha.

No LC5 a *Colocasia esculenta*, demonstrou ter um ciclo mais curto do que as outras plantas em estudo, apresentando pico de crescimento com IAF máximo e declínio do mesmo em seguida, retornando a evolução do IAF somente após a poda. Gondim et al. (2007) relatou declínio da AF a partir dos 120 dias da cultura instalada.

Os valores de IAF encontrados para as plantas utilizadas nesse estudo foram comparadas com valores de IAF encontrados em diferentes plantas. Para o caso da cana-de-açúcar o IAF medido por Silva et al. (2009), utilizando aparelho Plant Canopy Analyzer, modelo LAI-2000 LI-COR foi encontrado valor máximo de IAF, no final do ciclo vegetativo, de 4,3. Portes et al. (2000) trabalharam com *Brachiaria brizantha* e relataram que o IAF máximo foi em torno de 7,5 e que ocorreu aos 117 dias após a emergência (DAE) após este período o IAF declinou, chegando a 4,8 aos 151 DAE. Vieira et al. (2006) analisaram o IAF para a cultura do milho a partir do programa computacional SIARCS 3.0® comparando dois métodos de irrigação, aspersão e sulco. O IAF encontrado para o milho foi 4,0 para a irrigação por aspersão e de 4,1 para a irrigação em sulcos. Esses autores utilizaram aparelhos para determinação do IAF e programas computacionais. Ainda segundo os mesmos autores, o programa utilizado tinha como vantagem descontar as áreas lesionadas da folha. Assim como a rotina IDL utilizada na identificação da AF do LC3, que também considerava somente as áreas verdes da folha. O monitoramento do LC1 e do LC2 foi realizado manualmente, sem a utilização de aparelhos, dividindo a folha em figuras geométricas. Essa metodologia também se mostrou eficiente.

Nogueira et al. (2008) estudaram a planta *Colocasia esculenta* comparando o IAF estimado (sensor LI – 2000, LI-COR) e o IAF medido (LI 2100-C LI-COR). Os valores medidos variaram de 1,2 a 1,5 e os estimados de 1,4 a 2,5. O valor máximo do IAF encontrado pelos autores foi de 2,5. Gondim et al. (2007) avaliaram diferentes sombreamentos artificiais na cultura da *Colocasia esculenta*. Concluíram que a maior AF foi obtida em intensidades de sombra de 50% e que plantas produzidas a pleno sol durante todo o ciclo apresentaram menor AF. As plantas desse trabalho foram cultivadas a pleno sol durante todo o período avaliado, no entanto não se pode dizer se as AF's encontradas foram maiores ou menores do que as de Gondim et al. (2007), pois os mesmos não relataram os valores de AF encontradas. Já em

relação ao trabalho de Nogueira et al. (2008) o IAF máximo encontrado nessa pesquisa (4,0) foi superior tanto ao IAF medido quanto ao IAF estimado pelos autores.

b) Biomassa produzida

Na Tabela 93 estão apresentadas a quantidade de biomassa verde e seca produzida a partir da poda e a quantidade de nutrientes, nitrogênio e fósforo, exportados pelas plantas de cada LC.

Tabela 93. Produção de biomassa verde e seca e quantidade total de nutrientes exportados pela poda

LC	Produção de biomassa (Kg) *		Quantidade total de nutrientes exportados (g)	
	Verde	Seca	Nitrogênio	Fósforo
LC1	11,1	1,5	30,9	3,3
LC2	24,1	3,5	94,9	7,7
LC3	14,5**	3,2**	81,6**	9,6**
LC5	5,5	0,8	29,8	5,4

*Biomassa verde e seca a partir de caules e folhas. ** média entre duas podas. LC1 (*Hedychium coronarium*); LC2 (*Heliconia psittacorum*); LC3 (*Cyperus alternifolius*); LC5 (*Colocasia esculenta*)

O *Hedychium coronarium* produziu uma quantidade de biomassa verde dentre caules e folhas, de 11,1 Kg e 1,5 Kg de biomassa seca. Considerando-se a biomassa seca e a análise química, a planta exportou um total de 30,9 g de N e 3,3 g de . A exportação de nutrientes foi de 7,5g/m² de nitrogênio e 0,8g/m² de fósforo. Enquanto o *Cyperus alternifolius* obteve quantidade média de biomassa verde e seca entre as duas podas, de 14,5 Kg e 3,2 Kg, respectivamente. A exportação de nutrientes foi de 81,6g de nitrogênio e de 9,6g de fósforo, resultando em 19,9g/m² de nitrogênio e 2,3g/m² de fósforo.

Para essas duas espécies, *Hedychium coronarium* e *Cyperus alternifolius* os resultados encontrados foram comparados com outras espécies descritas na literatura. Braz et al. (2004) descreveram a exportação de nutrientes pelas gramíneas, *Pennisetum glaucum* e *Panicum maximum*. A primeira exportou 18,0 g/m² de N e 1,6 g/m² de P e a segunda 34,8 g/m² de N e 3,6 g/m² de P. Escosteguy et al. (2008), trabalharam com lixiviado de aterro sanitário, por um período de cinco meses efetuando cinco podas na vegetação de *Typha* sp e *Eleocharis* sp. Registraram exportações de 15,6g/m² de N e de 4,4g/m² de P para a *Typha* sp e 5,6g/m² de N e 1,7g/m² de P para a *Eleocharis* sp.

O LC2 produziu a maior quantidade de biomassa verde dentre os LC estudados, com uma quantidade de biomassa verde de 24,1 Kg e biomassa seca de 3,5 Kg. A exportação total dos nutrientes a partir da biomassa seca da *Heliconia psittacorum* foi de 94,9 g de N e 7,7 g de P, ou seja, a exportação de N foi de 23,1 g/m² e a de P foi de 1,9 g/m² para o período de 8 meses de desenvolvimento. O valor de N exportado pelas plantas desse LC foi praticamente o dobro que autores como, Konnerup et al. (2008) encontraram em plantas de *Heliconia psittacorum*, produzidas na Tailândia com o mesmo sistema de LC, cuja quantidade de N encontrada pelos mesmos foi de 12,0g/m² para o período de um ano. Sohsalam et al. (2008) trabalharam com diferentes plantas em LC dentre elas a *Heliconia* spp, verificaram um intervalo de 5,8 a 24,0g/m² na quantidade de fósforo retido no tecido das plantas, valor esse superior ao encontrado para esse trabalho que foi de 1,9g/m².

No LC5 a quantidade de biomassa verde produzida a partir da poda, foi de 5,50 Kg e de biomassa seca foi de 0,80 Kg. Considerando-se a biomassa seca total, as plantas de *Colocasia esculenta* exportaram um total de 29,8g de N e 5,4g de P. A exportação de N e P foi de 7,1g/m² e 1,3g/m², respectivamente, no período de 5 meses de desenvolvimento. Brasil et al. (2007) realizaram estudo com diversas plantas em LC dentre elas, a *Colocasia esculenta* em dois tratamentos, um irrigado com água limpa e o outro com água residuária de suinocultura. A produção média de matéria seca entre os dois tratamentos foi de 3,1 Kg/m², enquanto a produção de matéria seca nesse experimento foi de 0,19 Kg/m².

5.2 Quantidade de água

a) Vazão

A vazão média diária na entrada dos LC pode ser observada na Tabela 94. As vazões trabalhadas no sistema variaram de 0,9 a 1,0 m³/dia em ambos os períodos e o TDH variou de 1,2 a 1,3 no período anterior a poda e 1,1 a 1,4 dias no período posterior a poda (Tabela 95). O TDH desse experimento foi inferior ao utilizado por Cecconelo (2005), que para retenções superiores a 90% recomenda TDH de 6 a 7 dias. Calijuri et al. (2008) trabalharam com vazões de 0,98 a 1,70 m³/dia e TDH de 2,7 a 7,1 dias. Santos et al. (2007) utilizaram 1,08 m³/dia e 3 dias de TDH. Chan et al. (2007) utilizaram TDH de 18h. Gondim (2007) trabalhou com vazões diárias de 100 m³/dia e 1,25 m³/h e TDH de 1 dia e 0,5 dia, Zanella (2008) com 2 dias

de detenção, Konnerup et al. (2009) trabalharam com TDH's de 12h a 4 dias e Ríos et al. (2009) utilizaram TDH de 1,2 dias. O TDH deste trabalho está inserido dentre os vários TDH's estudados pelos diferentes autores citados.

Tabela 94. Vazões médias de entrada para cada LC nos períodos monitorados, antes e depois da poda

Vazão (m ³ /dia)	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5
AP	1,0	1,1	1,0	0,9	1,0
DP	0,9	0,9	1,0		1,0

AP: antes da poda; DP: depois da poda LC1 (*Hedychium coronarium*); LC2 (*Heliconia psittacorum*); LC3 (*Cyperus alternifolius*); LC4 (Brita); LC5 (*Colocasia esculenta*)

Tabela 95. TDH médio para cada LC nos períodos monitorados, antes e depois da poda

TDH (dias)	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5
AP	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2
DP	1,4	1,4	1,3	1,3	1,1

AP: antes da poda; DP: depois da poda LC1 (*Hedychium coronarium*); LC2 (*Heliconia psittacorum*); LC3 (*Cyperus alternifolius*); LC4 (Brita); LC5 (*Colocasia esculenta*)

Na Tabela 96 pode-se observar a altura média da lâmina d'água evaporada nos períodos monitorados. No período anterior à poda o LC2 obteve maior média de evapotranspiração entre os LC estudados com 15,5 mm/dia. Porém esse LC produziu a maior quantidade de biomassa verde. O LC1 apresentou a segunda maior evapotranspiração com 14,5 mm/dia, seguido pelo LC5 (13,6 mm/dia) e pelo LC3 com 12,5 mm/dia. Após a poda, a maior taxa de evapotranspiração ocorreu no LC5 com 15,3 mm/dia, seguido pelo LC2 com 8,6 mm/dia e pelo LC1 e LC3 que obtiveram a mesma altura de lâmina d'água perdida de 6,1 mm/dia. No LC4 a perda d'água por evaporação foi de 13,1 mm/dia, considerando o período total.

Konnerup et al. (2009) observaram taxas de evapotranspiração em experimento na Tailândia, da ordem de 8,3 mm/dia para *Canna generalis* e 3,0mm/dia para *Heliconia psittacorum*, taxas abaixo das encontradas nesse trabalho.

Piedade (2010) trabalhou com três LC, sendo dois com *Typha* sp e um com brita, em quatro períodos diferentes e observou que a evaporação nos LC com *Typha* sp variou de 39,2% a 266,8% em relação ao LC com brita. A autora também observou diferenças entre os LC com *Typha* sp chegando a 24,4% de diferença entre um LC e outro vegetado. Segundo a autora o desenvolvimento diferente da vegetação pode justificar essa diferença entre os LC.

Tabela 96. Altura média da lâmina d'água evaporada nos LC nos períodos monitorados, antes e depois da poda

Altura lâmina d'água evaporada (mm/dia)	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5
AP	14,5	15,5	12,5	13,1	13,6
DP	6,1	8,6	6,1		15,3

AP: antes da poda; DP: depois da poda LC1 (*Hedychium coronarium*); LC2 (*Heliconia psittacorum*); LC3 (*Cyperus alternifolius*); LC4 (Brita); LC5 (*Colocasia esculenta*)

5.3. Qualidade da água

a) Fósforo total

Na Tabela 97 podem-se observar as concentrações mínimas e máximas de entrada para o fósforo total nos LC durante o período estudado. As concentrações de entrada variaram de 2,1 a 5,7 mg/L. Autores como Wu et al. (2010) trabalharam com concentrações médias de entrada de fósforo total de 4,1mg/L, em águas residuárias de esgoto doméstico, agricultura e pecuária. Silva e Roston (2010) relataram concentração média do afluente da lavagem de sala de ordenha na entrada do LC de 5,1 mg/L, após lagoa anaeróbia e facultativa. Zhang et al. (2007) trabalharam com esgoto doméstico e relataram concentração média de entrada de 4,4 mg/L. As concentrações encontradas pelos autores citados corroboram com as concentrações de entrada dessa pesquisa. Já Sohsalan et al. (2010) trabalharam com efluente do processamento de marisco cuja concentração variou de 58-63 mg/L, concentração superior ao encontrado nesse trabalho.

Tabela 97. Concentração diária de entrada de fósforo total com mínima e máxima nos LC durante o período estudado

Concentração	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5
fósforo total (mg/L)	2,2 - 5,2	2,2 - 5,2	2,2 - 5,2	2,1 - 4,9	2,4 - 5,7

LC1 (*Hedychium coronarium*); LC2 (*Heliconia psittacorum*); LC3 (*Cyperus alternifolius*); LC4 (brita); LC5 (*Colocasia esculenta*)

Na Tabela 98 observam-se as retenções médias e nas Tabelas 99a e 99b as retenções máximas e mínimas ocorridas em cada LC nos períodos analisados para a massa de fósforo total.

