



**JULYENNE MENEGHETTI CAMPOS**

**EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE LEITOS CULTIVADOS  
COM *EICHHORNIA CRASSIPES* NA RETENÇÃO DE  
POLUENTES CONVENCIONAIS E O EMERGENTE  
*17- $\alpha$ -ETINILESTRADIOL***

CAMPINAS

2014





UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
Faculdade de Engenharia Agrícola

JULYENNE MENEGHETTI CAMPOS

**EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE LEITOS CULTIVADOS COM  
*EICHHORNIA CRASSIPES* NA RETENÇÃO DE POLUENTES  
CONVENCIONAIS E O EMERGENTE  
**17- $\alpha$ -ETINILESTRADIOL****

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestra em Engenharia Agrícola, na área de concentração Água e Solo.

Orientador: Prof. Dr. José Teixeira Filho

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA  
DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA JULYENNE  
MENEGHETTI CAMPOS, E ORIENTADA PELO PROF.  
DR. JOSÉ TEIXEIRA FILHO

Assinatura do Orientador

A handwritten signature in black ink, reading "José Teixeira Filho", is written over a horizontal line. The signature is cursive and somewhat stylized.

CAMPINAS

2014

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura  
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

C157e Campos, Julyenne Meneghetti, 1985-  
Eficiência de sistemas de leitos cultivados com *Eichhornia crassipes* na retenção de poluentes convencionais e o emergente 17- $\alpha$ -etinilestradiol / Julyenne Meneghetti Campos. – Campinas, SP : [s.n.], 2014.

Orientador: José Teixeira Filho.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Etinilestradiol. 2. Macrófitas. 3. Aguapé. 4. Estrogênios. 5. CLAE (Cromatografia líquida de alta eficiência). I. Teixeira Filho, José, 1955-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Retention efficiency of conventional pollutants and 17- $\alpha$ -ethinylestradiol using constructed wetlands cultivated with *Eichhornia crassipes*

**Palavras-chave em inglês:**

Ethinylestradiol

Macrophytes

Water hyacinth

Estrogens

HPLC (high performance liquid chromatography)

**Área de concentração:** Água e Solo

**Titulação:** Mestra em Engenharia Agrícola

**Banca examinadora:**

José Teixeira Filho [Orientador]

Celso Luiz Borges de Oliveira

Denis Miguel Roston

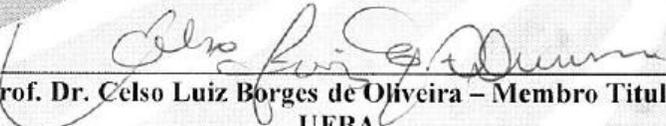
**Data de defesa:** 21-02-2014

**Programa de Pós-Graduação:** Engenharia Agrícola

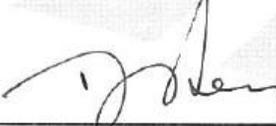
Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Julyenne Meneghetti Campos**, aprovada pela Comissão Julgadora em 21 de fevereiro de 2014, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

  
\_\_\_\_\_

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

  
\_\_\_\_\_

**Prof. Dr. Celso Luiz Borges de Oliveira – Membro Titular**  
UFBA

  
\_\_\_\_\_

**Prof. Dr. Denis Miguel Roston – Membro Titular**  
Feagri/Unicamp

Faculdade de  
**Engenharia Agrícola**  
**Unicamp**



## RESUMO

Leitos cultivados tem sido citados como um método alternativo de redução da concentração de alguns agrotóxicos e hormônios levemente hidrofóbicos, como o 17- $\alpha$ -etinilestradiol, que é um dos principais responsáveis pela causa da alteração no sistema endócrino de humanos e animais. Neste contexto, o presente projeto visou avaliar a eficiência da redução de pH, 17- $\alpha$ -etinilestradiol, oxigênio dissolvido (OD), cor aparente, turbidez, nitrogênio total Kjeldahl (NTK), nitrogênio amoniacal (NH<sub>3</sub>), nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), demanda química de oxigênio (DQO) e fósforo total (P<sub>T</sub>), utilizando-se três leitos tendo brita como meio suporte – dois deles cultivados com a macrófita *Eichhornia crassipes* (aguapé), com 43 dias de diferença de cultivo entre eles, e outro leito sem cultivo apenas com a brita para controle e comparação dos resultados. A vazão de entrada nos leitos cultivados variou entre 312 e 1.059 L.dia<sup>-1</sup>, o TDH médio permaneceu entre 2 e 3 dias, as médias máximas de retenção da concentração de DQO, cor, turbidez, NTK, NH<sub>3</sub> e P<sub>T</sub> pelos leitos foram 94,2%, 76,7%, 90,0%, 42,7%, 39,6% e 51,0%, respectivamente. A biomassa dos dois leitos cultivados com aguapé absorveram juntos, 163 g.kg<sup>-1</sup> de nitrogênio e 47,2 g.kg<sup>-1</sup> de fósforo, durante o período monitorado. Dentre os parâmetros de eficiência analisados o leito cultivado com *Eichhornia crassipes* com maior grau de desenvolvimento foi o mais eficiente na retenção da maioria dos parâmetros avaliados com nível 5% de significância. A metodologia adaptada para análise do hormônio 17- $\alpha$ -etinilestradiol por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência acoplada à Detector de Arranjo de Diodos obteve limite de detecção de 1,26  $\mu\text{g.L}^{-1}$ , e limite de quantificação de 2,52  $\mu\text{g.L}^{-1}$ , porém as amostras analisadas ficaram abaixo do nível de detecção, não sendo possível a determinação das concentrações das amostras. Conclui-se que a macrófita *Eichhornia crassipes* fixada em meio suporte obteve retenções de nutrientes consideradas satisfatórias em tratamento de esgoto doméstico, e as informações obtidas por este trabalho poderão contribuir com a melhoria e desenvolvimento de novas tecnologias para retenção e métodos analíticos para quantificação de 17- $\alpha$ -etinilestradiol em águas residuárias, diminuindo o lançamento destes interferentes endócrinos nos corpos hídricos.

**Palavras-chave:** Etinilestradiol; macrófitas; aguapé; estrogênios; CLAE-DAD/UV.



## ABSTRACT

Constructed wetlands have been quoted as an alternative method for the removal of slightly hydrophobic pesticides and hormones, such as 17- $\alpha$ -ethinylestradiol, which is one of the main hormones responsible for humans and animals endocrine systems changes. In this context, this project tried to evaluate the reduction efficiency with regards to pH, 17- $\alpha$ -ethinylestradiol, dissolved oxygen (DO), apparent color, total Kjeldahl nitrogen (NTK), ammonia nitrogen ( $\text{NH}_3$ ), nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), chemical oxygen demand (COD) total phosphorus ( $\text{P}_T$ ), using three constructed wetlands having gravel as support media – two of them cultivated with *Eichhornia crassipes* (water hyacinth), with 43 growth days gap between, and another with gravel only for control and results comparison. The entrance flow rate in the constructed wetlands ranged between 312 to 1,059 L.dia<sup>-1</sup>, the average HRT stayed between 2 and 3 days, the maximum chemical oxygen demand retention averages, color, turbidity, NTK, ammonia nitrogen and total phosphorus by the constructed wetlands were 94,2%, 76,7%, 90,0%, 42,7%, 39,6% and 51,0%, respectively. The biomass of both water hyacinth constructed wetlands absorbed together 163 g.kg<sup>-1</sup> of nitrogen and 47,2 g.kg<sup>-1</sup> of phosphorous during the monitored period. Among the analyzed efficiency parameters, the constructed wetland cultivated with *Eichhornia crassipes*, also 43 days older, was the most efficient in the majority of the parameters evaluated at a 5% significance level. The suitable methodology for analyzing 17- $\alpha$ -ethinylestradiol by high efficiency liquid chromatography attached to a Diode Arrange Detector, had a detection limit of 1.26 $\mu\text{g.L}^{-1}$ , and a quantification limit of 2.53  $\mu\text{g.L}^{-1}$ , but the analyzed samples stayed below the detection level, becoming impossible determine the samples' concentrations. The conclusion is that the macrophyte *Eichhornia crassipes* fixed in a support media had satisfactory nutrients retention from domestic sewage, and the obtained information by this work can contribute for an improvement and development of new technologies for retention and analytical methods for 17- $\alpha$ -ethinylestradiol wastewater quantification, decreasing the discharge of these endocrine disruptors in water bodies.

**Keywords:** Ethinylestradiol; macrophytes; water hyacinth; estrogens; HPLC-DAD-UV.



## SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xxi
LISTA DE TABELAS.....	xxv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xxvii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xxxix
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
2.1. Objetivo geral.....	3
2.2. Objetivos específicos .....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1. Leitos cultivados ou “ <i>constructed wetlands</i> ” .....	5
3.1.1. Classificação dos leitos cultivados quanto ao tipo de fluxo .....	7
3.1.2. Mecanismos de remoção/retenção de poluentes em leitos cultivados.....	9
3.1.3. Macrófitas aquáticas utilizadas em leitos cultivados .....	11
3.1.3.1. <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms ou aguapé .....	12
3.2. Interferentes endócrinos e meio ambiente.....	14
3.2.1. O sistema endócrino .....	14
3.2.2. Interferentes endócrinos.....	15
3.3. Hormônios.....	15
3.4. Hormônios e suas conseqüências nos seres vivos.....	18
3.5. 17- $\alpha$ -etinilestradiol .....	20
3.6. Remoção/retenção de hormônios em água e esgoto .....	21
3.6.1. Tratamento de hormônios em águas .....	21
3.6.2. Hormônios em águas residuárias: sistemas de tratamento .....	22
3.6.2.1. Tratamento de interferentes endócrinos em esgotos utilizando leitos cultivados ..	25
3.6.2.2. Tratamento de hormônios em esgotos utilizando leitos cultivados.....	26
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
4.1. Localização do experimento .....	29
4.2. Características climáticas .....	29
4.3. Sistema de Leitos Cultivados (LC) .....	30
4.3.1. Abastecimento do sistema de tratamento.....	30
4.3.2. Macrófitas .....	33
4.3.3. Meio suporte utilizado nos leitos cultivados .....	35
4.3.4. Fluxo utilizado nos leitos cultivados .....	35
4.3.5. Instalação do sistema de leitos cultivados .....	35
4.3.6. Adição de 17- $\alpha$ -etinilestradiol .....	36
4.4. Variáveis monitoradas nos leitos cultivados .....	37
4.5. Monitoramento da vegetação .....	37
4.6. Monitoramento da água residuária.....	38
4.6.1. Amostragem.....	38
4.6.2. Qualidade da água residuária.....	39
4.6.3. Análise cromatográfica de 17- $\alpha$ -etinilestradiol (EE2).....	41

4.6.4. Quantidade de água residuária.....	46
4.6.5. Levantamento de dados meteorológicos.....	46
4.7. Método de análise dos dados obtidos.....	47
5. RESULTADOS .....	51
5.1. Dados meteorológicos.....	51
5.2. Tempo de detenção hidráulica (TDH).....	52
5.3. Caracterização afluyente da água residuária.....	52
5.4. Comportamento do Leito Controle (LC) – Brita.....	53
5.4.1. Monitoramento da quantidade de água residuária.....	53
5.4.2. Monitoramento da qualidade da água residuária.....	57
5.4.2.1. Potencial hidrogeniônico (pH) – escala horária.....	57
5.5. Comportamento do Leito Cultivado com Aguapé (1) - LCA1 .....	76
5.5.1. Monitoramento da quantidade de água residuária.....	76
5.5.2. Monitoramento da qualidade da água residuária.....	80
5.6. Comportamento do Leito Cultivado com Aguapé (2) – LCA2.....	99
5.6.1. Monitoramento da quantidade de água residuária.....	99
5.6.2. Monitoramento da qualidade da água residuária.....	102
5.7. Comparação entre os leitos cultivados.....	121
5.7.1. Quantidade de água residuária.....	121
5.7.2. Qualidade da água residuária.....	122
5.8. Avaliação metodológica para análise cromatográfica de 17- $\alpha$ -etinilestradiol .....	131
5.8.1. Seletividade.....	131
5.8.2. Linearidade e faixa linear de trabalho.....	131
5.8.3. Exatidão, recuperação e extração em fase sólida.....	133
5.8.4. Limite de detecção (LOD) e limite de quantificação (LOQ).....	134
5.8.5. Concentrações de 17- $\alpha$ -etinilestradiol nas amostras.....	135
5.9. Análise estatística.....	136
5.9.1. Teste de Normalidade – escala horária.....	137
5.9.2. Teste de Normalidade – escala diária (mg.L <sup>-1</sup> ).....	142
5.9.3. Teste de Normalidade – escala diária.....	147
5.10. Monitoramento da vegetação dos leitos cultivados .....	153
5.10.1. Comportamento do Leito Cultivado com Aguapé (1) - LCA1 .....	153
5.10.2. Comportamento do Leito Cultivado com Aguapé (2) – LCA2 .....	156
5.10.3. Comparação da vegetação dos leitos cultivados.....	158
5.10.3.1. Biomassa verde e seca.....	158
5.10.4. Balanço de massa.....	160
6. DISCUSSÃO .....	163
6.1. Metodologia utilizada.....	163
6.2. Água residuária .....	165
6.2.1. Quantidade de água residuária.....	165
6.2.2. Qualidade da água residuária.....	168
6.3. Análise cromatográfica de 17- $\alpha$ -etinilestradiol.....	178
6.3.1. Avaliação da metodologia utilizada.....	178
6.4. Vegetação dos leitos cultivados.....	181
6.4.1. Biomassa verde e seca .....	181
6.4.2. Absorção de nutrientes .....	182

7. CONCLUSÕES .....	185
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	186
ANEXO I.....	205
ANEXO II.....	208
ANEXO III.....	217
ANEXO IV.....	224



"O impossível é o possível que nunca foi tentado,  
chega quem caminha!  
A persistência é o menor caminho do êxito!"

(Charles Chaplin)



*À minha avó Irma Meneghetti de Campos (in memoriam)  
à quem eu devo grande parte de quem sou hoje,  
com eterna saudade...*

**DEDICO!**

*À minha mãe Eliete e ao meu namorado Thiago,  
por toda ajuda, amor, apoio, paciência e compreensão  
prestados durante a realização deste trabalho,*

**OFEREÇO!**



## AGRADECIMENTOS

*Agradeço primeiramente a Deus e a Nossa Senhora Maria Desatadora dos Nós, por toda força e coragem durante a realização deste trabalho.*

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

*À Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e à Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) pela oportunidade de realização do mestrado.*

*Ao Prof. Dr. José Teixeira Filho, pela orientação, paciência e por todo conhecimento transmitido durante esta jornada.*

*Ao Prof. Dr. Edson Aparecido Abdul Nour (FEC) e ao Prof. Dr. Denis Miguel Roston (FEAGRI) por todas as dicas passadas e correções efetuadas na banca de qualificação.*

*Ao Prof. Celso Luiz Borges de Oliveira (UFRB) e ao Prof. Dr. Denis Miguel Roston (FEAGRI) por todas correções e sugestões realizadas na banca de defesa de dissertação.*

*A Prof.<sup>a</sup> Dra. Helena Teixeira Godoy e a Marcela Sismotto Gandara (Técnica do Laboratório de Análise de Alimentos), por disponibilizar os equipamentos para extração em fase sólida, evaporação das amostras, e o HPLC-DAD; e também por todas explicações, ensinamentos e ajuda com os testes cromatográficos finais.*

*Ao Prof. Dr. Alexandre Ponezi e ao Dr. Adilson Sartoratto, responsáveis pelos laboratórios do Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas (CPQBA/UNICAMP) pela disponibilidade, atenção e ajuda com os testes cromatográficos iniciais.*

*Ao Sérgio Lopes e o senhor Antônio (Pequeno) pela infinita e constante ajuda com os leitões cultivados e com o sistema de tratamento, por sempre estarem disponíveis a solucionar os problemas no campo, e por me ajudar com todos os replantios após os ataques das capivaras. A Rosângela Parreira pela paciência e disponibilidade, sempre. Aos funcionários da Comissão de*

*Pós-Graduação por sempre tirarem nossas dúvidas e nos ajudar a solucionar nossos problemas acadêmicos. Agradeço também a Izabel, pelo maravilhoso café.*

*A minha mãe Eliete por sempre me incentivar, acreditar e me dar força para conseguir terminar com sucesso esta etapa. Aos meus tios Ademir, Elizabeth, Ivana e Nivaldo e aos meus primos Leonardo, Lucas e Tatiane por sempre acreditarem no meu potencial.*

*A meu namorado e melhor amigo Thiago, pela enorme ajuda concedida durante a realização deste trabalho, pela infinita paciência, amor e carinho; nunca vou conseguir te agradecer por tudo que fez por mim, sem você eu acho que não teria conseguido!*

*Agradeço à Flávia, à Raquel e à Thaís Carraro por sempre poder contar com vocês na hora de desespero, pela ajuda, apoio e amizade! Aos Tecnólogos(as), amigos(as) desde a época de CESET/FT e também amigos de FEAGRI/FEC, Adriana (por toda paciência, ajuda e apoio), Ana Cristina, Camila, Érika, Guilherme e Giovani (Técnico do Laboratório de Saneamento) por toda paciência, ajuda, disponibilização de tempo e conhecimentos transmitidos no laboratório.*

*Agradeço à equipe “MR” Nádia e Ana Luisa, pelos cafés e altas risadas! Agradeço à Rojane, ao Luiz Gustavo e ao Douglas pela companhia no laboratório, tira-dúvidas e risadas.*

*Ao Cory (Juca) pela constante ajuda com a língua inglesa, e também ao Bruce pela ajuda com informática. Ao Eduardo por sempre me repassar os dados meteorológicos, e à Solange do CEPAGRI por nos enviar os dados.*

*Peço desculpas se esqueci de mencionar alguém aqui...mas nunca esquecerei de todas as pessoas que tiveram presentes nesta fase da minha vida!*

**À TODOS, MEU MUITO OBRIGADA!!!**

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01.</b>	Representação esquemática de uma <i>wetland</i> natural.....	05
<b>Figura 02.</b>	Representação esquemática dos componentes de uma <i>constructed wetland</i> .....	06
<b>Figura 03.</b>	Leito cultivado de fluxo superficial.....	07
<b>Figura 04.</b>	Corte de um leito cultivado de fluxo vertical.....	08
<b>Figura 05.</b>	Leito cultivado com macrófitas de fluxo subsuperficial.....	09
<b>Figura 06.</b>	Macrófita flutuante <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms.....	13
<b>Figura 07.</b>	O sistema endócrino no corpo humano.....	14
<b>Figura 08.</b>	Hormônio 17- $\alpha$ -etinilestradiol.....	21
<b>Figura 09.</b>	Localização do sistema piloto de leitos cultivados.....	29
<b>Figura 10.</b>	Tanque de desarenação e reservatório.....	31
<b>Figura 11.</b>	Reatores Anaeróbios Compartmentados.....	31
<b>Figura 12.</b>	Caixas de distribuição com capacidade de 1000L cada.....	32
<b>Figura 13.</b>	Esquema geral da Estação piloto de tratamento de esgoto da FEAGRI.....	32
<b>Figura 14.</b>	LC, LCA1 e LCA2 com seus respectivos pontos de monitoramento.....	33
<b>Figura 15.</b>	Corte longitudinal de um leito cultivado com aguapé.....	33
<b>Figura 16.</b>	LC1 e LC2 após sua primeira destruição.....	34
<b>Figura 17.</b>	Sistema de adição de EE2.....	36
<b>Figura 18.</b>	Vazão horária de entrada (Qe) e saída (Qs) no Leito Controle para os dias 22/08/2013 (a) e 23/08/2013 (b).....	53
<b>Figura 19.</b>	Vazão horária de entrada (Qe) e saída (Qs) no Leito Controle para os dias 26/09/2013 (a) e 27/09/2013 (b).....	54
<b>Figura 20.</b>	Média das vazões diárias de entrada e saída no LC no período estudado.....	55
<b>Figura 21.</b>	Tempo de detenção hidráulica do LC nos dois períodos estudados.....	57
<b>Figura 22.</b>	pH de entrada e saída com suas respectivas diferenças do LC nos dias 22 e 23/08/13.....	58
<b>Figura 23.</b>	pH médio de entrada e saída no LC no período monitorado.....	59
<b>Figura 24.</b>	Oxigênio dissolvido e temperatura afluente e efluente ao LC nos dias 22/08/13 (a) e 23/08/13 (b) com suas respectivas diferenças de entrada e saída “c” (22/08/13) e “d” (23/08/13).....	60
<b>Figura 25.</b>	Média de oxigênio dissolvido e temperatura afluente e efluente ao LC no período estudado.....	61
<b>Figura 26.</b>	Concentração (a) e remoção (b) de entrada e saída de cor no LC.....	62
<b>Figura 27.</b>	Carga (a) e massa retida (b) de entrada e saída de cor no LC.....	63
<b>Figura 28.</b>	Concentração (a) e remoção (b) de entrada e saída de turbidez no LC.....	64
<b>Figura 29.</b>	Concentração (a), remoção (b), carga (c) e retenção em cargas (d) de entrada e saída de DQO no LC.....	65
<b>Figura 30.</b>	Concentração (a) e diferenças (b) de entrada e saída de nitrito no LC.....	67
<b>Figura 31.</b>	Cargas de entrada e saída de nitrito (a) e retenção em cargas (b) no LC.....	67
<b>Figura 32.</b>	Concentrações (a) e diferenças (b) de entrada e saída de nitrato no LC.....	68
<b>Figura 33.</b>	Cargas (a) e retenções (b) de entrada e saída de nitrato no LC.....	69
<b>Figura 34.</b>	Concentração (a) e retenção (b) de nitrogênio amoniacal no LC.....	70
<b>Figura 35.</b>	Cargas (a) e retenção de cargas (b) de nitrogênio amoniacal no LC.....	71
<b>Figura 36.</b>	Processo de nitrificação e desnitrificação no LC.....	72
<b>Figura 37.</b>	Concentrações (a) e taxas de retenção (b) de NTK no LC.....	73
<b>Figura 38.</b>	Cargas (a) e taxas de retenção (b) de NTK no LC.....	74
<b>Figura 39.</b>	Concentração (a) e taxas de retenção (b) de fósforo total no LC.....	75

<b>Figura 40.</b>	Cargas (a) e taxas de retenção (b) de fósforo total no LC.....	76
<b>Figura 41.</b>	Vazão horária de entrada (Qe) e saída (Qs) no Leito Cultivado Aguapé 1 para os dias 26/09/2013 (a) e 27/09/2013 (b).....	77
<b>Figura 42.</b>	Média das vazões diárias de entrada e saída no LCA1 no período estudado.....	78
<b>Figura 43.</b>	Tempo de detenção hidráulica do LCA1 no período estudado.....	79
<b>Figura 44.</b>	pH de entrada e saída e diferenças de pH do LCA1 no dia 26/09/13.....	81
<b>Figura 45.</b>	pH de entrada e saída e diferenças de pH do LCA1 no dia 27/09/13.....	81
<b>Figura 46.</b>	pH médio de entrada e saída no LCA1 no período monitorado.....	82
<b>Figura 47.</b>	Oxigênio dissolvido e temperatura afluente e efluente ao LCA1 no dia 26/09/13 (a) com suas respectivas diferenças de entrada e saída (b).....	82
<b>Figura 48.</b>	Oxigênio dissolvido e temperatura afluente e efluente ao LCA1 no dia 27/09/13 (a) com suas respectivas diferenças de entrada e saída (b).....	83
<b>Figura 49.</b>	Média de oxigênio dissolvido e temperatura afluente e efluente ao LCA1 no período estudado.....	84
<b>Figura 50.</b>	Concentração (a) e remoção (b) de entrada e saída de cor no LCA1.....	85
<b>Figura 51.</b>	Carga (a) e diferenças de cargas (b) de cor na entrada e saída do LCA1.....	86
<b>Figura 52.</b>	Concentração (a) e retenção (b) de entrada e saída de turbidez no LCA1.....	87
<b>Figura 53.</b>	Concentração (a) e retenção (b) de DQO na entrada e saída do LCA1.....	88
<b>Figura 54.</b>	Carga (a) e retenção (b) de DQO na entrada e saída do LCA1.....	89
<b>Figura 55.</b>	Concentração (a) e diferença (b) de entrada e saída de nitrito no LCA1.....	90
<b>Figura 56.</b>	Cargas (a) e retenção em cargas (b) de entrada e saída de nitrito no LCA1.....	91
<b>Figura 57.</b>	Concentração (a) e diferenças (b) de entrada e saída de nitrato no LCA1.....	92
<b>Figura 58.</b>	Cargas (a) e diferenças (b) de entrada e saída de nitrato no LCA1.....	93
<b>Figura 59.</b>	Concentrações (a) e retenções (b) de entrada e saída de nitrogênio amoniacal no LCA1.....	94
<b>Figura 60.</b>	Cargas (a) e retenções (b) de entrada e saída de nitrogênio amoniacal no LCA1.....	94
<b>Figura 61.</b>	Processo de nitrificação e desnitrificação no LCA1.....	95
<b>Figura 62.</b>	Concentração (a) e taxa de retenção (b) de NTK no LCA1.....	96
<b>Figura 63.</b>	Cargas (a) e retenção de cargas (b) de entrada e saída de NTK no LCA1.....	97
<b>Figura 64.</b>	Concentrações (a) e diferenças (b) de entrada e saída de fósforo total (P <sub>T</sub> ) no LCA1.....	98
<b>Figura 65.</b>	Cargas (a) e retenção de cargas (b) de entrada e saída de fósforo total (P <sub>T</sub> ) no LCA1.....	98
<b>Figura 66.</b>	Vazão horária de entrada (Qe) e saída (Qs) no Leito Cultivado Aguapé 2 para os dias 26/09/2013 (a) e 27/09/2013 (b).....	99
<b>Figura 67.</b>	Média das vazões diárias de entrada e saída no LCA2 no período estudado.....	100
<b>Figura 68.</b>	Tempo de detenção hidráulica do LCA2 no período de estudo.....	101
<b>Figura 69.</b>	pH de entrada e saída com suas respectivas diferenças do LCA2 no dia 26/09/13.....	102
<b>Figura 70.</b>	pH de entrada e saída com suas respectivas diferenças do LCA2 no dia 27/09/13.....	102
<b>Figura 71.</b>	pH médio de entrada e saída no LCA2 no período monitorado.....	103
<b>Figura 72.</b>	Oxigênio dissolvido e temperatura afluente e efluente ao LCA2 no dia 26/09/13 (a) com suas respectivas diferenças (b).....	104
<b>Figura 73.</b>	Oxigênio dissolvido e temperatura afluente e efluente ao LCA2 no dia 27/09/13 (a) com suas respectivas diferenças (b).....	104
<b>Figura 74.</b>	Média de oxigênio dissolvido e temperatura afluente e efluente ao LCA2 no período estudado.....	105
<b>Figura 75.</b>	Concentração (a) e remoção (b) de cor no LCA2.....	106

<b>Figura 76.</b>	Cargas (a) e diferenças de cargas (b) de entrada e saída de cor no LCA2.....	106
<b>Figura 77.</b>	Concentração (a) e remoção (b) de entrada e saída de turbidez no LCA2.....	108
<b>Figura 78.</b>	Concentração (a) e remoção (b) de entrada e saída de DQO no LCA2.....	109
<b>Figura 79.</b>	Cargas diárias (a) e retenção de cargas (b) de entrada e saída de DQO no LCA2.....	110
<b>Figura 80.</b>	Concentração (a) e diferença (b) de entrada e saída de NO <sup>2-</sup> no LCA2.....	111
<b>Figura 81.</b>	Cargas diárias (a) e retenção de cargas (b) de entrada e saída de NO <sup>2-</sup> no LCA2.....	112
<b>Figura 82.</b>	Concentração (a) e diferença (b) de entrada e saída de nitrato no LCA2.....	113
<b>Figura 83.</b>	Cargas (a) e respectivas retenções (b) de entrada e saída de nitrato no LCA2.....	114
<b>Figura 84.</b>	Concentração (a) e taxa de retenção (b) de NH <sub>3</sub> no LCA2.....	115
<b>Figura 85.</b>	Cargas (a) e taxa de retenção (b) de NH <sub>3</sub> no LCA2.....	116
<b>Figura 86.</b>	Processo de nitrificação e desnitrificação no LCA2.....	117
<b>Figura 87.</b>	Concentração (a) e retenção (b) de NTK afluente e efluente ao LCA2.....	118
<b>Figura 88.</b>	Cargas (a) e retenção (b) de NTK afluente e efluente ao LCA2.....	118
<b>Figura 89.</b>	Concentrações (a) e taxas de retenção (b) de entrada e saída de fósforo total no LCA2.....	120
<b>Figura 90.</b>	Cargas (a) e retenção de cargas (b) de entrada e saída de fósforo total (P <sub>T</sub> ) no LCA2.....	120
<b>Figura 91.</b>	Eficiência de retenção de cor máxima, média e mínima ( <i>outliers</i> e não <i>outliers</i> ) dos leitos cultivados no período monitorado.....	124
<b>Figura 92.</b>	Eficiência de retenção de turbidez máxima, média e mínima ( <i>outliers</i> e não <i>outliers</i> ) dos leitos cultivados no período monitorado.....	124
<b>Figura 93.</b>	Eficiência de retenção de DQO máxima, média e mínima ( <i>outliers</i> e não <i>outliers</i> ) dos leitos cultivados no período monitorado.....	125
<b>Figura 94.</b>	Eficiência de retenção de nitrogênio amoniacal máxima, média e mínima ( <i>outliers</i> e não <i>outliers</i> ) dos leitos cultivados no período monitorado.....	126
<b>Figura 95.</b>	Eficiência de retenção de NTK máxima, média e mínima ( <i>outliers</i> e não <i>outliers</i> ) dos leitos cultivados no período monitorado.....	130
<b>Figura 96.</b>	Eficiência de retenção de fósforo total máxima, média e mínima ( <i>outliers</i> e não <i>outliers</i> ) dos leitos cultivados no período monitorado.....	131
<b>Figura 97.</b>	Gráfico de linearidade para EE2.....	132
<b>Figura 98.</b>	Plotagem de resíduos.....	133
<b>Figura 99.</b>	Desenvolvimento vegetativo do LCA1 (13/08/13 à 27/09/13).....	154
<b>Figura 100.</b>	LCA1 no último dia de monitoramento (foto 1) e folhas amarelas do aguapé.....	156
<b>Figura 101.</b>	Desenvolvimento vegetativo do LCA2 (01/07/13 à 18/09/13).....	157
<b>Figura 102.</b>	LCA2 no último dia de monitoramento – 27/09/13.....	157



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01.</b>	Quantidades médias diárias liberadas pela urina de humanos de 17- $\beta$ -estradiol, estrona e 17- $\alpha$ -etinilestradiol.....	18
<b>Tabela 02.</b>	Principais hormônios presentes no meio ambiente e seus efeitos adversos na saúde humana.....	19
<b>Tabela 03.</b>	Dados climáticos médios diários referentes aos dias de monitoramento dos LC no meses de agosto e setembro de 2013.....	51
<b>Tabela 04.</b>	Caracterização do esgoto afluente aos leitos cultivados no período estudado.....	52
<b>Tabela 05.</b>	Tempo de detenção hidráulica, taxa de evapotranspiração e lâmina d'água evaporada no LC.....	56
<b>Tabela 06.</b>	Tempo de detenção hidráulica, taxa de evapotranspiração e lâmina d'água evaporada no LCA1.....	80
<b>Tabela 07.</b>	Tempo de detenção hidráulica, taxa de evapotranspiração e lâmina d'água evaporada no LCA2.....	101
<b>Tabela 08.</b>	Vazão, TDH, evapotranspiração e lâmina d'água evaporada médios dos leitos cultivados no período monitorado.....	121
<b>Tabela 09.</b>	pH máximos, médios e mínimos dos leitos cultivados no período monitorado.....	122
<b>Tabela 10.</b>	Oxigênio dissolvido máximos, médios e mínimos dos leitos cultivados no período monitorado.....	123
<b>Tabela 11.</b>	Temperaturas máximas, médias e mínimas dos leitos cultivados no período monitorado.....	123
<b>Tabela 12.</b>	Valores médios, mínimos e máximos de saída de nitrogênio amoniacal nos leitos cultivados.....	126
<b>Tabela 13.</b>	Valores médios, mínimos e máximos de entrada e saída de nitrito nos leitos cultivados.....	127
<b>Tabela 14.</b>	Eficiências médias de retenção de concentração de nitrito com seus respectivos desvios-padrão.....	127
<b>Tabela 15.</b>	Cargas médias, mínimas e máximas de entrada e saída de nitrito nos leitos cultivados...	127
<b>Tabela 16.</b>	Eficiências médias de retenção de massa de nitrito com seus respectivos desvios-padrão.....	128
<b>Tabela 17.</b>	Valores médios, mínimos e máximos de entrada e saída de nitrato nos leitos cultivados.....	128
<b>Tabela 18.</b>	Cargas médias, mínimas e máximas de entrada e saída de nitrato nos leitos cultivados..	129
<b>Tabela 19.</b>	Eficiências médias de retenção de concentração de nitrato com seus respectivos desvios-padrão.....	129
<b>Tabela 20.</b>	Eficiências médias de retenção de massa de nitrato com seus respectivos desvios-padrão.....	129
<b>Tabela 21.</b>	Estatística da regressão linear.....	132
<b>Tabela 22.</b>	Análise de variância da linearidade.....	132
<b>Tabela 23.</b>	Testes de recuperação para EE2.....	134
<b>Tabela 24.</b>	Concentrações de EE2 presentes nas amostras.....	135
<b>Tabela 25.</b>	Resultados das amostras analisadas com EE2.....	136
<b>Tabela 26.</b>	Teste de Normalidade.....	137
<b>Tabela 27.</b>	Teste Kruskal-Wallis para as variáveis do esgoto de entrada nos leitos cultivados.....	138
<b>Tabela 28.</b>	Teste Mann-Whitney para a variável OD.....	138
<b>Tabela 29.</b>	Teste Mann-Whitney para a variável temperatura.....	139
<b>Tabela 30.</b>	Teste Mann-Whitney para vazão afluente.....	139
<b>Tabela 31.</b>	Teste Kruskal-Wallis para variáveis de eficiência.....	140

<b>Tabela 32.</b>	Teste Mann-Whitney para eficiência de neutralização do pH.....	140
<b>Tabela 33.</b>	Teste Mann-Whitney para eficiência de aeração dos leitos cultivados.....	141
<b>Tabela 34.</b>	Teste Mann-Whitney para diferença de temperatura.....	141
<b>Tabela 35.</b>	Teste Mann-Whitney para diferença de vazão.....	141
<b>Tabela 36.</b>	Teste de Normalidade para as variáveis de entrada.....	142
<b>Tabela 37.</b>	Teste de Normalidade para as variáveis de eficiência.....	143
<b>Tabela 38.</b>	Teste de comparações com Kruskal-Wallis.....	143
<b>Tabela 39.</b>	Teste ANOVA para as variáveis de entrada.....	144
<b>Tabela 40.</b>	Teste de comparações da eficiência com Kruskal-Wallis.....	144
<b>Tabela 41.</b>	Teste ANOVA para as variáveis de eficiência.....	145
<b>Tabela 42.</b>	Teste de comparações múltiplas de Tukey para fósforo total (mg.L <sup>-1</sup> ).....	146
<b>Tabela 43.</b>	Teste de comparações múltiplas de Tukey para NTK (mg.L <sup>-1</sup> ).....	146
<b>Tabela 44.</b>	Teste de comparações múltiplas de Tukey para nitrogênio amoniacal (mg.L <sup>-1</sup> ).....	146
<b>Tabela 45.</b>	Teste de comparações com Mann-Whitney para nitrato (mg.L <sup>-1</sup> ).....	147
<b>Tabela 46.</b>	Teste de Normalidade para as variáveis de entrada (g.dia <sup>-1</sup> ).....	148
<b>Tabela 47.</b>	Teste de Normalidade para as variáveis de eficiência de retenção (g.dia <sup>-1</sup> ).....	148
<b>Tabela 48.</b>	Teste ANOVA para as variáveis de entrada (g.dia <sup>-1</sup> ).....	149
<b>Tabela 49.</b>	Teste de comparações com Kruskal-Wallis.....	149
<b>Tabela 50.</b>	Teste de comparações múltiplas de Tukey para fósforo afluyente (g.dia <sup>-1</sup> ).....	150
<b>Tabela 51.</b>	Teste de comparações múltiplas de Tukey para NTK afluyente (g.dia <sup>-1</sup> ).....	150
<b>Tabela 52.</b>	Teste de comparações múltiplas de Tukey para nitrogênio amoniacal afluyente (g.dia <sup>-1</sup> )..	150
<b>Tabela 53.</b>	Teste ANOVA para as variáveis de eficiência.....	151
<b>Tabela 54.</b>	Teste de comparações múltiplas de Tukey para DQO (g.dia <sup>-1</sup> ).....	152
<b>Tabela 55.</b>	Teste de comparações múltiplas de Tukey para fósforo total (g.dia <sup>-1</sup> ).....	152
<b>Tabela 56.</b>	Teste de comparações múltiplas de Tukey para NTK (g.dia <sup>-1</sup> ).....	153
<b>Tabela 57.</b>	Teste de comparações múltiplas de Tukey para nitrogênio amoniacal (g.dia <sup>-1</sup> ).....	153
<b>Tabela 58.</b>	Absorção de macronutrientes pela <i>Eichhornia crassipes</i> no LCA1.....	156
<b>Tabela 59.</b>	Absorção de macronutrientes pela <i>Eichhornia crassipes</i> no LCA2.....	158
<b>Tabela 60.</b>	Biomassa verde e seca produzida pelos LC no período estudado.....	159
<b>Tabela 61.</b>	Teor de umidade da biomassa produzida pelo aguapé nos LC.....	159
<b>Tabela 62.</b>	Macronutrientes removidos pelo aguapé no LCA1 e no LCA2.....	160
<b>Tabela 63.</b>	Composição percentual de macronutrientes no LCA1 e LCA2.....	160
<b>Tabela 64.</b>	Massa removida diariamente de macronutrientes no LCA1 e LCA2.....	160
<b>Tabela 65.</b>	Balanco de massa de nitrogênio total no LCA1 e no LCA2 no período estendido.....	161
<b>Tabela 66.</b>	Balanco de massa de fósforo total no LCA1 e no LCA2 no período estendido.....	161

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALT – alanina aminotransferase  
ANOVA - Análise de Variância  
ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária  
AST – aspartato aminotransferase  
CCMVSP - Comitê Científico das Medidas Veterinárias relacionadas com a Saúde Pública  
CE – Condutividade Elétrica  
CEPAGRI – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura  
CPQBA – Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas  
CLAE – Cromatografia Líquida de Alta Eficiência  
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
CW – “*Constructed wetlands*”  
DAD – Diode Array Detector ou Duplo Arranjo Diodos  
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio  
DDT - Dicloro-Difenil-Tricloroetano  
DQO – Demanda Química de Oxigênio  
E1 – estrona  
E2 - 17- $\beta$ -estradiol  
E3 - estriol  
EE2 - 17- $\alpha$ -etinilestradiol  
ELL – Extração líquido-líquido  
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
EPA – Environmental Protection Agency  
ETA – Estação de Tratamento de Água  
ETE – Estação de Tratamento de Esgoto  
EUA – Estados Unidos da América  
FEA – Faculdade de Engenharia de Alimentos  
FEAGRI – Faculdade de Engenharia Agrícola  
FEC – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

GC – Gas Chromatography ou Cromatografia Gasosa  
GC/MS – Cromatógrafo Gasoso com Detecção de Massas  
GGT -  $\gamma$ -glutamil transferase  
HLB - hydrophilic-lipophilic-balance  
HPLC – High Performance Liquid Chromatography  
HRL – Health Reference Level  
IAC – Instituto Agronômico de Campinas  
IDA – ingestão diária aceitável  
INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial  
ITRC – Interstate Technology Regulatory Council  
LAA – Laboratório de Análise de Alimentos  
LABSAN – Laboratório de Saneamento  
LC – Liquid Chromatography ou Cromatografia Líquida  
LC – Leito Cultivado  
LC – Leito Controle  
LCA1 – Leito Cultivado Aguapé 1  
LCA2 – Leito Cultivado Aguapé 2  
LCFS – Leito Cultivado de Fluxo Subsuperficial  
LCFSS – Leito Cultivado de Fluxo Subsuperficial  
LCFV – Leito Cultivado de Fluxo Vertical  
LD – Limite de Detecção  
LQ – Limite de Quantificação  
LOAEL – Lowest Observed Adverse Effect Level  
LOD - Limite de Detecção  
LOQ - Limite de Quantificação  
MGA - acetato de melengestrol  
MIP – polímero de impressão molecular  
NH<sub>3</sub> – Nitrogênio Amoniacal  
NMP – Número mais Provável  
NOAEL – No Observed Adverse effect Level  
NO<sup>2-</sup> - nitrito

NO<sup>3-</sup> - nitrato  
NTK - Nitrogênio Total Kjeldahl  
OD – Oxigênio Dissolvido  
pH – potencial hidrogeniônico  
P<sub>T</sub> – Fósforo total  
Q - Vazão  
RAC – Reator Anaeróbio Compartimentado  
SPE – Solid Phase Extraction  
SST – Sólidos Suspensos Totais  
TDH – Tempo de Detenção Hidráulica  
USA – United States of America  
USEPA – United States Environmental Protection Agency  
UV - Ultravioleta  
V – Volume  
C – concentração  
cm – centímetro  
equiv. - equivalente  
g - grama  
K – carga  
Km - quilômetro  
L – litro  
min – minuto  
mL - mililitro  
nm - nanômetro  
R – regressão  
sem. - semestre



## LISTA DE SÍMBOLOS

$\beta$ - beta

$\alpha$  - alpha

$\Sigma$  - somatório

$\mu$  - mi

+ - mais

- - menos

= - igual

$^{\circ}\text{C}$  – graus Celsius

% - porcentagem



## 1. INTRODUÇÃO

A destinação incorreta dos resíduos líquidos têm se tornado um problema difícil de ser controlado, causando a poluição e degradação dos corpos hídricos, solos e mananciais subterrâneos.

Os esgotos domésticos e efluentes industriais geralmente apresentam excesso de fósforo e nitrogênio, e quando lançados *in natura* em corpos hídricos podem acarretar na eutrofização. Além disso, esses efluentes podem causar doenças de veiculação hídrica e comprometer a biota aquática, a partir de micro-organismos causadores de doenças ou micro-contaminantes, como metais pesados, hormônios naturais e sintéticos, interferentes endócrinos, entre outros medicamentos.

A ocorrência de hormônios naturais e sintéticos em águas, esgotos domésticos e efluentes industriais têm despertado a atenção de diversos pesquisadores nos últimos anos. Em algumas literaturas é conhecido como poluente “emergente”, devido ao crescente aumento desses compostos nos corpos hídricos e conseqüente aumento do número de estudos sobre esse assunto.

Os hormônios podem ser substâncias persistentes e cumulativas, podendo causar a antecipação da menarca (primeira menstruação), problemas no sistema endócrino de homens e mulheres, feminização de diversas espécies de peixes machos, alteração no metabolismo e no desenvolvimento de anfíbios e moluscos, além de diversos outros problemas e doenças que ainda não foram investigados, descobertos ou talvez ainda não associados à contaminação por hormônios naturais ou sintéticos (COMISSÃO EUROPEIA, 1999; BAIRD, 2002; GRAY et al., 2005).

Difícilmente os hormônios são totalmente removidos nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) convencionais, sendo lançados nos corpos d'água e, conseqüentemente, comprometendo a biota aquática. Futuramente esses hormônios serão captados novamente junto à água dos rios e conduzidos para uma Estação de Tratamento de Água (ETA), cujo tratamento não é o suficiente para removê-los totalmente, tendo como destino final o abastecimento público. Por esse motivo os hormônios vêm se tornando uma problemática no meio ambiente.

Leitos cultivados, ou “*constructed wetlands*”, são sistemas naturais de tratamento que utilizam macrófitas aquáticas plantadas em um meio suporte que pode ser constituído por brita, cascalho, ou solo. Esses leitos são capazes de remover matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, entre

outros nutrientes, além disso, são considerados alternativas viáveis para o tratamento de água ou esgoto em regiões sem acesso aos tratamentos convencionais, visto que apresentam baixo custo de implantação, operação e manutenção.

No Brasil existem poucos estudos que relataram a remoção de hormônios naturais ou sintéticos por meio de leitos cultivados, apesar de possuir um clima tropical que oferece condições propícias para o desenvolvimento das macrófitas aquáticas, em especial macrófitas flutuantes como a *Eichhornia crassipes* (aguapé) que foram citadas por ser o tipo de macrófita mais eficiente na redução da concentração de interferentes endócrinos presentes em águas residuárias (MOHAN et al., 2011).

A hipótese deste trabalho é que a utilização da macrófita *Eichhornia crassipes* fixada em um meio suporte se comportará de maneira eficiente na retenção de matéria orgânica e nutrientes presentes em águas residuárias, semelhantes ou superiores às taxas de retenção encontradas na literatura desta mesma macrófita cultivada flutuante.

A segunda hipótese é que leitos cultivados são um método eficiente de redução da concentração do hormônio 17- $\alpha$ -etinilestradiol, podendo ter suas concentrações analisadas em Cromatógrafo Líquido de Alta Eficiência acoplado à Detector de Arranjo de Diodos, por metodologia de análise cromatográfica adaptada de amostras de águas superficiais.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Avaliar a eficiência de sistemas de leitos cultivados com *Eichhornia crassipes* de fluxo subsuperficial na retenção/remoção de nutrientes e de 17- $\alpha$ -etinilestradiol presente em águas residuárias.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Verificar a eficiência de retenção/remoção de 17- $\alpha$ -etinilestradiol, nutrientes (fósforo, nitrogênio total Kjeldahl e amoniacal, nitrito, nitrato), demanda química de oxigênio (DQO), cor, e turbidez pelos leitos cultivados;
- Comparar a retenção/remoção dos parâmetros analisados entre os leitos cultivados com *Eichhornia crassipes*;
- Identificar em qual processo do sistema de tratamento com leitos cultivados (parte aérea ou sistema radicular) ocorre a maior taxa de retenção/remoção de macronutrientes.

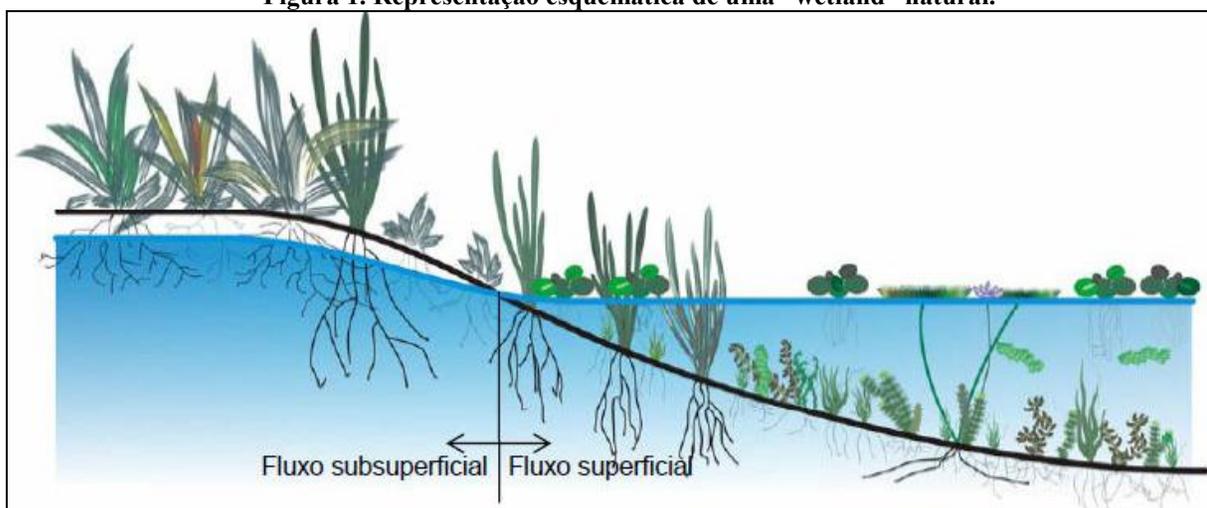


### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Leitões cultivados ou “*constructed wetlands*”

A palavra “*wetlands*”, que traduzindo do inglês significa “zonas húmidas”, caracteriza áreas alagadas com solo regularmente mais ou menos saturado com nível d’água por volta de 0,6 m, onde macrófitas aquáticas conseguem crescer e se desenvolver (METCALF & EDDY, 1991; BRIX, 1994). Como exemplo pode-se citar brejos, pântanos e outras áreas similares que abriguem formas de vida aquática (VON SPERLING et al., 2009).

Figura 1. Representação esquemática de uma “*wetland*” natural.



Fonte: ZANELLA (2008).

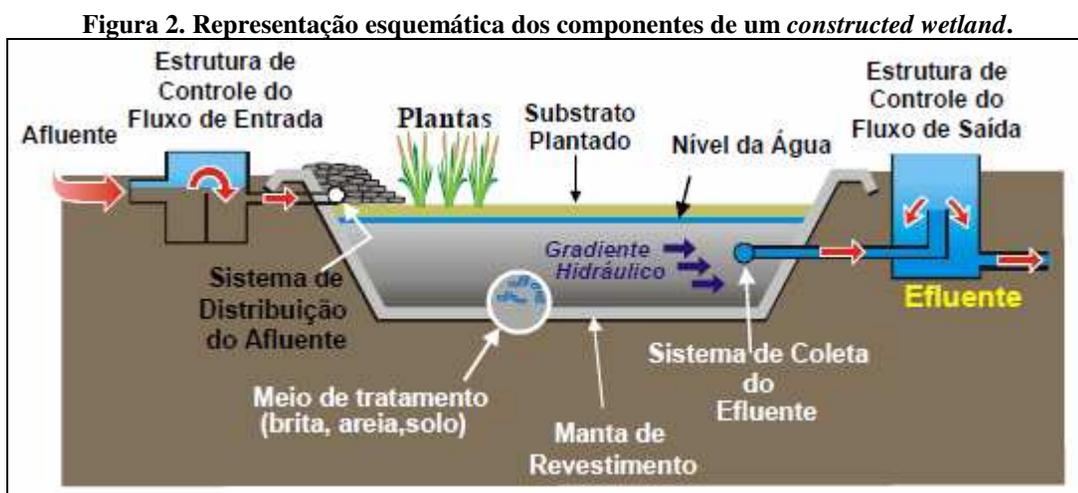
“*Constructed wetlands*” (CW) ou leitões cultivados (LC) são sistemas de tratamento de esgoto construídos com a finalidade de imitar a estrutura das “*wetlands*” naturais, transformando bioquimicamente os poluentes através da população microbiana, além de promover mecanismos de fitorremediação (ITRC, 2003).

De acordo com a USEPA (1999) as pesquisas sobre leitões cultivados para tratamento de águas residuárias tiveram seu início na Europa durante a década de 50, no fim da década de 60 começaram nos Estados Unidos, porém só intensificaram-se no começo da década de 90. No entanto, são poucas as pesquisas de aplicação de leitões cultivados para a realidade brasileira ao compararmos com a literatura internacional. Destaca-se, entretanto, que o tipo de tratamento realizado pelos leitões cultivados é predominantemente biológico, por isso o projeto deve

considerar as características locais como temperatura, clima, área disponível e destinação da água residuária após tratamento, para que o sistema perda o mínimo da capacidade de tratamento ao longo do tempo (METCALF & EDDY, 1991; GIZ, 2011).

ITRC (2003) e USEPA (1988) relatam como vantagens dos leitos cultivados simples operação e pouca manutenção do sistema, possível aplicação em comunidades isoladas, baixa produção de resíduos secundários do processo, baixos custos de operação e manutenção, criação de um habitat para espécies animais e incorporação à paisagem local – o que aumenta a aceitação pela população. Em contrapartida, os sistemas de tratamento de efluentes mecanizados como ETE, por exemplo, demandam energia elétrica, produtos químicos e grandes áreas para construção; por esses motivos os LC podem ser mais adequados em pequenas comunidades e comunidades rurais isoladas.

Segundo Vymazal (2007) o tratamento realizado por leitos cultivados baseiam-se nas interações que envolvem o solo, a vegetação e os microorganismos presentes neste tipo de sistema promovendo, de acordo com GIZ (2011), diversos processos físicos e biológicos como adsorção, precipitação, nitrificação, decomposição, filtração física e biológica, que é realizada pelo biofilme bacteriano aderido ao meio suporte e raízes da macrófita. Na Figura 2 é possível observar uma representação esquemática dos componentes pertencentes a um *constructed wetland*.



Fonte: OLIVEIRA (2006).

### 3.1.1. Classificação dos leitos cultivados quanto ao tipo de fluxo

Quanto ao tipo de fluxo, os leitos podem ser classificados como leitos cultivados de fluxo superficial, fluxo subsuperficial vertical ou de fluxo subsuperficial horizontal.

#### 3.1.1.1. Leitos cultivados de fluxo superficial (LCFS)

Os leitos cultivados de fluxo superficial, de acordo com USEPA (1999), é o tipo de leito que mais se assemelham às *wetlands* naturais. Costumam possuir vegetação emergente fixada ao solo no fundo da *wetland*, possuindo algumas áreas de superfície de água exposta à atmosfera (ITRC, 2003).

Essa configuração de leito cultivado costuma possuir de 20 à 30 cm de solo para fixação das plantas, o nível de água costuma ser entre 0,1 e 0,6 m e geralmente são utilizados no tratamento secundário de águas residuárias (METCALF & EDDY, 1991; OLGUÍN e SÁNCHEZ-GÁLVAN, 2010). É possível observar na Figura 3 um leito cultivado de fluxo superficial.



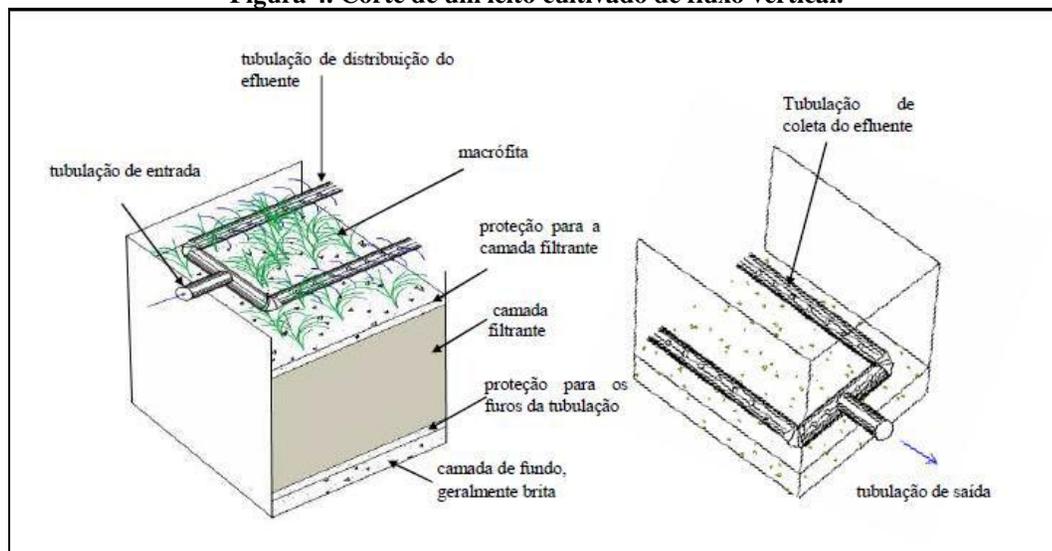
Fonte: PIEDADE (2010).

#### 3.1.1.2. Leitos cultivados de fluxo subsuperficial vertical (LCFSSV)

Nos leitos cultivados de fluxo subsuperficial vertical a aplicação de esgoto é intermitente, ou seja, o esgoto é bombeado ou sifonado para a superfície e infiltra através do meio suporte até o sistema de coleta existente no fundo do leito (GIZ, 2011). Também existe a possibilidade do esgoto ser injetado na parte inferior do leito e ser coletado na superfície, nesse caso o fluxo é ascendente. Costumam ser utilizados sistemas híbridos de tratamento, quando um LCFSSV é associado à um leito cultivado de fluxo subsuperficial horizontal com o objetivo de

remover organismos patogênicos e nitrogênio, promovendo a nitrificação e a desnitrificação do efluente (GIZ, 2011). Também são utilizados para tratamento de águas residuárias de atividades de mineração (ITRC, 2003). O corte de um leito cultivado com fluxo subsuperficial vertical é mostrado na Figura 4.

**Figura 4. Corte de um leito cultivado de fluxo vertical.**



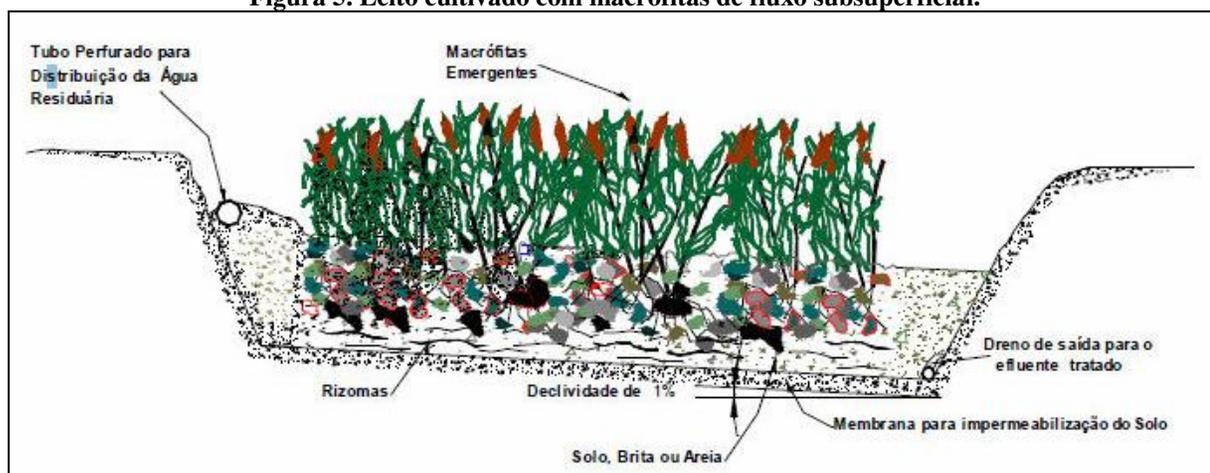
Fonte: SANTOS (2009).

### 3.1.1.3. Leitões cultivados de fluxo subsuperficial horizontal (LCFSSH)

É a configuração de *constructed wetland* mais utilizada nos países em desenvolvimento (GIZ, 2011), e foi utilizada neste trabalho. A principal vantagem desta configuração de LC é o fato do nível d'água permanecer abaixo da superfície do meio suporte, diminuindo a proliferação de insetos e maus odores. O tipo de tratamento que acontece nesse tipo de leito é aeróbio facultativo, que podem ocorrer na presença de oxigênio, com limitação, ou mesmo sem oxigênio (GIZ, 2011).

Utilizados para tratamento secundário ou terciário (polimento) os LCFSSH são assim designados porque o afluente ao LC escoar de maneira horizontal, lentamente sobre a superfície do meio suporte até o sistema de coleta, de maneira que o esgoto passará por zonas anaeróbias, anóxicas e aeróbias entrando em contato com os mais diversos tipos de microorganismos (VYMAZAL e KRÖPFELOVÁ, 2008). A Figura 5 representa a ilustração de um leito cultivado de fluxo subsuperficial.

Figura 5. Leito cultivado com macrófitas de fluxo subsuperficial.



Fonte: COLLAÇO (2001).

### 3.1.2. Mecanismos de remoção/retenção de poluentes em leitos cultivados

Segundo o ITRC (2003), a remoção de poluentes em leitos cultivados pode ser dada por mecanismos bióticos e abióticos. Esses processos ocorrem em diferentes zonas do leito cultivado, como a zona de raízes, nas raízes das plantas e nas plantas, na água, no ar e no biofilme microbiano (GIZ, 2011). Os processos abióticos são os primeiros a ocorrer nos leitos, como por exemplo: filtração, sedimentação, decantação, absorção, adsorção, troca iônica, fotodegradação, oxidação, volatilização, entre outras (ITRC, 2003; USEPA, 2000).

Em seguida ocorrem os processos bióticos que, além da assimilação dos nutrientes pelas plantas, incluem: biodegradação aeróbia e anaeróbia, fitodegradação, rizodegradação, fitoacumulação, fitoestabilização, fitovolatilização e evapotranspiração (ITRC, 2003). De acordo com a USEPA (2000), apesar de ambos os mecanismos de tratamento ter a capacidade de remover os poluentes, geralmente ocorre apenas a retenção do poluente no leito, por determinado período de tempo.

#### 3.1.2.1. Matéria orgânica

Em águas residuárias a matéria orgânica pode ser medida em Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) ou Carbono Orgânico Total (COT). Em um leito cultivado, a matéria orgânica particulada geralmente é removida por filtração ou

decantação e posteriormente irá se transformar em matéria orgânica solúvel (GIZ, 2011).

A matéria orgânica solúvel em leitos cultivados pode ser removida por processos de respiração (liberando CO<sub>2</sub>), fermentação (liberando ácido láctico, etanol, CO<sub>2</sub>), metanogênese, utilização pelas macrófitas, absorção pelo material vegetal morto ou pela turfa (ITRC, 2003). As taxas de remoção de matéria orgânica em leitos cultivados de fluxo subsuperficial horizontal/vertical variam de 80 a 99% (GIZ, 2011).

### 3.1.2.2. Nitrogênio

Nitrogênio pode estar presente em diversas formas em leitos cultivados, na forma orgânica como uréia, aminoácidos, aminas, purinas e pirimidinas, ou também na forma inorgânica como amônia, nitrito, nitrato, nitrogênio gasoso e óxido de nitrogênio (VYMAZAL e KRÖPFELOVÁ, 2008). O descarte incorreto de resíduos pode causar contaminação dos corpos d'água por estas substâncias que, além de serem tóxicas para os organismos aquáticos, podem causar a proliferação de algas acarretando no processo de eutrofização (ITRC, 2003).

De acordo com Vymazal e Kröpfelová (2008) as macrófitas são capazes de absorver nitrogênio como amônia, nitrato e aminoácidos, e segundo GIZ (2011) a taxa de absorção de amônia em um leito cultivado costuma ser de 10 a 20% durante o período vegetado do LC. O nitrato é sintetizado pelas plantas à amônia, aminoácidos e proteínas, porém algumas espécies são capazes de absorver nitrato pelo sistema radicular e transportá-lo até as folhas, onde será convertido à amônia sob luz solar (VYMAZAL e KRÖPFELOVÁ, 2008). Por isso a remoção de nitrogênio em leitos cultivados costuma ser considerada no tratamento terciário, ou polimento.

A assimilação de nutrientes pelas macrófitas ocorre mais rapidamente no início do crescimento da planta, e vai diminuindo conforme seu amadurecimento e senescência (VYMAZAL e KRÖPFELOVÁ, 2008). No entanto, segundo Vymazal e Kröpfelová (2008), ao diminuir a taxa de absorção de nutrientes os nutrientes são transportados das folhas para o sistema radicular.

Além de mecanismos físicos e absorção, o principal mecanismo de remoção de compostos nitrogenados nos leitos cultivados é o processo de nitrificação e desnitrificação (ITRC, 2003). A amônia é convertida à nitrito pelas bactérias *Nitrosomonas*, e este é convertido à nitrato pelas bactérias *Nitrobacter*; o nitrato não assimilado pelas macrófitas é convertido à nitrogênio gasoso

(N<sub>2</sub>) pelos micro-organismos *Bacillus*, *Enterobacter*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, e/ou *Spirillum*, e liberado ao meio ambiente (ITRC, 2003).

### 3.1.2.3. Fósforo

O fósforo é um nutriente limitante em água doce porque, como o nitrogênio, é um nutriente essencial para o crescimento de plantas e animais, além de causar eutrofização (USEPA, 2000; ITRC, 2003). Este nutriente pode estar presente em leitos cultivados como fosfato orgânico na forma de fosfolipídios, ácidos nucleicos, nucleoproteínas, açúcares fosforilados, coenzimas, e também como fosfato inorgânico, na forma de ortofosfatos, polifosfatos, entre outros (VYMAZAL e KRÖPFELOVÁ, 2008).

A retenção de fósforo em leitos cultivados pode ser definida como a capacidade de remover fósforo da água residuária por meios físicos, químicos e biológicos e retê-lo de uma maneira que este não será facilmente liberado pelo sistema, desde que esteja em condições ambientais normais (VYMAZAL e KRÖPFELOVÁ, 2008). Os mecanismos de remoção de fósforo em leitos cultivados são adsorção no solo, biofilme e substrato, sorção de fósforo solúvel, precipitação com cálcio, alumínio e ferro, dissolução, assimilação pelas macrófitas e por microorganismos, fragmentação, mineralização, sedimentação de fósforo particulado e fragmentação (USEPA, 2000; ITRC, 2003; VYMAZAL e KRÖPFELOVÁ, 2008; GIZ, 2011).

Segundo USEPA (2000) a assimilação de fósforo pelas macrófitas é maior durante a fase inicial de crescimento e diminui durante a fase de maturidade, senescência e morte, podendo haver liberação de fósforo para o meio. A taxa estimada de remoção de fósforo pelas macrófitas é de 10%, dependendo do tipo da água residuária, condições climáticas e macrófitas utilizadas (GIZ, 2011).

### 3.1.3. Macrófitas aquáticas utilizadas em leitos cultivados

As macrófitas aquáticas comumente usadas em leitos cultivados se dividem em três categorias: macrófitas flutuantes, macrófitas emergentes e macrófitas submersas.

- **Macrófitas emergentes:** a maior parte das plantas existentes nas zonas húmidas são as macrófitas emergentes, pois são morfologicamente adaptadas para crescer em áreas

alagadas por possuir sistemas de transporte de oxigênio para suas raízes e rizomas; crescem em uma profundidade que varia de 0,5 à 1,5 m (VYMAZAL e KRÖPFELOVÁ, 2008). Alguns exemplos de macrófitas emergentes são: *Scirpus* spp, *Carex* spp, *Phragmites australis*, *Typha* spp, *Cyperus papyrus*, *Cyperus isocladius*, *Canna flaccida*, *Íris pseudocorus* L., *Eleocharis* spp, *Juncus* spp. Na Tabela 1 estão apresentadas algumas espécies de macrófitas emergentes utilizadas em leitos cultivados, e suas condições de desenvolvimento.

- **Macrófitas submersas:** de acordo com Vymazal e Kröpfelová (2008) são plantas com diversas adaptações morfológicas e fisiológicas para que se desenvolvam em um ambiente totalmente alagado, podem ocorrer em qualquer profundidade da zona fótica exceto a classe das angiospermas vasculares, que ocorrem somente a partir de 10 m de profundidade. Entre as macrófitas submersas, destacam-se: *Elodea canadensis*, *Elodea nutalli*, *Egéria densa* (Elodea), *Ceratophyllum demersum*, *Hydrilla verticillata*, *Cabomba caroliniana*, *Miriophyllum hetrophyllum*, *Paramogeton* spp,
- **Macrófitas flutuantes:** também chamadas de macrófitas livremente flutuantes, podem ocorrer submersas ou na superfície, geralmente são restritas à ambientes com pouca vazão e os nutrientes para seu desenvolvimento são retirados exclusivamente da água (VYMAZAL e KRÖPFELOVÁ, 2008). Alguns exemplos de macrófitas flutuantes são o aguapé (*Eichhornia crassipes*), a *Wolffia arrhiza*, a lentilha d'água (*Lemna* spp), a *Spirodela* spp, a alface d'água (*Pistia Stratiotis*) e a azola (*Azzola* spp).

### 3.1.3.1. *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms ou aguapé

A macrófita *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, também conhecida como aguapé, camalote, rainha-dos-lagos, mururé, mureré, jacinto-d'água, baroneza, pareci, murumuru e pavoá, foi a planta escolhida para ser estudada neste trabalho.

De acordo com Lorenzi e Souza (2001) o aguapé é uma planta herbácea aquática flutuante com raízes densas, plumosas e escuras; é uma planta nativa da América Tropical, inclusive do Brasil, e mede de 20 a 50 cm de altura. Sua inflorescência ocorre no verão, é uma planta que se reproduz em condições quentes, águas rasa e com altas intensidades de luz, porém não tolera geadas. É uma macrófita flutuante com reprodução vegetativa rápida, com tempo de duplicação

entre 13 e 20 dias, que ocorre por meio da multiplicação das mudas originadas dos estolões que a planta emite (CHAVAN e DHULAP, 2012; LORENZI e SOUZA, 2001).

Apesar de o aguapé ser uma planta invasiva causadora de problemas em rios e lagos eutrofizados, seu uso pode ser interessante em leitos cultivados. De acordo com Lorenzi e Souza (2001) o aguapé é uma planta ornamental, o que aumentará a aceitação do sistema de tratamento de águas residuárias. O aguapé pode ser reutilizado e obter valor comercial, como por exemplo no estado de Mato Grosso do Sul, onde os pecíolos do aguapé são utilizados para artesanato em uma comunidade (BORTOLOTTO e NETO, 2005). Além disso, diversas pesquisas estão estudando o uso do aguapé para produção de biogás e biocombustível (BULLER, et al., 2013; BERGIER et al., 2012; WANG e CALDERON, 2012) e também na alimentação animal (THAM, 2012; LU et al., 2008).

Outro fato que motivou a escolha do aguapé foi o fato de macrófitas flutuantes, entre elas (Mart.) Solms, terem mostrado resultados mais eficientes na remoção de EE2 de águas residuárias do que as macrófitas submersas e emergentes, de acordo com Mohan et al. (2011). Na Figura 6 pode-se observar a macrófita *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.

**Figura 6. Macrófita flutuante *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.**



**Fonte: Arquivo pessoal (2013).**

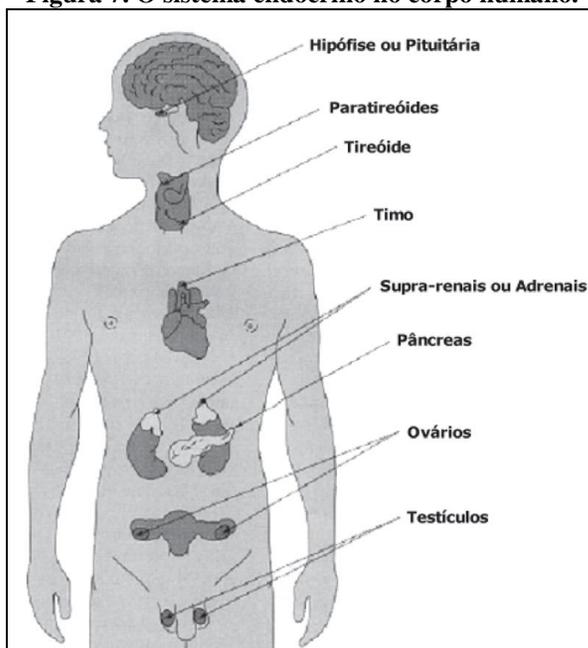
## 3.2. Interferentes endócrinos e meio ambiente

### 3.2.1. O sistema endócrino

O sistema endócrino estabelece a comunicação entre o sistema nervoso e as funções corporais, como por exemplo, sistema imunológico, sistema reprodutivo, sistema metabólico, entre outros. É uma complexa rede de receptores e glândulas produtoras de hormônios, que atuam como “mensageiros químicos” quando são secretados no sangue ou em outros fluidos extracelulares, podendo se espalhar em todas as partes do organismo (COMISSÃO EUROPÉIA, 2012).

De acordo com Lintelmann et al. (2003), esses hormônios são transportados no sangue ligados à proteínas transportadoras ou em seu estado livre, até que atinjam os receptores hormonais presentes no órgão alvo de cada hormônio, ativando assim, as funções determinadas de cada um. Na Figura7 está apresentado o sistema endócrino e suas glândulas componentes.

**Figura 7. O sistema endócrino no corpo humano.**



Fonte: JARDIM e GHISELLI (2007).

### **3.2.2. Interferentes endócrinos**

Diversas substâncias químicas presentes no meio ambiente (principalmente no meio aquático) podem alterar ou interferir no funcionamento natural do sistema endócrino de animais, em especial os seres humanos, e por isso são classificadas como interferentes endócrinos (GHISELLI, 2006).

Os interferentes endócrinos são comumente classificados na literatura em quatro classes principais: estrogênios naturais (por exemplo, estrona, estradiol, estriol), estrogênios sintéticos (ex. etinilestradiol), fitoestrogênios (compostos químicos naturais que incluem toxinas produzidas por plantas e toxinas produzidas por fungos, por exemplo) e xenoestrogênios (compostos químicos industriais como o bisfenol-A, que é utilizado em indústria de celulose, por exemplo, o nonilfenol que é um detergente e o Dicloro-Difenil-Tricloroetano, mais conhecido como DDT, que é um pesticida), Comissão Européia (citado por CONOLLY et al., 2012; AMORIM, 2007).

De acordo com a Comissão Européia (1999), acredita-se que os interferentes endócrinos podem interferir nos organismos de três diferentes formas:

- imitando a ação de um hormônio produzido naturalmente no corpo, provocando reações químicas semelhantes aos mesmos confundindo assim, o organismo;
- bloqueando os receptores hormonais das células, impedindo a ação dos hormônios naturais;
- afetando a síntese, transporte, metabolismo e excreção dos hormônios, e assim alterando as concentrações dos hormônios naturais no organismo.

### **3.3. Hormônios**

O interesse por pesquisas relacionadas à interferentes endócrinos voltadas para a área de meio ambiente e saneamento tem aumentado porque cada vez mais hormônios e fármacos são ingeridos. Essas substâncias não são absorvidas totalmente pelo corpo humano, algumas sofrem reações metabólicas, o que acarreta a excreção de quantidade significativa dessas substâncias por meio da urina e das fezes, e por isso são comumente encontrados no esgoto. Assim, os esgotos domésticos são considerados uma importante fonte de estrogênios naturais e sintéticos (AMORIM, 2007).

De acordo com Shore et al. (2005), quando lançados em rios, apesar das concentrações de estrogênios naturais e sintéticos reduzirem pela metade ao longo dos primeiros 25 km após a contaminação, os mesmos podem ser detectados em até 100km depois. Isto é um fator preocupante, verificando que essas substâncias podem ser transportadas por longas distâncias, ainda como fonte de poluição. Segundo Atkinson et al. (2012), apesar dos hormônios reduzirem sua quantidade durante o tratamento de esgoto, estudos mostraram que seu potencial estrogênico não diminui, o que evidencia a persistência dessas substâncias em efluentes.

Outra importante causa de contaminação por hormônios acontece no meio rural. Segundo Sarmah et al. (2006), Lange et al. (2002), e Johnson et al. (2006) e Conolly et al. (2012), dados estatísticos estimaram que as fazendas produtoras de leite são as maiores contribuintes para o lançamento de estrogênio no meio ambiente na Nova Zelândia, nos Estados Unidos e no Reino Unido. De acordo com Conolly et al. (2012), uma grande quantidade de estrógenos liberados pelas vacas são eliminados no esterco, e em muitos países europeus e norte-americanos as vacas leiteiras são confinadas na maior parte do ano (às vezes durante todo o ano) e todo esterco produzido é coletado e disposto no solo como adubo.

O adubo disposto no solo evidencia uma carga pontual de poluição estrogênica, que poderia vir a contaminar não só o solo, mas também as águas subterrâneas (através de infiltração) e as águas superficiais (através da lixiviação), relata Conolly et al. (2012). Entretanto, de acordo com Johnson et al., (2006) os solos devem reter mais de 99% da carga estrogênica, baseado nos cálculos de afinidade de adsorção dos estrogênios nos solos e na sua curta meia-vida.

No entanto, com a preocupação na disposição no solo de efluentes provenientes de lagoas de criação de animais confinados, Hutchins et al. (2007) identificaram no sul dos Estados Unidos que as lagoas provenientes de criações de suínos são as que possuem maior carga estrogênica, seguidas por lagoas de criação de aves primárias, de vacas leiteiras e de bovinos.

Tantos os hormônios naturais, como os hormônios sintéticos, são classificados como interferentes endócrinos.

De acordo com a Comissão Européia (1999), dentre os hormônios naturais é possível citar o estrogênio, a progesterona e a testosterona que são produzidos naturalmente pelo corpo humano e pelos animais. Já os fitoestrogênios são substâncias que apresentam atividade semelhante ao estrogênio, quando ingerida pelo organismo, e são encontradas em algumas

plantas, como por exemplo, grãos de soja, brotos de alfafa, brócolis, trigo, maçãs e cerejas (COMISSÃO EUROPÉIA, 1999; BAIRD, 2002).

Os fitoestrogênios podem atuar como hormônios de crescimento, como constituintes de membranas celulares, como antioxidantes (protegendo contra radiações UV), como fungicidas e até como herbicidas (JARDIM e GHISELLI, 2007). Os fitoestrogênios podem atuar também como repositores hormonais em mulheres com menopausa. Estas substâncias não possuem valor nutricional, e já foram encontradas mais de 12.000 delas presentes naturalmente nos vegetais, segundo Jardim e Ghiselli (2007).

Segundo Baird (2002), existem evidências de que os fitoestrogênios podem proteger contra alguns tipos de câncer, e por serem metabolizados rapidamente pelo organismo pode ser que não sobrevivam tempo suficiente para exercerem efeitos adversos aos organismos vivos.

De acordo com a Comissão Européia (1999), são os hormônios produzidos sinteticamente com a intenção de serem idênticos aos hormônios naturais, foram produzidos intencionalmente para interferirem e manipularem o sistema endócrino, como os contraceptivos orais, os que são usados no tratamento de reposição hormonal, e alguns que são adicionados na alimentação animal.

De acordo com Araújo (2006), o estradiol – e seus similares 17- $\alpha$ -estradiol e 17- $\beta$ -estradiol, a estrona e o estriol são os principais estrogênios naturais presentes no corpo humano. Além disso, esses hormônios são usados em larga escala em pílulas anticoncepcionais, nos hormônios utilizados por mulheres na menopausa e pós-menopausa e em alguns tratamentos contra o câncer.

A função dos estrogênios no corpo da mulher é de promover o crescimento dos tecidos dos órgãos sexuais, a proliferação celular, e promover o desenvolvimento da maioria dos caracteres sexuais secundários da mulher (AMORIM, 2007).

Segundo Araújo (2006), o estradiol é produzido no ovário e após sofrer biotransformação e desidrogenação é transformado em estrona, que após ser metabolizado se transforma em estriol e é excretado pela urina.

Na Tabela 3 estão apresentadas as quantidades médias dos hormônios naturais 17- $\beta$ -estradiol e estrona, e do hormônio sintético 17- $\alpha$ -etinilestradiol (EE2) presente em pílulas anticoncepcionais excretados diariamente pela urina de humanos. Os valores apresentam a sigla “NR” são os valores “não relatados”.

**Tabela 1. Quantidades médias diárias liberadas pela urina de humanos de 17- $\beta$ -estradiol, estrona e 17- $\alpha$ -etinilestradiol.**

<b>Estrógenos</b>	<b>Excreção masculina (<math>\mu\text{g}/24\text{h}</math>)</b>	<b>Excreção pela menstruação (<math>\mu\text{g}/24\text{h}</math>)</b>	<b>Excreção na gravidez (<math>\mu\text{g}/24\text{h}</math>)</b>	<b>Excreção na menopausa (<math>\mu\text{g}/24\text{h}</math>)</b>	<b>Excreção feminina (<math>\mu\text{g}/24\text{h}</math>)</b>
<b>17-<math>\beta</math>-estradiol</b>	1,6	3,5	259	2,3	NR
<b>Estrona</b>	3,9	8	600	4	NR
<b>17-<math>\alpha</math>-etinilestradiol</b>	NR	NR	NR	NR	35

Fonte: Adaptado de Araújo (2006).

### **3.4. Hormônios e suas conseqüências nos seres vivos**

Os hormônios podem causar inúmeros problemas nos seres vivos. De acordo com Baird (2002), no caso dos interferentes endócrinos em geral, uma das conseqüências mais graves que pode acontecer geralmente não é manifestada no organismo que o ingere inicialmente; irão ocorrer futuramente, passando da mãe para o feto (ou para os ovos), resultando na ruptura do balanço hormonal no receptor, podendo causar anormalidades no sistema reprodutor ou até câncer, quando atingir a fase adulta.

A problemática da contaminação por hormônios e interferentes endócrinos em geral, pode estar associada tanto à exposição direta (ingestão de hormônios) quanto à exposição indireta, no caso da ingestão de água ou alimentos contaminados com resíduos hormonais (COMISSÃO EUROPÉIA, 1999).

Um dos primeiros relatos sobre problemas causados em seres humanos por hormônios e seus metabólitos aconteceu por volta de 1970. De acordo com Baird (2002), no período entre 1948 e 1971 mulheres grávidas ingeriram o estrogênio sintético DES (dietilestilbestrol) com o intuito de evitar aborto. Anos depois, algumas das filhas dessas mulheres desenvolveram um tipo raro de câncer vaginal, e a maioria delas se tornaram estéreis; já os filhos dessas mulheres apresentaram contagem reduzida de espermatozóides, anormalidades em seus órgãos sexuais e sofrem um maior risco de desenvolver câncer nos testículos (BAIRD, 2002).