A eficiência média no LC1 para a retenção da massa de fósforo total, antes da poda, foi de 9,1% e de -3,5% depois da poda, a eficiência máxima antes da poda foi de 34,0% e a mínima foi de -19,5%. No período após a poda a eficiência máxima foi de 13,0% e a mínima de -23,4%. Ao analisar ambos os períodos verifica-se que o período anterior à poda foi mais eficiente na retenção, coincidindo com o pleno desenvolvimento da vegetação. Considerando-se os dois períodos, observou eficiência média ponderada a partir dos dias de funcionamento do sistema de 5,0%, para um TDH médio de 1,3 dias. Almeida et al. (2007) trabalharam com *Hedychium coronarium* em LCFV e relataram eficiência de retenção de fosfato da ordem de 46,5%, utilizaram TDH de 2,5 dias e substrato de conchas de ostras marinhas, brita, areia, casca de coco verde e fibra de coco. Leopoldo e Conte (1996) observaram aumento de 0,56% na quantidade de fosfato no LC com *Hedychium coronarium* e substrato de areia.

No LC2 a eficiência de retenção da massa de fósforo total foi de 11,7%, no período anterior à poda com máxima eficiência foi de 29,7% e mínima de -13,1%. No período posterior à poda a eficiência foi de 0,1% com máxima de 18,0% e mínima de -23,0%. A eficiência média ponderada a partir dos dias de funcionamento do sistema, para os períodos analisados foi de 7,8%, com TDH médio de 1,2 dias. Dentre os LC estudados o LC2 foi o mais eficiente na retenção da massa de fósforo total para o período anterior à poda. Konnerup et al. (2009), trabalharam com *Heliconia psittacorum*, na Tailândia em LCFSS e relataram eficiência média de 8,0%.

No LC3 a eficiência média antes da poda foi de 10,9%. A máxima foi de 37,7%, e a mínima de -12,7%, as mais altas entre os LC. Após a poda houve acréscimo de fósforo no sistema de 6,8%, sendo a maior acréscimo no LC, fato que pode ser explicado pela senescência das plantas que não se adequaram as podas. A máxima retenção nesse período foi de 15,3% e a mínima foi de -15,7%. A eficiência média ponderada para os períodos analisados foi de 5,1%, com TDH médio 1,3 dias. Chan et al. (2008) trabalharam com LC em escala de laboratório utilizando o *Cyperus alternifolius*, substrato de escória de carvão e TDH de 18h. Relataram eficiência de 40,0% na retenção de fósforo.

O LC4 com brita, sem plantas, apresentou acréscimo médio de 2,4% para a massa de fósforo total no período estudado e TDH médio de 1,2 dias. A máxima eficiência foi de 25,4% e a mínima de -25,8%, a maior eficiência negativa dentre os LC. Piedade (2010) relatou eficiência de retenção de 19,7% no leito com brita e TDH médio de 1,99 dias. Asmus et al.

(2007) relataram eficiência de 55,6% para a retenção de fosfato em LC sem plantas e Oliveira (2006) obteve 29% de eficiência em LC com brita para o fósforo total.

No LC5 a eficiência média no período anterior à poda foi de 9,2%, com máxima de 27,8% e mínima -24,8%. No período posterior à poda a eficiência manteve-se positiva e foi de 5,5%. Essa eficiência positiva, após a poda, foi a maior dentre os LC, com máxima de 45,2% e mínima de -11,7%. A eficiência média ponderada nos períodos analisados foi de 7,8%, com TDH médio 1,1 dias. Bindu et al. (2008) trabalhando com *Colocasia esculenta* em LCFSS e TDH de 3,6 dias, relataram eficiência média de 82,8% para o fosfato. Neste trabalho a *Colocasia esculenta* foi a planta que apresentou maior quantidade de fósforo em seus tecidos. No entanto, a quantidade de massa da planta foi inferior à massa produzida pelas outras plantas do experimento, demonstrando que para aumentar as retiradas de fósforo nessa espécie, deve-se realizar podas regulares, observando o período de desenvolvimento máximo.

Analisando os cinco LC estudados nota-se que o LC2 foi mais eficiente na retenção da massa de fósforo total, no período anterior à poda, com 11,7%, seguido pelo LC3 com 10,9%, LC5 com 9,2% e pelo LC1 com 9,1% de eficiência de retenção da massa de fósforo total. Já para o período posterior à poda a maior eficiência foi do LC5 com 5,5%, seguido pelo LC2 com 0,1%. O LC3 e o LC1 apresentaram acréscimo de fósforo no sistema com 6,8% e 3,5%, respectivamente. Considerando a retenção total, isto é, os dois períodos, a maior retenção ocorreu no LC2 com 11,6%, seguido pelo LC5 com 7,4%, pelo LC1 com 5,6% e pelo LC3 com 4,1%. O LC4 apresentou acréscimo de fósforo total no sistema para o período total com 2,4%, demonstrando a diferença que as plantas promovem na retenção de fósforo no sistema de LC.

A eficiência média total na retenção de carga de fósforo total considerando os 4 LC vegetados foi de 8,5 %, antes da poda e -1,7%, após a poda. Essa diferença na retenção antes e depois da poda demonstra a eficiência das plantas em pleno desenvolvimento e o efeito da poda na retenção de fósforo. Autores como Rios et al. (2009) observaram eficiência média de fosfato de 0,03% trabalhando com TDH de 1,2 dias, em três LC de fluxo horizontal sendo um com *Phragmites australis* outro com *Heliconia psittacorum* e outro com substrato. Sim et al. (2008) verificaram retenção média de fosfato para as plantas, *Phragmites karka* e *Lepironia articulata* da ordem de 84,3%. Esses autores utilizaram um sistema de recirculação do efluente nos LC que duravam 7 dias. Asmus et al. (2007) trabalharam com três tipos de plantas,

Heliconia psittacorum, *Cyperus isocladius* e *Hedychium coronarium*, em um mesmo LC e obtiveram eficiência de 97,5% para a retenção de fosfato. Os autores trabalharam com substrato composto por brita e areia e TDH em torno de seis dias. Zhang et al. (2007) trabalharam com seis plantas, *R. carnea*, *A. gramineus*, *A. orientale*, *A. calamus*, *I. pseudacorus*, *L. salicaria*, em três TDH's diferentes sendo 5, 10 e 15 dias, obtendo retenção média de fósforo total de 74,5%, 92,8% e 97,3%, respectivamente. Santos (2009) trabalhou com LC de fluxo vertical seguido por LC de fluxo horizontal, relatou eficiência de 43% e 79%, respectivamente, sendo que o TDH no LC de fluxo horizontal foi de 1,3 dias. Konnerup et al. (2009) trabalharam com duas espécies de plantas, *Canna* sp e *Heliconia psittacorum*, e TDH's que variaram de 12h a 4 dias, obtiveram eficiência média de 14,0% na retenção de massa de fósforo total. Souza (2003) observou acréscimos de 5,9% nas retenções de fósforo total no sistema plantado com *Typha* sp. O autor justificou esse aumento de fósforo no sistema pela morte constante das plantas, devido ao sombreamento produzido por vegetação lateral. Piedade (2010) relatou eficiência de 10,2% em LC com *Typha* sp e TDH's de 2,3 e 1,6 dias. Os valores de retenção encontrados nesta pesquisa diferem de alguns autores citados, fato que pode ser explicado pela diferença entre o TDH utilizado nesse trabalho e o TDH utilizado pelos referidos autores.

Tabela 98. Eficiência média de retenção da massa de fósforo total nos LC para os períodos monitorados, antes e depois da poda e eficiência total

Períodos	Retenção da massa de fósforo total nos LC (%)					Eficiência média total
	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	
AP	9,1	11,7	10,9	-2,4	9,2	8,5*
DP	-3,5	0,1	-6,8		5,5	-1,7*

AP: antes da poda; DP: depois da poda LC1 (*Hedychium coronarium*); LC2 (*Heliconia psittacorum*); LC3 (*Cyperus alternifolius*); LC5 (*Colocasia esculenta*); LC4 (brita); *média entre os 4 LC vegetados

Tabela 99a. Eficiência máxima e mínima de retenção da massa de fósforo total nos LC para os períodos monitorados, antes e depois da poda

LC	Eficiência de retenção de fósforo total (%)			
	AP		DP	
	Máx	Mín	Máx	Mín
LC1	34,0	-19,5	13,0	-23,2
LC2	29,7	-13,1	18,0	-23,0
LC3	37,7	-12,7	15,3	-15,7
LC5	27,8	-24,8	45,2	-11,7

AP: antes da poda; DP: depois da poda LC1 (*Hedychium coronarium*); LC2 (*Heliconia psittacorum*); LC3 (*Cyperus alternifolius*); LC4 (Brita); LC5 (*Colocasia esculenta*)

Tabela 99b. Eficiência máxima e mínima de retenção da massa de fósforo total no LC4 para todo o período monitorado

LC	Eficiência de retenção de fósforo total (%)	
	Máx	Mín
LC4	25,4	-25,8

Na Tabela 100 observa-se a massa de fósforo total retida no período estendido anterior à poda, 72 dias, e posterior à poda, 34 dias, onde o LC2 foi mais eficiente na quantidade de massa retida com 34,3 g/período, seguido pelo LC3 com 25,5 g/período, e pelo LC5 com 24,4 g/período. O LC1 reteve um total de 21,6 g/período, demonstrando que mesmo com problemas no desenvolvimento se mostrou eficiente, mantendo-se próximo ao LC5 e ao LC3. Após a poda o LC mais eficiente na retenção foi o LC5 com 8,0g. Isso pode ter ocorrido devido à rápida recuperação da vegetação após a poda, sendo que essa planta apresentou maior teor de fósforo em seus tecidos, conforme já discutido anteriormente. O LC3 apresentou o maior acréscimo de fósforo no sistema no período posterior à poda, cujas plantas não suportaram as podas tendo uma rebrota abaixo da esperada. A massa de fósforo total retido no LC4 foi pequena se comparado com os outros LC, confirmando a diferença entre os LC com plantas e sem plantas.

Tabela 100. Massa de fósforo total retida no período estendido antes da poda (72 dias), depois da poda (34 dias).

Períodos	Massa fósforo total retida (g/período)				
	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5
AP	21,6	34,3	25,5		24,4
DP	-5,8	-3,3	-9,0	6,8	8,0

O LC4 considera o período estendido de 106 dias AP: antes da poda; DP: depois da poda. LC1 (*Hedychium coronarium*); LC2 (*Heliconia psittacorum*); LC3 (*Cyperus alternifolius*); LC4 (brita); LC5 (*Colocasia esculenta*).

b) Nitrato (NO_3^-)

Na Tabela 101 estão apresentadas as concentrações diárias mínimas e máximas de entrada de nitrato nos LC, durante os períodos estudados. As concentrações diárias de nitrato variaram de 0,8 a 3,5 mg/L. Souza (2006) trabalhou com concentrações de entrada de 0,3 mg/L e Mazzola (2003) com concentrações afluentes de nitrato de 0,4 a 1,3 mg/L, ambos em esgoto doméstico. Já Toniato et al. (2005) trabalharam com concentrações de entrada que variaram de 2,7 a 8,95 mg/L, para esgoto doméstico.