Em 1999, de acordo com o Comitê Científico das Medidas Veterinárias relacionadas com a Saúde Pública - CCMVSP (citado por Comissão Européia, 1999), a ingestão excessiva de resíduos hormonais de 17  $\beta$ -estradiol, progesterona, testosterona (sintéticos, porém idênticos aos naturais) e de MGA (acetato de melengestrol), trembolona e zeranol (ambos sintéticos) e seus metabólitos, presentes na carne bovina pode acarretar problemas endócrinos, imunológicos,

imunotóxicos, neurobiológicos, genotóxicos e cancerígenos; sendo o maior grupo de risco as crianças até a idade da puberdade. O CCMVSP também conclui que o hormônio sintético 17  $\beta$ -estradiol, utilizado para acelerar o crescimento em alguns países é altamente cancerígeno, devido à relatos de possuir efeitos de formação e crescimento de tumores associados ao uso desta substância. Na Tabela 4 estão apresentados alguns dos principais hormônios presentes no meio ambiente e seus efeitos adversos a saúde humana.

**Tabela 2. Principais hormônios presentes no meio ambiente e seus efeitos adversos na saúde humana.**

Contaminante	Nível mínimo de detecção ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Uso ou Fonte Natural	Efeitos na Saúde
17- $\beta$ -estradiol	0,0004	Hormônio estrogênico produzido naturalmente no corpo humano; e usado na indústria farmacêutica	Associado com a resposta hormonal estrogênica em mulheres na fase de pós-menopausa
17- $\alpha$ -etinilestradiol	0,0009	Esteróide sintético; preparado a partir de estrona	Associado com o elevado nível de enzimas hepáticas no sangue
Estriol	0,0008	Hormônio estrogênico produzido naturalmente no corpo humano; usado na veterinária, em humanos e na indústria farmacêutica	Associado com a resposta hormonal estrogênica em mulheres na fase de pós-menopausa
Estrona	0,002	Hormônio estrogênico produzido naturalmente no corpo humano; usado na veterinária, em humanos e na indústria farmacêutica	Associado com a resposta hormonal estrogênica em mulheres na fase de pós-menopausa

Fonte: Environmental Protection Agency – USEPA (2012).

De acordo com Gray et al. (2005), 17- $\beta$ -estradiol e 17- $\alpha$ -etinilestradiol foram encontrados em águas superficiais e em efluentes provenientes de águas de abastecimento municipais em concentrações capazes de causar feminização de peixes machos, tendo em vista que 1 ng.L-1 já pode causar esse efeito. Estes estrogênios naturais são considerados os interferentes endócrinos mais potentes (REINHARD et al., 2004).

Além da feminização de peixes machos, já foram observadas anomalias reprodutivas em peixes de água doce que viviam à jusante de uma ETE, bioacumulação de estrogênios na bile, nos ovários e nos testículos de peixes que vivem em águas contaminadas (Larsson et al., 1999; Sumpter et al., 2005; Gibson et al., 2005; Schneider et al., 2006).

### 3.5. 17- $\alpha$ -etinilestradiol

O hormônio sintético 17- $\alpha$ -etinilestradiol foi escolhido para ser estudado neste trabalho. Esta escolha foi feita pelo fato deste hormônio estar presente em diversas pílulas anticoncepcionais e em diversos hormônios utilizados por mulheres na menopausa para reposição hormonal, e também devido a diversos problemas causados em seres humanos e nos animais.

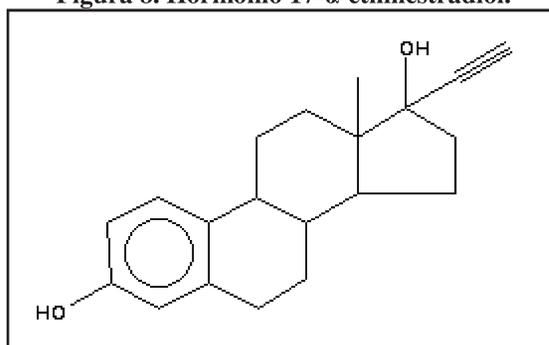
Este hormônio está associado com o elevado nível de enzimas hepáticas no sangue, e já foi encontrado em águas superficiais e em efluentes municipais em concentrações capazes de causar feminização de peixes machos – concentrações de 1 ng.L<sup>-1</sup> já são capazes de causar este efeito (GRAY et al. 2005; USEPA, 2012).

Não existem valores de referência para esta substância presente em água e esgoto na legislação brasileira. De acordo com a USEPA (2012) não existe dose de referência ou nível de risco mínimo para esta substância, mas seu NOAEL (*No Observed Adverse Effect Level*) é de 0,04 mg.kg<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> associada a efeitos hematológicos, enquanto que seu LOAEL (*Lowest Observed Adverse Effect Level*) registrado é 0,015 mg.kg<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> podendo causar aumento dos níveis séricos de alanina aminotransferase (ALT), aspartato aminotransferase (AST) e  $\gamma$ -glutamil transferase (GGT) – enzimas hepáticas.

O EE2 é listado como substância cancerígena e/ou teratogênica pelo *State of California List of Chemicals Known to Cause Cancer*, e também pela *University of Maryland's Partial List of Teratogens* (USEPA, 2012). Não existem valores sobre a ingestão diária aceitável (IDA) e o valor de referência para saúde humana (HRL) é de 0,035  $\mu$ g.L<sup>-1</sup> para efeitos não cancerígenos na água potável, tendo como base o LOAEL de 0,015 mg.kg<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>, segundo a USEPA (2012).

O nome químico do EE2 em inglês é ethinylestradiol, com fórmula química C<sub>20</sub>H<sub>24</sub>O<sub>2</sub> e CAS number 57-63-6. De acordo com a USEPA (2012) a solubilidade do EE2 em água é de 11,3 mg.L<sup>-1</sup> e seu logK<sub>ow</sub> (coeficiente de partição octanol-água) é 3,67, ambos indicam que a substância é moderadamente móvel na água; o tempo estimado para biodegradação do 17- $\alpha$ -etinilestradiol (meia-vida) é de 60 dias, indicando que esta substância é persistente no meio ambiente. Na Figura 8 está apresentada a fórmula estrutural do hormônio 17- $\alpha$ -etinilestradiol.

**Figura 8. Hormônio 17- $\alpha$ -etinilestradiol.**



Fonte: [http://www.caslab.com/Ethinyl\\_estradiol\\_CAS\\_57-63-6/](http://www.caslab.com/Ethinyl_estradiol_CAS_57-63-6/)

### **3.6. Remoção/retenção de hormônios em água e esgoto**

#### **3.6.1. Tratamento de hormônios em águas**

Utilizando Cromatografia Líquida acoplada à Espectrometria de Massas, Raimundo (2011) identificou estrogenicidade em todas as amostras de água bruta de uma Estação de Tratamento de Água em Campinas/SP, com valores entre 0,06 e 6,54 ngE<sub>2equiv.</sub>L<sup>-1</sup>, e em 40% das águas tratadas desta mesma estação (estrogenicidade entre 0,01e 1,33 ngE<sub>2equiv.</sub>L<sup>-1</sup>). Isso evidencia que o tratamento convencional de água e esgoto não remove 100% dos estrogênios, e estes interferentes endócrinos irão para o abastecimento público.

Em 2008, Guimarães estudou e quantificou hormônios estrogênios existentes na água bruta e na água tratada da Estação de Tratamento de Água (ETA) de São Carlos/SP, e verificou que a ETA não possuía eficiência de remoção desses estrógenos, pois, os valores encontrados na água tratada eram semelhantes ao da água bruta. A água era tratada por osmose reversa e por tecnologia *Milli Q*®, e os estrógenos foram quantificados através de Radioimunoensaios e Imunoensaio de Quimiluminescência (GUIMARÃES, 2008).

A remoção de  $\beta$ -estradiol em águas através de nanofiltração com dois tipos de membranas, uma de acetato de celulose e outra de poliamida sobre suporte de polissulfona, foi avaliado por Amorim (2007) através de ensaios de “*Enzyme Linked Immuno Sorbent Assay*” (ELISA). Remoções de  $\beta$ -estradiol foram maiores na membrana de poliamida, pois o mecanismo de adsorção proporcionou a remoção deste hormônio, e a elevação do valor de pH contribuiu para maiores remoções de  $\beta$ -estradiol; mas infelizmente, esses valores não alcançaram equilíbrio e a porcentagem real de remoção não pôde ser avaliada (AMORIM, 2007).

Segundo a USEPA (2012) em águas superficiais de rios e lagos dos Estados Unidos foram encontrados concentrações médias de 17- $\alpha$ -etinilestradiol variando entre 2,6 e 273 ng.L<sup>-1</sup>. No rio Reno, na Alemanha, foram quantificados estradiol e etinilestradiol em concentrações médias de 4 e 0,7ng.L<sup>-1</sup>, respectivamente, através de imunoenaios por Schneider et al., (2006). Este fato pode ser mais um indicativo de que o tratamento em ETE convencional não é eficaz.

### **3.6.2. Hormônios em águas residuárias: sistemas de tratamento**

Diversos interferentes endócrinos, entre eles os estrogênios, foram analisados em amostras retiradas de uma série de lagoas aeradas para tratamento de águas residuárias em uma comunidade rural localizada em Illinois, Estados Unidos, por Zheng et al. (2013). Não foram detectados hormônios esteróides, nem nas amostras das lagoas, nem em seus efluentes, o que sugere que esse tipo de tratamento possa ser eficiente para remoção de contaminantes hormonais (ZHENG et al., 2013). No entanto, o contrário foi relatado por Schneider et. al. (2006) que quantificou estradiol e etinilestradiol no efluente de quatro ETE na Alemanha (uma instalação de leitões cultivados, duas de lodos ativados e uma lagoa aerada). Através de imunoenaios, os autores encontraram concentrações médias de estradiol de 12 ng.L<sup>-1</sup> e etinilestradiol de 1,8 ng.L<sup>-1</sup> que, segundo os autores, as concentrações mais elevadas foram encontradas no efluente da lagoa porque ela possui meios muito básicos de tratamento de efluentes.

Atkinson et al. (2012) estudaram a remoção dos hormônios estrona (E1), 17- $\beta$ -estradiol (E2) e 17- $\alpha$ -etinilestradiol (EE2) de efluentes em uma estação de tratamento de esgoto que utiliza apenas tratamento primário, em Cornwall, e uma ETE que realiza tratamento primário e secundário, em Ottawa, ambas em Ontario, Canadá. Foi verificado nessa pesquisa que o tratamento secundário não foi mais eficiente para remoção de E2 e EE2, quando comparado ao tratamento primário, além de ter metabolizado altas concentrações de E2 em E1 no efluente final (ATKINSON et al., 2012).

Em 2012 Altmann et al. pesquisou a redução de estrogenicidade no tratamento de um efluente terciário através de ozonização, e obteve redução de até  $97,7 \pm 1,2\%$ ; testes de ecotoxicidade utilizando o peixe *Oryzias latipes* como indicador não revelaram efeitos adversos do efluente nem antes, nem depois da ozonização.

Zheng et. al. (2012), investigaram o potencial de risco ambiental de resíduos hormonais

provenientes de atividade leiteira e as cinéticas de transformação dos hormônios  $17\alpha$ -estradiol,  $17\beta$ -estradiol e estrona, em solução aquosa misturada com água de lagoa anaeróbia (proveniente desta atividade). Este estudo mostrou que as velocidades de degradação destes hormônios no ambiente são dependentes de temperatura, e as quantidades de  $17\alpha$ -estradiol,  $17\beta$ -estradiol e estrona que permaneceram nessa solução após 52 dias à  $35^{\circ}\text{C}$  foram, respectivamente, 85%, 78%, e 77%, o que sugere que os hormônios são estáveis ao longo do tempo, podendo ser cumulativos no meio ambiente.

Em 2011, Mohan et al. estudou a atenuação natural dos hormônios estriol (E3) e  $17\alpha$ -etinilestradiol (EE2) em três diferentes tanques, um com macrófitas flutuantes (Tanque 1), um tanque com macrófitas emergentes e submersas integradas (Tanque 2) e um sistema com macrófitas submersas enraizadas juntamente com microalgas (Tanque 3). Segundo o autor, o Tanque 1 se mostrou mais eficiente na remoção de estrogênios (E3 – 61,77%, EE2 – 69,09%) quando comparado ao Tanque 2 (E3 – 16,58%, EE2 – 18,52%) e ao Tanque 3, com remoções de 15,20% para E3 e 7,72% para EE2.

Gadd et al. (2010) estudaram atividade estrogênica após o tratamento de efluentes provenientes de atividade leiteira em dois sistemas que incluíam tanto tratamento aeróbio, quanto tratamento anaeróbio. Segundo os autores, ambos os sistemas apresentaram aumento de até 8.000% em estrogênios livres e na atividade estrogênica, após a fase anaeróbia de tratamento; no entanto, após o tratamento aeróbio houve redução total de 36 – 83%. A diminuição da atividade estrogênica ficou entre 62 – 100%, e a diminuição das concentrações de estrogênios ficaram entre 50 – 100%, nos dois diferentes tipos de sistemas – o que demonstra que provavelmente tratamento anaeróbio isolado seja ineficiente na remoção destes compostos, pelo fato de um dos principais mecanismos de remoção desses hormônios ser oxidação e fotodegradação.

A influência da adsorção do hormônio  $17\beta$ -estradiol na matéria orgânica dissolvida isolada de águas residuárias, foi estudada por Kim et al. (2011), cujos resultados da pesquisa concluíram que o decaimento da estrogenicidade em efluentes é devido à forte sorção do  $17\beta$ -estradiol na matéria orgânica dissolvida.

Um estudo utilizando o hormônio  $17\beta$ - $^{14}\text{C}_4$ -estradiol juntamente com matéria vegetal modelo (alimento para coelhos) para simular resíduos vegetais encontrados em águas residuárias, foi realizado por Suidan et al. (2011) com o objetivo de caracterizar e confirmar se existe transformação catalítica de estrogênios na presença deste tipo de material. Os autores relatam que

além de realmente ocorrer transformação abiótica nos estrogênios, a adsorção irreversível é um outro processo de transformação dessas substâncias.

Os estudos de Kim et al. e Suidan et al. (2011) dão indícios de que leitos cultivados podem ser eficientes na redução de estrogênios, pois, tendo em vista que estes compostos são adsorvidos na matéria orgânica, os mesmos poderão ser facilmente adsorvidos no biofilme do leito cultivado.

A atividade estrogênica no efluente de uma estação de tratamento de águas residuárias em Lisboa foi avaliada por Diniz et al. (2010). Através de Cromatografia Líquida acoplada à Espectrometria de Massas, foram detectadas após a etapa de gradeamento concentrações de estrona, estrona-3-sulfato e estriol de 39,6ng.L<sup>-1</sup>, 8,4ng.L<sup>-1</sup> e 52,8ng.L<sup>-1</sup>, respectivamente; após a etapa de filtração e de desinfecção UV apenas estrona-3-sulfato foi encontrada, em concentrações de 3,5 e 3,4 ng.L<sup>-1</sup>. Este estudo sugere que, possivelmente, o tratamento de águas residuárias por filtração seja eficiente na redução da atividade estrogênica.

Utilizando Cromatografia Gasosa com Espectrometria de Massas para verificar a eficiência de remoção dos hormônios 17-β-estradiol e estrona no afluente e no efluente de uma ETE em Horsham, no Reino Unido, Zhou et al. (2008) obtiveram valores de remoção de 78 – 92% para estrona, e de 69 – 90% para 17β-estradiol. Segundo os autores, foram coletadas amostras de esgoto antes e depois das etapas de sedimentação e filtro biológico. Leitos cultivados podem ser considerados uma espécie de filtro biológico, então podem ser eficientes na remoção de 17β-estradiol

Em 2007, Adams et al. pesquisaram a remoção de estrogênios por tratamento enzimático com peroxidase e lacase. Utilizando cromatografia líquida com espectrometria de massas e ensaio com levedura recombinante, com a finalidade de analisar estrogênios após uma hora de tratamento enzimático os resultados obtidos por ambos métodos analíticos mostraram que, tanto com lacase quanto com peroxidase, todos os compostos foram totalmente oxidados.

Nas estações de tratamento de esgoto localizadas na Coréia do Sul, foram encontradas baixas concentrações de 17β-estradiol (< 1,0ng.L<sup>-1</sup>) e 17α-etinilestradiolestradiol (1,3 ng.L<sup>-1</sup>), mas as concentrações de estrona (subproduto) foram na média 14 ng.L<sup>-1</sup> (SNYDER et al., 2006). De acordo com Snyder et al. (2006), nessa pesquisa foi verificado que biorreatores de membrana (MBR) são eficazes na remoção de hormônios em efluentes, e que processos como osmose reversa e nanofiltração obtiveram uma remoção de 95% para todos os hormônios.

Cromatografia Líquida de Alta Eficiência acoplada à ultravioleta e à Fluorescência, ambos com extração em fase sólida (SPE) para identificação de hormônios naturais estrona e 17- $\beta$ -estradiol, e artificiais levonorgestrel e 17- $\alpha$ -etinilestradiol, foi testada por Araújo (2006), utilizando uma matriz de esgoto sintético. Foram obtidos valores de recuperação de 83-123%  $\pm$  13,5% para todos os hormônios analisados, nos dois sistemas de detecção. Segundo Araújo (2006), essas metodologias foram testadas para que esses hormônios fossem analisados no esgoto bruto e tratado da ETE de Araraquara, onde foi identificado e quantificado 31 ng L<sup>-1</sup> do hormônio 17- $\beta$ -estradiol no esgoto bruto, mas nas amostras de esgoto tratado esses hormônios estudados não foram encontrados.

### **3.6.2.1. Tratamento de interferentes endócrinos em esgotos utilizando leitos cultivados**

Em 2010, Hijosa-Valsero et al. compararam o tratamento de águas residuárias por diversas configurações de leitos cultivados e com diferentes macrófitas, simultaneamente ao tratamento da mesma água residuária em uma estação de tratamento convencional; os autores relataram que a ETE não foi capaz de remover diclofenaco, carbamazepina, galaxolide e tonalide, enquanto que os leitos cultivados removeram todas essas substâncias, em maiores ou menores quantidades. Os autores relatam que as maiores taxas de remoção da maioria dos interferentes endócrinos foram obtidas no verão, e em condições aeróbias. Neste estudo também foi relatado que a presença de plantas favoreceu a degradação de naproxeno, ibuprofeno, diclofenaco, caféina, metil di-hidrojasmonato, galaxolide e tonalide; na comparação entre as espécies de macrófitas *Typha angustifolia* e *Phragmites australis*, no verão a segunda mostrou-se mais eficiente.

A remoção de interferentes endócrinos em pequenas comunidades também foi estudado por Hijosa-Valsero et al. em (2009). Um sistema híbrido composto por uma lagoa, um leito cultivado de fluxo superficial e um leito cultivado de fluxo subsuperficial horizontal conectados em série, mostrou-se mais eficiente na remoção de interferentes endócrinos do que as ETE convencionais, obtendo valores médios de 70% de remoção.

Em 2008, White et al. verificaram a eficiência de remoção de interferentes endócrinos por uma estação de tratamento de águas residuárias composta por: lagoas aeradas, leitos

cultivados e desinfecção ultravioleta (UV), em série, na cidade de Mandeville, Louisiana, Estados Unidos. Segundo os autores, quando comparados à remoção dos mesmos componentes em ETEs convencionais, o sistema estudado mostrou-se mais eficiente – remoções médias de 90%, exceto para carbamazepina e sotalol, com remoções de 51% e 82%, respectivamente.

Pesticidas levemente hidrofóbicos foram estudados em leitos cultivados, com o objetivo de serem mitigados, e os autores relatam que os mecanismos de remoção e/ou atenuação são fotólise, adsorção nas superfícies e biodegradação (CHIN YU-PING et al., 2002; ALVORD et al., 1995; MOORE et al., 2000).

### **3.6.2.2. Tratamento de hormônios em esgotos utilizando leitos cultivados**

Segundo Gray et al. (2005), os pesticidas levemente hidrofóbicos apresentam propriedades químicas semelhantes aos hormônios estrogênicos, e isso fornece informações para os possíveis mecanismos de remoção desses hormônios em “*constructed wetlands*”. Como esses pesticidas são removidos eficientemente nos leitos cultivados, segundo o autor, os hormônios estrogênicos poderiam ser mitigados de maneira semelhante em “*constructed wetlands*”.

Em 2012 Conolly et al. avaliou a capacidade de remoção de hormônios estrogênicos e androgênicos em águas residuais de uma fazenda com atividade leiteira, através de “*constructed wetlands*”. O leito era de fluxo subsuperficial utilizando argila como meio suporte, e foram cultivadas as macrófitas *Typha latifolia*, *Carex riparia*, *Sparganium erectum* e *Iris pseudacorus*. As análises foram realizadas utilizando extração em fase sólida com um prévio tratamento da amostra (“*sample clean-up method*”), para remoção de possíveis interferentes que iriam mascarar a real concentração dos analitos e diminuir a sensibilidade de detecção, combinados à ensaios de gene repórter. Análises mensais mostraram uma média de remoção de estrogênios de 95,2%, e uma média de remoção de androgênios de 92,1%.

Song et al. estudou em 2009 a eficiência de três leitos cultivados com *Phragmites australis*, com três profundidades diferentes, de fluxo vertical e areia como substrato, para polimento de um efluente municipal após tratamento convencional e terciário, visando remoção de estrona (E1), 17 $\beta$ -estradiol (E2) e 17 $\alpha$ -etinilestradiol (EE2). Melhores remoções dos hormônios citados acima foram encontradas no leito cultivado extremamente superficial (denominado pelos autores como ES), que possuía 7,5 cm de profundidade e TDH de 3,1 horas.

Segundo Song et al. (2009), além da operação do leito ES em condições não saturadas, alta densidade de raízes das macrófitas e manutenção das condições aeróbias no leito cultivado, são as principais condições para uma boa remoção de estrogênios – tendo em vista que apenas 12% da remoção de estrogênios foi devida à adsorção dos mesmos na areia do leito cultivado.

Shappell et al. (2007) mediram a atividade hormonal inicial de efluente proveniente da criação de suínos, e a eficácia de um sistema de tratamento através de lagoas anaeróbias juntamente com “*constructed wetlands*” para a produção de um efluente com baixa atividade hormonal. Para análise do efluente foram utilizadas a tecnologia “*E-Screen*” e Cromatografia Líquida de Alta Eficiência acoplada a Espectrometria de Massas, e foi obtida uma alta correlação entre a análise das concentrações de estradiol e seus equivalentes pelas duas metodologias utilizadas ( $R = 0,82$ ). Nos leitos cultivados foram utilizadas as macrófitas *Typha Latifolia L.*, *Schoenoplectus americanus* (junco americano), *Lemna* spp e algumas algas. Esse tipo de tratamento obteve uma redução da atividade estrogênica de 83 a 93%, e a estrona foi o mais persistente de todos os compostos.

A importância da adsorção e da biotransformação para a atenuação dos hormônios no tratamento através de leitos cultivados, foi estudado por Gray et al. (2005). Em uma “*constructed wetland*” de aproximadamente 740m<sup>2</sup> (cultivada com as macrófitas aquáticas *Typha Latifolia*, *Typha domingensis*, *Scirpus acutus*, *Scirpus validus* e *Scirpus californicus*) que trata água do rio Santa Ana para abastecer Riverside County, na Califórnia (EUA), foram adicionados 17 $\beta$ -estradiol e 17 $\alpha$ -etinilestradiol em níveis acima dos encontrados naturalmente. Foram observadas remoções de 36% de 17 $\beta$ -estradiol, e de 41% de 17 $\alpha$ - etinilestradiol com um TDH de 84 horas; de acordo com Gray et al. et al. (2005), a atenuação dos hormônios provavelmente foi o resultado da adsorção destes nas superfícies hidrofóbicas do leito cultivado, e da biotransformação que foi observada pelas altas concentrações de estrona (metabólito de 17- $\beta$ -estradiol) na água analisada.

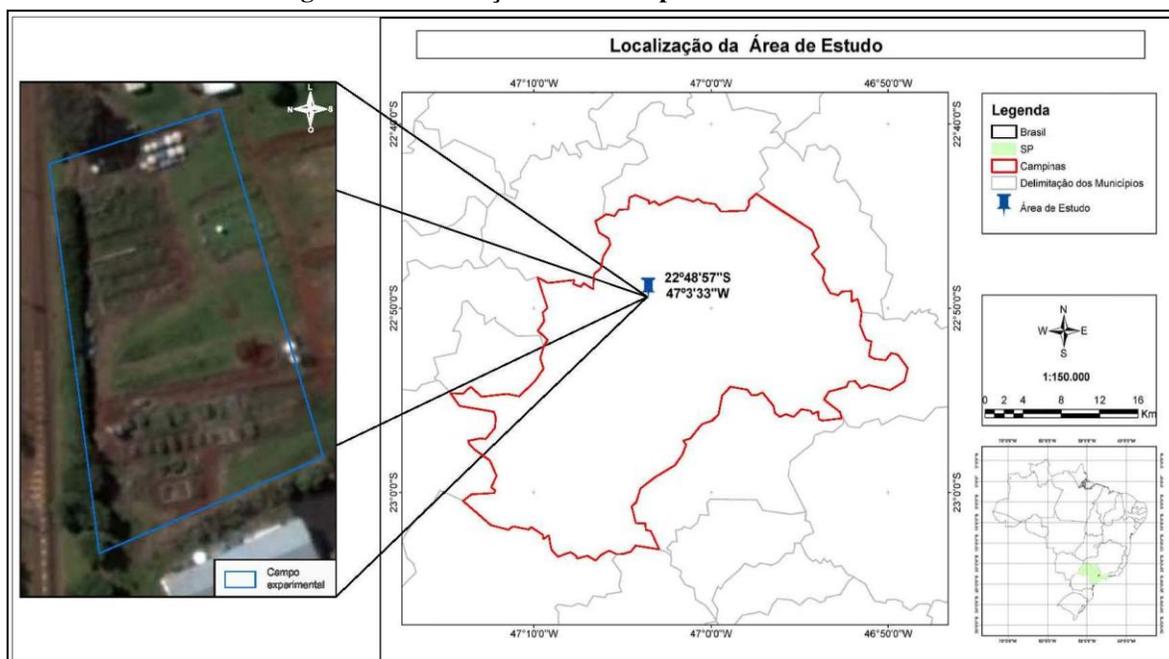


## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Localização do experimento

A parte experimental do presente projeto foi realizada no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola – FEAGRI/UNICAMP, Campinas, SP, onde está instalado um sistema de tratamento com leitos cultivados. O Campo Experimental está localizado a uma latitude de S22°48'57" e longitude W47°03'33", e a 640 m de altitude (CEPAGRI – UNICAMP, 2012). Na Figura 9 é possível observar a localização do sistema de leitos cultivados.

Figura 9. Localização do sistema piloto de leitos cultivados.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2012).

### 4.2. Características climáticas

A Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) está localizada em Barão Geraldo, que é um distrito da cidade de Campinas/SP. O clima de Barão Geraldo corresponde ao clima de Campinas que é classificado como Cwa, ou seja, verões quentes e estação seca no inverno, segundo a classificação de Köppen (EMBRAPA, 2013).

Campinas apresenta uma precipitação média anual de 1424 mm. Na estação quente e úmida ocorre cerca de 74% da precipitação anual, com temperaturas médias mensais entre 23,3 e 24,9 °C nos meses de outubro à março. Já no período de estiagem (clima frio e seco) que representa 26% da precipitação anual, as temperaturas médias ficam entre 21,8 à 23,0°C, nos meses de abril à setembro (CEPAGRI, 2012).

### **4.3. Sistema de Leitões Cultivados (LC)**

#### **4.3.1. Abastecimento do sistema de tratamento**

O sistema piloto foi abastecido com esgoto proveniente da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI/UNICAMP). Este esgoto é formado pela junção de todo esgotamento sanitário oriundo do prédio administrativo e do prédio das salas de aula, dos laboratórios, da oficina, da cozinha e cantina.

O fluxo do esgoto da FEAGRI não é contínuo durante o dia, devido à diferenciação do uso, e também devido aos finais de semana e às férias escolares quando o fluxo de circulação de pessoas é menor. O público diário que frequenta a FEAGRI no período escolar é de aproximadamente 300 pessoas entre funcionários, alunos e pesquisadores; já nas férias escolares esse número cai para aproximadamente 80 pessoas por dia.

A captação do esgoto na FEAGRI é feita à montante do sistema de tratamento para que o escoamento seja feito por gravidade, economizando assim, energia elétrica.

O esgoto passa por tratamento primário em um tanque de desarenação com o intuito da retirada de sólidos grosseiros, e então segue para uma caixa em fibro-cimento com capacidade de 500 L. Na Figura 10 estão apresentados o tanque de desarenação e o reservatório de cimento com capacidade de 500 L.

**Figura 10. Tanque de desarenação e reservatório.**



**Fonte: Arquivo pessoal (2012).**

Desta caixa o esgoto é bombeado para tratamento secundário em Reatores Anaeróbios Compartimentados (RAC), conforme mostra a Figura 11.

**Figura 11. Reatores Anaeróbios Compartimentados.**



**Fonte: Arquivo pessoal (2012).**

Após o tratamento secundário realizado, o esgoto será conduzido por gravidade até dois reservatórios plásticos (caixas de distribuição) com capacidade de 1.000 L cada, conforme está apresentado na Figura 12. Ao sair das caixas de distribuição, o esgoto percorre para os três leitos cultivados.

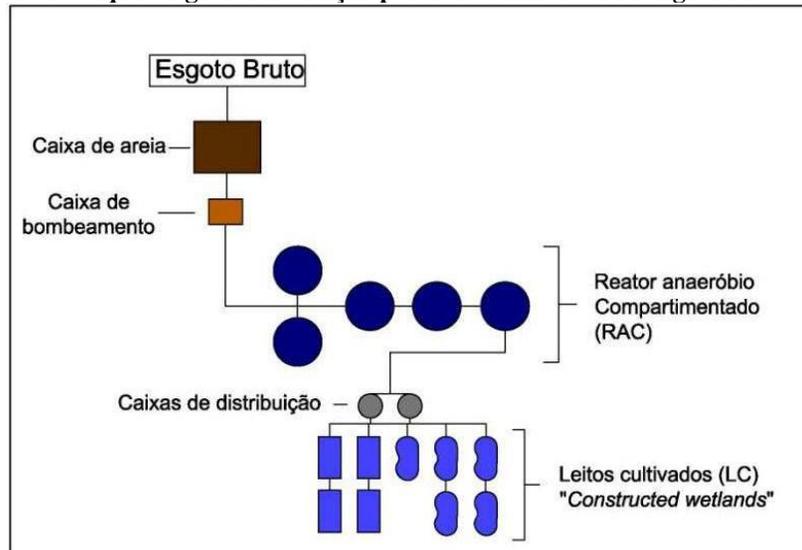
**Figura 12. Caixas de distribuição com capacidade de 1000L cada.**



Fonte: Arquivo pessoal (2012).

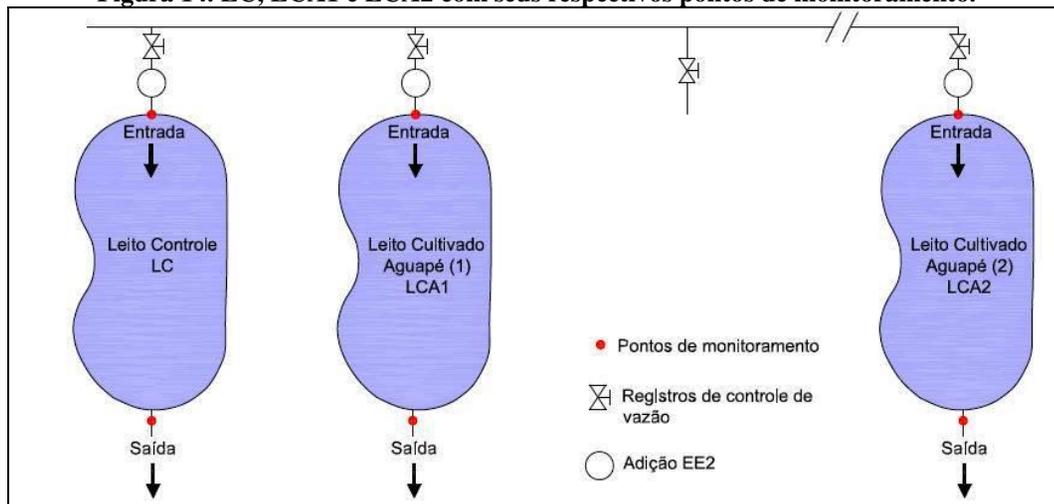
Na Figura 13 está apresentado o esquema geral da Estação de Tratamento de Esgoto piloto da FEAGRI, na Figura 14 estão apresentados os três leitos com seus respectivos pontos de monitoramento (em vermelho), e na Figura 15 pode-se observar o corte longitudinal de um leito cultivado com aguapé.

**Figura 13. Esquema geral da Estação piloto de tratamento de esgoto da FEAGRI.**



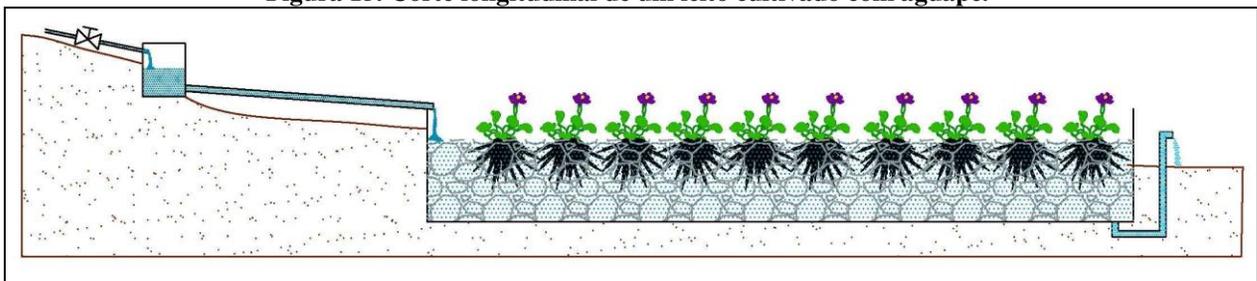
Fonte: Adaptada de Kletecke (2011).

**Figura 14. LC, LCA1 e LCA2 com seus respectivos pontos de monitoramento.**



Fonte: Figura desenhada pela autora (2013).

**Figura 15. Corte longitudinal de um leito cultivado com aguapé.**



Fonte: Figura desenhada pela autora (2013).

#### 4.3.2. Macrófitas

Inicialmente, as macrófitas selecionadas neste estudo foram a *Typha* spp. (taboa) e a *Cyperus isocladius* (mini-papiro), pois segundo Piedade (2010), é aconselhável observar as macrófitas que existem nas imediações de onde o sistema de leitos cultivados será instalado, tendo em vista que não existe uma metodologia específica para a escolha da macrófita apropriada.

As mudas de *Typha* spp. e de *Cyperus isocladius* foram retiradas de outros leitos cultivados existentes no Campo Experimental da FEAGRI. No dia 08 de abril de 2013 foram plantadas 25 mudas de *Typha* spp. no leito cultivado 2 (LC2), e 32 mudas de *Cyperus isocladius* no leito cultivado 3 (LC3). No dia 03 de maio de 2013 foram plantadas mais 2 mudas de *Typha* spp., porque 4 mudas haviam morrido neste período. Após 39 dias do plantio, no dia 17 de maio

de 2013, três dias antes do primeiro período de coleta e monitoramento do esgoto dos leitos cultivados, as mudas de *Typha* spp. e *Cyperus isocladius* foram depredadas, cortadas/arrancadas quase que por completo, por capivaras. Na Figura 16 é possível observar o estado em que ficaram os leitos cultivados após a primeira destruição.

**Figura 16. LC1 e LC2 após sua primeira destruição.**



**Fonte: Arquivo pessoal (2013).**

Como a vegetação não se recuperou sozinha, no dia 30/05/2013 foram plantadas mais mudas de mini-papiro e taboa nos leitos. Então, no dia 17/06/2013 (uma semana antes do segundo período de coleta) os dois leitos foram novamente atacados por lebres, capivaras, ou outros animais e desta vez destruídos por completo. Ficou decidido juntamente com o orientador trocarmos de plantas, e no dia 01/07/2013 foram plantadas mudas de *Canna indica* (berí) e *Eichornia crassipes* (aguapé).

Uma nova coleta foi programada para o dia 15/07/2013, porém na madrugada de 11 – 12/07/13 ocorreu um novo ataque de animais que depredou por completo o leito cultivado com berí e com taboa (reservatório LCA1). No dia 16/07/13 os leitos foram replantados com berí e taboa, foi programada uma nova coleta para 22/07/13, mas o sistema estava entupido pela manhã e no período da tarde houve chuva intensa, então ficou decidido reiniciar o monitoramento em 12/08/13. Entre 09 e 11/08/13 houve novo ataque que destruiu por completo os leitos com taboa e

berí, então neste momento ficou decidido trabalharmos apenas com aguapé.

Após inúmeras ocorrências, a disposição dos leitos ficou da seguinte maneira:

- LC1 se tornou o Leito Controle (LC) e permaneceu no mesmo reservatório com o mesmo substrato existente anteriormente.
- LC2 (o leito que era cultivado com taboa) se tornou o Leito Cultivado Aguapé 1 (LCA1) – foram plantadas 25 mudas de *Eichornia crassipes* no dia 13/08/13.
- LCA2, ou, Leito Cultivado Aguapé 2 ficou sendo o leito no qual havia sido cultivado com 25 mudas de *Eichornia crassipes* em 01/07/13.

Apesar de todos imprevistos e ataques de animais, que se repetiu no LCA1 em 29/08/13 sem completa destruição (neste dia foram replantadas mais 5 mudas de aguapé no leito), o LCA1 e o LCA2 ficaram com uma condição experimental interessante: 43 dias de diferença entre o plantio das macrófitas dos dois leitos (aproximadamente um mês e meio de diferença). Sendo assim, ficou decidido avaliar nesta pesquisa se o tempo de desenvolvimento da macrófita afeta positivamente os resultados de tratamento da água residuária.

#### **4.3.3. Meio suporte utilizado nos leitos cultivados**

Foi utilizado como meio suporte nos três leitos cultivados brita#2 proveniente de estudos anteriores (PIEDADE, 2010; KLETECKE, 2011), aproveitando o biofilme já existente nos leitos.

#### **4.3.4. Fluxo utilizado nos leitos cultivados**

Nesta pesquisa, o tipo de fluxo que foi utilizado nos leitos cultivados é o fluxo subsuperficial horizontal descendente.

#### **4.3.5. Instalação do sistema de leitos cultivados**

O Leito Controle (LC) apenas com brita, e o Leito Cultivado com Aguapé - 1, (LCA1) foram instalados em reservatórios de fibra de vidro da marca Henrimar, com dimensões de 3,20m x 1,75m x 0,55m (profundidade), resultando em um volume de 2,5 m<sup>3</sup>, área de 4,6 m<sup>2</sup> e capacidade de 2.500L. Já o Leito Cultivado com Aguapé – 2, (LCA2) foi instalado em um

reservatório de fibra de vidro (também em formato de “feijão”) da marca Nova Fibra, com dimensões de 3,13m x 1,61m x 0,52m (profundidade), volume de 2,3 m<sup>3</sup>, com 4,4 m<sup>2</sup> de área e capacidade de 2.100 L.

#### 4.3.6. Adição de 17- $\alpha$ -etinilestradiol

Para adição de EE2 nos leitos cultivados foi utilizado o contraceptivo oral Selene, que contém 35  $\mu\text{g}$  de EE2 por pílula. As soluções foram feitas pela maceração de dois comprimidos em um pedaço limpo de papel alumínio, que então eram transferidos para um balão volumétrico de 2 L. O papel alumínio foi lavado cuidadosamente com a água percolando dentro do balão volumétrico caso houvesse alguma massa da pílula retida no papel.

Os balões foram completados com água deionizada até o menisco, e a solução permanecia em agitador magnético por 4 horas. Todos os balões foram revestidos com papel alumínio para evitar a degradação do composto, e lavados com Extran<sup>®</sup> neutro antes do preparo das soluções; o mesmo cuidado foi tomado com os frascos de gotejamento da solução.

A massa total adicionada por dia em cada LC era de 70  $\mu\text{g}$ , pelo gotejamento de 2L da solução com concentração teórica de 35  $\mu\text{g.L}^{-1}$ . A adição foi feita em um reservatório (também revestido com papel alumínio) pelo qual o esgoto afluyente passava antes de entrar nos LC, com vazão de gotejamento aproximada de 4,16 mL.s<sup>-1</sup>, o hormônio se misturava ao afluyente do leito. Na Figura 17 podem ser visualizados os reservatórios e o sistema de gotejamento.



Fonte: Arquivo pessoal (2013).