Tabela 101. Concentração diária de entrada de nitrato com mínima e máxima nos LC durante o período estudado

Concentração	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5
Nitrato (mg/L)	0,9 – 2,9	1,1 – 2,5	0,7 – 3,5	0,8 – 1,5	1,2 – 2,1

LC1 (*Hedychium coronarium*); LC2 (*Heliconia psittacorum*); LC3 (*Cyperus alternifolius*); LC4 (brita); LC5 (*Colocasia esculenta*)

Na Tabela 102 estão apresentadas as retenções médias e nas Tabelas 103a e 103b as retenções máximas e mínimas ocorridas em cada LC, nos períodos analisados para a massa de nitrato. No LC1 essa variável foi analisada em apenas um dia antes da poda. Nesse período anterior à poda o LC2 foi mais eficiente com retenção média de 18,6%, máxima de 65,8% e mínima de -34,8%, seguido pelo LC3 com retenção média de 16,7%, máxima de 55,5% e mínima de -37,4% e pelo LC5 com retenção média de 16,0% com máxima e mínima de 46,7% e -10,2%, respectivamente. A média total desse período antes da poda foi de 18,8%. No período posterior à poda o LC2 também foi o mais eficiente, com média de 31,0%, retenção máxima de 56,6% e mínima de 14,9%, seguido pelo LC1 com média de 17,1% e máxima de 68,8% e mínima de -17,9%. O LC5 foi o terceiro mais eficiente com 5,9% e retenção máxima de 28,8% e mínima de 3,9%, respectivamente. Observa-se que o LC2 e o LC5 não apresentaram mínimas negativas, já o LC3 apresentou eficiência média negativa de 7,0% nesse período, com máxima de 23,5% e mínima de -50,3%, a senescência das plantas pode ter influenciado nesse resultado. O LC4 apresentou acréscimo para o período analisado com 12,3%, com máxima e mínima de 16,3% e -90,7%, respectivamente, sendo o maior acréscimo dentre os LC. A média total no período posterior a poda foi de 13,9%. Autores como Sim et al. (2008) relataram retenção média de nitrato da ordem de 70,7% com TDH de 7 dias. Almeida et al. (2007) trabalharam com cinco plantas, *Typha angustifolia*, *Hedychium coronarium*, *Coix*

lacryma-jobi e *Urochloa mutica*, obtiveram retenção média entre as plantas estudadas de 67,7%. Paulo et al. (2007) trabalharam com água cinza e plantas de *Typha* sp, observaram eficiência média de retenção de nitrato 58,6% com TDH de 4 dias. Zurita et al. (2009) trabalharam com plantas de uso ornamental, *Zantedeschia aethiopica*, *Strelitzia reginae*, *Anturium andreanum* e *Agapanthus africanus*, em LCFV e LCFSS observaram que apenas o LCFSS foi eficiente na retenção de nitrato com 47,7%. O substrato utilizado pelos autores foi uma rocha de origem vulcânica muito abundante no México (brita tezontle), muito porosa e com alta concentração de ferro. Ainda segundo Zurita et al. (2008) a utilização de diferentes plantas no LC, promove uma distribuição mais efetiva das raízes, proporcionando um ambiente mais propício para o desenvolvimento de diversas comunidades microbianas. Além de dificultar a passagem do efluente pelas raízes aumentando o TDH e conseqüentemente a eficiência de retenção. Belmont et al. (2004) também trabalharam com plantas de uso ornamental e relataram eficiência na retenção de nitrato de 78,2% em LCFSS seguido por LCFV. Wu et al. (2010) trabalharam com restauração ecológica de um eco-sistema de wetlands, observaram retenções de nitrato que variaram de 53% a 87%, utilizaram TDH de 150 dias nos canais utilizados como LC. Silva e Roston (2010) trabalharam com *Typha* sp em LC, para água de lavagem de sala de ordenha e obtiveram redução de nitrato da ordem de 88% utilizando TDH de 3,4 dias. Yousefi et al. (2010) trabalharam com a macrófita *Iris pseudacorus* e observaram que a maior eficiência na retenção de nitrato ocorria com TDH de 4 a 5 dias, com retenções da ordem de 53,5 a 62,5%. As retenções de nitrato encontradas no presente trabalho estão abaixo das encontradas pelos autores citados, o que provavelmente pode estar ligado com o TDH desse trabalho e o TDH utilizado pelos autores citados.

Tabela 102. Eficiência média de Retenção da massa de nitrato nos LC para os períodos monitorados, antes e depois da poda

Períodos	Retenção da massa nitrato nos LC (%)					Eficiência média total
	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	
AP	39,8*	18,6	16,7	-12,3	16,0	18,8**
DP	17,1	31,0	-7,0		5,9	13,9***

AP: antes da poda; DP: depois da poda LC1 (*Hedychium coronarium*); LC2 (*Heliconia psittacorum*); LC3 (*Cyperus alternifolius*); LC4 (Brita); LC5 (*Colocasia esculenta*). * referente a um único dia monitoramento; **média entre os LC 2, 3 e 5; ***média entre os 4 LC vegetados.

Tabela 103a. Eficiência máxima e mínima de retenção da massa de nitrato nos LC para os períodos monitorados, antes e depois da poda

LC	Eficiência de retenção nitrato (%)			
	AP		DP	
	Máx	Mín	Máx	Mín
LC1	-	-	68,8	-17,9
LC2	65,8	-34,8	56,6	14,9
LC3	55,5	-37,4	23,5	-50,3
LC5	46,7	-10,2	28,8	3,9

AP: antes da poda; DP: depois da poda LC1 (*Hedychium coronarium*); LC2 (*Heliconia psittacorum*); LC3 (*Cyperus alternifolius*); LC5 (*Colocasia esculenta*)

Tabela 103b. Eficiência máxima e mínima de retenção da massa de nitrato no LC4 para o período monitorado

LC	Eficiência de retenção de nitrato (%)	
	Máx	Mín
LC4	16,3	-90,7

Na Tabela 104 verifica-se a massa total de nitrato retida nos LC estudados no período estendido anterior a poda que se refere há 72 dias e no período posterior a poda referente há 34 dias. O LC4 corresponde ao período total referente há 106 dias. No período estendido antes da poda o LC1 reteve a maior quantidade de massa, 50,3g, porém esse valor deve ser considerado com cautela por ter sido analisado um único dia. O LC2 foi mais eficiente com 37,7g, seguido pelo LC3 com 32,1g e pelo LC5 com 19,7g. No período estendido posterior a poda o LC2 permaneceu sendo mais eficiente com retenção de 21,7g, seguido pelo LC1 com 18,1g e pelo LC5 com 9,3g. O LC3 e o LC4 obtiveram retenção negativa, com acréscimo de nitrato no sistema de -1,8g e de -13,7g, respectivamente.

Tabela 104. Massa de nitrato retida no período estendido antes da poda (72 dias), depois da poda (34 dias)

Períodos	Massa nitrato retida (g/período)				
	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5
AP	50,3*	37,7	32,1	-13,7	19,7
DP	18,1	21,7	-1,8		9,3

O LC4 considera o período estendido de 106 dias. AP: antes da poda; DP: depois da poda LC1 (*Hedychium coronarium*); LC2 (*Heliconia psittacorum*); LC3 (*Cyperus alternifolius*); LC4 (brita); LC5 (*Colocasia esculenta*); * referente a um único dia de monitoramento;

c) Nitrogênio amoniacal (NH³)

Na Tabela 105 podem ser observadas as concentrações diárias, mínimas e máximas afluentes de nitrogênio amoniacal nos LC, no período estudado, que variaram de 17,9 a 80,1 mg/L. As concentrações afluentes encontradas nesse trabalho ficam dentro da média das concentrações que autores como Calijuri et al. (2009) e Sousa et al. (2000) relataram ter encontrado em suas pesquisas com esgoto doméstico, cujas médias foram de 43 mg/L e 43,9 mg/L, respectivamente.

Tabela 105. Concentração diária de entrada de nitrogênio amoniacal com mínima e máxima nos LC durante o período estudado

Concentração nitrogênio amoniacal (mg/L)	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5
	24,9 – 43,4	24,4 - 80,1	25,2 - 73,7	22,5 - 42,0	17,9 - 38,5

LC1 (*Hedychium coronarium*); LC2 (*Heliconia psittacorum*); LC3 (*Cyperus alternifolius*); LC4 (brita); LC5 (*Colocasia esculenta*)

Na Tabela 106 pode-se observar a retenção média e a eficiência média total para os LC nos períodos monitorados, nas Tabelas 107a e 107b estão apresentadas as eficiências de retenção máximas e mínimas de cada LC. No período anterior à poda o LC1, foi o mais eficiente com retenção média de 19,7%, apresentando máxima de 21,3% e mínima de 18,4%. O LC2 apresentou eficiência média de 19,4%, a eficiência máxima e mínima foi de 54,6% e 1,7%, respectivamente. O LC5 foi o terceiro mais eficiente com média de 16,0%, máxima de 40,8% e mínima negativa de 4,1%. O LC3 foi o menos eficiente com média de 11,7%, máxima de 33,3% e mínima de -24,3%. No período posterior à poda as eficiências médias foram menores que no período anterior. Nesse período o LC5 foi o leito mais eficiente, com média de retenção de 5,9%, apresentando máxima retenção de 38,2%, a maior dentre as máximas desse período, e mínima de -5,4%. O segundo LC mais eficiente foi o LC1 com média de 2,6%, máxima de 15,3% e mínima de -9,7%. O LC2 e o LC3 apresentaram acréscimos de 0,6% e 0,5%, respectivamente. No LC2 a máxima foi de 17,1% e a mínima de -18,9% para o LC3 a máxima foi de 14,5% e a mínima de -22,1%. O LC4 obteve eficiência positiva no período analisado de 2,9%, com máxima de 20,5% e mínima de -20,5%. Considerando apenas os LC com vegetação, a eficiência média total para o período anterior à poda foi de 15,5% e no período posterior foi de 1,8%. Autores como Wu et al. (2010)

relataram eficiência na retenção de nitrogênio amoniacal de 47% a 81%, na restauração de um eco sistema a partir de LC com plantas espontâneas. Calijuri et al. (2008) obtiveram eficiências de retenção que variaram de 23% a 82% trabalhando com *Typha* sp e *Brachiaria arrecta*, e TDH de 1,3 a 5,3 dias. Observaram ainda que a retenção foi elevada no início do funcionamento do sistema, seguida por ciclos de queda e novamente aumento de desempenho. Santos et al. (2007) avaliaram dois LC, um com substrato e outro com *Hedychium coronarium*, *Heliconia psittacorum* e *Cyperus isoclados* obtiveram retenção de 31,7% para o primeiro e de 71,7% para o segundo. As retenções de nitrogênio amoniacal dos autores citados diferem dos encontrados nessa pesquisa, o que pode ser justificado pelo maior TDH e também maior período de monitoramento utilizado pelos mesmos.

Tabela 106. Eficiência média de retenção da massa de nitrogênio amoniacal nos LC para os períodos monitorados, antes e depois da poda

Retenção da massa nitrogênio amoniacal nos LC (%)						
Períodos	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	Eficiência média total
AP	19,7	19,4	11,7	2,9	16,0	15,5*
DP	2,6	-0,6	-0,5		5,9	1,8*

AP: antes da poda; DP: depois da poda LC1 (*Hedychium coronarium*); LC2 (*Heliconia psittacorum*); LC3 (*Cyperus alternifolius*); LC4 (brita); LC5 (*Colocasia esculenta*). *média entre os 4 os LC vegetados

Tabela 107a. Eficiência máxima e mínima de retenção da massa de nitrogênio amoniacal nos LC para os períodos monitorados, antes e depois da poda

LC	Eficiência de retenção nitrogênio amoniacal (%)			
	AP		DP	
	Máx	Mín	Máx	Mín
LC1	21,3	18,4	15,3	-9,7
LC2	54,6	1,7	17,1	-18,9
LC3	33,3	-24,3	14,5	-22,1
LC5	40,8	-4,1	38,2	-5,4

AP: antes da poda; DP: depois da poda LC1 (*Hedychium coronarium*); LC2 (*Heliconia psittacorum*); LC3 (*Cyperus alternifolius*); LC5 (*Colocasia esculenta*)

Tabela 107b. Eficiência máxima e mínima de retenção da massa de nitrogênio amoniacal no LC4 para o período monitorado

LC	Eficiência de retenção de nitrogênio amoniacal (%)	
	Máx	Mín
LC4	20,5	-20,5

Na Tabela 108 pode-se observar que a retenção da massa de nitrogênio amoniacal no período estendido anterior à poda que foi, em geral, 10 vezes maior do que a retenção obtida no período estendido posterior à poda. Nesse período estendido anterior à poda o LC2 reteve a maior quantidade de nitrogênio amoniacal com 942,8 g, seguido pelo LC1, com praticamente a metade dessa quantidade, 420,9g. O LC3 foi o terceiro com eficiência média de 397,0g e por último o LC5 com 315,4g. No período estendido após a poda o LC5 foi mais eficiente com 60,4g, seguido pelo LC1 com 30,5g. A recuperação da vegetação após a poda, no LC5, foi mais rápida do que nos outros LC, o que demonstra a importância da mesma na retenção do nitrogênio amoniacal. O LC2 foi o terceiro em eficiência com 10,1g seguido pelo LC3 com 0,1g. A recuperação da vegetação depois da poda no LC2 foi lenta e no LC3 a rebrota foi insatisfatória. O LC4 reteve 108,8g no período estendido total de 106 dias.

Tabela 108. Massa de nitrogênio amoniacal retida no período estendido antes da poda (72 dias), depois da poda (34 dias)

Períodos	Massa de nitrogênio amoniacal retida (g/período)				
	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5
AP	420,9	942,8	397,0	108,8	315,4
DP	30,5	10,1	0,1		60,4

O LC4 considera o período estendido de 106 dias. AP: antes da poda; DP: depois da poda LC1 (*Hedychium coronarium*); LC2 (*Heliconia psittacorum*); LC3 (*Cyperus alternifolius*); LC4 (brita); LC5 (*Colocasia esculenta*)

d) Demanda Química de oxigênio (DQO)

Na Tabela 109 estão apresentadas as concentrações diárias mínimas e máximas de entrada de DQO em cada LC nos períodos estudados. A concentração diária entrada de DQO variou de 31,9 a 162,7 mg/L. Os valores da DQO dessa pesquisa concordam com a média da concentração do afluente (100,5 mg/L) encontrada por Brasil et al. (2005) que trabalharam com esgoto doméstico. No entanto estão abaixo das médias encontradas por Silva e Roston (2010) que trabalharam com efluente da lavagem de sala de ordenha e concentrações na entrada dos LC, após lagoa facultativa de 282 mg/L. Ferreira e Paulo (2009) que trabalharam com água cinza de esgoto doméstico e com concentrações de entrada nos LC de 747,8 mg/L de DQO e por Sousa et al. (2000) que relataram concentrações de 299,5 mg/L, após reatores UASB para o tratamento de esgoto doméstico.