#### 4.4. Variáveis monitoradas nos leitos cultivados

As variáveis dos leitos cultivados foram monitoradas em quatro aspectos distintos:

- Monitoramento da vegetação: desenvolvimento da vegetação, biomassa verde e biomassa seca das plantas, e quantidade de nutrientes absorvidos nas plantas, no período de julho a dezembro de 2013.
- Monitoramento da água residuária: o monitoramento da água nos leitos cultivados foi subdividido em duas partes:
  - Qualidade da água residuária: foram monitoradas as concentrações de entrada e de saída do hormônio 17- $\alpha$ -etinilestradiol, pH, cor aparente, turbidez, demanda química de oxigênio (DQO), temperatura da água residuária, oxigênio dissolvido (OD), nitrito ( $\text{NO}^{2-}$ ), nitrato ( $\text{NO}^{3-}$ ), nitrogênio total Kjeldahl (NTK), nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_3$ ) e fósforo total, no período de agosto a setembro de 2013;
  - Quantidade de água residuária: foram realizados pelas medidas do volume de água (V), vazão da água (Q), tempo de detenção hidráulica (TDH) e quantidade de água evapotranspirada, no período de agosto a setembro de 2013;
- Levantamento de dados meteorológicos: os parâmetros escolhidos foram precipitação, radiação solar, umidade relativa e temperatura do ar no período de julho a dezembro de 2013.

#### 4.5. Monitoramento da vegetação

Todas as análises de monitoramento da vegetação foram realizadas no campo, exceto a de biomassa seca que foi realizada no Laboratório de Saneamento, da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, e a de quantidade de nutrientes nas plantas que foi realizada no Laboratório de Tecidos Vegetais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ). A seguir estão descritas as metodologias que serão utilizadas para as análises:

- Desenvolvimento da vegetação: desde o plantio das macrófitas foram tiradas fotos dos leitos semanalmente para que pudesse ser acompanhado o crescimento e o

desenvolvimento da vegetação, desde 01/07/13 (plantio do LCA2) até 27/09/13 (última amostragem de água residuária).

- Biomassa verde e seca das plantas: após o corte das plantas, foram separadas as raízes da parte aérea e estas foram pesadas separadamente, tendo seus valores anotados. De cada parte desta massa, dos dois leitos cultivados, foi coletada uma amostra representativa e pesada em balança (marca Marte, modelo AY-220), então foi seca em estufa (marca FANEM, modelo 320-SE), a 65°C até peso constante seguindo metodologia descrita por BOARETTO et al. (2009). Após resfriamento em dessecador a amostra foi pesada novamente, sendo calculada a quantidade de biomassa seca das macrófitas. A amostra de biomassa seca foi triturada e enviada ao Laboratório de Tecidos Vegetais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), para análise da quantidade de macronutrientes absorvidos nas plantas.

#### 4.6. Monitoramento da água residuária

##### 4.6.1. Amostragem

Com a finalidade de aumentar a confiabilidade nos dados de remoção/retenção de poluentes, levando em conta a flutuação das concentrações das cargas dos mesmos durante o dia, a tomada e registro das vazões afluente e efluente ao leito e a coleta das amostras de água foram realizadas diariamente (segunda à sexta-feira), a cada duas horas, das 8h às 16h no período de 19/08 à 31/08/13 e 09/09 à 27/09/13.

Todas as amostras foram acondicionadas em frascos de 300 mL, armazenadas em temperatura de 4°C até a realização das análises, que obedeceram duas escalas diferentes:

- Escala horária: foi coletada uma amostra do afluente e uma amostra do efluente de cada um dos três leitos cultivados (LC, LCA1 e LCA2).
- Escala diária: foram obtidas a partir das amostras da escala horária, efetuando uma amostra composta de todas elas, obedecendo a Equação 1.

$$V_{hAC} = Q_h / \sum Q_h \times V_{TAC} \quad (\text{Eq. 1})$$

onde:

$V_{hAC}$  = volume a ser coletado da amostra horária (mL)

$Q_h$  = vazão horária da amostra ( $mL \cdot s^{-1}$ )

$\sum Q_h$  = somatória das vazões horárias do dia

$V_{TAC}$  = volume total desejado de amostra (mL)

- Período estendido: foram contados os dias úteis na Universidade Estadual de Campinas desde a data do plantio do aguapé nos LC (LCA2 = 01/07/13, LCA1 = 13/08/13) até o dia que estes foram retirados dos leitos (11/12/13). A média da quantidade total de esgoto que entrou nos leitos nos dias monitorados foi calculada, e multiplicada pela média das concentrações dos parâmetros obtidos no período de monitoramento.

## 4.6.2. Qualidade da água residuária

### 4.6.2.1. Parâmetros físico-químicos

Todas as análises foram realizadas com base no “*Standard Methods – for Examination of Water and Wastewater*” (2005). A seguir estão descritas as metodologias que foram utilizadas para as análises:

- Temperatura: as amostras utilizadas foram as de escala horária. Foi realizada no Laboratório de Saneamento (LABSAN - FEAGRI/UNICAMP) logo após a coleta, juntamente com a medida de oxigênio dissolvido;
- Oxigênio Dissolvido (OD): as amostras utilizadas foram as de escala horária. A análise foi realizada no LABSAN (FEAGRI/UNICAMP) imediatamente após a coleta, com o oxímetro da marca *YSI 55* portátil. Foi utilizado o Método 4500-O G (Método do Eletrodo com Membrana);
- pH: as amostras utilizadas foram as de escala horária. A análise foi realizada no LABSAN – (FEAGRI/UNICAMP) imediatamente após a coleta, com o pHmetro de mesa *Digimed* (pHmetro DM 20), através do Método 4500-H<sup>+</sup>B (Método Eletrométrico);
- Cor aparente: as amostras utilizadas foram as de escala diária. Foi realizada no Laboratório de Saneamento da FEAGRI/UNICAMP, no máximo até 24 horas após a

coleta, no espectrofotômetro da marca *Hach* (modelo DR-2010) programa n.º 120 “*Color (PtCo) APHA*”. O comprimento de onda utilizado era 455nm e os resultados foram gerados na unidade de medida [mg.L<sup>-1</sup> de PtCo] (platina e cobalto);

- Turbidez: as amostras utilizadas foram as de escala diária. Foi realizada no Laboratório de Saneamento da FEAGRI/UNICAMP, no máximo até 24 horas após a coleta, com o turbidímetro da marca *Hach* - 2100AN, os resultados foram gerados com unidade de medida [NTU] (*Nephelometric Turbidity Unit*);
- Fósforo total: foram utilizadas amostras na escala diária, e as análises foram realizadas em no máximo 15 dias após a coleta. Foi analisado pelo Método 4500 – P E, Método Oficial do Ácido Ascórbico, utilizando digestão ácida, seguindo “*Standard Methods – for Examination of Water and Wastewater*”, com bloco digestor *Marconi* (Micro - MA 850/16) e espectrofotômetro *Hach* DR-4000U, no Laboratório de Saneamento da FEAGRI/UNICAMP;
- Nitrogênio amoniacal: foram utilizadas amostras na escala diária, e as análises foram realizadas em no máximo 24 horas após a coleta. Foi analisado pelo Método 4500 “*Nitrogen (Organic)*” utilizando destilador *Marconi* (modelo MA-036), no Laboratório de Saneamento da FEAGRI/UNICAMP;
- Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK): foram utilizadas amostras na escala diária, e as análises foram realizadas em no máximo 15 dias após a coleta. Foi utilizado bloco digestor *Marconi* (Macro - MA 850/16) e destilador *Marconi* (modelo MA-036), analisados pelo Método 4500 “*Nitrogen (Organic)*”, no Laboratório de Saneamento da FEAGRI/UNICAMP;
- Nitrito: foram utilizadas amostras na escala diária, e as análises foram realizadas em no máximo 24 horas após a coleta. A análise utilizou reagente *Hach* “*NitriVer*<sup>®</sup> 2” e foi analisada pelo método 8153 (*Powder Pillows*), nos espectrofotômetros *Hach* DR-4000U e DR-2010, no Laboratório de Saneamento da FEAGRI/UNICAMP;
- Nitrato: foram utilizadas amostras na escala diária, e as análises foram realizadas em no máximo 24 horas após a coleta. A análise utilizou reagente *Hach* “*NitraVer*<sup>®</sup> 5” e foi analisada pelo método 8039 (*Powder Pillows or AccuVac*<sup>®</sup> *Ampuls*), nos espectrofotômetros *Hach* DR-4000U e DR-2010, no Laboratório de Saneamento da FEAGRI/UNICAMP;

- Demanda Química de Oxigênio (DQO): as amostras utilizadas foram as de escala diária, e as análises foram realizadas em no máximo 24 horas após a coleta. A análise foi realizada no Laboratório de Saneamento da FEAGRI/UNICAMP. A digestão da amostra foi feita no digestor *Hach COD Reactor* e posteriormente lida nos espectrofotômetros *Hach DR-4000U* e *DR-2010*. Foi utilizado o Método 5220D (Método Colorimétrico do Refluxo Fechado);

#### 4.6.3. Análise cromatográfica de 17- $\alpha$ -etinilestradiol (EE2)

Para esta análise foram utilizadas amostras de escala diária, que foram filtradas em membrana de fibra de vidro 0,45  $\mu\text{m}$  (GF-3/Macherey-Nagel), para retirada da matéria orgânica eliminando possíveis interferentes durante o armazenamento, em um sistema de filtração com bomba à vácuo (Prismatec – 131), e congeladas em freezer até a realização das análises.

##### 4.6.3.1. Extração em fase sólida

A extração em fase sólida, do inglês *Solid Phase Extraction* (SPE), foi realizada no Laboratório de Análise de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas (LAA – FEA/UNICAMP). Foram realizados diversos testes de extração com diferentes tipos de cartuchos, diferentes volumes de amostras e metodologias de extração.

As extrações foram feitas em *Manifold* da marca Varian, acoplado a uma bomba à vácuo com diafragma da marca Marconi. Os dois primeiros testes de extração em fase sólida utilizaram cartuchos C18, que tem afinidade com substâncias lipofílicas, um deles possuía 250 mg de fase sólida da marca Applied Separations (Spe-ed<sup>tm</sup> C18/18), e com 1 g de fase sólida da marca Waters (Sep-Pak<sup>®</sup> Vac). A extração teve como base o método utilizado por Gerolin (2008), os cartuchos foram condicionados com 10 mL de metanol (grau HPLC, marca Merck) e 5 mL de água *Milli Q*<sup>®</sup>, tomando cuidado para que a fase sólida permanecesse úmida até o início da passagem da amostra. Após a passagem dos 500 mL de amostra o efluente era descartado, e a eluição foi realizada com 10 mL de metanol coletado em balões de fundo redondo.

O terceiro teste de extração utilizou cartuchos Oasis HLB (*hydrophilic-lipophilic-balance*) da marca Waters, que possui afinidade com substâncias lipofílicas e hidrofílicas, contendo 250

mg de fase sólida. A metodologia escolhida foi a utilizada por Raimundo (2011), o condicionamento do cartucho foi realizado com 5 mL de acetonitrila (grau HPLC, marca J. T. Baker), 5 mL de metanol e 5 mL de água *Milli Q*<sup>®</sup>. A eluição foi realizada à 5 mL.min<sup>-1</sup> com 5mL de metanol e 5 mL de acetonitrila.

Para os três diferentes testes de extração a metodologia após a eluição foi a mesma, os balões eram acoplados a um evaporador rotativo, mergulhados em banho termostaticado com água na temperatura de 40°C e a amostra permanecia evaporando até reduzir seu volume à aproximadamente 2 – 3 mL, e então retirada do aparelho. A alíquota final era transferida quantitativamente para balão volumétrico de 5 mL e avolumada com metanol até o menisco. A amostra final foi transferida para frasco âmbar de 10 mL, lacrada com filme plástico impermeável, fechada com a tampa e armazenada no freezer por aproximadamente 15 horas até a realização da análise cromatográfica.

#### **4.6.3.2. Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) ou *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC)**

A análise cromatográfica referente ao primeiro e segundo teste de extração foi realizada no Laboratório de Química Analítica do CPQBA – UNICAMP. O sistema cromatográfico utilizado é composto por HPLC-DAD *Alliance Waters*, com bomba Waters 2695, PDA Detector Waters 2996 (Photodiode Array Detector), coluna C-18 (150 mm x 3 – 9 mm), utilizando o software Empower. No Laboratório de Análise de Alimentos (LAA – FEA/UNICAMP) foram realizadas as demais análises de EE2 por *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) também conhecida como Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE). O sistema cromatográfico utilizado é composto por HPLC *Agilent Technologies 1260 Infinity*, Detector *Agilent 1260 DAD* (Diode Array Detector) – detector de arranjo de diodos, coluna ACE 3 C-18 (100 mm x 4,6 mm), utilizando o software *Openlab*.

Em ambos laboratórios, como fase móvel foi utilizada uma mistura de acetonitrila grau HPLC (marca J. T. Baker) e água *Milli Q*<sup>®</sup> (50:50) no modo isocrático, a temperatura da coluna era mantida em 30°C, a injeção automática utilizou fluxo de 0,6 mL.min<sup>-1</sup>, foram injetados 10 µL de amostra, a leitura no DAD-UV (detector arranjo diodos) foi feita à 280 nm, de acordo com metodologia utilizada por Santos et al. (2012). Antes de ser colocada no cromatógrafo a

acetonitrila era previamente filtrada à vácuo em filtro de 0,22  $\mu\text{m}$  da marca *Millipore*, e depois permaneceu por dez minutos no ultrassom para desgaseificação.

No Laboratório de Análise de Alimentos antes da injeção das amostras em triplicata as mesmas foram descongeladas em temperatura ambiente, filtradas em filtros *Millex* 0,22  $\mu\text{m}$  da marca *Millipore* e colocadas em vials cromatográficos novos com capacidade de 1,5 mL. Também foi verificado neste laboratório a resolução dos picos da leitura no DAD-UV à 210 nm.

#### **4.6.3.3. Avaliação do método analítico**

Para a verificação da conformidade de um método analítico é necessário a realização de alguns estudos testando a metodologia e o equipamento antes que sejam realizadas as análises das amostras, para que os resultados possam ser relatados e a metodologia possa ser reproduzida com confiabilidade. No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) com a Resolução RE n.º 89 de 29 de maio de 2003 com o “Guia para Validação de Métodos Analíticos e Bioanalíticos” e o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) no DOQ-CGCRE-008 “Orientações sobre validação de métodos de ensaios químicos”, revisado em junho de 2007, definem as etapas metodológicas para validação de um método analítico. Apesar de não terem sido realizadas todas as etapas para validação do método neste trabalho, algumas destas foram tomadas como base para a elaboração de uma metodologia confiável.

##### **4.6.3.3.1. Seletividade**

De acordo com Ribani et al. (2004) a seletividade tem a função de avaliar se o pico cromatográfico é exclusivo do analito de interesse, ou se outros compostos presentes na amostra como por exemplo, produtos de degradação, excipientes e impurezas possam interferir na determinação da substância de interesse. Conforme metodologia utilizada por Elias (2010), a seletividade do método foi analisada a partir da comparação dos espectros de absorção na região UV proveniente de um padrão de 20  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  de 17- $\alpha$ -etinilestradiol, com os espectros de absorção obtidos na amostra.

#### 4.6.3.3.2. Linearidade e faixa linear de trabalho

Foram realizados dois estudos da linearidade. No primeiro, foi preparada uma solução estoque de EE2 de concentração  $400 \mu\text{g.mL}^{-1}$ , pesando-se 10 mg de padrão 17- $\alpha$ -etinilestradiol ( $\geq 98\%$ , Sigma-Aldrich) e diluindo em balão volumétrico de 25 mL com acetonitrila. Desta solução estoque com  $400 \mu\text{g.mL}^{-1}$  foi preparada uma solução trabalho de  $20 \mu\text{g.mL}^{-1}$ , da qual foram preparados os padrões nas seguintes concentrações: 0,1; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0; 8,0 e  $10,0 \mu\text{g.mL}^{-1}$ , que foram injetados no HPLC-DAD/UV em triplicata. Para avaliar a linearidade e a faixa de trabalho foi utilizada a regressão linear e seu coeficiente de regressão, a qualidade do ajuste do modelo e a distribuição dos resíduos foi realizada ANOVA, de acordo com Takemoto et al. (2009).

No segundo estudo, a partir da solução estoque com  $400 \mu\text{g.mL}^{-1}$  foi preparada uma solução trabalho de  $20 \mu\text{g.mL}^{-1}$ , da qual foram preparados os padrões nas seguintes concentrações: 0,1; 0,08; 0,06; 0,04; 0,01; 0,005 e  $0,0025 \mu\text{g.mL}^{-1}$  e foram injetados no HPLC-DAD/UV em triplicata. A determinação da linearidade e da faixa de trabalho foi realizada da mesma maneira que no estudo anterior.

#### 4.6.3.3.3. Exatidão e recuperação

Segundo a ANVISA (2003) a exatidão é a aproximação dos valores obtidos por determinado método em relação a seu valor verdadeiro, e deve ser determinado em 3 diferentes níveis de concentração (baixo, médio e alto, por exemplo). A exatidão foi avaliada através de ensaios de recuperação realizado em 3 diferentes níveis de concentração de 17- $\alpha$ -etinilestradiol - 0,16; 1,6 e  $2,0 \mu\text{g.mL}^{-1}$ . O primeiro teste de recuperação teve o objetivo de verificar se as concentrações de EE2 que foram adicionadas nos LC poderiam ser lidas no HPLC, foram pegas três amostras de 500 mL da água residuária sem adição de EE2 e adicionado 1 mL em cada amostra de uma solução estoque de  $40 \mu\text{g.mL}^{-1}$  de EE2. As amostras foram extraídas em cartuchos C-18 da marca *Applied Separations*, e lidas em HPLC-DAD.

O segundo teste de recuperação teve o intuito de verificar se existe perda de EE2 adsorvido na matéria orgânica durante filtragem, antes da extração, então foi adicionado 1 mL da solução estoque de  $40 \mu\text{g.mL}^{-1}$  de EE2, em cada uma das quatro amostras - duas amostras contendo 500 mL de água ultra pura cada, e duas amostras de água residuária sem prévia adição

de EE2. Foram utilizados cartuchos C-18 da marca *Waters* (modelo Sep-Pak<sup>®</sup>) para extração, e as amostras foram lidas em HPLC-DAD.

Para verificar se a concentração de 0,08 µg.mL<sup>-1</sup> saturava os cartuchos foi adicionado 1 mL da solução estoque de 40 µg.mL<sup>-1</sup> de EE2 em uma amostra contendo 500 mL de água residuária sem prévia adição de EE2. Foram realizadas duas extrações, uma com 100 mL de cada amostra, e uma com 10 mL da amostra diluídas em balão volumétrico de 100 mL. As amostras foram extraídas em cartuchos Oasis HLB da marca *Waters* e lidas em HPLC-DAD. O quarto teste de recuperação foi realizado na amostra *in natura*, sem extração em fase sólida, para verificar se existia a necessidade de realizar a extração.

Quanto maior a taxa de recuperação do analito, maior será a confiabilidade do método. Segundo a ANVISA (2003) recuperações próximas à 100% são desejadas, porém pode-se admitir valores menores desde que a metodologia seja precisa. Após as injeções das amostras a concentração foi obtida por meio da equação da reta do estudo de linearidade, e então calculou-se a recuperação conforme estabelecido pela ANVISA (2003) de acordo com a Equação 2:

$$\text{Recuperação (\%)} = \frac{\text{concentração média experimental} \times 100}{\text{concentração teórica}} \quad (\text{Eq. 2})$$

#### **4.6.3.3.4. Limite de Detecção (LOD) e Limite de Quantificação (LOQ)**

Nesse estudo o LOQ foi admitido como a menor concentração do analito no padrão de acetonitrila determinado com precisão e exatidão, a ANVISA (2003) e o INMETRO (2007) definem esta metodologia como uma das aceitáveis para determinação deste limite. O LOQ foi considerado como o menor ponto da curva de calibração e foi verificado juntamente com o estudo da linearidade e da faixa linear de trabalho. Tendo em vista que alguns guias de validação consideram o LOQ de duas à dez vezes o valor encontrado de LOD, na prática, neste trabalho o LOD foi considerado o LOQ dividido por dois.

#### 4.6.4. Quantidade de água residuária

Os parâmetros de monitoramento da quantidade de água no leito cultivado foram realizados em campo. A seguir estão descritas as metodologias que foram utilizadas para as análises:

- Vazão da água residuária (Q): a vazão de água foi medida na entrada (afluente) e na saída (efluente) do leito cultivado. Foi utilizado o “método direto”, medindo o volume de esgoto que cai em uma proveta graduada durante 20 segundos (através de cronômetro digital da marca Unilab), e então multiplicando esse valor por três o resultado será a vazão de esgoto em  $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ;
- Volume de água residuária (V): o cálculo de volume de água de entrada e saída foi realizado a partir da integração dos valores diários medidos da vazão de água;
- Tempo de detenção hidráulica (TDH): o tempo de detenção hidráulica é dado pelo volume total diário de esgoto que entra no leito cultivado, dividido pelo volume máximo armazenado no leito cultivado. Para saber o volume máximo armazenado no leito cultivado é necessário saber a porosidade do mesmo, o TDH destes leitos foram calculados por Kletecke (2011) utilizando uma proveta graduada de 1000 mL com brita#2, e depois completada com água até a marca de 1000 mL. Essa água foi colocada em outra proveta de 1000 mL, e então pode-se saber o volume que a brita#2 ocupou na primeira proveta. Esse procedimento foi repetido três vezes por Kletecke (2011) sempre mexendo para que a brita mudasse de posição e então pudesse ser tirada a média; assim, com o volume de brita calculada para 1000 mL foi calculado o volume que a brita#2 ocupa no leito cultivado;
- Quantidade de água residuária evapotranspirada: este parâmetro foi obtido a partir da diferença do volume total de água residuária que entrou no leito, e o volume total de água residuária que saiu do leito.

#### 4.6.5. Levantamento de dados meteorológicos

Os dados foram obtidos no Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura (CEPAGRI/UNICAMP), de uma estação meteorológica da FEAGRI.

#### 4.7. Método de análise dos dados obtidos

Todos os dados coletados no campo e no laboratório foram armazenados em planilhas eletrônicas para posterior análise dos dados.

Para valores de remoção/retenção de 17- $\alpha$ -etinilestradiol, cor, DQO, fósforo total, NTK, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato na escala diária, as concentrações dos parâmetros foram utilizadas para o cálculo da carga dos mesmos, com o objetivo de promover um balanço de massa mais confiável. O cálculo da carga dos poluentes foi realizado pelo produto da vazão de entrada/saída com a concentração de entrada/saída, conforme consta na Equação 3.

$$K_{\text{parâmetro (entrada/saída)}} = C_{\text{parâmetro (entrada/saída)}} \times Q_{\text{entrada/saída}} \quad (\text{Eq. 3})$$

onde:

$K_{\text{parâmetro (entrada/saída)}}$  = Carga do parâmetro de entrada e saída do leito

$C_{\text{parâmetro (entrada/saída)}}$  = Concentração do parâmetro na entrada e na saída do leito

$Q_{\text{entrada/saída}}$  = Vazão de entrada/saída do leito [L.h<sup>-1</sup>]

Além de serem analisados mediante comparação gráfica, os dados obtidos nos ensaios foram analisados utilizando recursos estatísticos, como por exemplo, a estatística descritiva que compõe a média e o desvio-padrão.

Também foram utilizados testes estatísticos adequados para comparar os resultados dos três leitos cultivados e afirmar estatisticamente a nível 5% de confiança, qual dos três leitos foi mais eficiente para determinado parâmetro. Pela necessidade de coletar uma amostra de entrada de cada LC para calcular as cargas dos analitos e promover um balanço de massa eficiente, também foram utilizados testes somente para as variáveis de entrada da água residuária, com o intuito de afirmar a nível 5% de confiança que o mesmo afluente abastecia os três leitos.

O primeiro passo para a escolha de um teste estatístico apropriado é verificar a normalidade dos dados de interesse, porque apesar de grande parte dos testes estatísticos suporem que as variáveis possuem uma distribuição normal, se essa suposição de normalidade não for verdadeira é necessário utilizar testes mais “robustos” e apropriados para populações não normais (BUSSAB, et al. 2012; BARROS NETO, et al. 2010).

Para testar se os dados pertencem a distribuição Normal foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov, pois a amostra era superior a 50 para todas as variáveis. O teste foi aplicado com nível de significância 5%.

Para dados que são aproximadamente Normais, foi aplicada ANOVA (Análise de Variância) para cada variável. Assim, a média dos três leitos foram comparadas por meio da estatística  $F$ , que se fornece p-valor igual ou inferior a 0,05, significa que pelo menos um dos três leitos é diferente do outro em média, a nível 5% de significância. Ou seja, rejeita-se a hipótese nula de que os leitos são iguais em média. Mas o teste não diz quais deles são diferentes.

Para comparar pares de leitos, usou-se a comparação múltipla de Tukey. O teste de Tukey permite testar qualquer contraste entre duas médias de tratamentos, ou seja, não permite comparar grupos entre si. Como o teste de Tukey é de certa forma independente do teste  $F$ , é possível que mesmo sendo significativo o valor de  $F$  calculado não sejam encontradas diferenças significativas entre contrastes de médias. A estatística é tabelada e funciona da mesma forma que as demais: se o p-valor obtido é igual ou inferior a 0,05, significa que os dois leitos comparados são, em média, diferentes a nível 5% de significância. Ou seja, novamente a hipótese nula de que os leitos são iguais, em média, é rejeitada.

Para os dados que não tiveram uma distribuição normal foi utilizado o teste não-paramétrico de Mann-Whitney. Além de servir para dados que não têm distribuição aproximadamente normal, ele compara amostras independentes (diferentes). O teste compara a hipótese de que as medianas são iguais, contra a hipótese de que são diferentes. A extensão do teste é o teste de Kruskal-Wallis, que compara mais de dois leitos ao mesmo tempo. Ou seja, ele testa a hipótese nula de que LC, LCA1 e LCA2 sejam estatisticamente iguais para uma determinada variável, nos valores de mediana; contra a hipótese de que algum dos três é diferente em mediana, mas não indica quais dos leitos são diferentes especificamente.

Os testes não paramétricos comparam as medianas de cada leito por variável. Ao organizar os dados de forma crescente, é possível observar que a mediana é o valor que divide os resultados organizados pela metade. Dessa forma, 50% dos valores da amostra são maiores do que a mediana, e metade dos valores são menores do que a mediana. Ela é melhor do que a média porque os valores extremos (muito grandes ou pequenos) não influenciam em seu valor. É a representação de onde metade dos dados chegaram. Se os p-valores dos testes são iguais ou inferiores a 0,05, indicam que há diferença estatística significativa a nível 5% entre leitos.

Para a comparação da eficiência de retenção dos poluentes e nutrientes nos LC foram utilizados gráficos *boxplot* (gráficos de caixa), pois esses gráficos dão idéia de posição, assimetria, dispersão e dados discrepantes, ou seja, neles é possível comparar visualmente o valor médio, máximo e mínimo atingido por cada leito cultivado (BUSSAB, et al. 2012). Além disso, foi possível visualizar os valores máximos e mínimos dentro e fora dos limites inferior e superior, que são chamados de pontos exteriores porque são informações discrepantes das demais, que podem ou não ser valores atípicos, também chamados de *outliers*, que podem ou não ser produto de um erro estatístico, de observação ou de arredondamento (BUSSAB, et al. 2012).



## 5. RESULTADOS

### 5.1. Dados meteorológicos

Na Tabela 3 é possível observar os dados climáticos médios diários do período de amostragem e coleta de esgoto.

**Tabela 3. Dados climáticos médios diários referentes aos dias de monitoramento dos LC nos meses de agosto e setembro de 2013.**

Data	Radiação solar incid. (kW.m <sup>-2</sup> )*	Umidade relativa (%)*	Temp. ar média (°C)*	Precipitação (mm.dia <sup>-1</sup> )**
<b>Agosto/2013</b>				
18/ago	0	75,1	17,3	2,3
19/ago	21,5	78,4	17,6	1,0
20/ago	1,2	67,0	18,9	1,0
21/ago	42,9	59,4	19,9	1,0
22/ago	12,5	57,0	22,0	1,0
23/ago	163	56,6	22,9	1,0
24/ago	235,9	60,8	22,7	1,0
25/ago	252,4	50,0	23,5	1,0
26/ago	1,3	65,7	20,5	1,0
27/ago	0	87,4	11,9	3,8
28/ago	19,2	73,6	715,8	1,0
29/ago	204,5	64,2	16,9	1,0
30/ago	88,5	53,6	20,0	1,0
<b>Setembro/2013</b>				
8/set	226,6	55,8	21,9	0,0
9/set	239,3	53,5	22,5	0,0
10/set	225,5	53,2	23,2	0,0
11/set	251,7	57,8	23,1	0,0
12/set	232,4	52,2	22,6	0,0
13/set	281,5	46,6	23,1	0,0
14/set	290,2	45,0	23,3	0,0
15/set	252,8	45,6	24,4	0,0
16/set	254,9	52,6	24,4	1,0
17/set	71,6	97,4	18,5	15,2
18/set	203,9	87,8	19,6	0,0
19/set	216,3	81,6	21,1	0,3
20/set	252,5	70,8	24,5	0,0
21/set	248,0	57,6	26,8	0,0
22/set	86,7	70,2	25,0	0,8
23/set	110,7	77,8	22,0	1,3
24/set	0,0	84,3	18,9	0,0
25/set	288,2	69,9	15,7	0,0
26/set	381,5	67,7	15,4	0,0
27/set	252,5	62,9	17,5	0,0

\* dados médios diários

\*\* somatória dos dados diários

## 5.2. Tempo de detenção hidráulica (TDH)

De acordo com os resultados obtidos por Kletecke (2011) o volume útil calculado para estes leitos cultivados foi de 50%, ou seja, a brita presente nos leitos ocupa 50% do volume total do leito. Sendo assim, a capacidade total do LC e do LCA1 que era de 2.500 L cada, apresenta um volume útil de 1.250 L; já para o LCA2 que possui capacidade total de 2.100 L, calculou-se um volume útil de 1.050 L.

## 5.3. Caracterização afluyente da água residuária

Para caracterizar o esgoto afluyente aos leitos cultivados foram calculadas as médias com seus respectivos desvios-padrão de todos os parâmetros que foram monitorados na entrada dos leitos cultivados: pH, temperatura, concentração de oxigênio dissolvido (OD), de cor, turbidez, demanda química de oxigênio (DQO), nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total Kjeldahl (NTK) e de fósforo total no período estudado 19 de agosto à 27 de setembro de 2013. Na Tabela 4 estão apresentados estes valores.

**Tabela 4. Caracterização do esgoto afluyente aos leitos cultivados no período estudado.**

Escala horária		
Parâmetro	Média	Desvio-padrão
pH	8,1	0,7
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	1,2	2,0
Temperatura (°C)	24,4	3,3
Escala diária		
Parâmetro	Média	Desvio-padrão
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	206,5	85,3
Cor (mg.L <sup>-1</sup> PtCo)	461,2	180,7
Turbidez (NTU)	50,4	22,4
Nitrito (mg.L <sup>-1</sup> )	3,0	1,5
Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	0,6	0,6
Nitrogênio amoniacal (mg.L-1)	94,2	17,7
Nitrogênio total Kjeldahl (mg.L-1)	98,8	18,5
Fósforo total (mg.L-1)	4,7	0,9

## 5.4. Comportamento do Leito Controle (LC) – Brita

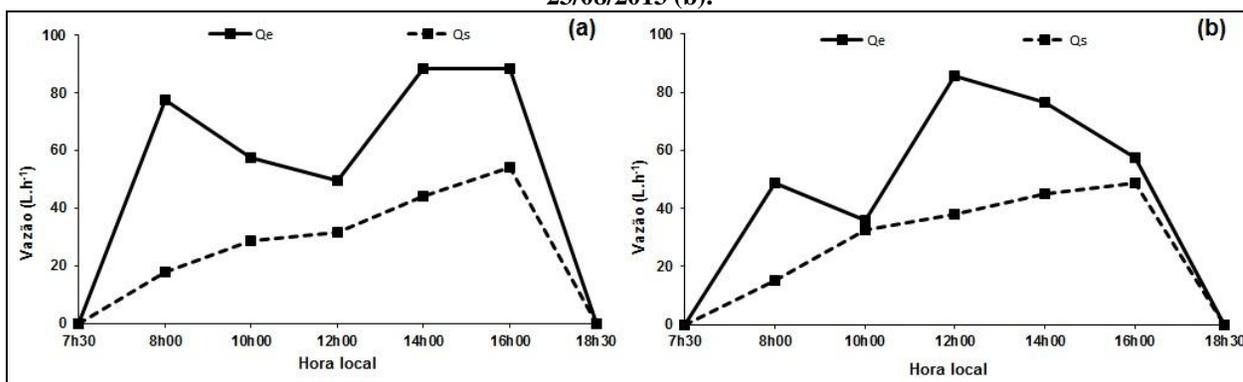
### 5.4.1. Monitoramento da quantidade de água residuária

#### 5.4.1.1. Vazão (Q) – escala horária

No primeiro período contínuo estudado, a vazão máxima e mínima registrada na entrada do leito controle foi de  $132,3 \text{ L.h}^{-1}$  às 16 horas do dia 20/08/13, e  $36,0 \text{ L.h}^{-1}$  às 10 horas do dia 23/08/13, respectivamente. A vazão máxima registrada na saída do LC, também no dia 20/08/13 às 16 horas foi de  $72,0 \text{ L.h}^{-1}$ , enquanto que a vazão mínima de saída registrada também aconteceu no dia 23/08/13, só que às 08 horas, e foi  $15,3 \text{ L.h}^{-1}$ .

Na Figura 18 estão apresentadas as dinâmicas horárias das vazões de entrada ( $Q_e$ ) e de saída ( $Q_s$ ) no LC, nos dias 22/08/13 (Figura 18a) e 23/08/13 (Figura 18b). Foram escolhidas estas datas específicas para serem apresentadas graficamente para que possa ser visualizada a diminuição da vazão de esgoto que ocorre às sextas-feiras (23/08/2013, Figura 18b), devido à diminuição da quantidade de alunos na faculdade pela proximidade do final de semana.

Figura 18. Vazão horária de entrada ( $Q_e$ ) e saída ( $Q_s$ ) no Leito Controle para os dias 22/08/2013 (a) e 23/08/2013 (b).

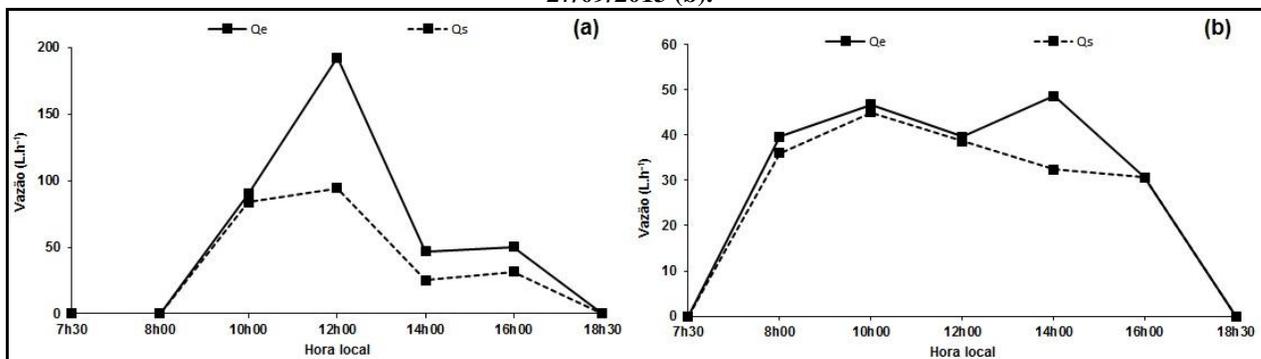


Tanto na Figura 18a quanto na 18b, observa-se que a vazão efluente do LC tende a aumentar durante o dia, tendo às 16 horas seu ponto máximo. A maior diferença entre as vazões de entrada e saída no dia 22/08/13 foi de  $59,4 \text{ L.h}^{-1}$  às 8 horas (Figura 18a), dia em que o volume evapotranspirado calculado foi de  $346,5 \text{ L.dia}^{-1}$ , correspondendo a uma altura de lâmina d'água evaporada de  $75,3 \text{ mm.dia}^{-1}$ , com TDH calculado de 1,7 dias. Já para o dia 23/08/13 o TDH foi

2,0 dias, e a maior diferença entre as vazões de entrada e saída ocorreu às 12 horas, com  $47,7 \text{ L.h}^{-1}$  (Figura 18b). Neste dia o volume evapotranspirado foi  $241,9 \text{ L.dia}^{-1}$ , correspondendo à evapotranspiração de  $52,6 \text{ mm.dia}^{-1}$ .

As dinâmicas horárias das vazões de entrada ( $Q_e$ ) e de saída ( $Q_s$ ) no LC, nos dias 26/09/13 (Figura 19a) e 27/09/13 (Figura 19b) estão apresentadas na Figura 19. Foram escolhidas estas datas específicas para serem apresentadas graficamente por serem os dois últimos dias de coleta de esgoto, e também por serem quinta e sexta-feira, podendo mais uma vez ser visualizada a diminuição da vazão de esgoto que ocorre às sextas-feiras (27/09/2013, Figura 19b), devido à diminuição da quantidade de alunos na faculdade pela proximidade do final de semana.

**Figura 19. Vazão horária de entrada ( $Q_e$ ) e saída ( $Q_s$ ) no Leito Controle para os dias 26/09/2013 (a) e 27/09/2013 (b).**



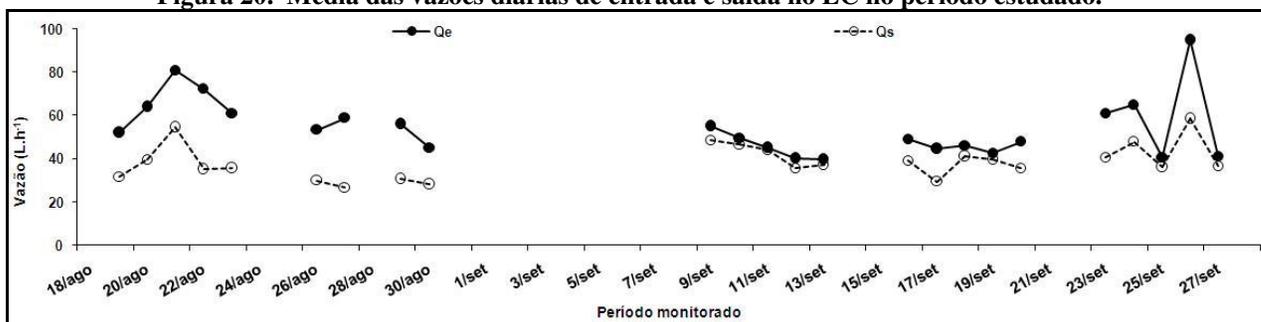
A vazão máxima e mínima registrada na entrada do leito controle no segundo período contínuo estudado foi de  $192,6 \text{ L.h}^{-1}$  às 12 horas do dia 26/09/13 (Figura 19a), e  $25,2 \text{ L.h}^{-1}$  às 10 horas dos dias 11 e 13/09/13, respectivamente. A vazão máxima registrada na saída do LC ocorreu às 14 horas do dia 09/09/13 ( $101,7 \text{ L.h}^{-1}$ ), e a mínima vazão de saída registrada foi  $22,5 \text{ L.h}^{-1}$  às 14 horas do dia 17/09/13.

Às 8 horas do dia 26/09/13 (Figura 19a) não tinha vazão de esgoto na faculdade, por esse motivo este dado não foi apresentado. Às 12 horas do mesmo dia ocorreu a maior diferença entre as vazões de entrada e saída do LC, com  $98,1 \text{ L.h}^{-1}$ ; neste dia a evapotranspiração calculada foi de  $319,7 \text{ L.dia}^{-1}$ , com TDH de 1,6 dias e altura da lâmina d'água evaporada de  $69,5 \text{ mm.dia}^{-1}$ . Enquanto que a maior diferença entre as vazões registrada no dia 27/09/13 foi de  $16,2 \text{ L.h}^{-1}$  às 14 horas, com TDH de 3,0 dias, evapotranspiração calculada de  $45,9 \text{ L.dia}^{-1}$  e altura da lâmina d'água evaporada de  $10,0 \text{ mm.dia}^{-1}$ .

### 5.4.1.2. Vazão (Q) – escala diária

Na Figura 20 está apresentada a vazão média diária de entrada e saída do LC no período de 19/08/13 à 27/09/13. Os dias 18, 24, 25 e 31/08/13 não apresentam dados por serem finais de semana. O dia 28/08/13 não apresenta dados porque ocorreu entupimento na entrada do esgoto, antes da caixa de areia, o que comprometeu a coleta diária. A vazão média máxima de entrada e saída ocorreram no dia 26/09/13, com  $Q_e = 95,0 \text{ L.h}^{-1}$  e  $Q_s = 58,7 \text{ L.h}^{-1}$ , enquanto que a vazão mínima de entrada e saída aconteceram nas sextas-feiras 13/09/13 ( $Q_e = 39,8 \text{ L.h}^{-1}$ ) e 20/09/13 ( $Q_s = 35,5 \text{ L.h}^{-1}$ ).