Tabela 109. Concentração diária de entrada de DQO com mínima e máxima nos LC durante o período estudado

Concentração DQO (mg/L)	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5
	76,9 - 161,5	53,8 - 162,7	44,9 - 151,1	37,3 - 86,2	31,9 - 102,9

LC1 (*Hedychium coronarium*); LC2 (*Heliconia psittacorum*); LC3 (*Cyperus alternifolius*); LC4 (brita); LC5 (*Colocasia esculenta*)

Na Tabela 110 estão apresentadas as retenções médias e nas Tabelas 111a e 111b as retenções máximas e mínimas ocorridas em cada LC nos períodos monitorados para a massa de DQO. No período anterior a poda o LC2 foi o leito mais eficiente na retenção média de DQO de 39,7% a retenção máxima foi de 57,7% e a mínima foi de -35,4%, seguido pelo LC3 com eficiência média de retenção de 34,2% com máxima de 68,3% e mínima de -22,4%. O LC1 foi o terceiro mais eficiente com retenção média de 22,2% e máxima de 28,9% e mínima de 15%, esse LC foi o único que apresentou eficiência positiva nesse período. O LC5 que apresentou 7,7% de eficiência média com máxima de 35,8% e mínima de -49,0%. No período posterior à poda o LC2 permaneceu sendo mais eficiente com retenção média de 38,3% (51,5% máxima e 13,1% mínima), seguido pelo LC1 com eficiência média de 37,0% (máxima de 59,7%, mínima 18,5%) e pelo LC3 com retenção média de 32,4% (máxima de 60,4%, mínima 4,1%). No LC5 ocorreu acréscimo de DQO de 4,4% (máxima de 34,9%, mínima -137,7%). A eficiência média total para o período anterior à poda foi de 27,4% e no período posterior à poda foi de 25,8%. Demonstrando que no LC1, LC2 e LC3 a retenção da DQO foi mais efetiva que no LC5. Fato que pode ter ocorrido por esses LC (1, 2, 3) serem mais antigos que o LC5, estando com o biofilme formado há mais tempo e, portanto, mais equilibrado. O LC4 apresentou eficiência média positiva de 7,5% para todo o período analisado com máxima de 31,5% e mínima de -21,8%. As retenções para a massa de DQO encontradas nesse trabalho foram inferiores as retenções relatadas por autores como, Santos et al. (2007) que trabalharam com dois LC, um com substrato e outro com as plantas (*Cyperus isocladius*, *Hedychium coronarium* e *Heliconia psittacorum*) e obtiveram eficiências na retenção de DQO da ordem de 75,6% e 78,1%, respectivamente. Wu et al. (2010) relataram variações na eficiência de DQO de 31% a 79% em tratamento de águas de escoamento superficial de uma área de produção agrícola e do esgoto doméstico da comunidade produtora. Silva e Roston (2010) observaram redução média na DQO de efluente de lavagem de sala de ordenha, nos LC, da ordem de 89%. Matos et al. (2010) obtiveram eficiências de retenção que variaram de 84,7 a 97,1% em LC com capim tifton e capim elefante, com TDH de 4,8 dias para tratamento

secundário de água residuária de laticínios (ARL). Paulo et al. (2007) estudaram o tratamento de água cinza de uma residência em LC com substrato de areia fina lavada, com as plantas *Heliconia psittacorum*, *Bromelia* sp e *Cyperus isocladius*, nos primeiros 45 dias de funcionamento e TDH médio de 2,9 dias, observaram retenção média de DQO de 47,8%. Belmont e Metcalfe (2003) observaram retenções de 35,1% no LC vegetado e 36,1% no LC sem plantas com TDH de 2 dias, enquanto no TDH de 1 dia a retenção foi de 18,4% e 20,1% no LC vegetado e no LC com substrato, respectivamente. Demonstrando a diferença significativa que ocorre na retenção da DQO conforme o TDH utilizado.

Tabela 110. Eficiência média de retenção da carga de DQO nos LC para os períodos monitorados, antes e depois da poda

Períodos	Retenção da massa de DQO nos LC (%)					Eficiência média total
	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	
AP	22,2	39,7	34,2		7,7	27,4*
DP	37,0	38,3	32,4	7,5	-4,4	25,8*

AP: antes da poda; DP: depois da poda LC1 (*Hedychium coronarium*); LC2 (*Heliconia psittacorum*); LC3 (*Cyperus alternifolius*); LC4 (brita); LC5 (*Colocasia esculenta*);

Tabela 111a. Eficiência máxima e mínima de retenção da massa de DQO nos LC para os períodos monitorados, antes e depois da poda

LC	Eficiência de retenção da DQO (%)			
	AP		DP	
	Máx	Mín	Máx	Mín
LC1	28,9	15,0	59,7	18,5
LC2	57,7	-35,4	51,5	13,1
LC3	68,3	-22,4	60,4	4,1
LC5	35,8	-49,0	34,9	-137,7

AP: antes da poda; DP: depois da poda LC1 (*Hedychium coronarium*); LC2 (*Heliconia psittacorum*); LC3 (*Cyperus alternifolius*); LC5 (*Colocasia esculenta*)

Tabela 111b. Eficiência máxima e mínima de retenção da massa de DQO no LC4 para o período monitorado

LC	Eficiência de retenção de nitrogênio amoniacal (%)	
	Máx	Mín
LC4	32,5	-21,8

Na Tabela 112 observa-se a massa de DQO total retida no período estendido anterior à poda e no período estendido posterior à poda. Analisando o período anterior a poda o LC2 reteve maior massa de DQO com 2.474,6 g/período, seguido pelo LC3 com massa total de 2.358,1 g/período. O LC1 reteve 1.374,3 g/período e o LC5 704,8 g/período. Após a poda o LC2 permaneceu sendo eficiente com 1.378,6 g/período, seguido pelo LC1 que reteve praticamente a mesma quantidade de massa de DQO com 1.376,5 g/período. O LC3 reteve massa total de 1.287,4 e o LC5 acrescentou massa de DQO nesse período (8,9 g/período), que pode ser explicado pela senescência das plantas dos LC3 seu afluente e que pode ter sido carregada para o LC5. O LC4 apresentou total de massa retida de 602,5 g/período, sendo que nesse LC o período total corresponde a 106 dias.

Tabela 112. Massa de DQO retida no período estendido antes da poda (72 dias), depois da poda (34 dias)

Períodos	Massa de DQO retida (g/período)				
	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5
AP	1.374,3	2.474,6	2.358,1	602,5	704,8
DP	1.376,5	1.378,6	1.287,4		-8,9

O LC4 considera o período estendido de 106 dias. AP: antes da poda; DP: depois da poda LC1 (*Hedychium coronarium*); LC2 (*Heliconia psittacorum*); LC3 (*Cyperus alternifolius*); LC4 (brita); LC5 (*Colocasia esculenta*)

d) Oxigênio dissolvido (OD)

Na Tabela 113 pode-se observar as concentrações de OD mínimas e máximas do afluente no período estudado. As concentrações de OD nos LC variaram de -2,0 a 2,4mg/L. Segundo Belmont e Metcalfe (2003) menores concentrações de OD em LC com vegetação pode indicar que o oxigênio foi consumido para a transformação de amônia em nitrato. Autores como Nour et al. (2007) relataram concentrações no afluente dos LC da ordem de 0,5 a 6,1 mg/L para esgoto doméstico. Brito et al. (2007) trabalharam com água de um córrego contaminado por esgoto doméstico e observaram concentração média do afluente de 3,09 mg/L. Almeida et al. (2007) observaram concentração média no afluente de 0,9 mg/L.

Tabela 113. Concentração diária de OD no afluente com mínima e máxima nos LC durante o período estudado

Concentração OD (mg/L)	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5
	0,0 – 1,5	-0,7* – 1,1	-2,0* – 2,4	-1,2* – 0,2	-0,8* – 1,7

LC1 (*Hedychium coronarium*); LC2 (*Heliconia psittacorum*); LC3 (*Cyperus alternifolius*); LC4 (brita); LC5 (*Colocasia esculenta*); * valores negativos significam acréscimos

Na Tabela 114 estão apresentadas as diferenças na concentração de OD em cada LC, nos períodos estudados. Na qual se observa que o LC5 apresentou acréscimo na concentração de OD no período antes da poda de 0,2 mg/L e o LC4 acréscimo de 0,4 mg/L durante todo o período monitorado. Autores como Almeida et al. (2007) relataram aumentos de 1,64 mg/L, trabalhando com diferentes tipos de substratos e plantas. Nour et al. (2007) relataram concentrações no efluente dos LC que variaram de 0,0 a 7,1 mg/L com TDH de 1,5 dias e temperaturas de 18 a 28°C. Sohsalan et al. (2008) relataram concentração de OD no sistema utilizado na faixa de 0,03-0,16 mg/L. Belmont e Metcalfe (2003) observaram maior quantidade na concentração de OD com TDH de 2 dias e valores de 3,1 mg/L, no TDH de 1 dia a concentração foi de 2,5 mg/L. A transferência de oxigênio pelas plantas à rizosfera é um requisito para que alguns processos microbiológicos de remoção de poluentes funcionem efetivamente (Tchobanoglous, 1991).

Tabela 114. Diferença entre a concentração de entrada de OD e a concentração de saída de OD dos LC nos períodos monitorados, antes e depois da poda

Conc. OD (mg/L)	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5
AP	0,7	0,2	0,0	-0,4*	-0,2*
DP	0,6	0,6	0,3		0,1

AP: antes da poda; DP: depois da poda LC1 (*Hedychium coronarium*); LC2 (*Heliconia psittacorum*); LC3 (*Cyperus alternifolius*); LC4 (Brita); LC5 (*Colocasia esculenta*); * valores negativos indicam acréscimo de OD.

e) Potencial hidrogeniônico (pH)

Na Tabela 115 pode-se observar a diferença dos valores de pH de entrada e saída dos LC. O pH do afluente nos LC variou de 6,8 a 8,4 e os valores de pH efluente no período anterior à poda para o LC1 e LC2 variaram de 7,2 a 7,8. Já para o LC3 e o LC5 esses valores foram de 6,5 a 7,6, sendo que o LC3 é o afluente do LC5. No período posterior à poda o pH variou de 7,2 a 7,6 para os quatro LC vegetados. O LC4 apresentou variação de 7,4 a 7,5

durante o período monitorado. Nour et al. (2007) relataram pH na saída dos LC, sendo um com brita e outro com plantas, de 6,1 a 8,1. Mazzola (2003) relatou de pH médio de 6,8 no efluente dos LC para o TDH de 24 horas e média de 7,1 para TDH de 48 horas. Paulo et al. (2007) observaram pH médio de 7,1 após LC no tratamento de água cinza residencial. Os valores de pH encontrados nessa pesquisa encontram-se dentro das faixas e dos valores médios encontrados pelos autores citados.

Tabela 115. Diferença entre o pH de entrada e o pH de saída dos LC nos períodos monitorados, antes e depois da poda

pH	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5
AP	0,3	0,5	0,6		0,1
DP	0,3	0,4	0,4	-0,1	0,0

AP: antes da poda; DP: depois da poda LC1 (*Hedychium coronarium*); LC2 (*Heliconia psittacorum*); LC3 (*Cyperus alternifolius*); LC4 (Brita); LC5 (*Colocasia esculenta*)

g) Condutividade elétrica (CE)

Na Tabela 117 estão apresentadas as diferenças da CE de entrada e de saída dos LC nos períodos analisados. A CE do afluente variou de 640 a 1.358 $\mu\text{S/cm}$ e a CE do efluente variou de 572 a 1.302 $\mu\text{S/cm}$. A maior diferença na CE, no período anterior à poda ocorreu no LC2 com 50,9 $\mu\text{S/cm}$, seguido pelo LC3 com 30,0 $\mu\text{S/cm}$. No período posterior à poda as diferenças foram negativas, isto é, CE de saída maior que CE entrada, nesse período apenas o LC5 apresentou diferença positiva com 2,0 $\mu\text{S/cm}$. O LC4 diminuiu a CE de entrada em todo o período monitorado. Brasil et al. (2005) não encontraram grandes diferenças no desempenho dos LC em relação a CE, a variação observada pelos autores no efluente foi de 209 a 597 $\mu\text{S/cm}$. Mello (2003) observou que a variação da CE para dois dias analisados foi de 579 a 927 $\mu\text{S/cm}$ (entrada) e 360 a 578 $\mu\text{S/cm}$ (saída).