Figura 20. Média das vazões diárias de entrada e saída no LC no período estudado.



Observa-se que as vazões de entrada são baixas nas segundas-feiras ( $52,2 \text{ L.h}^{-1}$  e  $53,3 \text{ L.h}^{-1}$  nos dias 19 e 26/08/13, respectivamente) e vão aumentando suavemente até seu ponto máximo na quarta-feira ( $Q_e = 80,8 \text{ L.h}^{-1}$  - 21/08/13) e então começam a cair gradativamente, até apresentarem baixa vazão nas sextas-feiras ( $60,8 \text{ L.h}^{-1}$  e  $45,0 \text{ L.h}^{-1}$  nos dias 23 e 30/08/13, respectivamente). Nas segundas-feiras as vazões são baixas porque a faculdade não funciona regularmente aos finais de semana, tendo vazão de esgoto aproximadamente  $0 \text{ L.h}^{-1}$ , então no primeiro dia da semana quando o esgoto volta a ser produzido, ele demora a chegar nos LC pois tem que passar antes pelos tratamentos primário e secundário.

Na terça-feira o sistema já está quase estabilizado, e na quarta-feira a faculdade e o sistema estão funcionando à “pleno vapor”, o que justifica a vazão máxima semanal neste dia. Na quinta-feira a vazão começa a cair devido à chegada do fim de semana, e na sexta-feira cai significativamente – o que justifica baixas vazões de esgoto às sextas-feiras. Pode-se observar que as vazões de saída do LC acompanham graficamente as vazões de entrada.

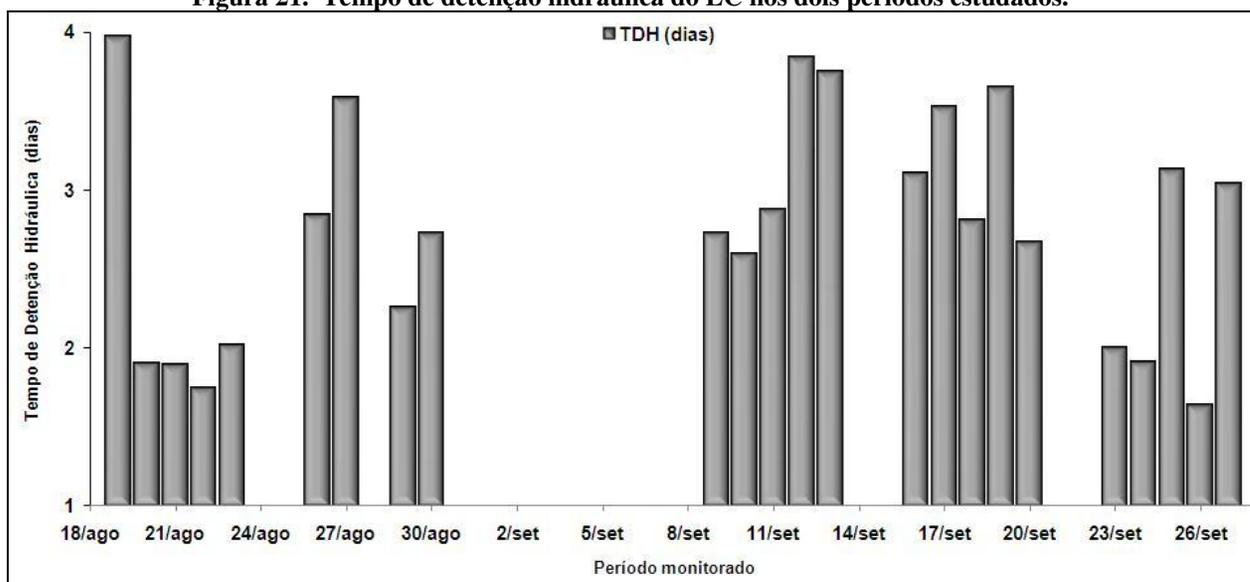
### 5.4.1.3. Tempo de detenção hidráulica (TDH) e evapotranspiração

Na Tabela 5 estão apresentados os valores do tempo de detenção hidráulica (TDH), taxa de evapotranspiração e lâmina d'água evaporada com suas respectivas médias e desvios-padrão, dos dois períodos contínuos (19/08/13 à 30/08/13 e 09/09/13 à 27/09/13). A taxa de evapotranspiração foi dada pela diferença do volume total de esgoto diário da entrada, menos da saída do LC. Na Tabela 08 observa-se que a média do TDH foi  $2,6 \pm 0,7$  dias, valores satisfatórios tendo em vista que o objetivo era manter o TDH entre 2 – 3 dias durante o experimento. Na Figura 21 está apresentado o gráfico do TDH do LC nos dois períodos contínuos estudados.

**Tabela 5. Tempo de detenção hidráulica, taxa de evapotranspiração e lâmina d'água evaporada no LC.**

<b>Data</b>	<b>TDH (dias)</b>	<b>Taxa de evapotranspiração (L.dia<sup>-1</sup>)</b>	<b>Lâmina d'água evaporada (mm.dia<sup>-1</sup>)</b>
19/ago	3,7	132,2	28,7
20/ago	1,8	261,4	56,8
21/ago	1,8	225,0	48,9
22/ago	1,6	369,9	80,4
23/ago	1,9	252,5	54,9
26/ago	2,7	202,7	44,1
27/ago	3,3	195,2	42,4
29/ago	2,1	247,2	53,7
30/ago	2,6	169,1	36,8
9/set	2,6	56,7	12,3
10/set	2,5	24,9	5,4
11/set	2,7	8,5	1,8
12/set	3,6	40,5	8,8
13/set	3,6	21,8	4,7
16/set	3,0	85,7	18,6
17/set	3,3	124,2	27,0
18/set	2,7	40,9	8,9
19/set	3,5	20,5	4,5
20/set	2,5	124,5	27,1
23/set	1,9	217,6	47,3
24/set	1,8	187,2	40,7
25/set	3,0	48,2	10,5
26/set	1,6	326,0	70,9
27/set	2,9	46,8	10,2
<b>Média total</b>	<b>2,6</b>	<b>142,9</b>	<b>31,1</b>
<b>Desvio-padrão</b>	<b>0,7</b>	<b>105,4</b>	<b>22,9</b>

**Figura 21. Tempo de detenção hidráulica do LC nos dois períodos estudados.**

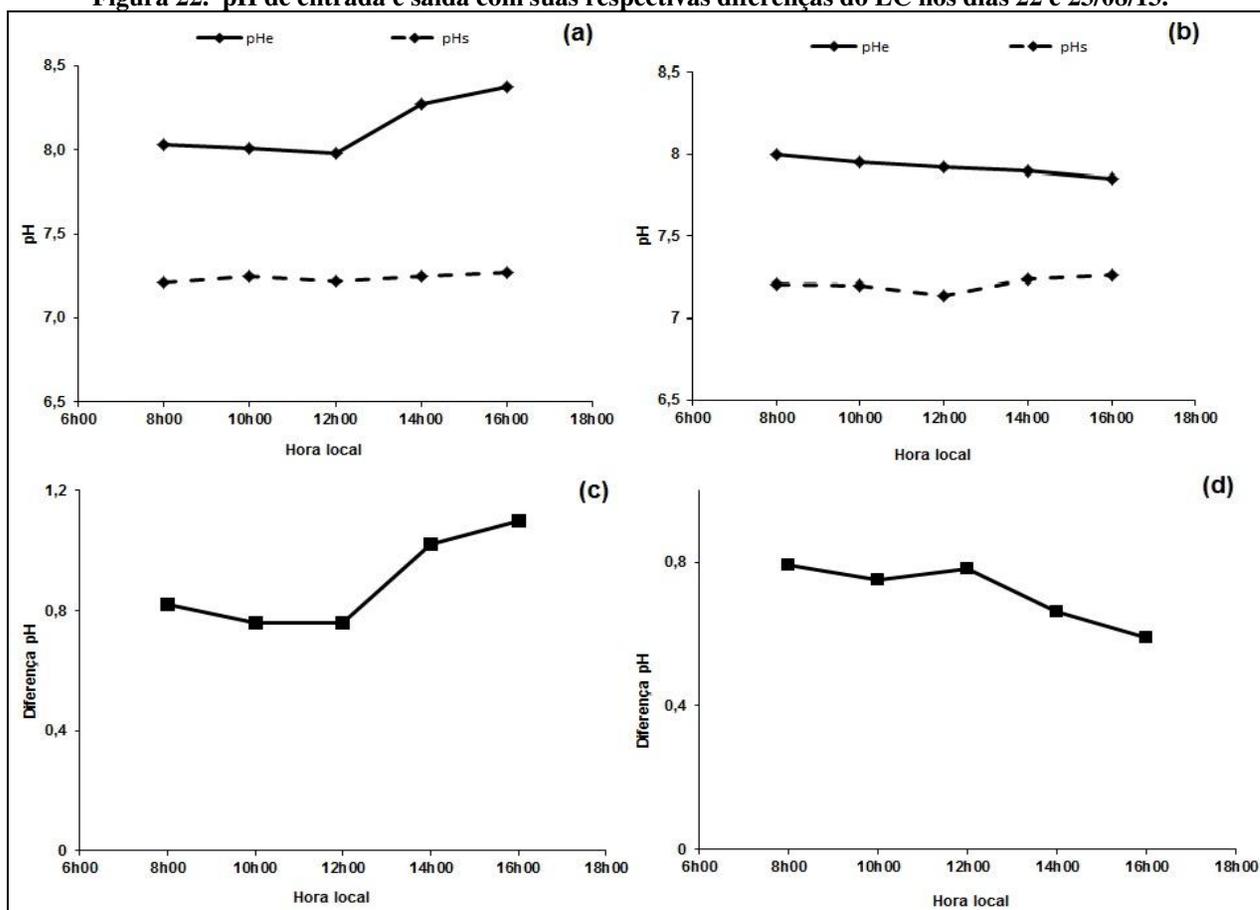


## 5.4.2. Monitoramento da qualidade da água residuária

### 5.4.2.1. Potencial hidrogeniônico (pH) – escala horária

Na Figura 22 estão apresentadas as medidas horárias do pH de entrada (pHe) e de saída (pHs) no LC, nos dias 22/08/13 (Figura 22a) e 23/08/13 (Figura 22b). As Figuras 22c e 22d apresentam as diferenças horárias entre o pH de entrada e saída no LC nos dias 22/08/13 e 23/08/13, respectivamente. Observa-se na Figura 22c que o gráfico da diferença de pH acompanha a linha de pHe da Figura 22a. Já a diferença entre o pH de entrada e saída do dia 23/08/13 tem uma maior oscilação (Figura 22d).

Figura 22. pH de entrada e saída com suas respectivas diferenças do LC nos dias 22 e 23/08/13.



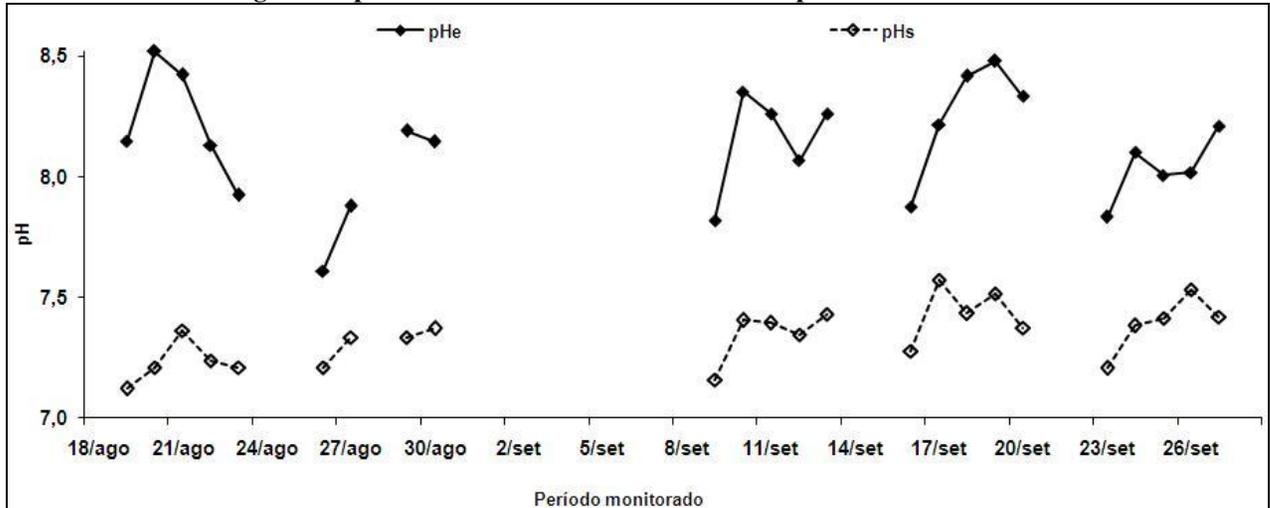
A média das diferenças do pH de entrada e saída no dia 22/08/13 foi  $0,9 \pm 0,2$  e no dia 23/08/13 foi  $0,7 \pm 0,1$ . O pH máximo e mínimo na entrada do LC registrados no período estudado (19/08 à 30/08/13 e 09/09 à 27/09/13) foram 8,83 às 16 horas de 19/09/13 e 7,56 às 14 horas de 26/09/13. Na saída do LC o pH máximo registrado foi 7,67 às 12 horas de 26/09/13 e o mínimo foi 7,06 às 12 horas de 19/08/2013.

#### 5.4.2.2. Potencial hidrogeniônico (pH) – escala diária

Na Figura 23 estão apresentadas as médias do pH de entrada e saída no Leito Controle no período de 19/08/13 à 27/09/13. A maior diferença entre o pH médio de entrada e de saída (1,31) ocorreu no dia 20/08/13 com valores de 8,52 (entrada) e 7,21 (saída), enquanto que a menor diferença foi de 0,4 no dia 26/08/13, com valores de 7,61 (entrada) e 7,21 (saída). Em todos os dias monitorados houve redução do pH, se tornando menos alcalino e mais próximo da

neutralidade.

**Figura 23. pH médio de entrada e saída no LC no período monitorado.**

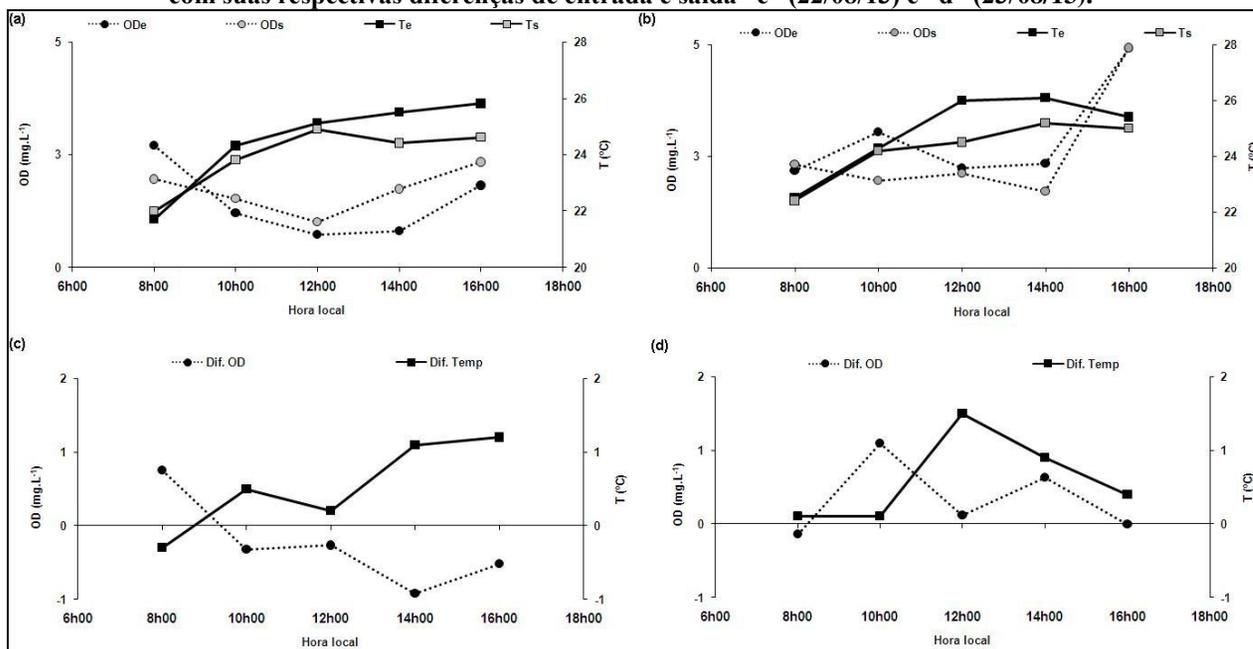


#### 5.4.2.3. Oxigênio Dissolvido (OD) e temperatura – escala horária

Na Figura 24 estão apresentadas as medidas horárias do OD de entrada (ODe) e de saída (ODs) no Leito Controle, nos dias 22/08/13 (Figura 24a) e 23/08/13 (Figura 24b). As Figuras 24c e 24d apresentam as diferenças horárias entre o OD e a temperatura de entrada e saída no LC nos dias 22/08/13 e 23/08/13, respectivamente.

A diferença média entre o oxigênio dissolvido de entrada e saída no LC no dia 22/08/13 foi de  $-0,3 \pm 0,6$ , enquanto que da temperatura foi de  $0,5 \pm 0,6$  – a média das diferenças dos dois parâmetros apresentam o mesmo desvio-padrão. Já para o dia 23/08/13 a média das diferenças dos valores de OD foi  $0,3 \pm 0,5$  e de temperatura foi  $0,6 \pm 0,6$ . Observa-se na Figura 24c que o gráfico da diferença de temperatura acompanha o gráfico da diferença de OD, só que um deles no eixo positivo e outro no eixo negativo. Já o Figura 24d apresenta similaridade apenas às 14 e 16 horas.

**Figura 24. Oxigênio dissolvido e temperatura afluente e efluente ao LC nos dias 22/08/13 (a) e 23/08/13 (b) com suas respectivas diferenças de entrada e saída “c” (22/08/13) e “d” (23/08/13).**



O OD máximo e mínimo na entrada do LC registrados no período estudado (19/08 à 30/08/13 e 09/09 à 27/09/13) foram 13,7 mg.L<sup>-1</sup> às 12 horas de 27/08/13, com temperatura do esgoto de 18,1 °C (segunda menor temperatura registrada na entrada do LC no período estudado), enquanto que o mínimo foi 0,08 mg.L<sup>-1</sup> às 16 horas de 20/09/13 e às 14 e 16 horas de 26/09/2013, com temperaturas de 26,6 °C no dia 20/09/13 e de 24,3 °C no dia 26/09/13, respectivamente. A temperatura máxima de entrada registrada no LC no período estudado ocorreu nos dias 09/09 e 16/09/13 às 14 e 12 horas, respectivamente, com 29,3°C; a mínima registrada foi de 16,8 °C às 08 horas do dia 19/08/13.

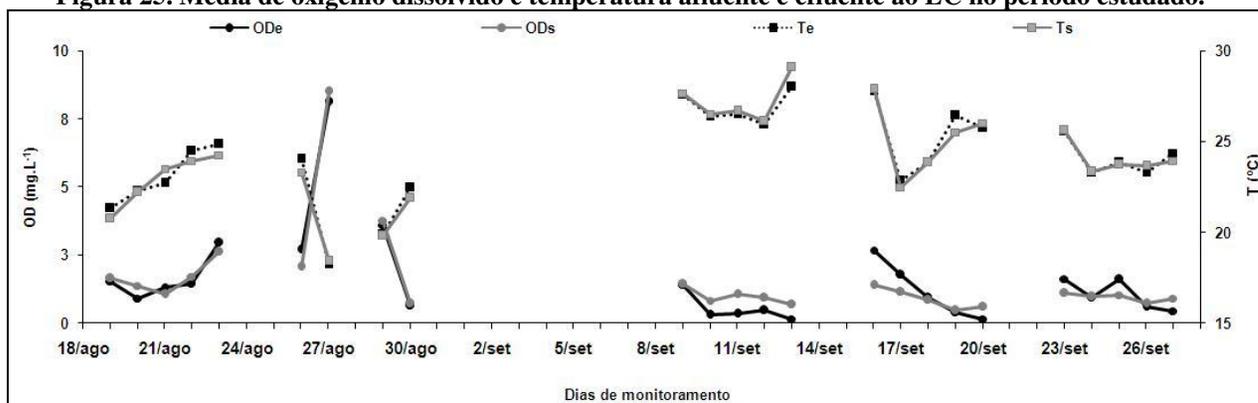
Na saída do LC o OD máximo registrado foi 14,6 às 12 horas de 27/08/13 com temperatura de 18,4 °C (terceira menor temperatura de saída do período), e o OD mínimo foi 0,08 às 14 horas de 26/09/2013, com temperatura de 24,0°C. A temperatura máxima de saída no período estudado ocorreu às 14 horas do dia 13/09/13 (30,9 °C), e a mínima foi de 18,0°C às 8 horas do dia 29/08/13.

#### 5.4.2.4. Oxigênio Dissolvido (OD) e temperatura – escala diária

Na Figura 25 estão apresentadas as médias diárias de entrada e saída de oxigênio dissolvido, e

a temperatura do esgoto nos leitos cultivados. Observa-se no primeiro período contínuo estudado, especificamente no dia 27/08/13, como a baixa da temperatura aumenta o oxigênio dissolvido. Esses fatores podem ser observados em todo o primeiro período. No segundo período contínuo é possível observar que as médias das temperaturas do esgoto foram mais baixas que no primeiro, e as concentrações de oxigênio dissolvido foram mais altas, em geral.

**Figura 25. Média de oxigênio dissolvido e temperatura afluente e efluente ao LC no período estudado.**



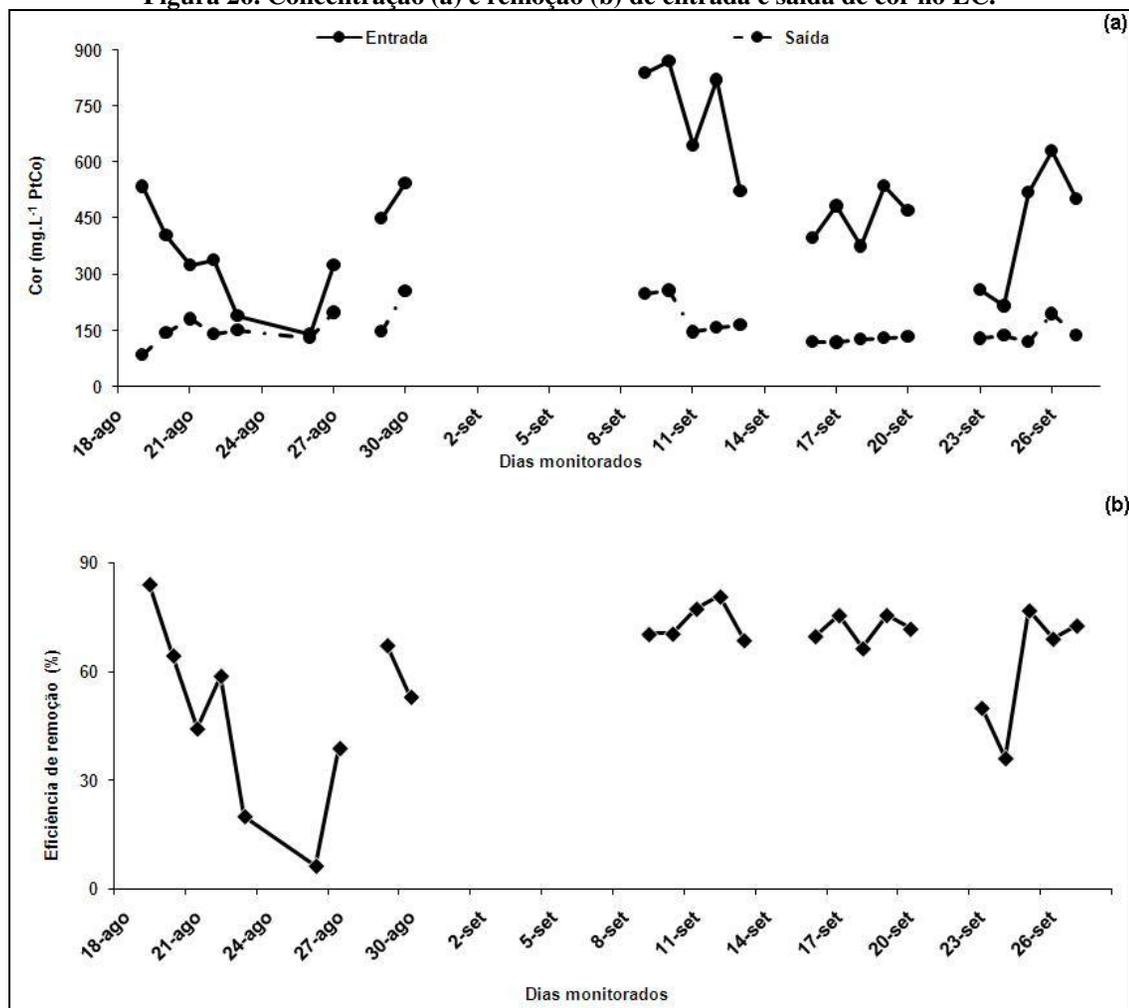
A média máxima e mínima de OD registrados no LC no período estudado (19/08 à 30/08/13 e 09/09 à 27/09/13) foram 8,14 mg.L<sup>-1</sup> no dia 27/08/13, e 0,16 mg.L<sup>-1</sup> nos dias 13/09 e 20/09/13. Na saída do LC o OD máximo registrado foi 8,50 mg.L<sup>-1</sup> também no dia 27/08/13, e 0,46 mg.L<sup>-1</sup> no dia 19/09/13. A temperatura média máxima de entrada registrada foi 28,0 °C no dia 13/09/13 (mesmo dia em que foi registrado um valor mínimo de OD), e 18,3 °C no dia 27/08/13, dia em que foram registrados valores máximos de OD. Já na saída do LC foi registrado 29,1 °C no dia 13/09/13, mesmo dia em que foi registrado um valor mínimo de OD, e 18,4 °C no dia 27/08/13, dia em que foram registrados valores máximos de OD. Esses dados evidenciam a relação existente entre os parâmetros OD e temperatura.

#### 5.4.2.5. Cor

Na Figura 26 estão apresentados os gráficos de entrada e saída de concentração de cor no LC (Figura 26a) e de remoção de cor (Figura 26b) no período monitorado. A maior concentração de cor afluente ao LC ocorreu no dia 10/09/13 com 870 mg.L<sup>-1</sup> PtCo, enquanto que a menor foi 140 mg.L<sup>-1</sup> PtCo no dia 26/08/13. Na saída do LC a maior concentração foi 257 mg.L<sup>-1</sup> PtCo

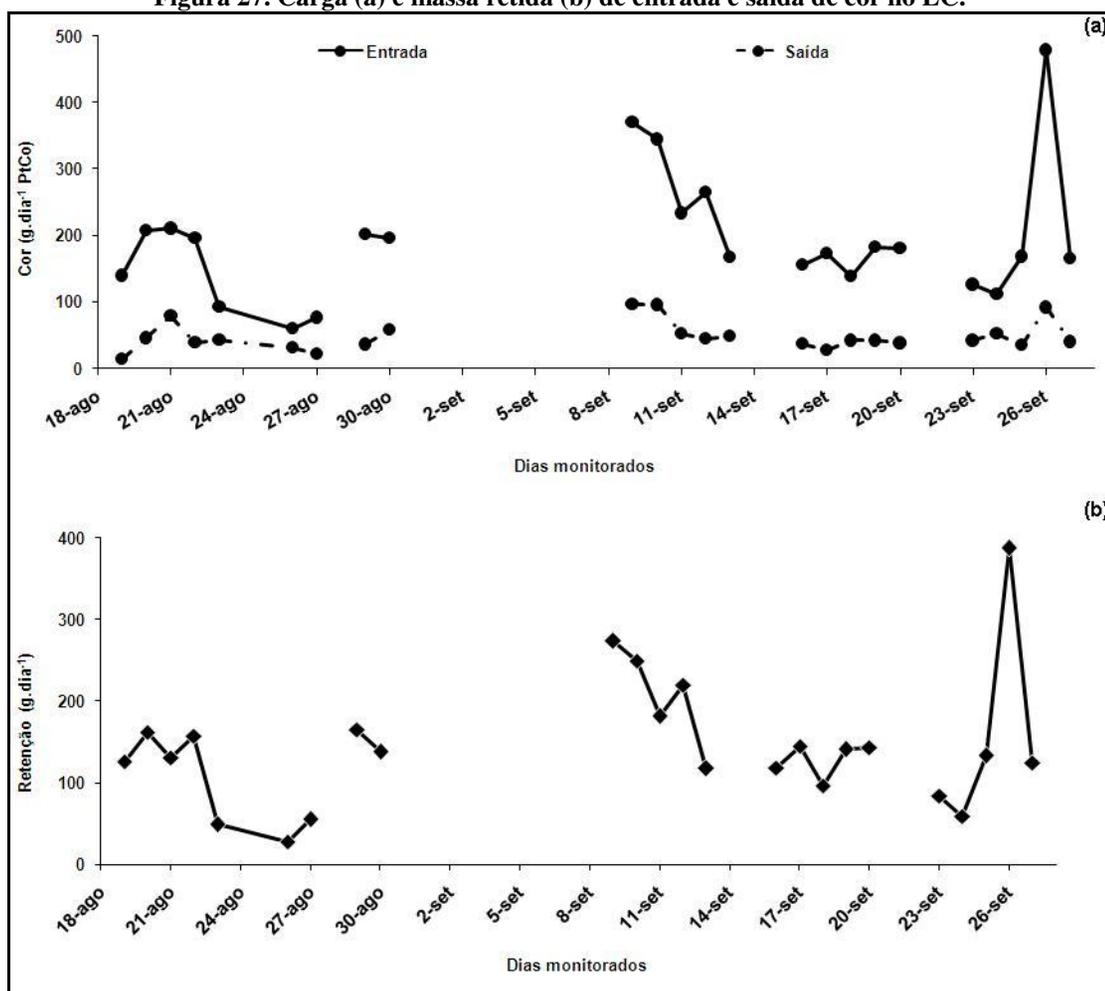
também no dia 10/09/13, e a menor foi 85 mg.L<sup>-1</sup> PtCo no dia 19/08/13. A maior porcentagem de remoção de cor em mg.L<sup>-1</sup> foi 84% no dia 19/08/13, e a menor remoção foi de 6% no dia 26/08/13.

**Figura 26. Concentração (a) e remoção (b) de entrada e saída de cor no LC.**



Na Figura 27 observa-se as cargas de cor (Figura 27a), e as diferenças entre as cargas de entrada e saída de cor (Figura 27b) no período monitorado. No dia 26/09/13 a maior carga de cor, 504 g.dia<sup>-1</sup> na entrada do LC, enquanto que a menor carga foi 65 g.dia<sup>-1</sup> no dia 26/08/13. A maior carga calculada na saída do LC foi 124 g.dia<sup>-1</sup> em 10/09/13, enquanto que 30 g.dia<sup>-1</sup> foi a menor carga obtida na saída deste leito em 17/09/13. A maior massa retida pelo LC foi 411 g.dia<sup>-1</sup> em 26/09/13 (penúltimo dia de amostragem) e a menor foi no dia 26/08/13 (6.º dia de amostragem), retendo apenas 31 g.dia<sup>-1</sup>. No período estendido, a carga de cor retida foi de 4,4 kg.

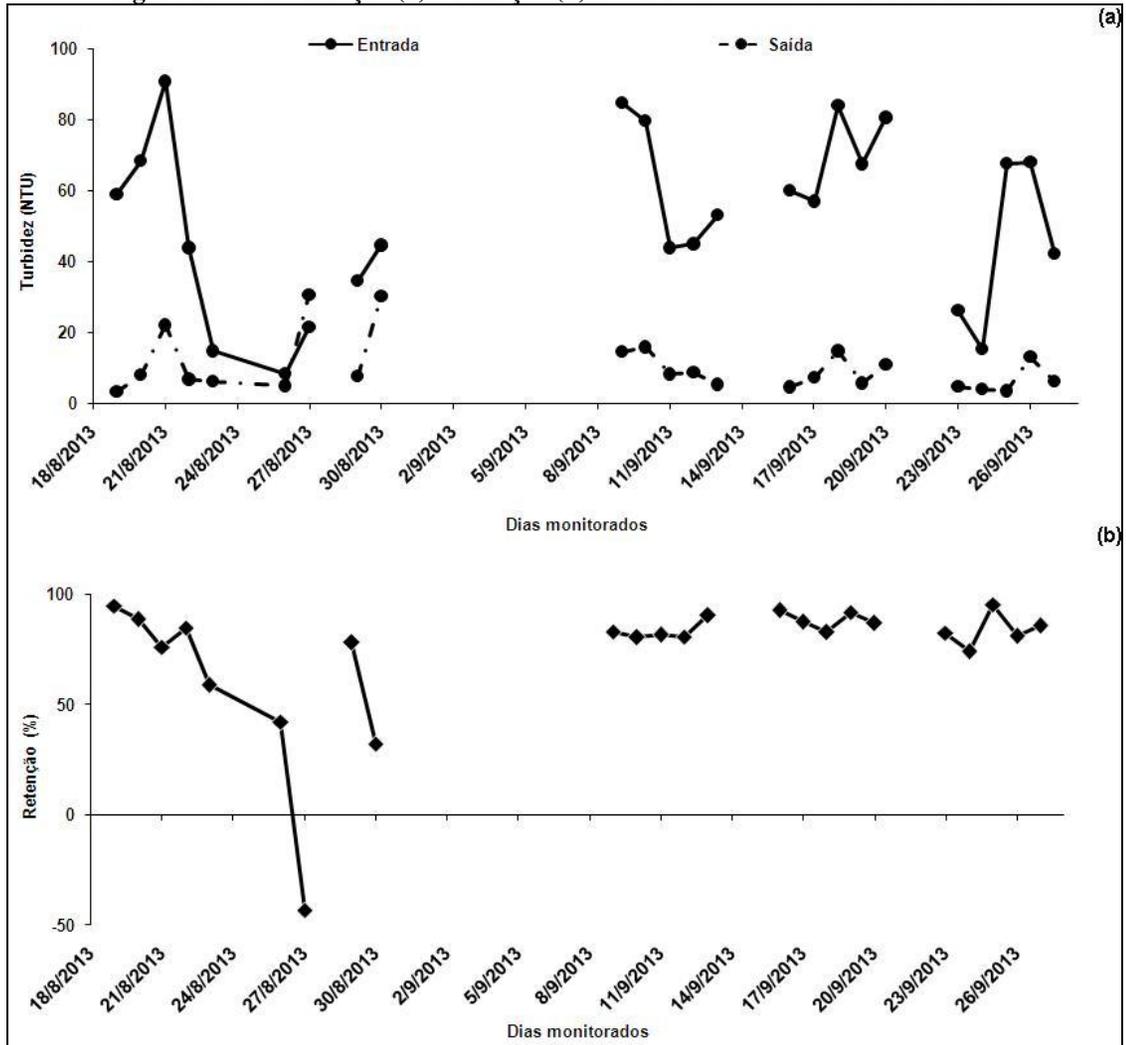
Figura 27. Carga (a) e massa retida (b) de entrada e saída de cor no LC.



#### 5.4.2.6. Turbidez

Na Figura 28 estão apresentados os gráficos de entrada e saída de turbidez no LC (Figura 28a) com suas respectivas porcentagens de remoção (Figura 28b). A maior turbidez observada na entrada do LC foi no dia 21/08/13 (91 NTU), e a menor foi 8 NTU no dia 26/08/13. A maior turbidez observada na saída do LC foi 30 NTU e ocorreu no dia 30/08/13, já a menor foi no dia 19/08/13, com 3 NTU. No mesmo dia foi observada a maior retenção de turbidez com 94%, enquanto que no dia 27/08/13 não houve retenção, e sim liberação de -43 NTU.

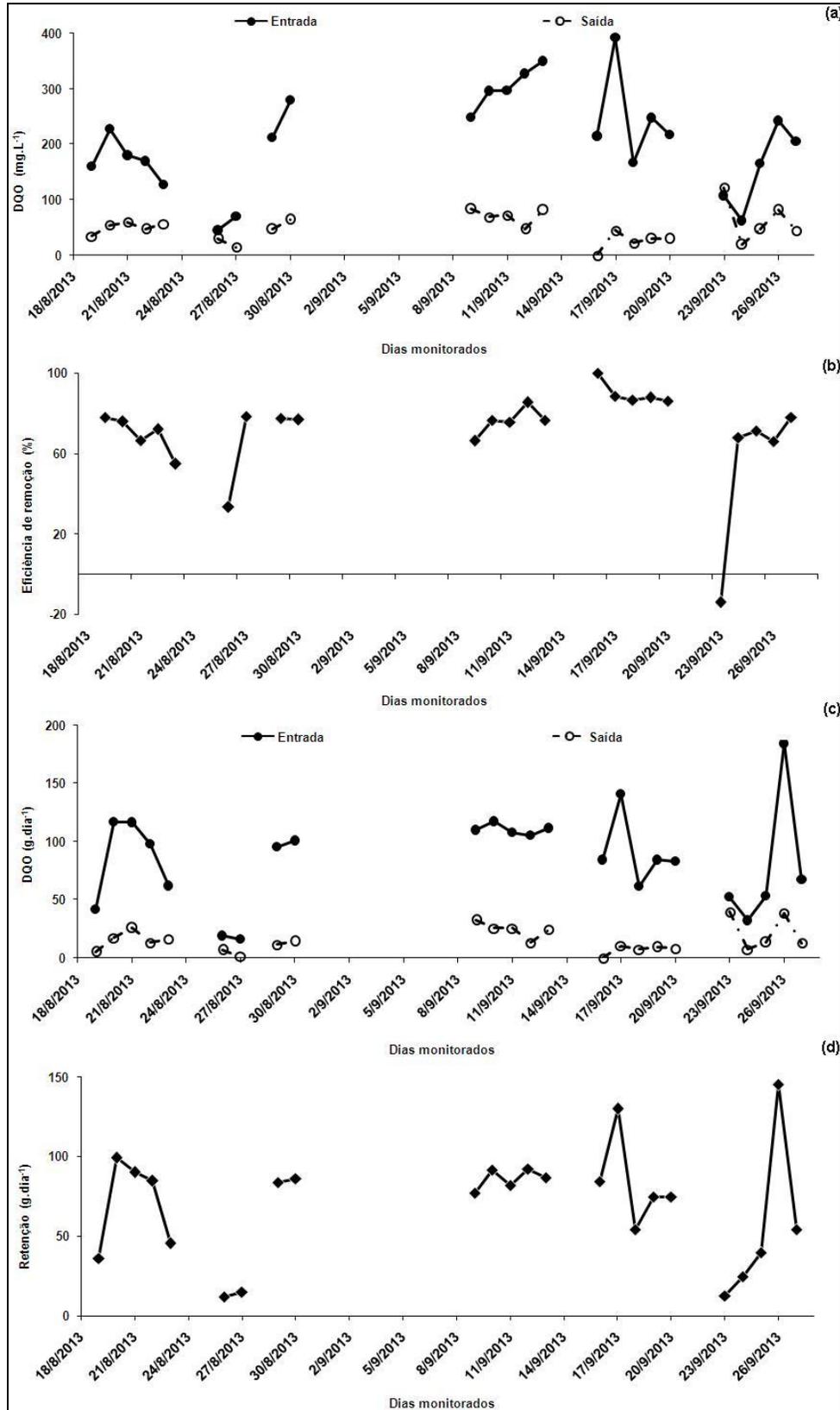
Figura 28. Concentração (a) e remoção (b) de entrada e saída de turbidez no LC.



#### 5.4.2.7. Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Na Figura 29 estão apresentados os gráficos de entrada e saída de DQO no LC em concentração ( $\text{mg.L}^{-1}$ , Figura 29a), em carga ( $\text{g.dia}^{-1}$ , Figura 29c), a remoção de DQO em  $\text{mg.L}^{-1}$  (Figura 29b) e as diferenças entre as cargas de entrada e saída de DQO (Figura 29d) no período monitorado.

Figura 29. Concentração (a), remoção (b), carga (c) e retenção em cargas (d) de entrada e saída de DQO no LC.



Observa-se no dia 26/09/13 a maior carga de DQO,  $194 \text{ g.dia}^{-1}$  na entrada do LC, enquanto que a menor carga foi  $21 \text{ g.dia}^{-1}$  no dia 26/08/13. A maior carga calculada na saída do LC foi  $53 \text{ g.dia}^{-1}$  em 23/09/13, enquanto que  $0 \text{ g.dia}^{-1}$  foi a menor carga obtida na saída deste leito no dia 16/09/13. No período estendido, a de DQO retida no LC foi 2,1 kg.