Tabela 116. Diferença entre a CE de entrada e a CE de saída dos LC nos períodos monitorados, antes e depois da poda

CE ($\mu\text{S/cm}$)	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5
AP	18,1	50,9	30,0		19,9
DP	-2,2	-16,4	-29,0	7,0	2,0

AP: antes da poda; DP: depois da poda LC1 (*Hedychium coronarium*); LC2 (*Heliconia psittacorum*); LC3 (*Cyperus alternifolius*); LC4 (Brita); LC5 (*Colocasia esculenta*)

h) Temperatura da água

Na Tabela 118 podem-se observar as diferenças na temperatura da água de entrada e de saída dos LC durante o período monitorado. As temperaturas da água do afluente variaram de 18,8 a 25,7°C. E as temperaturas do efluente dos LC variaram de 17,3 a 24,6°C. O LC2 apresentou a maior diferença na temperatura antes da poda com 1,2°C, seguido pelo LC3 (1,1°C). No período posterior à poda o LC3 apresentou maior diferença na temperatura de entrada e saída (1,4°C), seguido pelo LC2 (1,2°C).

Tabela 117. Diferença entre a temperatura da água de entrada e a temperatura da água de saída dos LC nos períodos monitorados, antes e depois da poda

Temp. água (C°)	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5
AP	0,6	1,2	1,1	0,5	0,7
DP	1,0	1,2	1,4		0,3

AP: antes da poda; DP: depois da poda LC1 (*Hedychium coronarium*); LC2 (*Heliconia psittacorum*); LC3 (*Cyperus alternifolius*); LC4 (Brita); LC5 (*Colocasia esculenta*)

5.4. Considerações finais

Os leitos cultivados são áreas com solo permanentemente inundado e vegetação própria, com grande capacidade de degradação de matéria orgânica e retenção de nutrientes (fósforo e nitrogênio). Os sistemas construídos são projetados imitando as wetlands naturais, utilizando plantas aquáticas e substrato, onde os microorganismos ficam aderidos formando o biofilme, responsável pelo tratamento do efluente, a partir de processos químicos, físicos e biológicos (KADLEC e KNIGHT, 1996; SOUSA, 2003; VALENTIM, 1999; CECCONELLO 2005; MANSOR, 1998; MAZZOLA, 2003; CEBALLOS et al., 2001; SEZERINO, 2006). Partindo desse princípio foram montados os LC desse estudo, utilizando reservatórios com capacidade de 4m³. O substrato utilizado foi a brita nº 1, que preenchia o LC até 45 cm de altura, reduzindo a capacidade útil do LC pela metade (2m³). As plantas utilizadas foram: *Hedychium coronarium* (lírio do brejo), *Heliconia psittacorum* (helicônia papagaio), *Cyperus alternifolius* (sombriinha chinesa), *Colocasia esculenta* (taro), selecionadas por se adaptar a ambientes palustres (ALMEIDA et al., 2007; LEOPOLDO e CONTE, 1996; ASMUS et al., 2007; KONNERUP et al., 2009; CHAN et al., 2008; BINDU et al., 2008), além de apresentar

função ornamental, isto é, uso no paisagismo ou como flor de corte (ZANELLA, 2008; BELMONT e METCALFE, 2003; ZHANG, 2007; ZURITA et al., 2009). O efluente gerado na FEAGRI a partir de banheiros, cozinha, atividades laboratoriais, se aproxima das características de esgoto doméstico (WIESSNER, 2010; PROCHASKA, 2007; VYMAZAL e KRÖPFELOVÁ, 2011; YANG et al., 2008; PROCHASKA e ZOUBOULIS, 2009). As vazões de esgoto geradas pelas diversas atividades desenvolvidas na Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp caracterizam-se como um efluente intermitente. (PIEIDADE, 2010; ZANELLA, 2008; OLIVEIRA, 2006; MELO JUNIOR, 2003; VALENTIM, 1999). Em média, ao longo do dia, o esgoto era gerado por 10 horas (período diurno) e 14 horas sem esgoto (período noturno). Nos finais de semana e dias de feriados não havia geração de esgoto. O controle das vazões era feito na entrada dos LC manualmente a partir de registros de esfera (PIEIDADE, 2010; ZANELLA, 2008; OLIVEIRA, 2006; MELO JUNIOR, 2003; VALENTIM, 1999).

O monitoramento dos LC foi realizado na escala horária, permitindo maior confiabilidade dos dados coletados, além de possibilitar a observação da dinâmica das variáveis durante o dia (PIEIDADE, 2010; OLIVEIRA, 2006; MARTINS et al., 2006; PEREIRA et al., 2006; MELO JÚNIOR, 2003). Nessa escala horária, o período monitorado foi das 09:00 às 18:00h e as variáveis analisadas foram: vazão, fósforo total, nitrato, nitrogênio amoniacal, DQO, concentração de OD, CE, pH e temperatura da água. As variáveis: vazão, fósforo total, concentração de OD, CE, pH e temperatura da água foram analisadas na escala horária e os valores integrados em escalas superiores. A observação dessas variáveis na escala horária mostrou a inexistência de rotina ao longo do dia, seguindo tendência aleatória (PIEIDADE, 2010; OLIVEIRA, 2006; MARTINS et al., 2006; PEREIRA et al., 2006; MELO JÚNIOR, 2003; CALIJURI et al., 2009). As variáveis: nitrato, nitrogênio amoniacal e DBO foram analisadas na escala diária, a partir de amostras compostas realizadas em escala horária. Para a escala superior deste trabalho, denominada de período estendido, foi considerado desde o primeiro dia de monitoramento da água excluindo-se os finais de semana e feriados, divididos em dois períodos (antes da poda e depois da poda). O período anterior à poda refere-se do dia 04/05/2009 (1º dia de monitoramento da água) até o dia anterior à poda, 13/08/2009. O período posterior à poda foi considerado o primeiro dia útil posterior a mesma (17/08/2009) até o último dia de monitoramento (01/10/2009). Para a definição dos valores das variáveis na

escala diária fora dos dias de monitoramento, utilizou-se modelos empíricos de simulação (PIEIDADE, 2010; MELO JÚNIOR, 2003; OLIVEIRA, 2006). Esses modelos simularam os valores de fósforo total, nitrato, nitrogênio amoniacal e DQO.

No LC1 a vegetação escolhida foi a macrófita *Hedychium coronarium*, por apresentar características como: crescimento agressivo, rusticidade, adaptação a solos brejosos, sol pleno e utilização no paisagismo (LORENZI e SOUZA, 2001; ALMEIDA et al., 2007; LEOPOLDO e CONTE, 1996; ASMUS et al., 2007). Essa macrófita foi à terceira em ordem decrescente para o valor do IAF, antes da poda. A vegetação alcançou altura máxima de 90 cm e densidade de 240 plantas no LC. A quantidade de biomassa produzida só foi maior que o LC5 em ordem decrescente. Já para a exportação de nutrientes foi a terceira, sendo maior apenas que o LC5. A macrófita *Heliconia psittacorum* cultivada no LC2, é uma planta essencialmente tropical com grande utilização no paisagismo, e como flor de corte. Possui adaptabilidade para se desenvolver em solos brejosos e a sol pleno (LORENZI e SOUZA, 2001; KONNERUP et al., 2009), foi a macrófita que apresentou melhor desenvolvimento vegetativo dentre as plantas estudadas, com maior IAF em ambos os períodos monitorados. A vegetação atingiu altura máxima de 100 cm e densidade de 1.200 plantas no LC, antes da poda. A produção de biomassa verde também foi à maior, conseqüentemente foi a planta que exportou a maior quantidade de nitrogênio e a segunda maior na exportação de fósforo. No LC3 foi cultivada a macrófita *Cyperus alternifolius*, por ser uma planta indicada para lugares brejosos, a pleno sol e muito utilizada no paisagismo. (LORENZI e SOUZA, 2001). Essa planta apresentou bom desenvolvimento após o plantio e, 90 dias após o mesmo, já recobria totalmente o LC. Apresentando o segundo maior IAF, a partir da média entre as duas podas. A altura máxima medida, antes da 1ª poda, foi de 130 cm e antes da segunda poda a altura máxima estava por volta de 90 cm. Observou-se que esta planta não suporta podas freqüentes, tanto que a rebrota após as mesmas ficaram abaixo do esperado. A produção da biomassa verde, considerando a média entre as duas podas, foi a 2ª maior. A exportação de nitrogênio também foi a segunda maior e a exportação de fósforo foi a maior dentre as plantas estudadas. A macrófita *Colocasia esculenta*, utilizada no LC5 também foi escolhida por ser uma planta indicada para lugares brejosos, podendo ser cultivada a pleno sol ou meia sombra e utilizada no paisagismo. (LORENZI e SOUZA, 2001). Essa planta apresentou desenvolvimento rápido com pico máximo de crescimento, três meses após o plantio e declínio em seguida (GONDIM et al.,

2007; NOGUEIRA et al., 2008). Nesse período o IAF máximo medido foi o menor dentre as plantas estudadas. A poda foi realizada independentemente do ciclo da cultura, juntamente com os outros LC, o que promoveu baixa produção de biomassa verde. As podas nessa espécie devem ser realizadas com maior frequência respeitando seu ciclo de desenvolvimento. No caso desse estudo foi o menor ciclo, quando comparada com as outras plantas utilizadas nos LC. A *Colocasia esculenta* apresentou a maior quantidade de fósforo e nitrogênio em seus tecidos, em relação às outras estudadas. No entanto, devido à baixa produção de biomassa, apresentou a menor quantidade de nitrogênio e fósforo exportados. Fato esse que pode ser melhorado com o aumento de podas. A observação do desenvolvimento da vegetação mostrou a importância do acompanhamento das características ecofisiológicas no estudo dos LC, em relação à remoção e à retenção dos nutrientes. E, como as podas regulares e a análise dos tecidos das plantas, são importantes na determinação da quantidade de nutrientes retidos e exportadas pela vegetação utilizada nos mesmos.

A partir do monitoramento da quantidade e da qualidade da água nos LC, foi possível calcular a eficiência dos mesmos para as variáveis estudadas (ALMEIDA et al., 2007; LEOPOLDO e CONTE, 1996; ASMUS et al., 2007; KONNERUP et al., 2009; CHAN et al., 2008; BINDU et al., 2008; SOUSA, 2003; VALENTIM, 1999; CECCONELLO 2005; MANSOR, 1998; MAZZOLA, 2003; CEBALLOS et al., 2001; SEZERINO, 2006). Em relação à retenção de massa das variáveis analisadas obteve-se que: i) fósforo total o LC mais eficiente, no período anterior à poda, foi o LC2 seguido pelo LC3 com pouca diferença entre ambos. Já, no período posterior à poda, o LC5 foi o mais eficiente, enquanto o LC2 apresentou eficiência praticamente zero. O LC1 e o LC3 apresentaram acréscimos de fósforo total no sistema (SOUZA, 2003). O LC4 com brita apresentou acréscimo de fósforo total no período monitorado. ii) a retenção de nitrato, antes da poda, foi mais eficiente no LC2. Sendo que o LC3 e o LC5 obtiveram eficiências próximas. Após a poda o LC2 continuou sendo o mais eficiente, seguido pelo LC1 e pelo LC5. O LC3 apresentou acréscimo de nitrato e o LC4 também no período total analisado. iii) Para o nitrogênio amoniacal, no período anterior à poda o LC1 foi o mais eficiente, seguido pelo LC2. O LC5 foi o 3º mais eficiente seguido pelo LC3. No período posterior à poda o LC5 foi mais eficiente, seguido pelo LC1. O LC2 e o LC3 apresentaram acréscimos nessa variável. O LC4 apresentou retenção positiva no período total analisado. iv) A retenção da DQO foi maior no LC2, seguido pelo LC3 no período anterior à

poda, e pelo LC1 e LC5. No período posterior à poda o LC2 também foi o mais eficiente, no entanto o LC1 passou a ser o 2º mais eficiente, seguido pelo LC3. O LC5 apresentou acréscimo no sistema. O LC4 obteve retenção positiva no período total monitorado.

Analisando os dois períodos, verificou-se que: no período anterior à poda o LC2, *Heliconia psittacorum*, foi mais eficiente na retenção do fósforo total, do nitrato e da DQO. Enquanto o LC1 foi mais eficiente na retenção do nitrogênio amoniacal. No período posterior à poda o LC5 foi mais eficiente na retenção de fósforo total e de nitrogênio amoniacal. Enquanto o LC2, no mesmo período, permaneceu retendo nitrato e DQO. Os LC vegetados com as macrófitas *Hedychium coronarium* (LC1), *Heliconia psittacorum* (LC2), *Cyperus alternifolius* (LC3) e *Colocasia esculenta* (LC5) demonstraram ser mais eficientes do que o LC com brita (LC4).

As eficiências de retenção encontradas neste trabalho, para as variáveis analisadas, ficaram abaixo das encontradas por diversos autores (ALMEIDA et al., 2007; KONNERUP et al., 2009; CHAN et al., 2008; ASMUS et al., 2007; OLIVEIRA, 2006; BINDU et al., 2008; SIM et al., 2008; ZHANG et al., 2007; SANTOS, 2009; PAULO et al., 2007; ZURITA et al., 2009; BELMONT et al., 2004; WU et al., 2010; SILVA e ROSTON, 2010; YOUSEFI et al., 2010; CALIJURI et al., 2008; SANTOS et al., 2007; BELMONT e METCALFE, 2003; MELO JUNIOR, 2003). Essa diferença pode ser justificada pelo período de tempo monitorado, pela vazão, pelo TDH, tipo de planta e substrato utilizados pelos mesmos. Além, da escala utilizada para monitoramento (horária, diária, semanal, quinzenal ou mensal) que pode conduzir a conclusões equivocadas. Pois, como visto nesse trabalho, a definição do intervalo de coleta, amostragem e monitoramento, são importantes para que os valores encontrados não estejam super ou sub estimados e para que os resultados e conclusões sejam o mais próximo da realidade do que sobre a dinâmica do sistema de tratamento de esgoto a partir de LC.

6. CONCLUSÕES

- O monitoramento a partir de coleta e análises horárias, permitiu a transferência dos dados para escalas temporais superiores, expressando com maior segurança a eficiência da retenção de nutrientes (N e P) e de matéria orgânica. Promovendo maior entendimento sobre a dinâmica dessas variáveis nos sistemas de LC;
- A produção de biomassa verde no período de dezembro 2008 a agosto 2009 foi maior no LC2 com *Heliconia psittacorum* e 24,1Kg, as outras plantas estudadas apresentaram em média 60% menos produção de biomassa verde;
- A macrófita *Colocasia esculenta* (LC5) apresenta ciclo de desenvolvimento menor que as outras plantas. Observou-se nesse trabalho que o pico de desenvolvimento ocorreu por volta dos 90 dias após o plantio e decresceu em seguida. Fato esse que pode ter deteminado a pouca biomassa apresentada na época da poda. Já que a poda foi realizada sem considerar a melhor época. Essa planta foi a mais eficiente na fixação de fósforo e nitrogênio em seus tecidos.
- A exportação de nitrogênio em foi maior na *Heliconia psittacorum* (94,9g); *Cyperus alternifolius* (81,6g); *Hedychium coronarium* (30,9) e *Colocasia esculenta* (29,8g);
- A exportação de fósforo foi maior no *Cyperus alternifolius* (9,6g); *Heliconia psittacorum* (7,7g); *Colocasia esculenta* (5,4g); *Hedychium coronarium* (3,3g);
- O manejo da vegetação (poda) deve ser diferenciado para cada espécie considerando as taxas de crescimento, permitindo assim, maiores remoções/exportações de nutrientes do sistema;
- No período analisado, maio a outubro de 2009, macrófita mais eficiente na retenção de nutrientes e matéria orgânica foi a *Heliconia psittacorum*.

- Os LC vegetados foram mais eficientes na retenção de nutrientes e matéria orgânico, no período estudado de maio a outubro de 2009, do que o LC sem vegetação (brita).
- A utilização de plantas ornamentais em LC, ameniza a rejeição do público em relação ao tratamento de esgoto, transformando o sistema de LC num local de contemplação e beleza, podendo ser chamado de “jardim alagado” ou “jardins alagados”.
- As espécies ornamentais *Hedychium coronarium*, *Heliconia psittacorum*, *Cyperus alternifolius* e *Colocasia esculenta* podem ser utilizadas para tratamento de efluentes domésticos retendo nutrientes (N e P) e matéria orgânica, confirmando a hipótese desse trabalho.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R. A.; OLIVEIRA, L. F. C.; KLIEMANN, H. J. Eficiência de espécies vegetais na purificação de esgoto sanitário. **Pesq Agropec Trop** 37(1): 1-9, mar. 2007. Goiânia, GO. 2007.

ANJOS, J. A. S. A. Avaliação da Eficiência de Uma Zona Alagadiça (wetlands) no Controle da Poluição por Metais Pesados: O caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação-BA. **Tese de Doutorado**, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Minas, Universidade de São Paulo. 327p. 2003.

APHA; AWWA e WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20a edição, Washington D. C./USA, American Public Health Association, 1998.

ARIAS, C.A.; DEL BUBBA, M. e BRIX H. Phosphorus Removal by Sands for Use as Media in Subsurface Flow Constructed Reed Beds. **Water Research**, **35** (5): p. 1159-1168. 2001

ARMSTRONG, W., ARMSTRONG, J. AND BECKETT, P.M. Measurement and modelling of oxygen release from roots of *Phragmites australis*. In, **Constructed Wetlands in Water Pollution Control**. P.F. Cooper and B.C. Findlater (eds.). Pergamon Press, Oxford. pp. 41–52. 1990.

AQUINO, S. F.; SILVA, S. Q. e CHERNICHARO C. A. L. Considerações práticas sobre o teste de Demanda Química de Oxigênio (DQO) aplicado a análise de efluentes anaeróbios. **Eng. sanit. ambient.** Vol.11 - Nº 4 - out/dez. p. 295-304. 2006. Nota técnica. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v11n4/a01v11n4.pdf>. Acesso em: 03 de Nov. 2009.

ASMUS, A. F.; BEZERRA, L. P.; SANTOS, L.S. e IDE, C. N. Estudo da adaptabilidade de plantas ornamentais e da sua eficiência no tratamento em sistemas de banhados construídos. IN: **24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Belo Horizonte, MG. 2007. Disponível em: <http://www.saneamento.poli.ufrj.br/documentos/24CBES/II-111.pdf>. Acesso em 15 de ago. de 2009.

BALAKRISHNAN, K; NATARAJARATNAN, N e RAJENDRAN, C. Critical leaf area index in pigeonpea. **J. agronomy e Crop science**, v.159, n.3, p.164-168, 1987.

BARRETO, C. O. Eficiência de leito de macrófitas como unidade de polimento de efluente de indústria de aditivos para ração. Faculdade de Engenharia Agrícola. Unicamp. Campinas, SP. 53p. 2005. **Dissertação de mestrado**.

BAVARESCO, A. S. L.; COSTA, R. H. R. e PERDOMO, C. C. **Lagoas de aguapés em sistemas de tratamento de dejetos de suínos**. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/mexico/01446p04.pdf>. Acesso em: 25 jul 2007.

BELMONT, M. A. e METCALFE, C. D. Feasibility of using ornamental plants (*Zantedeschia aethiopica*) in subsurface flow treatment wetlands to remove nitrogen, chemical oxygen

demand and nonylphenol ethoxylate surfactants - a laboratory-scale study. **Ecological Engineering** 21. p 233–247. 2003.

BINDU, T.; SYLAS V.P; MAHESH, M.; RAKESH, P.S.; RAMASAMY, E.V. Pollutant removal from domestic wastewater with Taro (*Colocasia esculenta*) planted in a subsurface flow system. **Ecological engineering** 33. p 68–82. 2008

BORGES, A.K.P. Despoluição de águas superficiais e efluentes de piscicultura através de sistemas construídos de áreas alagadas (constructed wetlands). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Biociências. Rio Claro, SP. 140p. 2005. **Tese de doutorado**.

BRASIL, M. S.; MATOS, A. T.; FIA, R. Eficiência e impactos ambientais do tratamento de águas residuárias da lavagem e despolpa de frutos do café em áreas alagadas naturais. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.11, n.1-4, Jan./Dez., 2003.

BRASIL, M. S.; MATOS, A. T.; FIA, R. E SILVA, N. C. L. Desempenho agrônômico de vegetais cultivados em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, MG, v.15, n.3, 307-315, jul./set313. Nota técnica. 2007.

BRASIL, M. S.; MATOS, A. T.; SOARES, A. A. e PAULO A. FERREIRA, P. A. Qualidade do efluente de sistemas alagados construídos, utilizados no tratamento de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, (Suplemento), p.133-137, 2005.

BRAZ, A.J.B.P.; SILVEIRA, P.M. da; KLIEMANN, H.J.; ZIMMERMANN, F.J.P. Acumulação de nutrientes em folhas de milheto e dos capins braquiária e mombaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.34, p.83-87, 2004.

BRITO, A. S. ; BREGUNCE, D.; MORAES, F. M.; CUBAS, S. A.; MARANHO, L. T. Avaliação do sistema “wetland” construído para tratamentos de águas urbanas altamente poluídas com esgoto sanitário. In: **24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Belo Horizonte, MG. 2007

BRIX, H. Wastewater treatment in constructed wetlands: system design, removal processes, and treatment performance. p. 9-23. In G. A. Moshiri (Ed.). **Constructed wetlands for water quality improvement**. CRC Press / Lewis publishers, Boca Raton. 632p. 1993.

Brix, H. Functions of macrophytes in constructed wetlands. **Water Sci. Tech.** 29(4), 71–78. Cottingham, P.D., Davies, T.H. and Hart, B.T. (1999). Aeration to promote nitrification in constructed wetlands. *Environ. Tech.* 20, 69–75. 1994.

BRIX, H. Do Macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? **Water Sci. Tech.**, Vol.35, nº 5, 1997. p. 11-17

CALIJURI, M. L.; BASTOS, R. K. X.; CAPELETE, B. C.; MAGALHÃES, T. B. e NETO, R. F. Remoção de nitrogênio e fósforo em *wetlands* construídas: comportamento temporal. **XXXI Congresso Interamericano AIDIS**. Santiago, Chile. 12-15 outubro 2008.

CAMPOS, J.R., coord. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. São Carlos, PROSABE-FINEP, 1999. 435p.

CAMPOS, H. **Estatística experimental não paramétrica**. 3ª ed. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP. Piracicaba, 1979.

CARLESSO, REIMAR; HERNANDEZ, M. G. R.; RIGHES, A. A. e JADOSKI, S. O. Índice de área foliar e altura de plantas de arroz submetidas a diferentes práticas de manejo. **Rev. Bras. de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.268-272, Campina Grande, 1998.

CASTRO, C. E. F. de. **Helicônia para exportação: aspectos técnicos da produção**. Brasília: EMBRAPA/ FRUPEX, 1995. 43p. (Série Publicações Técnicas FRUPEX, 16)

CEBALLOS, B. S. O.; MEIRA, C. M. B. S.; SOUSA, J.T.; OLIVEIRA, H.; GUIMARÃES, A. O.; KONIG, A. Desempenho de um leito cultivado na melhoria da qualidade de um córrego poluído destinado a irrigação. **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Porto Alegre, RS. 3 a 8 dez. 2000. Disponível em: http://www.ciplima.org.pe/sanitaria/xxvii_con/tema01/i-032.pdf Acesso em 28/08/2006.

CEBALLOS, B.S.O., OLLIVEIRA, H., MEIRA, C.M.B.S., KONIG, A., GUIMARAES, A.O., SOUZA, J.T., River water quality improvement by natural and constructed wetland systems in the tropical semi-arid region of Northeastern Brazil. **Water Science and technology** **44**. nº 11–12, 599–605p. 2001.

CECCONELLO, C. M. Pós-tratamento de lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos utilizando leitos cultivados. Passo Fundo, RS: Universidade de passo Fundo, 148p. 2005. **Dissertação de mestrado**.

CGEE. Relatório Anual 2008 - Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010. 127 p.

CHAN, S.Y.; CHUA, H.; TSANG, Y.F.; SIN, S.N.; CUI, L.H. Performance study of vegetated sequencing batch coal slag bed treating domestic wastewater in suburban area. **Bioresource Technology** **99**. pg 3774–3781. 2008.

COOPER, P.F.; JOB, G. D.; GREEN, M. B. E SHUTES, R.B.E. Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment. WRc Publications, Medmenham, Marlow, UK. 1996.

CHERNICHARO, C. A.L.. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. **Reatores anaeróbios**. Depto. Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, Belo Horizonte - MG, vol. 5, 246 p., 1997.

COLLAÇO, A. B. e ROSTON, D. M. O uso de pneus picados como meio suporte de leitos cultivados para o tratamento de esgoto sanitário. **Engenharia ambiental** - Espírito Santo do Pinhal, v.3, n.1, p. 021-0,31, jan/jun 2006.

COLLAÇO, A. B. Uso de pneu “picado” como meio suporte de leitos cultivados para o tratamento de esgoto sanitário oriundo de uma E.T.E. Convencional. Faculdade de Engenharia Agrícola. Unicamp. Campinas, SP. 65p.2001. **Dissertação de mestrado**

COSTA, L. L.; CEBALLOS, B. S. O.; MEIRA, C.M.B.S e CAVALCANTI, M. L. F. Eficiência de Wetlands construídos com dez dias de retenção hidráulica na remoção de colifagos e bacteriófagos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. Volume 3 - Número 1 - 1º Sem. 2003. Disponível em: <http://eduep.uepb.edu.br/rbct/sumarios/pdf/wetlands.pdf>. Acesso em 30 de abr de 2009.