A maior massa retida pelo LC foi  $155 \text{ g.dia}^{-1}$  em 26/09/13 (penúltimo dia de amostragem) e a menor foi no dia 26/08/13 (6.º dia de amostragem, coincidindo com a menor retenção de cor), retendo apenas  $13 \text{ g.dia}^{-1}$ . A maior concentração de DQO afluente ao LC ocorreu no dia 17/09/13 com  $392,5 \text{ mg.L}^{-1}$ , enquanto que a menor foi  $45 \text{ mg.L}^{-1}$  no dia 26/08/13. Na saída do LC a maior concentração foi  $122,5 \text{ mg.L}^{-1}$  no dia 23/09/13, e a menor foi  $< 1 \text{ mg.L}^{-1}$  no dia 16/09/13. A maior percentagem de remoção de DQO em  $\text{mg.L}^{-1}$  foi 100% no dia 16/09/13, e a menor remoção foi de -14% no dia 23/09/13.

#### **5.4.2.8. Nitrito ( $\text{NO}^{2-}$ )**

Na Figura 30 estão apresentadas as concentrações de entrada e saída de  $\text{NO}^{2-}$  no LC (Figura 30a) com suas respectivas diferenças, no período monitorado. A maior concentração observada de nitrito no afluente do LC foi  $9 \text{ mg.L}^{-1}$  no dia 17/09/13, igualmente à maior concentração de saída observada durante o período,  $9 \text{ mg.L}^{-1}$  nos dias 17 e 27/9/13. A menor concentração de  $\text{NO}^{2-}$  afluente no LC ocorreu nos dias 26/08 e 10/09/13 com  $1 \text{ mg.L}^{-1}$ , e a menor concentração efluente foi  $2 \text{ mg.L}^{-1}$  nos dias 09, 11, 12 e 26/09/13.

Estão apresentadas na Figura 31 as cargas de entrada e saída de nitrito (Figura 31a) e as diferenças entre as cargas de entrada e saída de nitrito (Figura 31b) no período monitorado. A maior carga de entrada foi  $3,5 \text{ g.dia}^{-1}$  no dia 20/09/13, enquanto que a menor foi  $0,5 \text{ g.dia}^{-1}$ , nos dias em que houveram as menores concentrações de entrada (26/08 e 10/09/13). Na saída do LC a maior concentração foi  $3,4 \text{ g.dia}^{-1}$  no dia 27/09/13 e a menor  $0,6 \text{ g.dia}^{-1}$  em 12/09/13. No período estendido, a carga média retida de nitrito no LC foi 3,6 g.

Figura 30. Concentração (a) e diferenças (b) de entrada e saída de nitrito no LC.

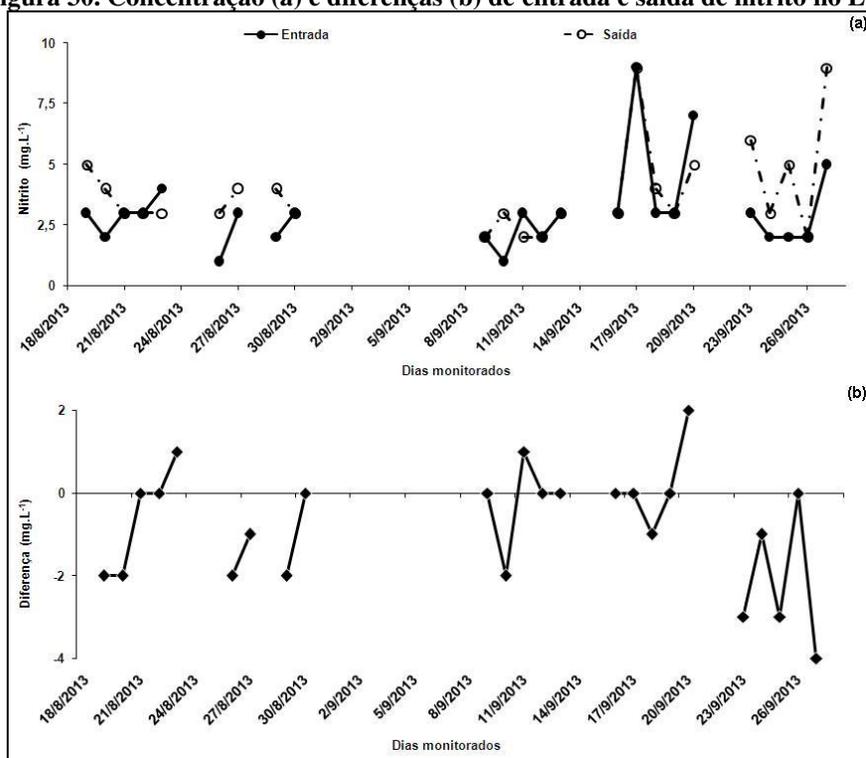
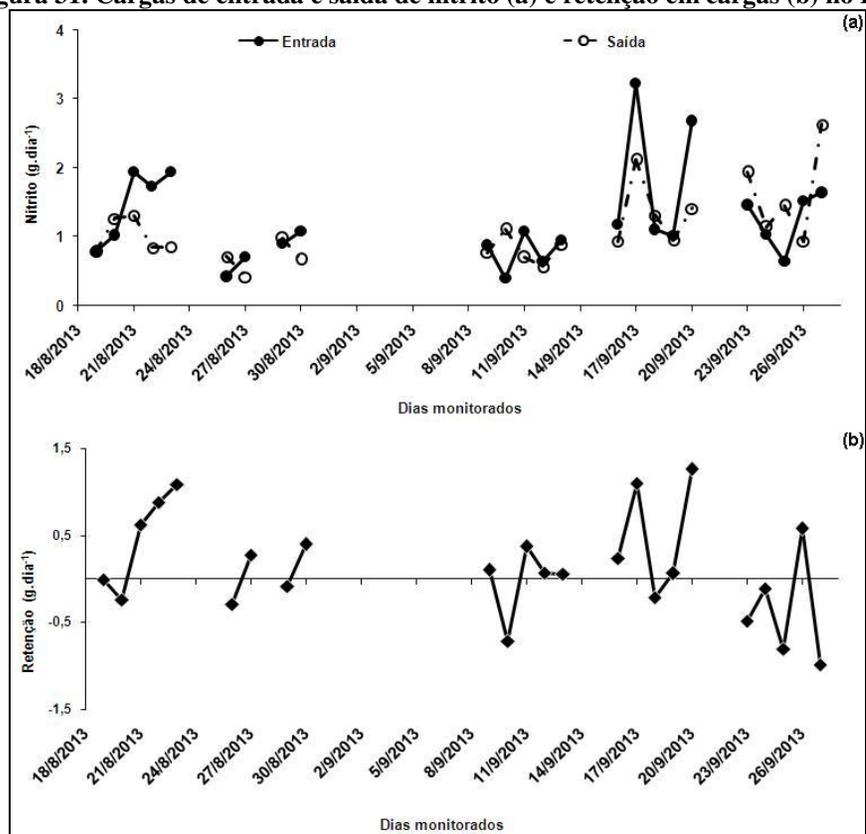


Figura 31. Cargas de entrada e saída de nitrito (a) e retenção em cargas (b) no LC.

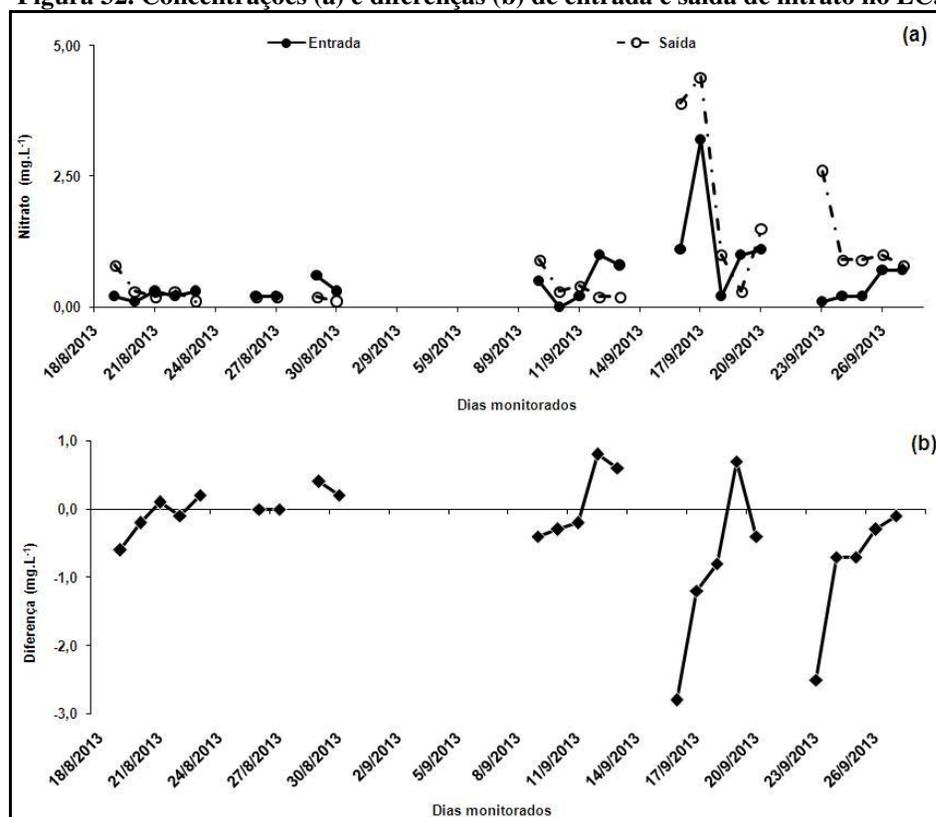


No período estudado em 12,5% dos casos houve remoção da concentração de nitrito, enquanto que em 45,9% dos casos houve acréscimo deste nutriente e em 41,6% não houve diferença entre o afluente e o efluente. Ao compararmos as diferenças entre as cargas de nitrito os resultados são mais favoráveis, pois em 58,3% dos casos houve remoção do nutriente, e em 41,7% dos casos houve acréscimo.

#### 5.4.2.9. Nitrato (NO<sub>3</sub>)

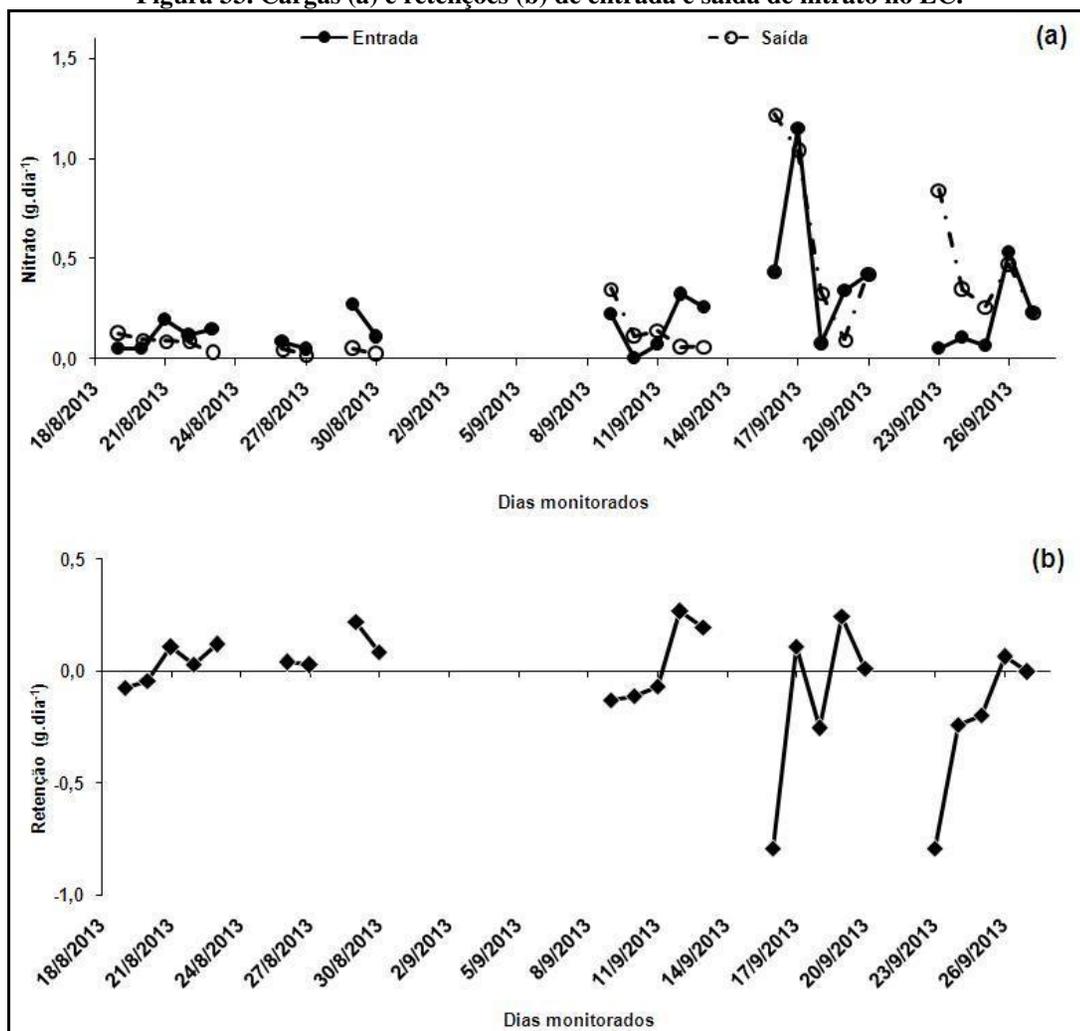
É possível observar na Figura 32 os gráficos da concentração de entrada e saída de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no LC em concentração (Figura 32a) e suas respectivas diferenças (Figura 32b). As maiores concentrações de nitrato na entrada e na saída do LC foram observadas no dia 17/09/13, com 3,2 mg.L<sup>-1</sup> e 4,4 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente. O menor valor observado na entrada foi 0 mg.L<sup>-1</sup> no dia 10/09/13, e na saída foi 0,1 mg.L<sup>-1</sup> nos dias 23 e 30/08/13. Em 29,2% dos casos houve remoção da concentração de nitrato no LC, em 62,5% dos casos houve nitrificação (acrécimo de nitrato) e em 8,3% não houve diferença.

Figura 32. Concentrações (a) e diferenças (b) de entrada e saída de nitrato no LC.



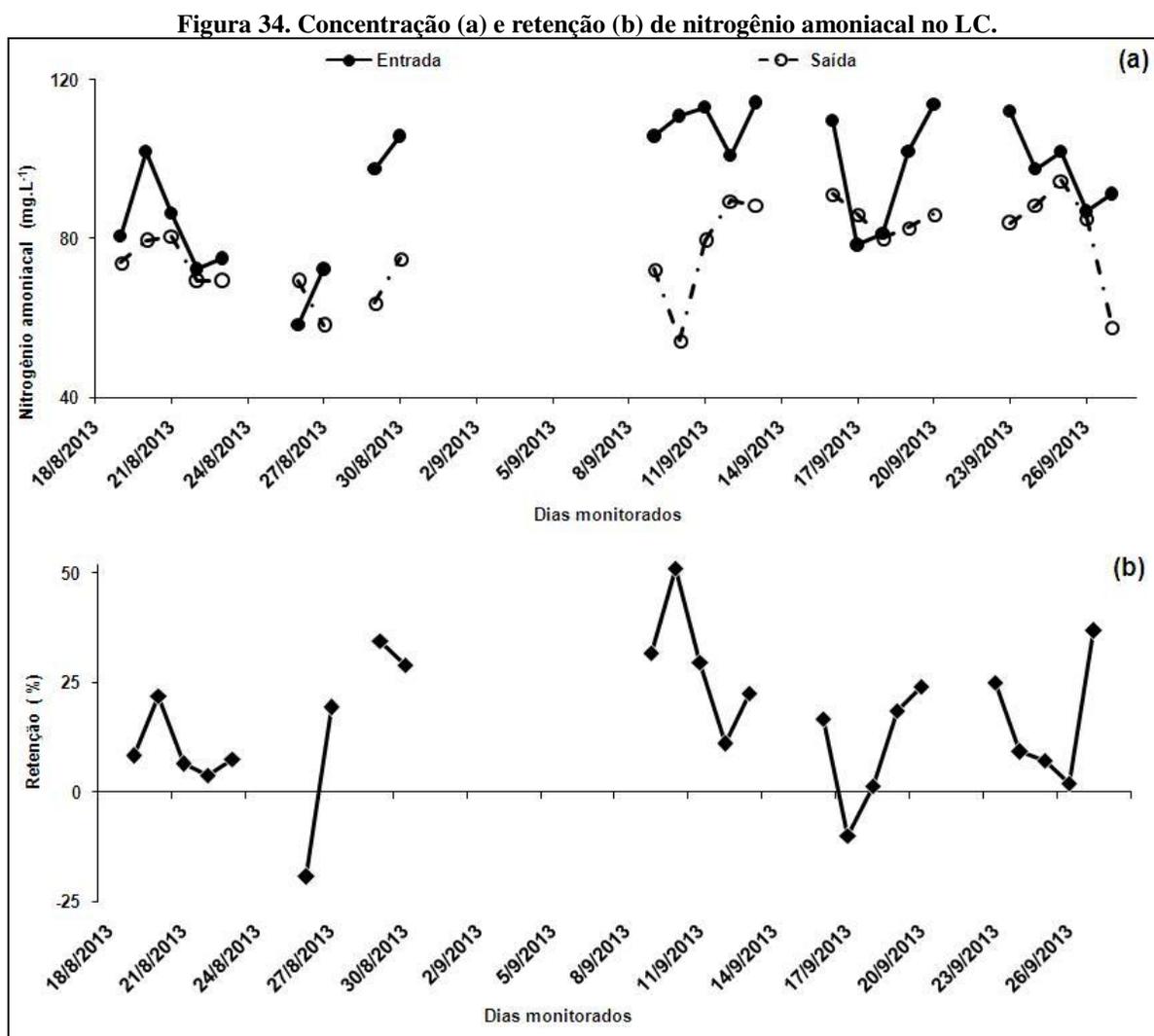
Na Figura 33 observam-se as cargas de entrada e saída de nitrato (Figura 33a), e as diferenças entre as cargas (Figura 33b). Na entrada no LC a maior carga observada no período de estudo foi  $1,21 \text{ g.dia}^{-1}$  em 17/09/13, e a menor foi  $0,0 \text{ g.dia}^{-1}$  em 10/09/13. A maior carga observada na saída foi  $1,31 \text{ g.dia}^{-1}$  em 16/09/13, e a menor  $0,02 \text{ g.dia}^{-1}$  nos dias 0,03  $\text{g.dia}^{-1}$  no dia 30/08/13. Como no caso do nitrito, no nitrato também são observados melhores resultados ao analisarmos as cargas do composto. Em 54,2% dos casos houve remoção de nitrato e em 45,8% dos casos houve aumento do nutriente; não houveram observações sem diferença entre as cargas de entrada e saída do LC. No período estendido, houve acréscimo da carga de nitrato de 1,1 g.

Figura 33. Cargas (a) e retenções (b) de entrada e saída de nitrato no LC.



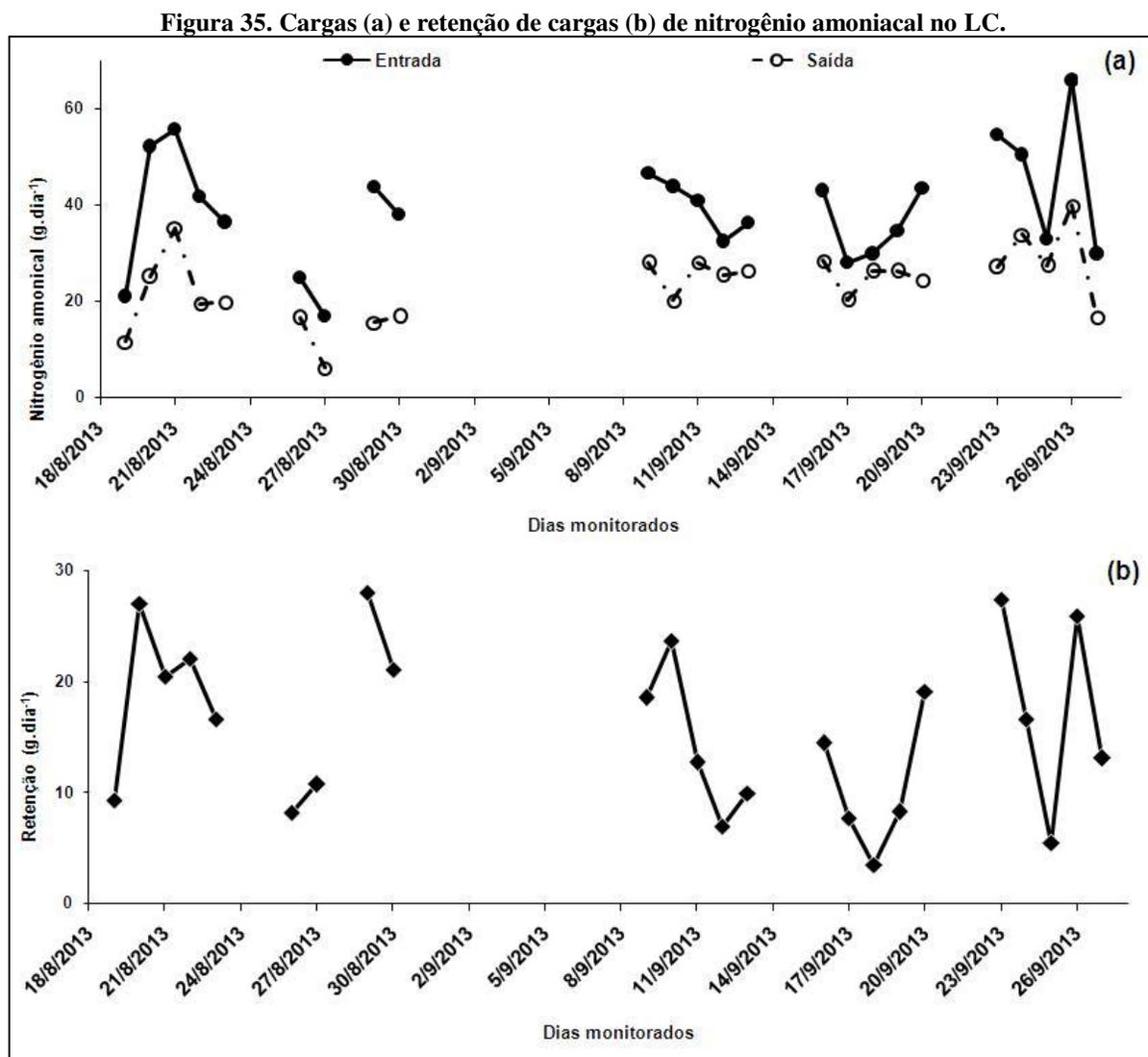
#### 5.4.2.10. Nitrogênio amoniacal (NH<sub>3</sub>)

Na Figura 34 estão apresentados os gráficos das concentrações de entrada e saída de nitrogênio amoniacal no LC (Figura 34a) e as taxas de retenção de NH<sub>3</sub> (Figura 34b). A maior retenção de nitrogênio amoniacal no período ocorreu no dia 10/09/13 com 51%, dia que a concentração de entrada foi 110,9 mg.L<sup>-1</sup> e de saída 54,3 mg.L<sup>-1</sup>. No dia 26/08/13 não houve retenção e sim acréscimo de 19,2% na saída do LC, pelo fato da concentração de saída (69,4 mg.L<sup>-1</sup>) ter sido maior que a de entrada (58,2 mg.L<sup>-1</sup>), apresentando um comportamento errático.



Na Figura 35 estão apresentadas as cargas de NH<sub>3</sub> (Figura 35a) e as diferenças entre as cargas de entrada e saída de NH<sub>3</sub> (Figura 35b). Analisando em cargas, a maior porcentagem foi

62,3% representando uma retenção de 35,4 g.dia<sup>-1</sup>, enquanto que a menor foi 9,9% - uma retenção de 3,8 g.dia<sup>-1</sup>. No período estendido, a carga retida de nitrogênio amoniacal no LC foi 475 g.

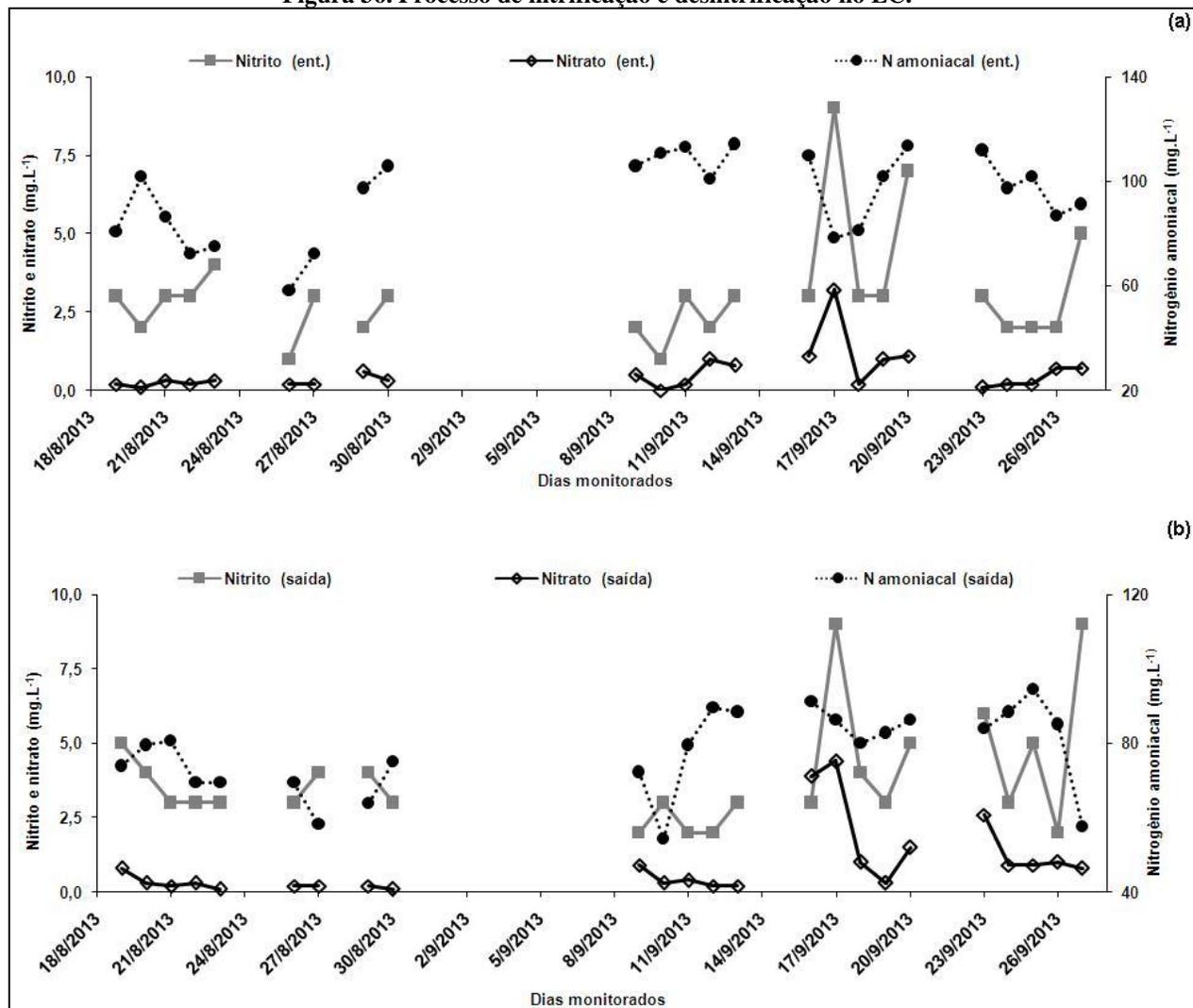


#### 5.4.2.11. Nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato

É possível observar na Figura 36 o processo de nitrificação e desnitrificação que ocorreu durante o período estudado (19/08/13 à 27/09/13) no afluente (Figura 36a) e no efluente (Figura 36b) do LC. Observa-se que quando as concentrações de nitrogênio amoniacal estão altas, as de nitrito e nitrato estão mais baixas, porém quando estas se elevam, as concentrações de nitrogênio

amoniacal caem.

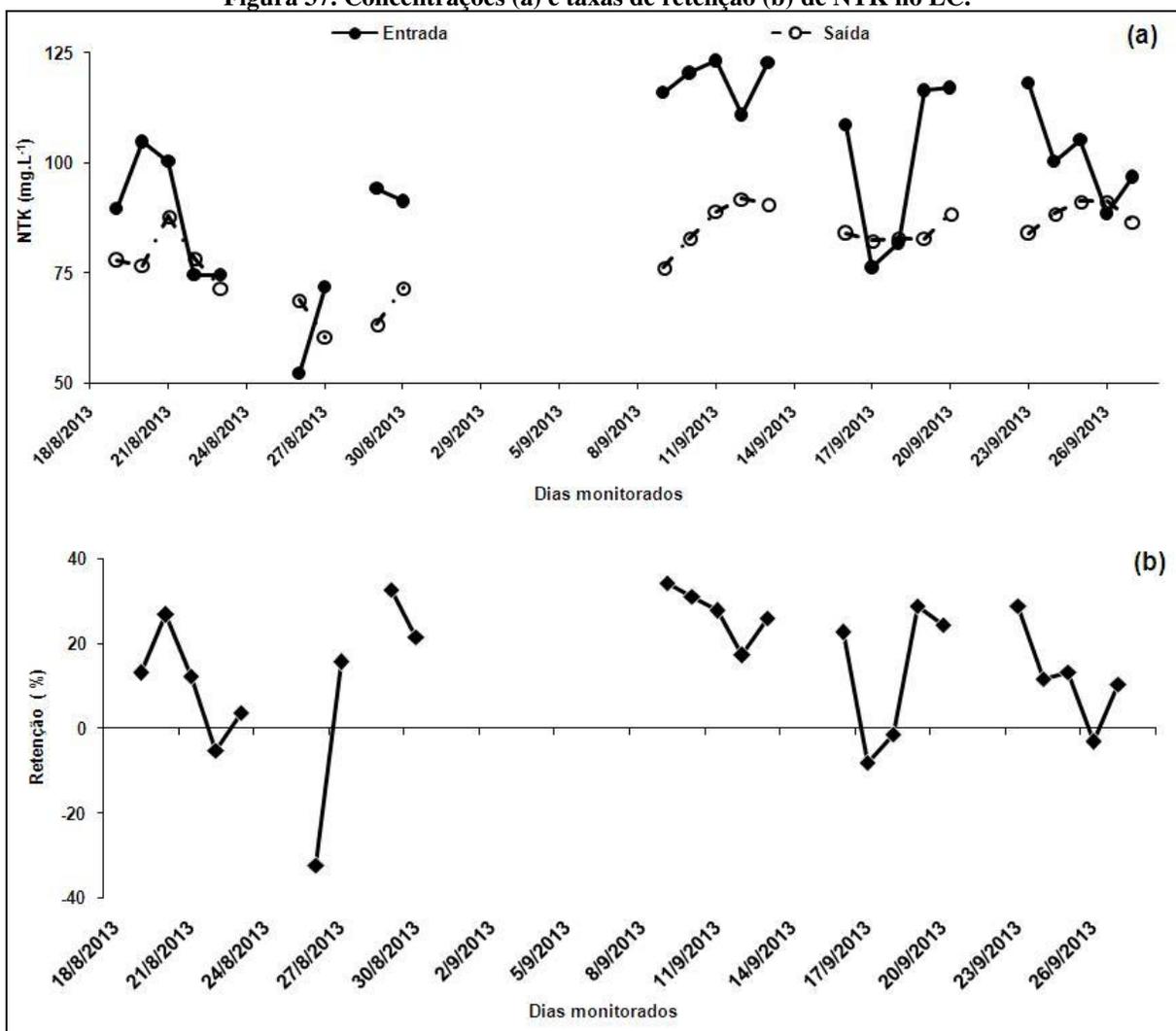
Figura 36. Processo de nitrificação e desnitrificação no LC.



#### 5.4.2.12. Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)

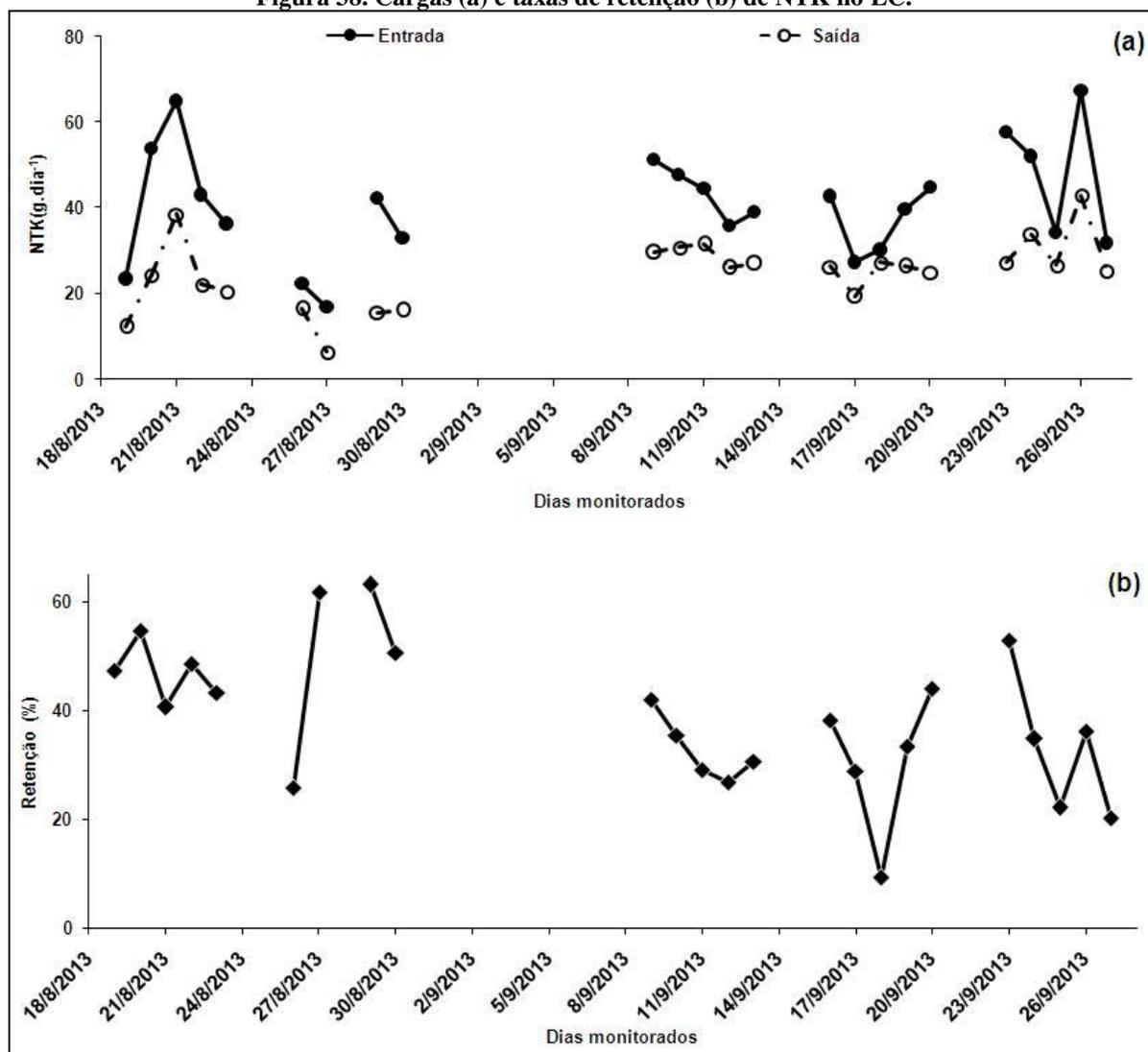
Na Figura 37 estão apresentados as concentrações de entrada e saída de nitrogênio total Kjeldahl no LC (Figura 37a) e a taxa de remoção de NTK (Figura 37b). Ao observarmos as concentrações de NTK, a maior retenção do período ocorreu no dia 09/09/13 com 34,3%, cuja concentração de entrada foi 115,9 mg.L<sup>-1</sup> e de saída 76,2 mg.L<sup>-1</sup>. A menor retenção aconteceu em 26/08/13 com -32,3%, cuja concentração de entrada foi 52,1 mg.L<sup>-1</sup> e de saída 68,9 mg.L<sup>-1</sup>.

Figura 37. Concentrações (a) e taxas de retenção (b) de NTK no LC.



Observa-se na Figura 38 os gráficos das cargas de NTK (Figura 38a) e as diferenças entre as cargas de entrada e saída de NTK (Figura 38b). Quando analisamos as cargas do analito os resultados são favoráveis, com retenção positiva em 100% dos dias monitorados. A maior porcentagem foi 61,3% representando uma retenção de 33,6 g.dia<sup>-1</sup>, dia em que a carga de entrada foi 54,9 g.dia<sup>-1</sup> e a carga de saída 21,3 g.dia<sup>-1</sup> (29/08/13). A menor retenção observada foi 7,4% no dia 18/09/13 uma retenção de 2,9 g.dia<sup>-1</sup>, cuja carga de entrada foi 38,4 g.dia<sup>-1</sup> e de saída 35,6 g.dia<sup>-1</sup>. No período estendido, a carga retida de NTK no LC foi 484 g.

Figura 38. Cargas (a) e taxas de retenção (b) de NTK no LC.



#### 5.4.2.13. Fósforo Total (P<sub>T</sub>)

A maior retenção de fósforo total no período ocorreu no dia 19/08/13 com 47,4%, cuja concentração de entrada foi 3,9 mg.L<sup>-1</sup> e de saída 47,4 mg.L<sup>-1</sup>. A menor retenção aconteceu em 26/08/13 com -60,4%, pelo fato da concentração de saída (3,9mg.L<sup>-1</sup>) ter sido maior que a de entrada (2,4 mg.L<sup>-1</sup>). A menor retenção da concentração de fósforo total coincide com a menor retenção de NTK. Analisando em cargas, as taxas de retenção são maiores, com retenção positiva em 100% dos dias monitorados. A maior porcentagem foi 67,9 % representando uma retenção de 0,9 g.dia<sup>-1</sup>, com carga de entrada de 1,3 g.dia<sup>-1</sup> e saída 0,4 g.dia<sup>-1</sup> – a maior retenção de carga de

$P_T$  no LC coincide com a maior retenção de concentração de  $P_T$ . A menor retenção observada ocorreu no dia 11/09/13 (8,5%) uma retenção de  $0,2 \text{ g.dia}^{-1}$ , cuja carga de entrada foi  $2,4 \text{ g.dia}^{-1}$  e de saída  $2,2 \text{ g.dia}^{-1}$ . No período estendido, a carga retida de fósforo total no LC foi  $19,5 \text{ g}$ .

Na Figura 39 estão apresentados os gráficos de entrada e saída de fósforo total no LC (Figura 39a) e as taxas de retenção de  $P_T$  (Figura 39b). Na Figura 40 pode-se observar as cargas de  $P_T$  (Figura 40<sup>a</sup>) e as diferenças entre as cargas de entrada e saída de fósforo (Figura 40b).

Figura 39. Concentração (a) e taxas de retenção (b) de fósforo total no LC.

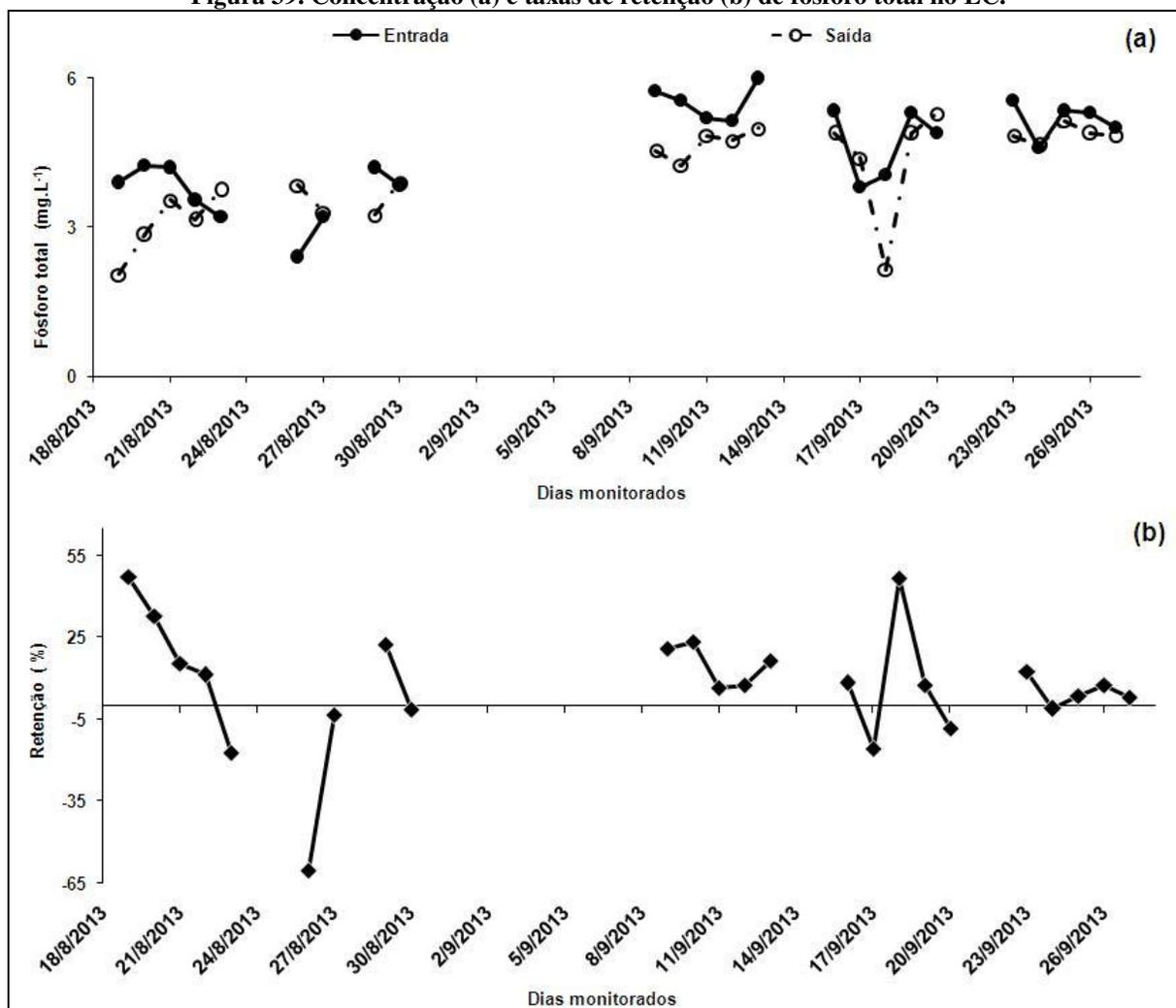
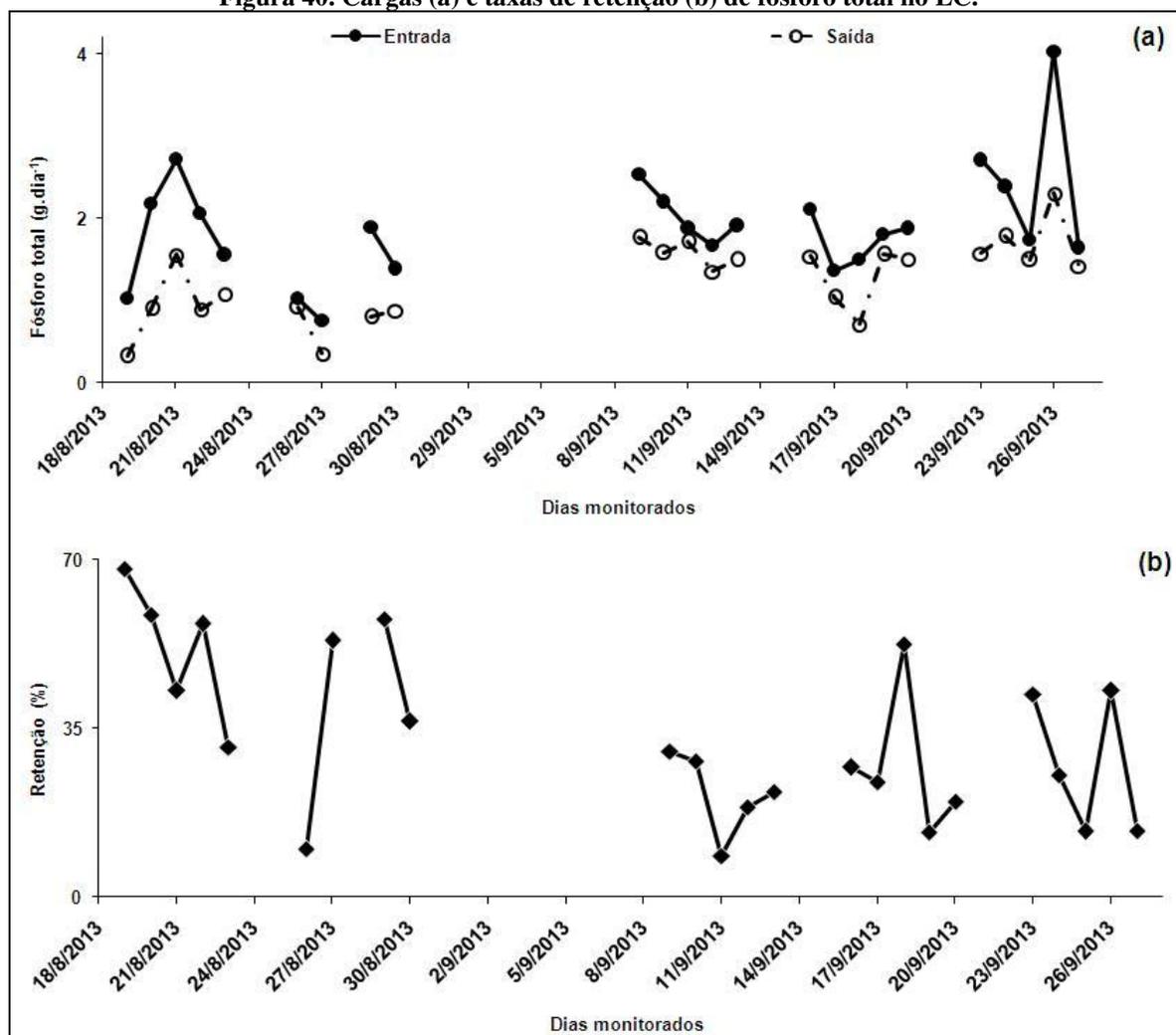


Figura 40. Cargas (a) e taxas de retenção (b) de fósforo total no LC.



## 5.5. Comportamento do Leito Cultivado com Aguapé (1) - LCA1

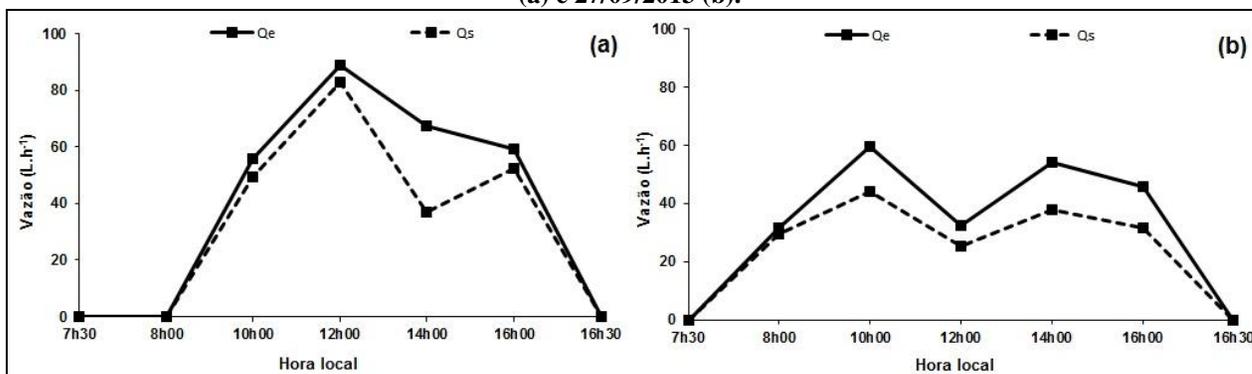
### 5.5.1. Monitoramento da quantidade de água residuária

#### 5.5.1.1. Vazão (Q) – escala horária

Na Figura 41 são apresentadas as dinâmicas horárias das vazões de entrada ( $Q_e$ ) e de saída ( $Q_s$ ) no LCA1, nos dias 26/09/13 (Figura 41a) e 27/09/13 (Figura 41b), respectivamente. Foram escolhidas estas datas específicas para serem apresentadas graficamente por serem quinta e sexta-feira, podendo ser visualizada a diminuição da vazão de esgoto que ocorre às sextas-feiras (27/09/2013, Figura 35b), devido à diminuição da quantidade de alunos na faculdade pela

proximidade do final de semana. Observa-se como a vazão de entrada varia ao longo do dia, e também de um dia para o outro; neste gráfico também é possível observar que as vazões de saída do LCA1 acompanham as vazões de entrada ao longo do dia.

**Figura 41. Vazão horária de entrada (Qe) e saída (Qs) no Leito Cultivado Aguapé 1 para os dias 26/09/2013 (a) e 27/09/2013 (b).**



A vazão máxima e mínima registrada na entrada do leito cultivado aguapé 1 no período estudado foi de  $192,6 \text{ L.h}^{-1}$  às 12 horas do dia 26/09/13 (Figura 41a), e  $25,2 \text{ L.h}^{-1}$  às 10 horas dos dias 11 e 13/09/13, respectivamente. A vazão máxima registrada na saída do LCA1 ocorreu às 14 horas do dia 09/09/13 ( $101,7 \text{ L.h}^{-1}$ ), e a mínima vazão de saída registrada foi  $22,5 \text{ L.h}^{-1}$  às 14 horas do dia 17/09/13.

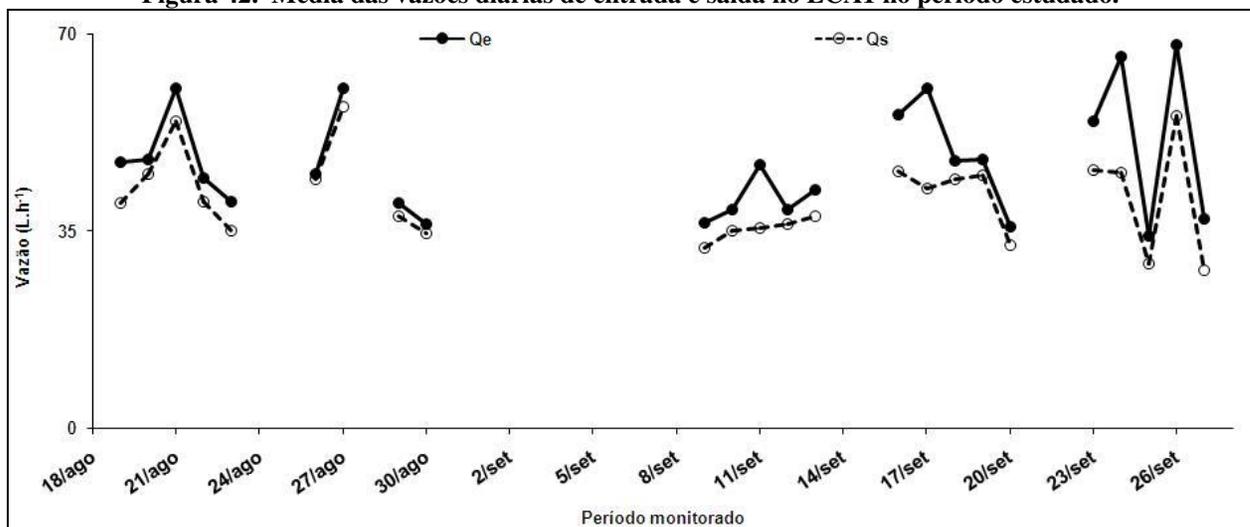
Não havia vazão de esgoto na faculdade às 8 horas do dia 26/09/13 (Figura 41a), por esse motivo este dado não foi apresentado. Às 14 horas do mesmo dia ocorreu a maior diferença entre as vazões de entrada e saída do LCA1, com  $30,6 \text{ L.h}^{-1}$ ; neste dia a evapotranspiração calculada foi de  $107,1 \text{ L.dia}^{-1}$ , com TDH de 2,2 dias. Enquanto que a maior diferença registrada entre as vazões no dia 27/09/13 foi de  $16,2 \text{ L.h}^{-1}$  às 14 horas, com TDH de 2,7 dias, evapotranspiração calculada de  $119,0 \text{ L.dia}^{-1}$ .

### 5.5.1.2. Vazão (Q) – escala diária

Na Figura 42 está apresentada a vazão média diária de entrada e saída do LCA1 no período de 19/08/13 à 27/09/13. O dia 28/08/13 não apresenta valores porque ocorreu entupimento na entrada do esgoto, antes da caixa de areia, o que comprometeu a coleta diária. Pelo fato da vazão não ser controlada mecanicamente, observa-se que as vazões de entrada

variam significativamente durante a semana e também de uma semana para outra.

**Figura 42. Média das vazões diárias de entrada e saída no LCA1 no período estudado.**

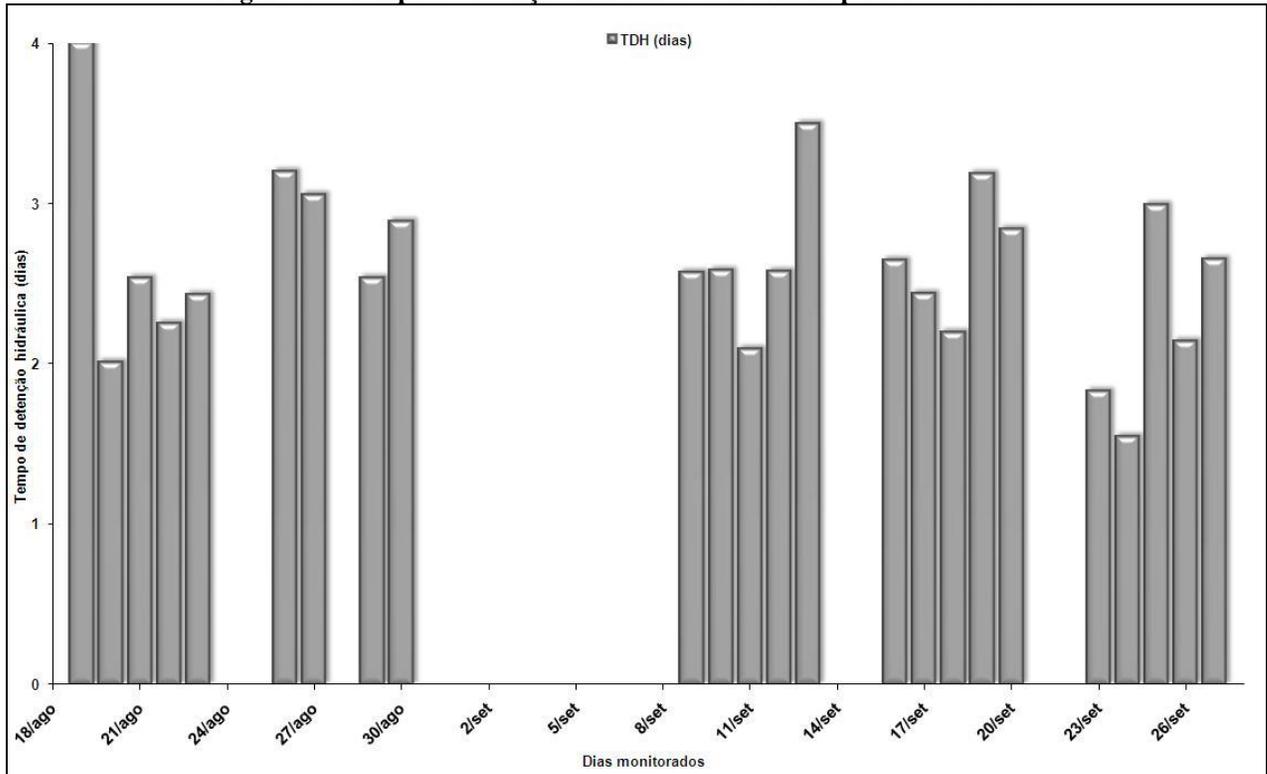


A maior vazão média afluyente registrada no período ocorreu no dia 27/09/13 com 68,0 L.h<sup>-1</sup>. A mínima vazão afluyente registrada foi em 25/09/13 com 34,2 L.h<sup>-1</sup>, enquanto que a mínima média registrada no efluente foi em 27/09/13, último dia de monitoramento com 28,1 L.h<sup>-1</sup>. A média máxima efluente foi no dia 27/08/13 com 57,0 L.h<sup>-1</sup>.

### 5.5.1.3. Tempo de detenção hidráulica (TDH) e evapotranspiração

Na Figura 43 está apresentado o gráfico do TDH do LCA1 nos dois períodos contínuos estudados. Na Tabela 6 estão apresentados os valores do tempo de detenção hidráulica (TDH), taxa de evapotranspiração e lâmina d'água evaporada com suas respectivas médias e desvios-padrão, do período estudado (19/08/13 à 27/09/13). A taxa de evapotranspiração foi dada pela diferença do volume total de esgoto diário da entrada, menos da saída do LCA1.

Figura 43. Tempo de detenção hidráulica do LCA1 no período estudado.



Na Tabela 6 observa-se que a média do TDH do período estudado foi 2,6 dias e possui um desvio-padrão relativamente bom ( $\pm 0,5$  dia), tendo em vista que o objetivo era manter o TDH entre 2 – 3 dias durante o experimento.

**Tabela 6. Tempo de detenção hidráulica, taxa de evapotranspiração e lâmina d'água evaporada no LCA1.**

<b>Data</b>	<b>TDH (dias)</b>	<b>Taxa de evapotranspiração (L.dia<sup>-1</sup>)</b>	<b>Lâmina d'água evaporada (mm.dia<sup>-1</sup>)</b>
19/ago	4,0	41,9	91,0
20/ago	2,0	36,0	7,8
21/ago	2,5	43,7	9,5
22/ago	2,2	46,1	10,0
23/ago	2,4	65,6	14,3
26/ago	3,2	7,7	1,7
27/ago	3,1	21,1	4,6
29/ago	2,5	25,8	5,6
30/ago	2,9	18,8	4,1
9/set	2,6	57,2	12,4
10/set	2,6	42,5	9,2
11/set	2,1	159,5	34,7
12/set	2,6	32,9	7,2
13/set	3,5	38,9	8,5
16/set	2,6	70,2	15,3
17/set	2,4	149,6	32,5
18/set	2,2	33,7	7,3
19/set	3,2	23,4	5,1
20/set	2,8	41,8	9,1
23/set	1,8	106,9	23,2
24/set	1,5	262,4	57,0
25/set	3,0	64,6	14,0
26/set	2,1	110,5	24,0
27/set	2,7	121,2	26,3
<b>Média total</b>	<b>2,6</b>	<b>67,6</b>	<b>18,1</b>
<b>Desvio-padrão</b>	<b>0,5</b>	<b>58,4</b>	<b>20,0</b>

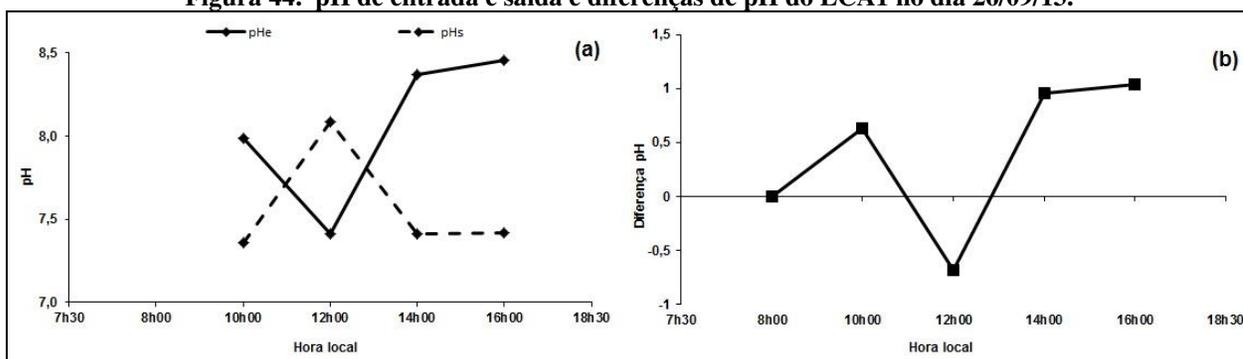
## **5.5.2. Monitoramento da qualidade da água residuária**

### **5.5.2.1. Potencial hidrogeniônico (pH) – escala horária**

O pH máximo e mínimo na entrada do LCA1 registrados no período estudado foram 8,83 às 16 horas de 19/09/13 e 7,41 às 12 horas de 26/09/13. Na saída do LCA1 o pH máximo registrado foi 8,72 às 14 horas de 19/09/13 e o mínimo foi 7,24 às 08 horas de 23/09/13.

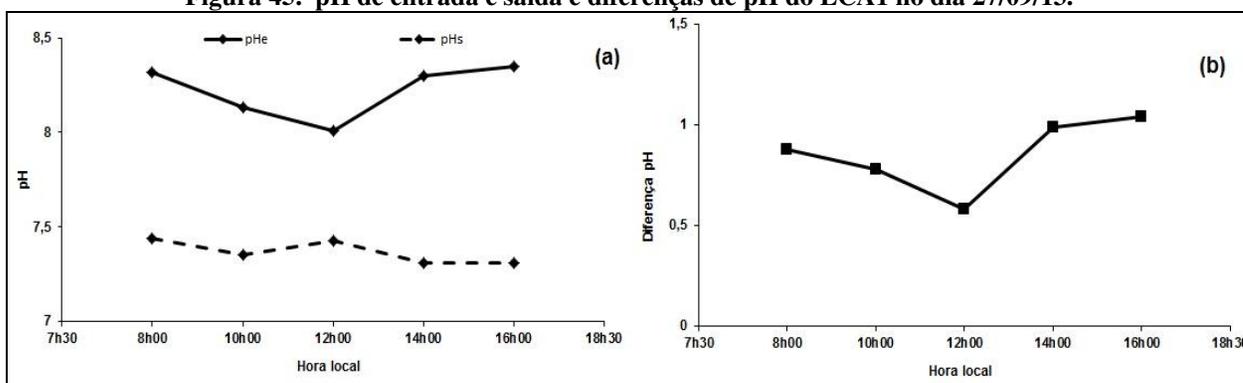
Na Figura 44 estão apresentadas as medidas horárias do pH de entrada (pHe) e de saída (pHs) no LCA1, no dia 26/09/13 (Figura 44a) e a diferença horária entre pHe e pHs (Figura 44b) cuja média foi  $0,5 \pm 0,8$ . Observa-se neste dia que às 12 horas houve uma diferença negativa de pH igual à -0,7 (pHe = 7,41 e pHs = 8,09), porém foi o único aumento de pH do período estudado.

**Figura 44. pH de entrada e saída e diferenças de pH do LCA1 no dia 26/09/13.**



A Figura 45 apresenta as medidas horárias do pH de entrada (pHe) e de saída (pHs) no LCA1, no dia 27/09/13 (Figura 45a) e a diferença horária entre  $pHe - pHs$  (Figura 45b) cuja média foi  $0,9 \pm 0,2$ . O pHe neste dia variou entre 8,01 e 8,35, o pHs entre 7,31 e 7,44 e as diferenças entre 0,6 e 1,0.

**Figura 45. pH de entrada e saída e diferenças de pH do LCA1 no dia 27/09/13.**

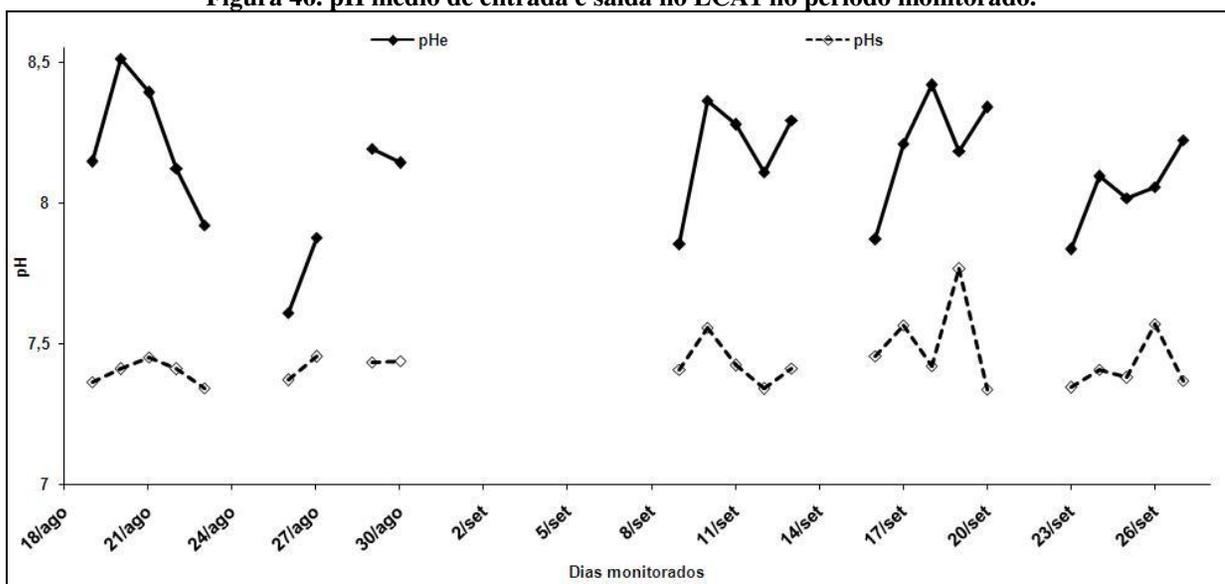


### 5.5.2.2. Potencial hidrogeniônico (pH) – escala diária

A maior diferença entre o pH médio de entrada e de saída (1,10) ocorreu no dia 20/08/13 com valores de 8,51 (entrada) e 7,41 (saída), enquanto que a menor diferença foi de 0,24 no dia 26/08/13, com valores de 7,61 (entrada) e 7,37 (saída). Os valores máximos e mínimos de pH e de redução de pH corroboram com os mesmos dados avaliados no Leito Controle.

Em todas as médias dos dias monitorados, 19/08/13 à 27/09/13 o pH se tornou menos alcalino, aproximando-se da neutralidade. Na Figura 46 estão apresentadas as médias do pH de entrada e saída no Leito Cultivado Agupapé 1 no período estudado.

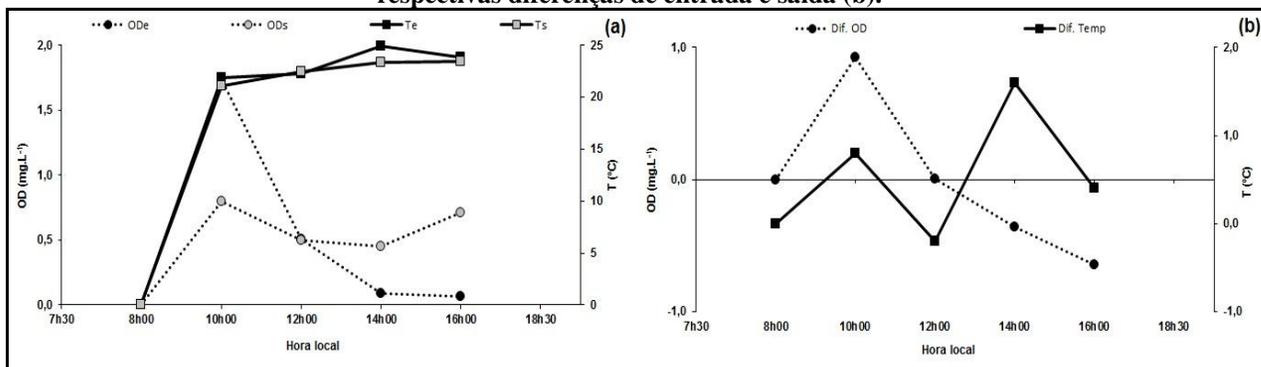
Figura 46. pH médio de entrada e saída no LCA1 no período monitorado.



### 5.5.2.3. Oxigênio Dissolvido (OD) e temperatura (T) – escala horária

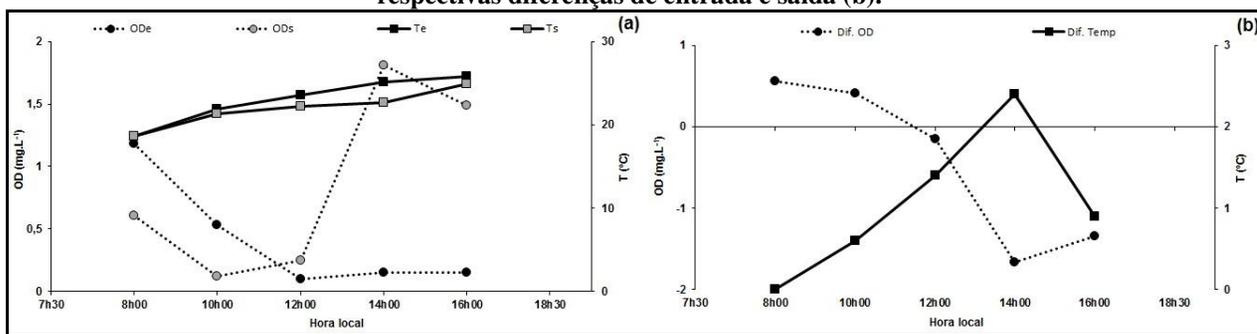
Na Figura 47 estão apresentadas as medidas horárias do OD e da temperatura de entrada (ODe/Te) e de saída (ODs/Ts) no Leito Cultivado Aguapé 1 no dia 26/09/13 (Figura 47a) e as diferenças horárias entre o OD e a temperatura de entrada e saída no LCA1 no mesmo dia (Figura 47b). A diferença média entre o oxigênio dissolvido de entrada e saída do LCA1 no dia 26/09/13 foi de  $-0,02 \pm 0,7$ , enquanto que da temperatura foi de  $0,6 \pm 0,8$ . Observa-se na Figura 47b que o gráfico da diferença de temperatura é inverso ao gráfico da diferença de OD, e que quando a temperatura aumenta o OD diminui, e vice-versa.

Figura 47. Oxigênio dissolvido e temperatura afluente e efluente ao LCA1 no dia 26/09/13 (a) com suas respectivas diferenças de entrada e saída (b).



É possível observar na Figura 48 as medidas horárias do OD e da temperatura de entrada (ODe/Te) e de saída (ODs/Ts) no LCA1 no dia 27/09/13 (Figura 48a) e as diferenças horárias entre o OD e a temperatura de entrada e saída no LCA1 no mesmo dia (Figura 48b). A diferença média entre o oxigênio dissolvido de entrada e saída do LCA1 no dia 27/09/13 foi de  $-0,4 \pm 1,0$  enquanto que da temperatura foi  $1,1 \pm 0,9$ . A Figura 48b apresenta uma interessante similaridade, o gráfico da diferença de temperatura é inverso ao gráfico da diferença de OD e quando a temperatura aumenta o OD diminui.

**Figura 48. Oxigênio dissolvido e temperatura afluente e efluente ao LCA1 no dia 27/09/13 (a) com suas respectivas diferenças de entrada e saída (b).**



O OD máximo e mínimo na entrada do LCA1 registrados no período estudado foram  $14,83 \text{ mg.L}^{-1}$  às 12 horas de 27/08/13, com temperatura do esgoto de  $18,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , enquanto que o mínimo foi  $0,07 \text{ mg.L}^{-1}$  às 16 horas de 26/09/13 com temperatura de  $23,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . A temperatura máxima de entrada registrada no LCA1 no período estudado ocorreu no dia 13/09/13 às 16 horas com  $28,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; a mínima registrada foi de  $17,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$  às 08 horas do dia 29/08/13.

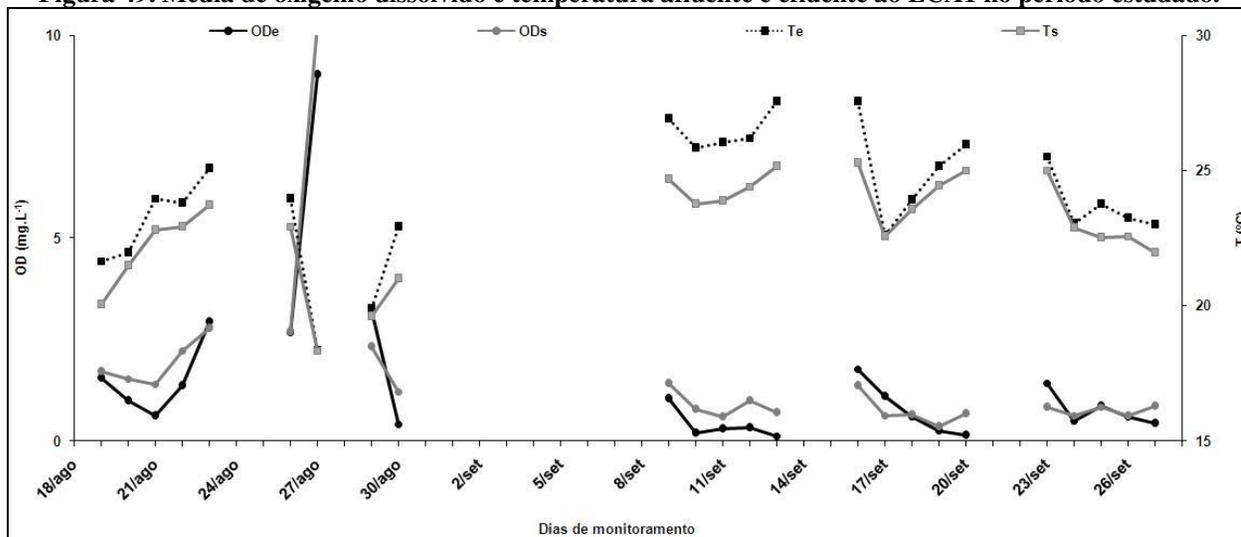
Na saída do LCA1 o OD máximo registrado foi  $13,7 \text{ mg.L}^{-1}$  às 12 horas de 27/08/13 com temperatura de  $18,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , e o OD mínimo foi  $0,12$  às 10 horas de 27/09/2013, com temperatura de  $21,3^{\circ}\text{C}$ . A temperatura máxima de saída no período estudado ocorreu às 14 horas do dia 19/09/13 ( $26,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), e a mínima foi de  $17,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  às 8 horas do dia 29/08/13. Os maiores registros de OD e temperatura corroboram com os resultados do LC.

#### 5.5.2.4. Oxigênio Dissolvido (OD) e temperatura (T) – escala diária

Na Figura 49 estão apresentadas as médias diárias de entrada e saída de oxigênio dissolvido, e a temperatura do esgoto nos leitos cultivados. Observa-se no dia 27/08/13, como a

baixa da temperatura aumenta o oxigênio dissolvido. No mês de setembro é possível observar que as médias das temperaturas do esgoto foram mais baixas que no primeiro, e as concentrações de oxigênio dissolvido foram mais altas, em geral.

**Figura 49. Média de oxigênio dissolvido e temperatura afluente e efluente ao LCA1 no período estudado.**

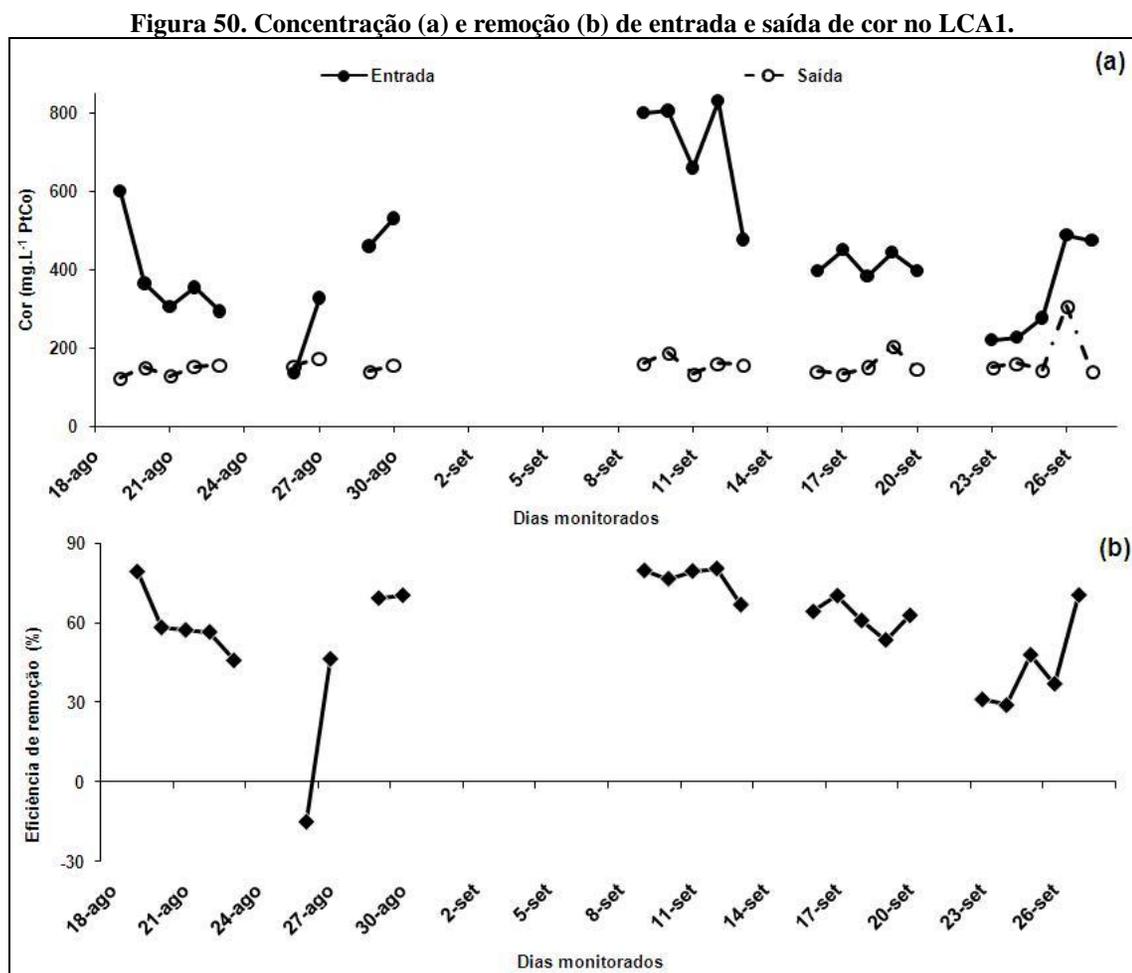


A média máxima e mínima de OD registrados no LC no período estudado (19/08 à 30/08/13 e 09/09 à 27/09/13) foram 8,14 mg.L<sup>-1</sup> no dia 27/08/13, e 0,16 mg.L<sup>-1</sup> nos dias 13/09 e 20/09/13. Na saída do LC o OD máximo registrado foi 8,50 mg.L<sup>-1</sup> também no dia 27/08/13, e 0,46 mg.L<sup>-1</sup> no dia 19/09/13. A temperatura média máxima de entrada registrada foi 28,0 °C no dia 13/09/13 (mesmo dia em que foi registrado um valor mínimo de OD), e 18,3 °C no dia 27/08/13, dia em que foram registrados valores máximos de OD. Já na saída do LCA1 foi registrado 29,1 °C no dia 13/09/13, mesmo dia em que foi registrado um valor mínimo de OD, e 18,4 °C no dia 27/08/13, dia em que foram registrados valores máximos de OD. Esses dados evidenciam a relação existente entre os parâmetros OD e temperatura.