COSTA, S.M.S.P. Avaliação do potencial de plantas nativas do Brasil no tratamento de esgoto doméstico e efluentes industriais em “wetlands” construídos. Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP. Campinas, SP. 2004. **Tese de doutorado**.

DE BUSK, T. A.; WILLIAMS, L.D. and RYTHER, J.H.. Removal of nitrogen and phosphorus from waste water waterhyacinth-based treatment system. **Journal of Environmental Quality**. v.12, n.2, p257-266, 1983.

DINIZ, C. R.; CEBALLOS, B. S. O.; BARBOSA, J. E. L. e KONIG, A. Uso de macrófitas aquáticas como solução ecológica para melhoria da qualidade de água. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v.9, (Suplemento), p.226-230, 2005.

EMBRAPA Monitoramento de Satélite. **Inventário e caracterização da fauna de vertebrados selvagens de Campinas**. Disponível em: <http://www.faunacps.cnpm.embrapa.br/carac.html>. Acesso em: 30 de set. de 2009.

ESCOSTEGUY, P. A. V.; CERINI, J. B.; GOBBI D.; GOBI, D. e Cecconello, C. M. Extração de nutrientes por macrófitas cultivadas com lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos. **Rev. Bras. Ci. Solo**. nº 32, p. 853-860. 2008

ESTEVES, F. A. Comunidade de macrófitas aquáticas. In: _____. **Fundamentos da Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998, p. 316-373.

EVANS, G. C. **The quantitative analysis of plant growth**. Londres: Blackwell Sci. Public., p.734. 1972.

FERRER, A. F. M.; PERDOMO, C. V. TEIXEIRA FILHO, J. e GODOY, H. T. Fluxos de fósforo em sistema de leitos cultivados utilizando a espécie *Vallisneria gigantea*. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 35. 2006. João Pessoa – PB. Anais CD Room.

FERREIRA, J.A.;CAMPOS,J.C.; RITTER. E. e MANNARINO.C.F. Wetland: Resultados no tratamento do chorume do aterro sanitário de Piraí-RJ. In **22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 81, Rio de Janeiro. Anais.... Joinville: ABES, 2003.

FERREIRA, C. A. e PAULO, P. L. Eficiência de *wetlands* construídos para o tratamento domiciliar de água cinza com configuração diferenciada. **Coordenadoria de Pesquisa – PROPP**. Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

GARCIA, G. C. P; BARBOZA, I. M. e RIZK, M. C. Avaliação da capacidade de adaptação de diferentes plantas aquáticas em chorume bruto visando sua tratabilidade. In: **24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 02 a 07 de setembro de 2007 - Belo Horizonte/MG. Disponível em: <http://www.saneamento.poli.ufrrj.br/documentos/24CBES/II-311.pdf>.

GONÇALVES, R. A. B.; MATOS, M. T.; FIA, R. FUKUNAGA, D. C. Eficiência de remoção de poluentes em diversas etapas do tratamento das águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos de cafeeiro. **Anais Simpósio de pesquisas dos cafés no Brasil**. 2006.

GONDIM, J. A. Tratamento de efluente de indústria recicladora de plástico utilizando reator anaeróbio compartimentado e leitos cultivados. FEAGRI – Faculdade de Engenharia Agrícola –UNICAMP, Campinas/SP, 2007. 254p. (**Dissertação de Mestrado**)

GONDIM, A. R. O; PUIATTI, M.; CECOM, P. R. e FINGER, F. L. Crescimento, partição de fotoassimilados e produção de rizomas em taro cultivado sob sombreamento artificial. **Hortic. Bras.** [online]. 2007, vol.25, n.3, pp. 418-428. ISSN 0102-0536. doi: 10.1590/S0102-05362007000300019.

GOPAL, B. Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: Potential and problems. **Water Science Technology**, v. 40, n. 3, p. 27-35, 1999.

GRANATO, M. **Utilização do aguapé no tratamento de efluentes com cianetos**. Série Tecnologia Ambiental; 5. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq,.39p. 1995

GUNTENSPERGEN, G. R., STEARNS, F. e KADLEC, J. A.. “Wetland vegetation”. **Anais: 1st International Conference on Constructed Wetlands for Wastewater Treatment**, Chattanooga – Tennessee/USA, vol. I, no 5, pp. 73-88, junho/1988

HABERL, R. Constructed wetlands: a chance to solve wastewater problems in developing countries. **Water Science and Technology**, 40 (3): 11-17. 1999.

HAMMER, D.A. **Creating freshwater wetlands**. CRC Press, Boca Raton. 1997.

HACH Company. **Spectrophotometer Instrument Manual**. Loveland, Colorado/USA, 1996.

HENRY-SILVA, G.G. e CAMARGO, A.F.M. Efficiency of aquatic macrophytes to treat Nile tilapia pond effluents. **Sci. Agric.** Piracicaba, SP. v.63, n.5, p.433-438, Set/Out. 2006

HUSSAR, G. J. Avaliação do desempenho de leitos cultivados no tratamento de águas residuárias de suinocultura. Campinas, SP. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. 118p. 2001. **Dissertação de mestrado**.

HUSSAR, G. J.; CONCEIÇÃO, C. H. Z.; PARADELA, A. L.; BARIN, D. J.; JONAS, T. C.; SERRA, W.; GOMES J. P. R. Uso de leitos cultivados de vazão subsuperficial na remoção de macronutrientes de efluentes de tanques de piscicultura. **Eng. ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.1, n.1, p. 25-34, jan./dez., 2004

IBGE, Instituto Brasileiro de geografia e Estatística. IBGE mapeia os serviços de saneamento básico no país. **Comunicação Social**. 2002. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/27032002pnsb.shtm> .Acesso em: 20 ago 2007.

IWA – International Water Association. **Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation**. Scientific and Technical Report No. 8. London, England: IWA Publishing. 156 p. 2000

KADLEC, R.H., KNIGHT, R.L.. **Treatment wetlands**. Boca Raton: CRC Lewis Publishers. Cap. 1: Introduction to Wetlands for Treatment, p. 3 – 18; Cap. 3: Natural Systems for Treatment, pp. 31-43. 1996.

KISSMANN, K. G. **Plantas infestantes e nocivas**. 2.ed. São Paulo: BASF, 1997-T.1. 825p. 1997.

KONNERUP, D.; KOOTTATEP, T. e BRIK, H. Treatment of domestic wastewater in tropical, subsurface flow constructed wetlands planted with *Canna* and *Heliconia*. **Ecological engineering** 35. 248–257p. 2009

LIMA, M. R.; TAFFAREL, A D.; REISSMANN, C. B.; SILVA, A.G. Crescimento e absorção de alguns elementos químicos em aguapé, alface da água e lentilha da água, no período de inverno, em Pinhais-PR. **IV Seminário do Projeto Interdisciplinar sobre Eutrofização de Águas de Abastecimento Público na Bacia do Altíssimo Iguaçu**. Curitiba-PR, 18 e 19 de novembro de 2003.

LAUTENSCHLAGER, S.R. Modelagem do desempenho de *wetlands* construídos. 90p. **Dissertação de mestrado**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001

LEOPOLDO, P. R. e CONTE, M. L. Processo fito-pedológico aplicado no tratamento de efluentes domésticos. In: **Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental**, 25, 1996, Cidade do México. Memorias Técnicas do XXV Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental. Cidade do México : AIDIS, 1996. v. 1. p.1-8. Disponível em: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsaidis/aresidua/mexico/01021p04.pdf>. Acesso em 08 de ago de 2009.

LONDE, L. R. e PATERNIANE, J. E. S. Filtração lenta para reutilização de água em irrigação. **Irriga. Botucatu**, v.8, n.1, p. 10-20, jan-abr, 2003.

LOPES, M. **Folha do Meio Ambiente**. Ano 11, ed. 113. Brasília/DF, março 2001. Disponível em: <http://www.folhadomeioambiente.com.br/fma113/agua113i.htm>. Acesso em 08 mar 2002.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais**. Editora Plantarum. Nova Odessa, SP. 425p. 1982

LORENZI, H. e SOUZA, H. M. **Plantas ornamentais no Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras**. 3ª Ed. Editora Plantarum. Nova Odessa, SP. 1088p. 2001

LUTZENBERGER, J. **Em defesa do aguapé**, in Ecologia - Do Jardim ao Poder. LePM Editores Ltda. Porto Alegre, 1985. Disponível em: <http://www.fgaia.org.br/texts/t-aguape.html>. Acesso em: 25 jul. 2007.

MANFRINATO, E.S.; FILHO, E.S. e SALATI, E., **Water Supply System Utilizing the Edaphic-Phytodepuration Technique**. In: Constructed Wetlands for Water Quality and Improvement, Chapter 34, G.A. Moshiri, ed., CRC Press, Boca Raton, FL. 1993.

MANNARINO, C.F.; FERREIRA, J.A.; CAMPOS, J.C. e RITTER, E. Wetland para tratamento de lixiviados de aterros sanitários – experiências no aterro sanitário de Pirai e no aterro metropolitano de Gramacho. **Engenharia Sanitária Ambiental**, 11:108-112, 2006.

MANSOR, M. T. C. Uso de leito de macrófitas no tratamento de águas residuárias. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, SP. 106p. 1998. **Dissertação de mestrado**.

MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M.G. **Fisiologia Vegetal**. EPU/EDUSP, São Paulo. 1979. v. 1, p. 331-350.

MARTINS, A. F. et al. fluxos de fósforo em sistema de leitos cultivados utilizando a espécie *Vallisneria gigantea*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 35, 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBEA, 2006.

MAY, E. et al. Chemical and microbiological processes in gravel-bed hydroponic systems for sewage treatment. In: COOPER and FINDLATER B.C. **Constructed wetlands in water pollution control**. Oxford, UK: Pergamon Press, 1990. p.33-40

MATOS, A. T. de; ABRAHAO, S. S.; BORGES, A. C ; MATOS, M. P. de. Influência da taxa de carga orgânica no desempenho de sistemas alagados construídos cultivados com forrageiras. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. 2010, v.15, n.1, pp. 83-92.

MAZOLLA, M.; ROSTON, D M. e VALENTIM, M. A. A. Uso de leitos cultivados de fluxo vertical por batelada no pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio compartimentado. **Rev. Bras. Eng. Agríc. e Amb.**, v.9, n.2, p.276-283, 2005. Campina Grande, PB.

METCALF e EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. 3 ed., Metcalf e Eddy Inc., 1991. 1334 p.

MITCHELL, D S, CHICK, A J, AND RAISIN, G W. The use of wetlands for water pollution control in Australia: an ecological perspective. **Water Science and Technology**, 32: 365-375. 1995.

MITSCH, W. J. e GOSSELINK, J. G.. **Wetlands**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1993.

MONTEIRO, D. A. 2002. Situação atual e perspectivas do taro no Estado de São Paulo. In: C. A. S. Carmo (Ed.). **Inhame e taro: Sistemas de produção familiar**. Incaper, Vitória. 289 p.

MÜLLER, A. G.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I.; RADIN, B.; FRANÇA, S. e SILVA, M I. G. Estimativa do índice de área foliar do milho a partir da soma de graus-dia. **Rev. Bras. de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 65-71, 2005.

NAIME, R. GARCIA, A. C. Utilização de enraizadas no tratamento de efluentes agroindustriais. **Estudos tecnológicos**. Vol. 1, nº 2:9-20. jul/dez. 2005.

NOGUEIRA, N. O.; BERNARDES, C. O.; LOPES, F. S.; ROCHA, M. J. R e MARTINS, C. A. S. Comparação do índice de área foliar medido e estimado para a cultura do taro, *Colocasia esculenta* (L.) Schott. In: **VIII Encontro Latino Americano de Pós Graduação**, 2008, São José dos Campos. XII INIC e VIII EPG da Universidade do Vale do Paraíba, 2008.

NOGUEIRA, S. F. Balanço de nutrientes e avaliação de parâmetros biogeoquímicos em áreas alagadas construídas para o tratamento de esgoto. Centro de Energia nuclear da agricultura (CENA), Universidade Estadual de São Paulo. Piracicaba, SP. 137p. 2003. **Dissertação de mestrado**.

NOUR, E. A. A.; CAMARGO, S. A. R.; ROSTON, D. M.; PATERNIANI, J. E. S. E BARRETTO, A. S. Avaliação da redução de nitrogênio, fósforo e coliformes termotolerantes em sistema de tratamento de esgoto sanitário visando reuso. In: **24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Belo Horizonte, MG. 2007

OLIVEIRA, C.L.B. Dinâmica da retenção de fósforo de águas residuárias em sistemas de alagados construídos. Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP. Campinas, SP. 2006. **Tese de doutorado**.

OLIVEIRA, C.L.B.; TEIXEIRA FILHO, J.; GODOY, H.T.; SAMPAIO, C. B. V. Retenção do fósforo em leitos cultivados com taboa (*Typha* spp) e arroz (*Oryza sativa*, L.) no tratamento de águas residuárias. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 35. 2006. João Pessoa – PB. Anais CD Room

OLIVEIRA, R. A.; DENÍCULI, W.; TABORAHY, C. R. e CECON, P. R. Redução da demanda bioquímica de oxigênio de águas residuárias da suinocultura com o emprego da macrófita aquática. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.1, p.81-86, 2000.

OTTOVÁ, V.; BALCAROVÁ, J. e VYMAZAL, J. Microbial characteristics of constructed wetlands. **Water Sci. Technol.**, 35:117-123, 1997.

PAULO, P.L.; Braga, A. F. M.; Maximovitch, A. C. e Boncz, M. A. Tratamento de água cinza em uma unidade residencial de banheiros construídos. **In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Belo Horizonte/MG. 2007.

PEREIRA, S. P. TEIXEIRA FILHO, J.; PIEDADE, A.R. ; GODOY, H. T.; GARCIA, L. E. V. Avaliação de retenção de fósforo em leito cultivado com aguapé. **In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 35. 2006. João Pessoa – PB. Anais CD Room.

PORTES, T. A.; CARVALHO, S. I. C.; OLIVEIRA, I. P. e KLUTHCOUSKI, J. Análise do crescimento de uma cultivar de braquiária em cultivo solteiro e consorciado com cereais. **Pesq. Agropec. Bras.** vol.35 nº 7. Brasília, Julio. 2000.

PHILIPPI, L. S. e SEZERINO, P. H. **Aplicação de Sistemas tipo wetlands no tratamento de Águas Residuárias**: Utilização de filtros plantados com macrófitas. Florianópolis-SC. Ed. Do Autor, 144p, 2004.

PROCHASKA, C.A.; ZOUBOULIS A.I. e ESKRIDGE K.M. Performance of pilot-scale vertical-flow constructed wetlands, as affected by season, substrate, hydraulic load and frequency of application of simulated urban sewage. **Ecological Engineering** **31**. 57–66p. 2007.

PROCHASKA, C.A. e ZOUBOULIS, A.I. Treatment performance variation at different depths within vertical subsurface-flow experimental wetlands fed with simulated domestic sewage. **Desalination** **237**. 367–377p. 2009.

RAMÓN, M.M. Alelopatia, factor presente por la adición del lirio acuático (*Eichornia crassipes*) como cobertura en la siembra de hortalizas. 1984. 169p. **Tese (Ingeniero Agrónomo)** - Colegio Superior de Agricultura Tropical, Tabasco, México.

REED, S. C.; CRITES, R. W.; MIDDLEBROOKS, E. J.. **Natural systems for waste management and treatment**. 2ª edição, McGraw-Hill, 1995. 434 p.

RÍOS, D. A.; VÉLEZ, A. F. T.; PEÑA, M.R. e PARRA, C.A. M. Changes of flow patterns in a horizontal subsurface flow constructed wetland treating domestic wastewater in tropical regions. **Ecological engineering**, 35. 274-280 p. 2009.

REIS, G. M. e RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Comparação de testes paramétricos e não paramétricos aplicados em delineamentos experimentais**. IN: III SAEPRO – 2007 – UFV. Disponível em: <http://www.saepru.ufv.br/Image/artigos/SA03.pdf>. Acesso em 22 abr 2010.

ROSTON, D. M. Uso de várzeas artificiais para tratamento de efluente de tanque séptico. **In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 23, 1994, Campinas, SP. Anais. Campinas, 1994. n. 94-7-210.

ROSTON, D.M. e MANSOR, M.T.C. Tratamento de esgoto por sistema de leitos cultivados de vazão sub-superficial: Avaliação da remoção de nitrogênio. **In: Congresso brasileiro de**

engenharia sanitária e ambiental, 20. Rio de Janeiro. 1999. Anais. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999. p.519-524.

SANTOS, R. M. F. Pós-tratamento de esgoto: sistema sequencial de leitos cultivados (*constructed wetlands*) vertical e horizontal. Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP. Campinas, SP. 2009. **Dissertação de mestrado**.

SANTOS, L.S.; OLIVEIRA, A. S. e IDE, C. N. **Eficiência de banhados construídos utilizando plantas ornamentais**. Universidade Estadual de Goiás. 2007. Disponível em: <http://www.prp.ueg.br/06v1/conteudo/pesquisa/inic-cien/eventos/sic2007/flashsic2007/arquivos/resumos/resumo142.pdf>. Acesso em 30 set 2010.

SANTIAGO, A. F.; CALIJURI, M. L. e LUÍS, P. G. Potencial para a utilização de sistemas de wetlands no tratamento de águas residuárias: uma contribuição a sustentabilidade dos recursos hídricos no Brasil. **Natureza e Desenvolvimento**, v. 1, n. 1, p. 29-39, 2005

SEZERINO, P. H. Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (*constructed wetlands*) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical. Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 170p. 2006. **Tese de doutorado**.

SEZERINO, Pablo Heleno; PHILIPPI, Luiz Sérgio. Utilização de um sistema experimental por meio de “Wetland” construído no tratamento de esgotos domésticos pós tanque séptico. In: **Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, IX, 2000, Porto Seguro. Anais. Rio de Janeiro: ABES, 2000. 1 CD-ROM. 2000.

SIEGEL, S. e CASTELLAN JR., N. J. **Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento**. Tradução de Sara Ianda Correa Carmona. 2ª ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2006.

SILVA, A. H. A.; DUARTE, W. DE G.; BARBOSA, T. P., FILHO, H. C. L. W.; TIBOLA, T.; GONÇALVES, E. R.; VERÍSSIMO, V E SILVA, J. V. Índice de área foliar e produtividade de variedades de cana-de- açúcar na condição de sequeiro. **XII Congresso Brasileiro de Fisiologia Vegetal** “Desafios Para produção de alimentos e bioenergia” (XII CBFV). 7 a 12 set. 2009. Fortaleza, CE.

SILVA, E. M. e ROSTON, D. M. Tratamento de efluentes de sala de ordenha de bovinocultura: lagoas de estabilização seguidas de leito cultivado. **Eng. Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.1, p.67-73, jan./fev. 2010

SIM, C. H.; YUSOFF, M. K.; SHUTES,B.; HO, S. C. e MANSOR, M. Nutrient removal in a pilot and full scale constructed wetland, Putrajaya city, Malaysia. **Journal of Environmental Management** 88. pg 307–317. 2008.

SOUSA, J.T.; VAN HAANDEL, A.; LIMA, E. P. C.; HENRIQUE, I. N. Utilização de wetland construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratado em reator UASB. **Eng. Sanit. Ambient**. vol.9 no.4 Rio de Janeiro Oct./Dec. 2004.

SOUSA, L.M.I. Avaliação da macrófita *Typha domingensis* Pers. No pós tratamento de efluente do campus da UFMS e do hospital universitário em banhados construídos de fluxo subsuperficial. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia. Universidade de Mato Grosso do Sul, Campo Garnde. 67p. **Dissertação de Mestrado**. 2003.

SOHSALAM, P.; ENGLANDE, A. J. E SIRIANUNTAPIBOON, S. Seafood wastewater treatment in constructed wetland: Tropical case. **Bioresource Technology**, vol 99, p 1218–1224. 2008

TOBIAS, A.C.T. Tratamento de resíduos da suinocultura: uso de reatores anaeróbios sequenciais seguido de leitos cultivados. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, SP. 125p. 2002. **Tese de doutorado**.

TCHOBANOGLIOUS, G. 1991. Constructed wetlands: natural treatment system. p. 992-1002. In G. Tchobanoglous. **Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse**. 3. ed. Metcalf. e Eddy. Mc Graw-Hill, Toronto. 1334 p.

TONIATO, J. V.; ROQUE, O. C. C.; KACZALA, F.; NASCIMENTO, V. B. E ROQUE, D. C. Avaliação de um *wetland* construído no tratamento de efluentes sépticos. In: **23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Campo Grande, MS. 2005.

TROTTER, E.A.; THONSON, B. e COLEMAN, R. **Evaluation of a subsurface flow wetland processing sewage from the Seville LTER field station**. Las Cruces: New Mexico Water Resources Research Institute, WRRI. Report nº 287, 1994. 52p

USEPA. **Constructed wetlands treatments of municipal wastewaters**. EPA/625/r-99/010, September/1999, Cincinnati, Ohio. 152 p.

VALENTIM, M.A.A. Desempenho de leitos cultivados ("constructed wetland") para tratamento de esgoto: contribuições para concepção e operação. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas. Campinas, SP. 208p. 2003. **Tese de doutorado**.

VALENTIM, M.A.A. Uso de leitos cultivados no tratamento de efluente de tanque séptico modificado. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. 120p. 1999. **Dissertação de mestrado**.

VIEIRA JUNIOR, P. A.; DOURADO NETO, D.; CICERO, S. M., JORGE, L. A. C.; MANFRON, P. A. e MARTIN, T. N. Estimativa da área foliar em milho através de análise de imagens. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5, n.1, p.58-66, 2006.

VON SPERLING, M.(a) Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, Depto. Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, Belo Horizonte/MG, 2a ed., vol. 1, 1996. 243 p.

VON SPERLING, M; JORDÃO, E.P.; KATO, M.T.; ALEM SOBRINHO; BASTOS, R.K.X. e PIVELLI, R. **Lagoa de estabilização. In: Desinfecção de efluentes sanitários**, Capítulo 7, Rio de Janeiro: ed. ABES, RiMa, p.276-336. 2003.

Von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ed. Belo Horizonte, MG. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. 452p. 2005.

VYMAZAL, J e KROPFLOVA, L. A three-stage experimental constructed wetland for treatment of domestic sewage: First 2 years of operation. **Ecological Engineering**. Volume 37, Issue 1, January 2011, Pages 90-98

VYMAZAL, J.; BRIX H.; COOPER P. F.; GREEN M. B.; HARBEL R. Constructed Wetlands” for wastewater treatment in Europe. Leiden: Backhuys Publishers, 1998. 365p.

WETZEL, R. G. Recommendations for future research on periphyton. In: WETZEL, R. G. (Ed.). **Periphyton of freshwater ecosystems**. The Hague, Dr. W. Junk, 1983 c. p. 339-346. (Developments in Hydrobiology, 17). 1983.

WIESSNER, A; RAHMAN, K. Z.; KUSCHK, P.; KÄSTNER, M. e JECHOREK, M. Dynamics of sulphur compounds in horizontal sub-surface flow laboratory-scale constructed wetlands treating artificial sewage. **Water Research** **44**. 6175 e 6185p. 2010.

WITKOVSKI, A. e VIDAL, C. M. S. Proposição de sistema de tratamento de esgoto sanitário constituído de tanque séptico seguido de zona de raízes para ser implementado em pequenas comunidades rurais. **Revista Eletrônica Lato Sensu – Unicentro**. Ed. 7. 2009. ISSN: 1980-6116. Disponível em: http://web03.unicentro.br/especializacao/Revista_Pos/P%C3%A1ginas/7%20Edi%C3%A7%C3%A3o/Agrarias/PDF/2-Ed7_CA-Propos.pdf Acesso em jul 2010.

WOOD, R. B. e MCATAMNEY, C. F. The use of macrophytes in bioremediation. **Biotech. Adv.**, vol. 12, pg. 653-662, 1994.

WOOD, A. Constructed wetlands in water pollution control, fundamentals to their understanding. **Wat. Tech.** 32 (3). 21-29. 1995.

WPCF - Water Pollution Control Federation (1983). Nutrient Control. **Manual of Practice FD-17**. Alexandria, VA: WPCF. 205 p.

WU, Y.; HU, Z. e YANG, L. Hierarchical eco-restoration: A systematical approach to removal of COD and dissolved nutrients from an intensive agricultural area. **Environmental Pollution** 158. pg 3123-3129. 2010.

YANG, Q; TAM, N.F.Y.; WONG, Y.S.; LUAN, T.G.; SU, W.S.; LAN, C.Y.; SHIN, P.K.S. e CHEUNG, S.G. Potential use of mangroves as constructed wetland for municipal sewage treatment in Futian, Shenzhen, China. **Marine Pollution Bulletin** 57. 735–743p. 2008.

ZANELLA, L. Plantas ornamentais no pós tratamento de efluentes sanitários: Wetlands construídos utilizando brita e bambu como suporte. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. 189p. 2008. **Tese de doutorado.**

ZANOTELLI, C. T. Modelagem matemática de nitrogênio e fósforo em lagoas facultativas e de aguapés para tratamento de dejetos de suínos. Universidade Federal de Santa Catarina. Faculdade de Engenharia de produção. Florianópolis, SC. 2002. **Tese de doutorado.**

ZHANG, X.; LIU, P; YANG, Y, CHEN, W. Phytoremediation of urban wastewater by model wetlands with ornamental hydrophytes. **Journal of Environmental Sciences** 19. p. 902–909. 2007

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