#### 5.5.2.5. Cor

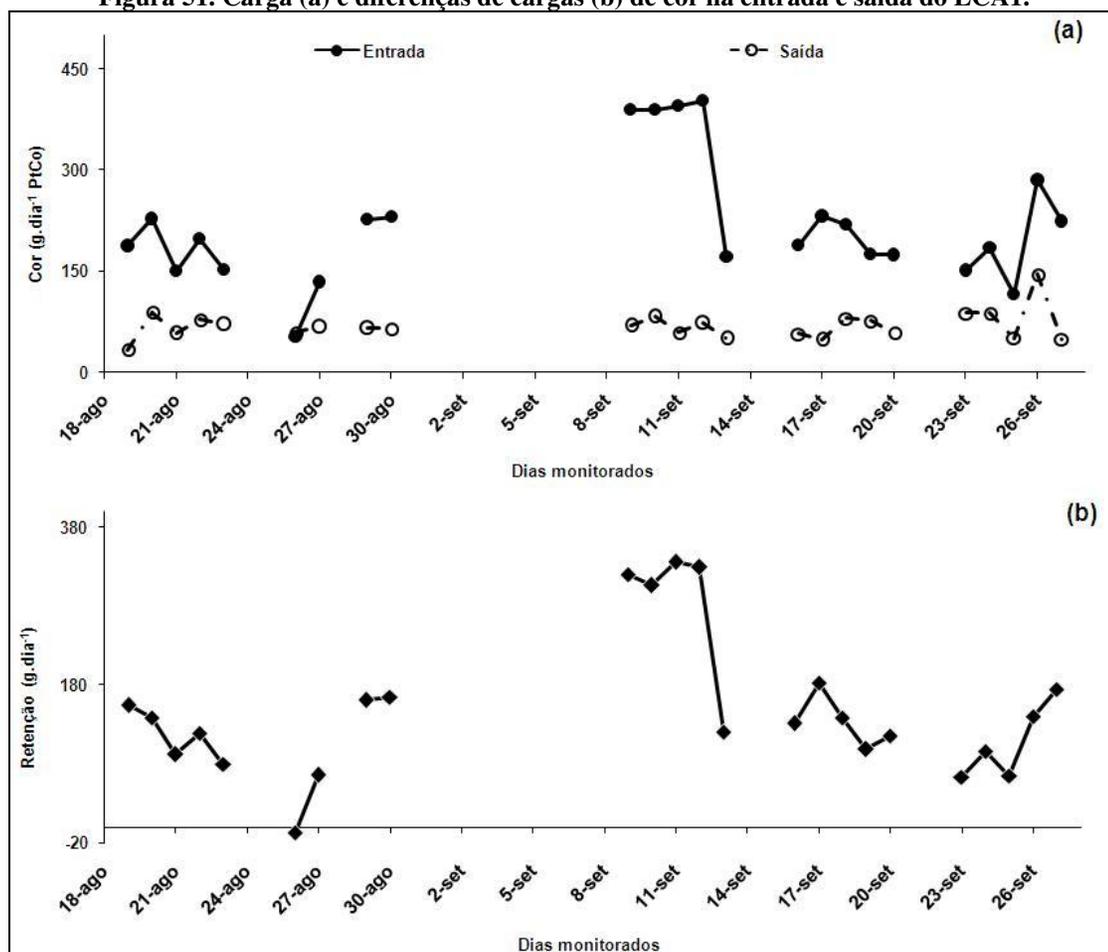
Estão apresentados na Figura 50 os gráficos de entrada e saída de cor no LCA1 em concentração (Figura 50a) e em remoção (Figura 50b). A maior concentração de cor afluente ao LCA1 ocorreu no dia 12/09/13 com 830 mg.L<sup>-1</sup> PtCo, enquanto que a menor foi 135 mg.L<sup>-1</sup> PtCo no dia 26/08/13 (mesmo dia que no LC). Na saída do LCA1 a maior concentração foi 307 mg.L<sup>-1</sup>

PtCo no dia 26/09/13, e a menor foi 124 mg.L<sup>-1</sup> PtCo no dia 19/08/13, também no mesmo dia que esta observação no LCA1. A maior porcentagem de remoção de cor em mg.L<sup>-1</sup> foi 80% nos dias 09, 11 e 12/09/13, e a menor remoção foi -15% no dia 26/08/13.



Na Figura 51 estão apresentadas as cargas de entrada e saída de cor no LCA1 (Figura 51a) e as diferenças entre as cargas de entrada e saída de cor (Figura 51b). Observa-se no dia 12/09/13 a maior carga de cor, 402 g.dia<sup>-1</sup> na entrada do LCA1, enquanto que a menor carga foi 53 g.dia<sup>-1</sup> no dia 26/08/13. A maior carga calculada na saída do LCA1 foi 146 g.dia<sup>-1</sup> em 26/09/13, enquanto que 34 g.dia<sup>-1</sup> foi a menor carga obtida na saída deste leito (19/08/13). A maior massa retida pelo LCA1 foi 336 g.dia<sup>-1</sup> em 11/09/13 e a menor foi no dia 26/08/13, com aumento de 7 g.dia<sup>-1</sup> na saída do leito (eficiência negativa). No período estendido, a carga retida de cor no LCA1 foi 13,1 kg.

Figura 51. Carga (a) e diferenças de cargas (b) de cor na entrada e saída do LCA1.

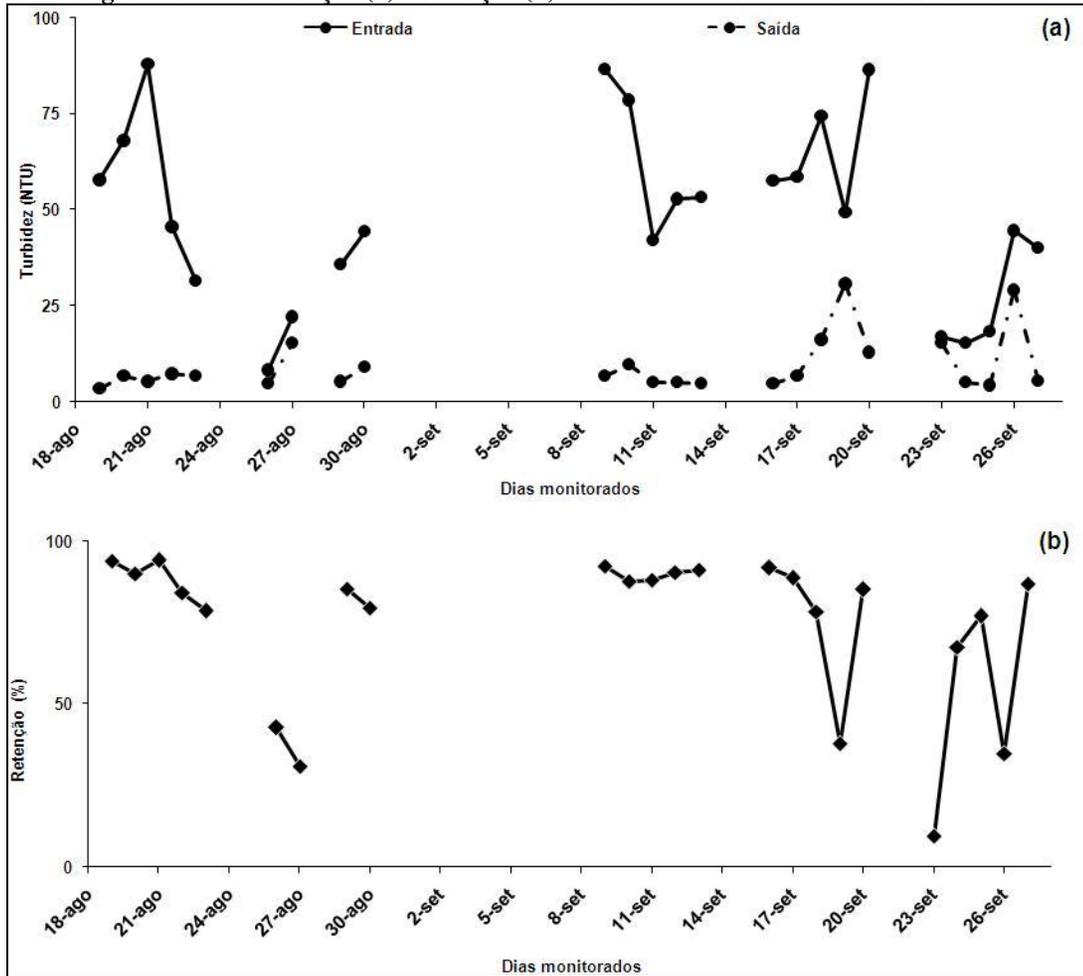


### 5.5.2.6. Turbidez

A maior turbidez observada na saída do LCA1 foi 30,6 NTU e ocorreu no dia 19/09/13, já a menor foi no dia 19/08/13, com 3,44 NTU. No dia 21/08/13 foi observada a maior remoção de turbidez, com 94,1%, enquanto que a menor remoção foi no dia 27/08/13 com 9,5%. Todas as observações e retenções de turbidez foram positivas no período estudado.

Na Figura 52 estão apresentados os gráficos de entrada e saída de turbidez no LCA1 (Figura 52a) com suas respectivas porcentagens de remoção (Figura 52b). A maior turbidez observada na entrada do LCA1 foi no dia 21/08/13 (87,9 NTU), e a menor foi 8,1 NTU no dia 26/08/13.

Figura 52. Concentração (a) e retenção (b) de entrada e saída de turbidez no LCA1.

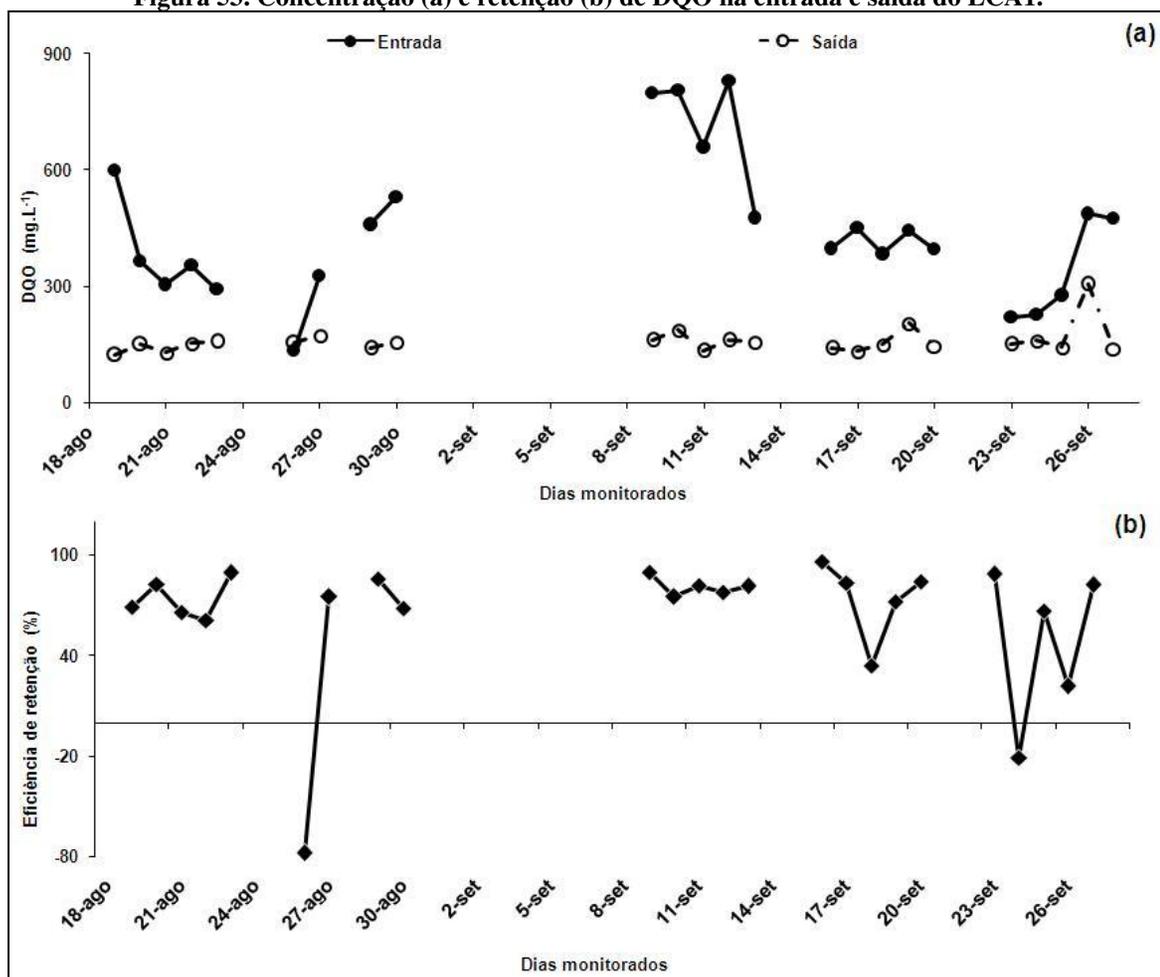


### 5.5.2.7. Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A maior concentração de DQO afluente ao LCA1 ocorreu no dia 13/09/13 com 322,5 mg.L<sup>-1</sup>, enquanto que a menor foi 45 mg.L<sup>-1</sup> no dia 26/08/13. Na saída do LCA1 a maior concentração foi 145,0 mg.L<sup>-1</sup> no dia 26/09/13, e a menor foi 7,5 mg.L<sup>-1</sup> no dia 16/09/13. A maior porcentagem de remoção de DQO em mg.L<sup>-1</sup> foi 96,2% no dia 16/09/13, e a menor remoção foi de -77,8% no dia 26/08/13.

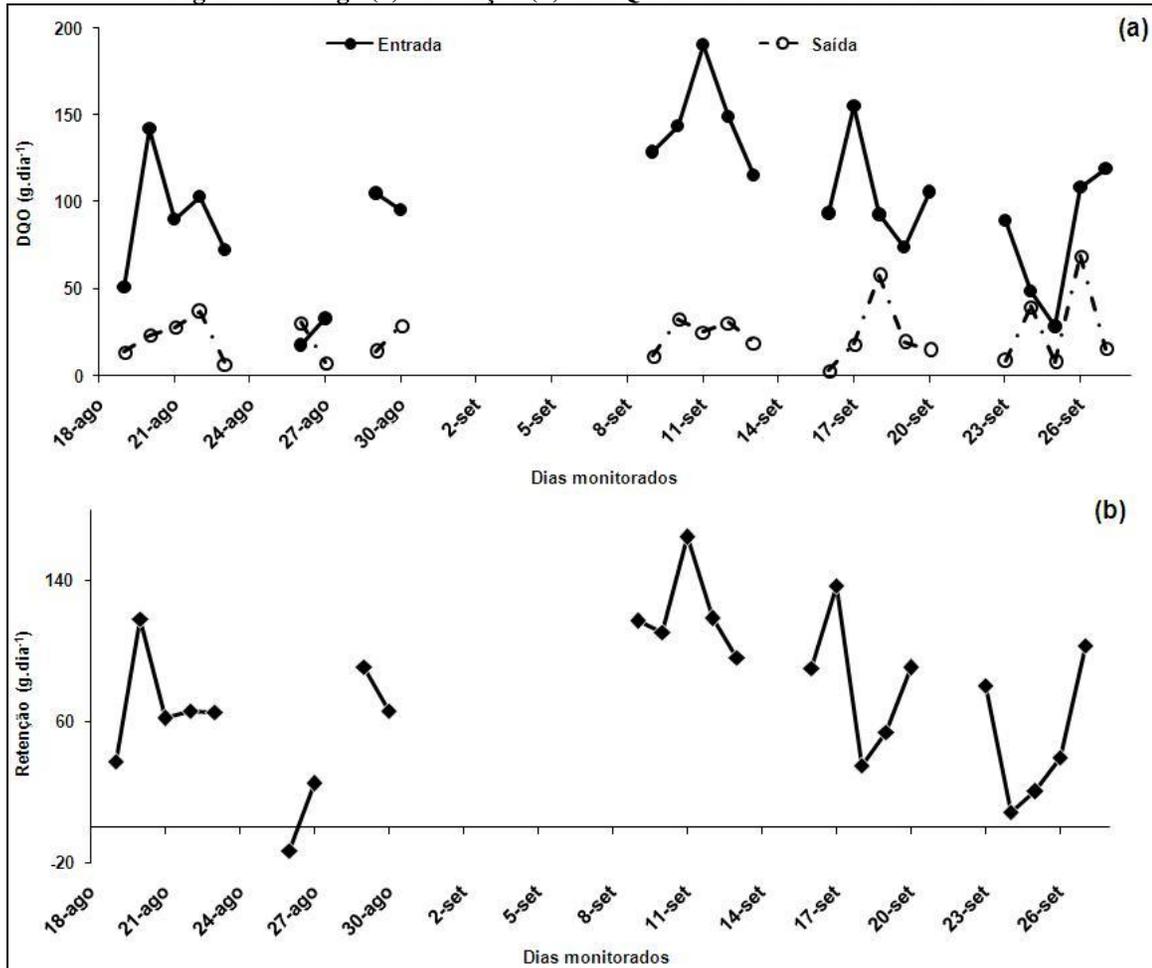
Na Figura 53 estão apresentados os gráficos de entrada e saída de DQO no LCA1 em concentração (mg.L<sup>-1</sup> - Figura 53a) com suas respectivas retenções (Figura 53b).

Figura 53. Concentração (a) e retenção (b) de DQO na entrada e saída do LCA1.



Observa-se no dia 11/09/13 a maior carga de DQO (190 g.dia<sup>-1</sup>) na entrada do LCA1, enquanto que a menor carga foi 18 g.dia<sup>-1</sup> no dia 26/08/13. A maior carga calculada na saída do LCA1 foi 69 g.dia<sup>-1</sup> em 26/09/13, enquanto que 3 g.dia<sup>-1</sup> foi a menor carga obtida na saída deste leito no dia 16/09/13. A maior massa retida pelo LCA1 foi 165 g.dia<sup>-1</sup> em 11/09/13 e a menor foi no dia 26/08/13 (6.º dia de amostragem, coincidindo com a menor retenção de cor e de DQO no LC), liberando 13,0 g.dia<sup>-1</sup> a mais na saída do LC. Na Figura 54 estão apresentados os gráficos de entrada e saída de carga de DQO no LCA1 (Figura 54a), e as diferenças entre as cargas de DQO (Figura 54b). No período estendido, a carga retida de DQO no LCA1 foi 6,4 kg.

Figura 54. Carga (a) e retenção (b) de DQO na entrada e saída do LCA1.

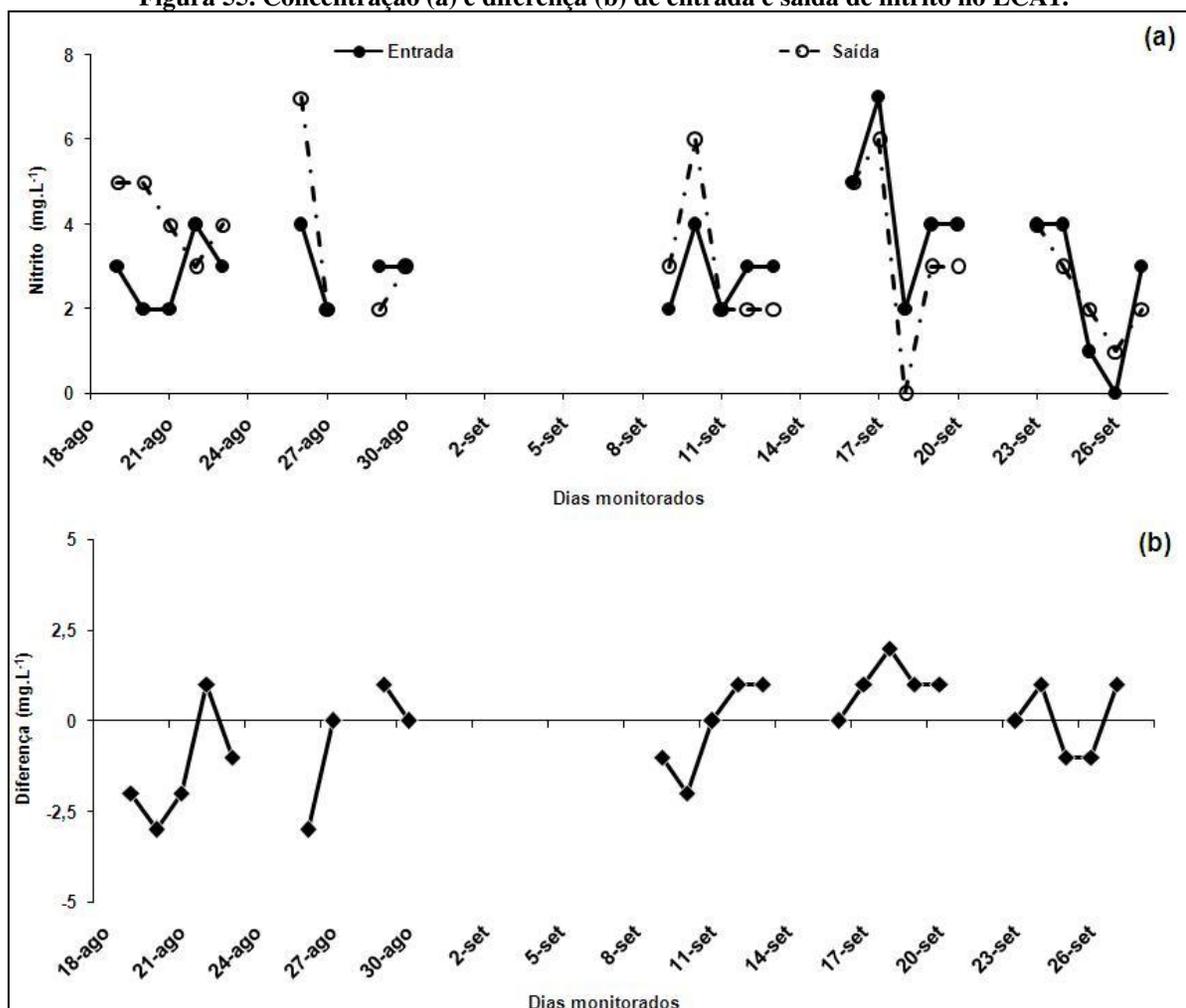


#### 5.5.2.8. Nitrito (NO<sub>2</sub>)

A maior concentração observada de nitrito no afluente do LCA1 foi 7 mg.L<sup>-1</sup> no dia 17/09/13, mesmo dia que foi observada a maior concentração afluente de nitrito no LC, e igualmente à maior concentração de saída observada durante o período, 7 mg.L<sup>-1</sup> no dia 26/08/13. A menor concentração de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> afluente no LCA1 ocorreu nos dias 26/09/13 com 0 mg.L<sup>-1</sup>, e a menor concentração efluente também foi 0 mg.L<sup>-1</sup> no dia 18/09/13.

No período estudado em 41,7% dos casos houve remoção da concentração de nitrito, enquanto que em 37,5% dos casos houve acréscimo deste nutriente e em 20,8% não houve diferença entre o afluente e o efluente. Estão apresentados na Figura 55 os gráficos de entrada e saída de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> no LCA1 em concentração (mg.L<sup>-1</sup>, Figura 55a) e a diferença de nitrito em mg.L<sup>-1</sup> (Figura 55b).

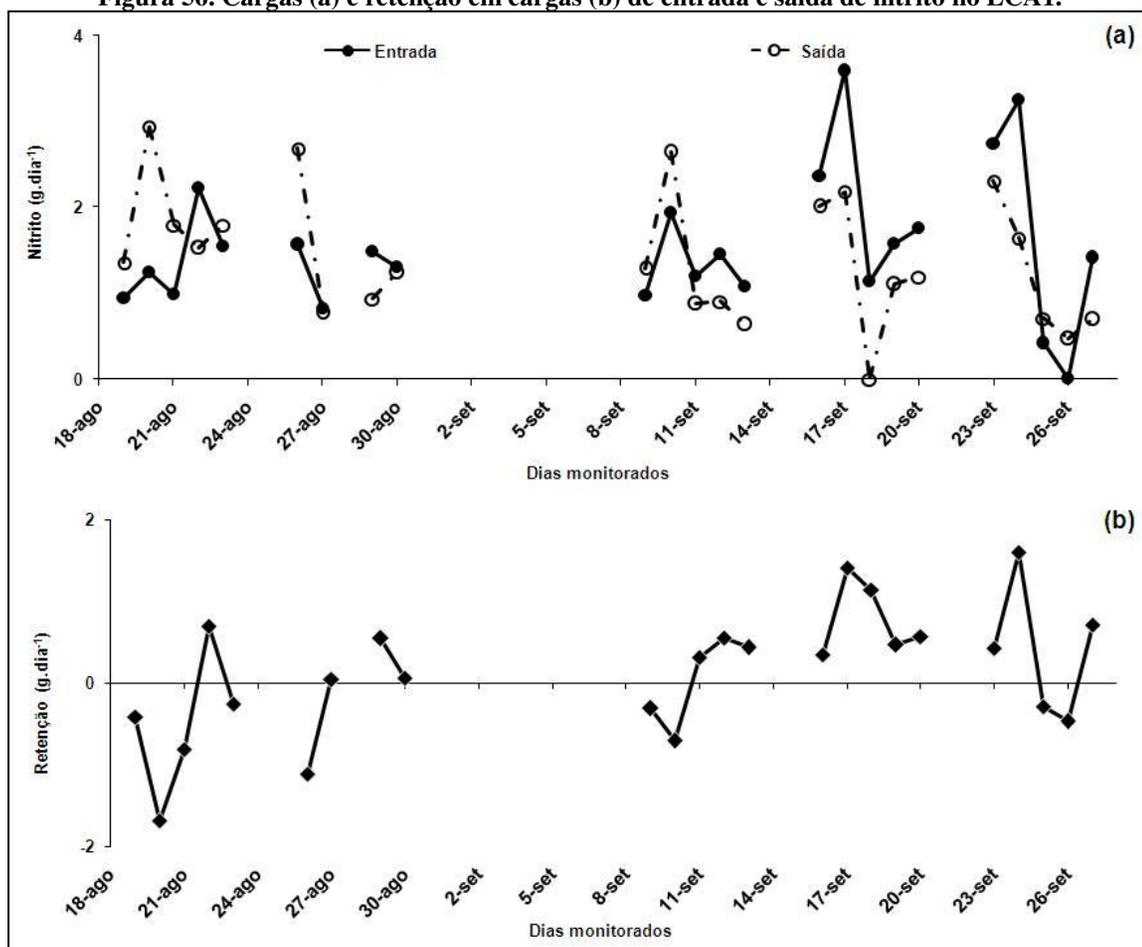
Figura 55. Concentração (a) e diferença (b) de entrada e saída de nitrito no LCA1.



A maior carga de entrada foi 3,6 g.dia<sup>-1</sup>, ocorrida em um dos dias que houve a maior concentração de entrada (17/09/13), e a menor carga foi 0,0 g.dia<sup>-1</sup>, no dia 26/09/13. Na saída do LCA1 a maior carga foi 2,9 g.dia<sup>-1</sup> no dia 20/08/13 e a menor 0,0 g.dia<sup>-1</sup> em 18/09/13. Ao compararmos as diferenças entre as cargas de nitrito verifica-se que em 62,5% dos casos houve remoção do nutriente e em 37,5% dos casos houve nitrificação – não houve diferença nula. No período estendido, a carga retida de nitrito foi 10,1 g.

Na Figura 56 estão apresentadas as cargas de entrada e saída de NO<sup>2-</sup> no LCA1 (Figura 56a) com suas respectivas diferenças (Figura 56b).

Figura 56. Cargas (a) e retenção em cargas (b) de entrada e saída de nitrito no LCA1.



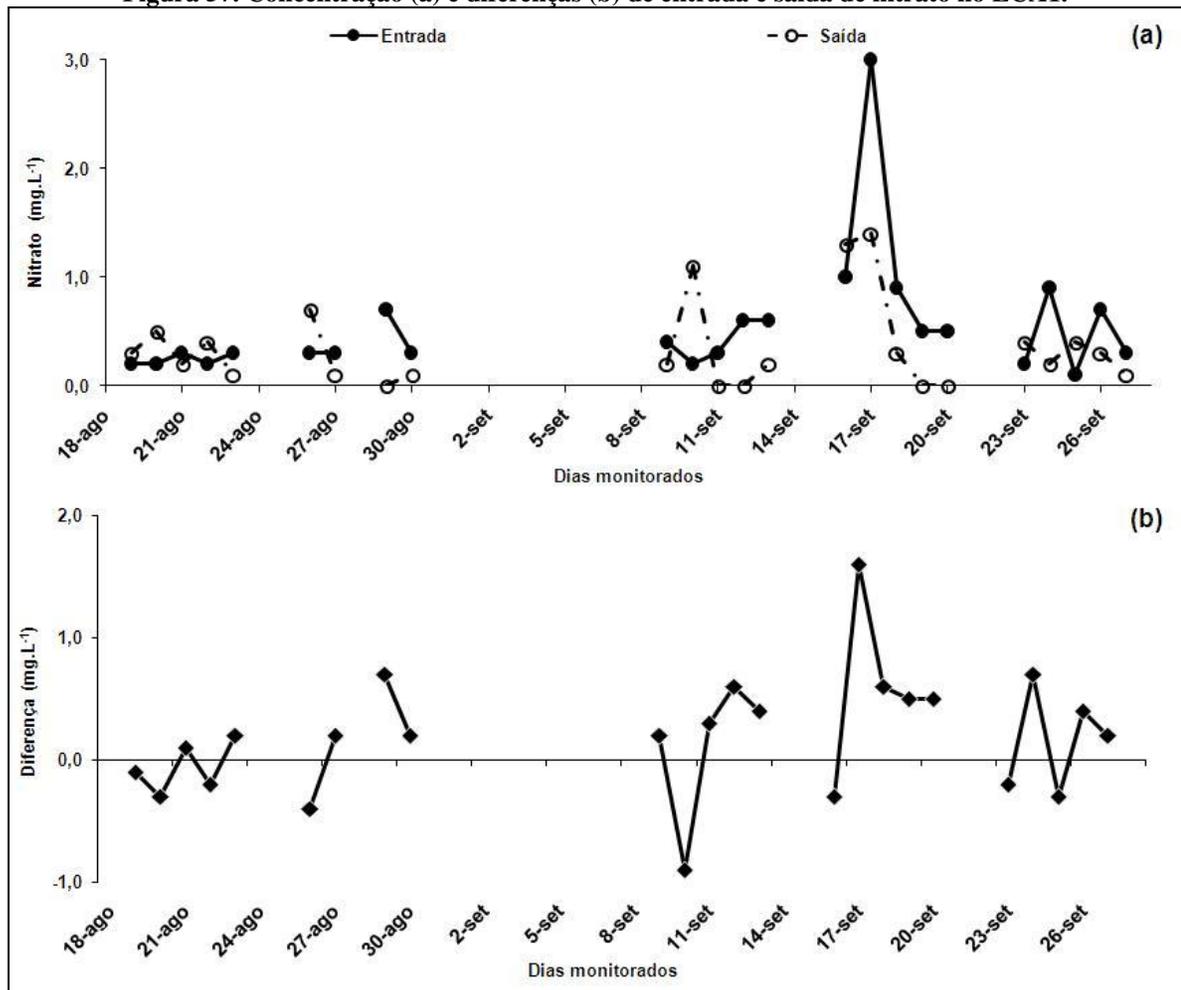
### 5.5.2.9. Nitrito (NO<sup>3-</sup>)

As maiores concentrações de nitrito na entrada e na saída do LCA1 foram observadas no dia 17/09/13, com 3,0 mg.L<sup>-1</sup> e 1,4 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente. O menor valor observado na entrada foi 0,1 mg.L<sup>-1</sup> no dia 25/09/13, e na saída foi 0,0 mg.L<sup>-1</sup> nos dias 29/08 e 11, 12, 19 e 20/09/13.

Em 66,7% dos casos houve diminuição da concentração de nitrito no LCA1 e em 33,3% dos casos houve nitrificação (acréscimo de nitrito), não houve retenção nula. Os dados de eficiência de retenção/remoção de nitrito são mais eficientes no LCA1 do que no LC.

É possível observar na Figura 57 os gráficos da concentração de entrada e saída de NO<sup>3-</sup> no LCA1 (Figura 57a) com suas respectivas diferenças (Figura 57b).

Figura 57. Concentração (a) e diferenças (b) de entrada e saída de nitrato no LCA1.

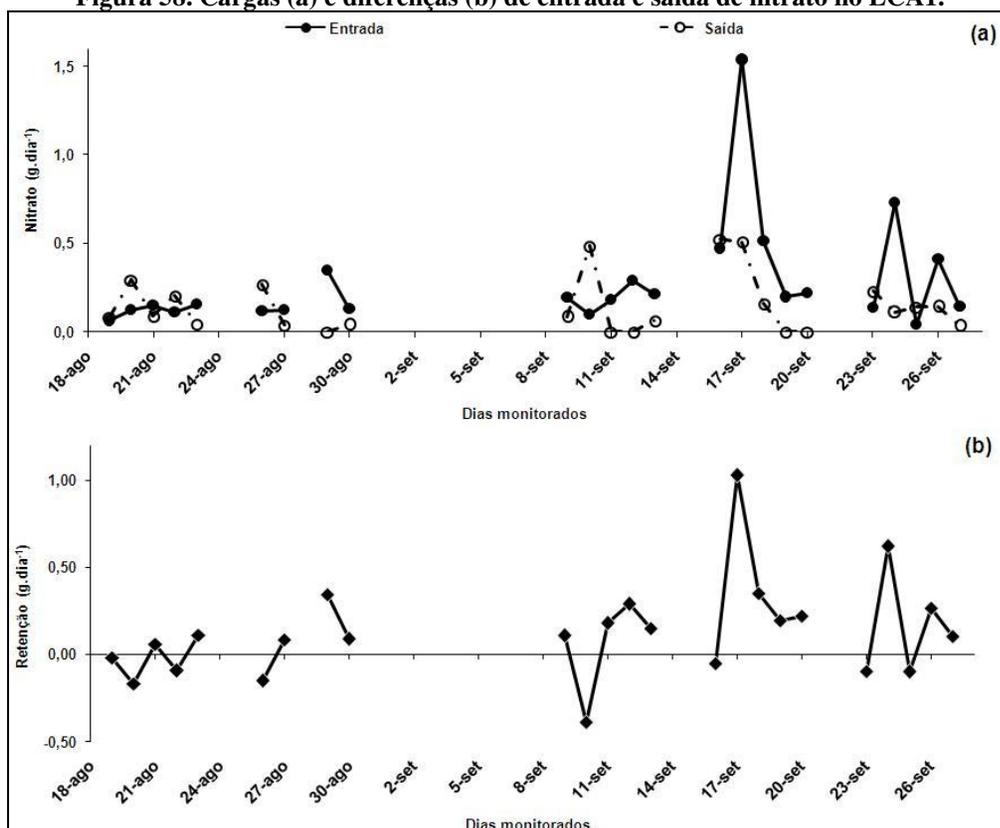


Na entrada no LCA1 a maior carga observada no período de estudo foi 1,5 g.dia<sup>-1</sup> em 17/09/13, e a menor foi 0,04 g.dia<sup>-1</sup> em 25/09/13. A maior carga observada na saída foi 0,5 g.dia<sup>-1</sup> em 17/09/13, e a menor 0,0 g.dia<sup>-1</sup> nos dias 29/08 e 11, 12, 19 e 20/09/13. No período estendido, a carga retida de nitrato foi 10,3 g.

No caso do nitrato não são observados melhores resultados ao serem analisadas as cargas do composto, pois as porcentagens de mudança se mantiveram as mesmas, em 66,7% dos casos houve diminuição da concentração de nitrato no LCA1 e em 33,3% dos casos houve nitrificação (acréscimo de nitrato), não houve retenção nula.

Na Figura 58 estão apresentados os gráficos das cargas de entrada e saída de NO<sup>3-</sup> no LCA1 (Figura 58a) com suas respectivas diferenças (Figura 58b).

Figura 58. Cargas (a) e diferenças (b) de entrada e saída de nitrato no LCA1.



### 5.5.2.1. Nitrogênio amoniacal (NH<sub>3</sub>)

A maior retenção de nitrogênio amoniacal no período ocorreu no dia 29/08/13 com 32,6%, dia que a concentração de entrada foi 103,0 mg.L<sup>-1</sup> e de saída 69,4 mg.L<sup>-1</sup>. A menor retenção aconteceu em 21/08/13 com -140,3%, pelo fato da concentração de saída (83,4 mg.L<sup>-1</sup>) ter sido maior que a de entrada (34,7 mg.L<sup>-1</sup>).

Analisando em cargas as eficiências de retenção são maiores, com apenas 3 resultados negativos, a maior porcentagem foi 46,3% representando uma retenção de 33,5 g.dia<sup>-1</sup>, enquanto que a menor foi -119,0% pelo fato da carga de saída (37,5 g.dia<sup>-1</sup>) ter sido maior que a de entrada (17,1 g.dia<sup>-1</sup>). No período estendido, a carga retida de nitrogênio amoniacal foi 786 g. Na Figura 59 estão apresentadas os gráficos das concentrações de entrada e saída de nitrogênio amoniacal no LCA1 (Figura 59a) com suas porcentagens de retenção (Figura 59b). Na Figura 60 estão apresentados os gráficos das cargas de NH<sub>3</sub> (Figura 60a) com suas respectivas diferenças (Figura 60b).

Figura 59. Concentrações (a) e retenções (b) de entrada e saída de nitrogênio amoniacal no LCA1.

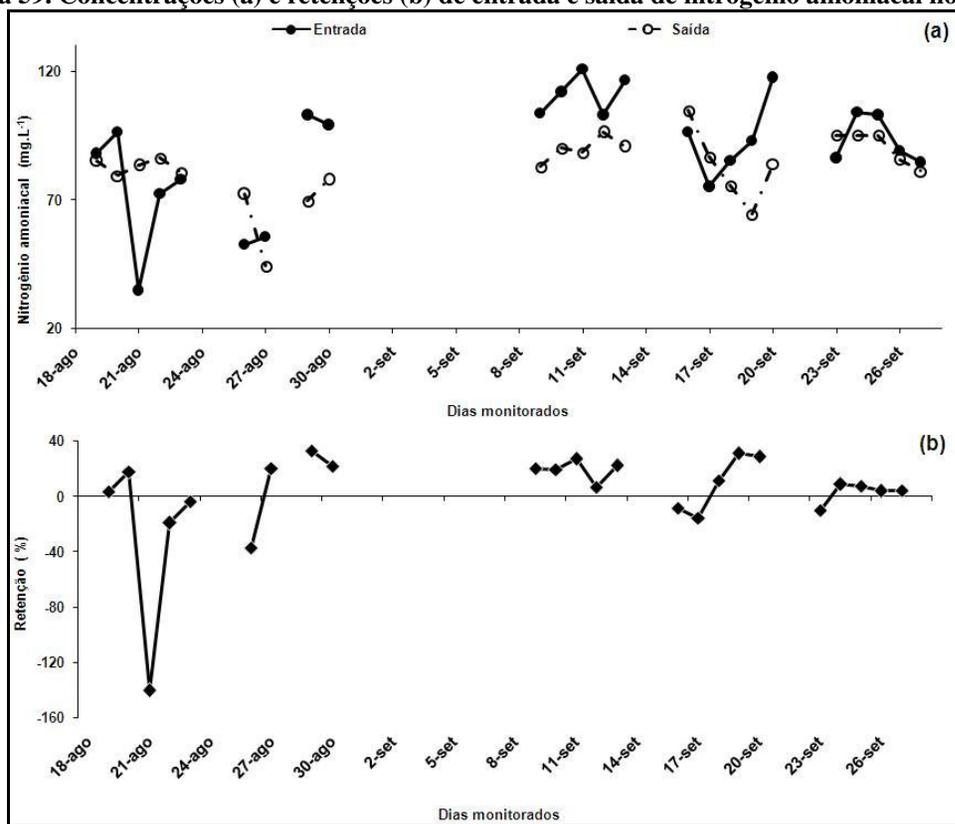
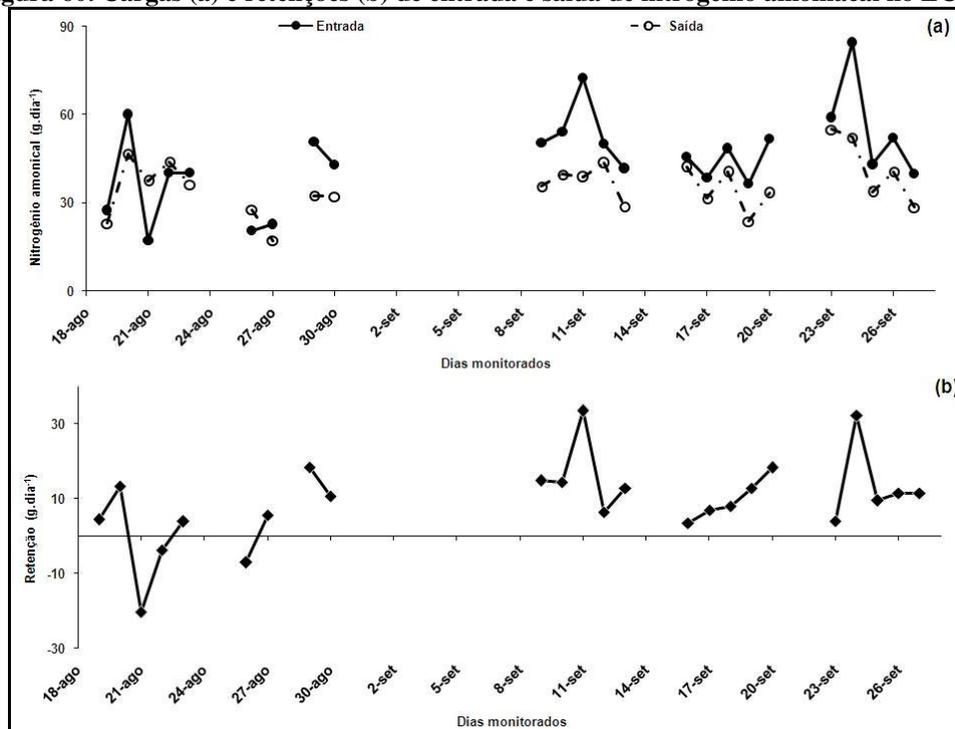


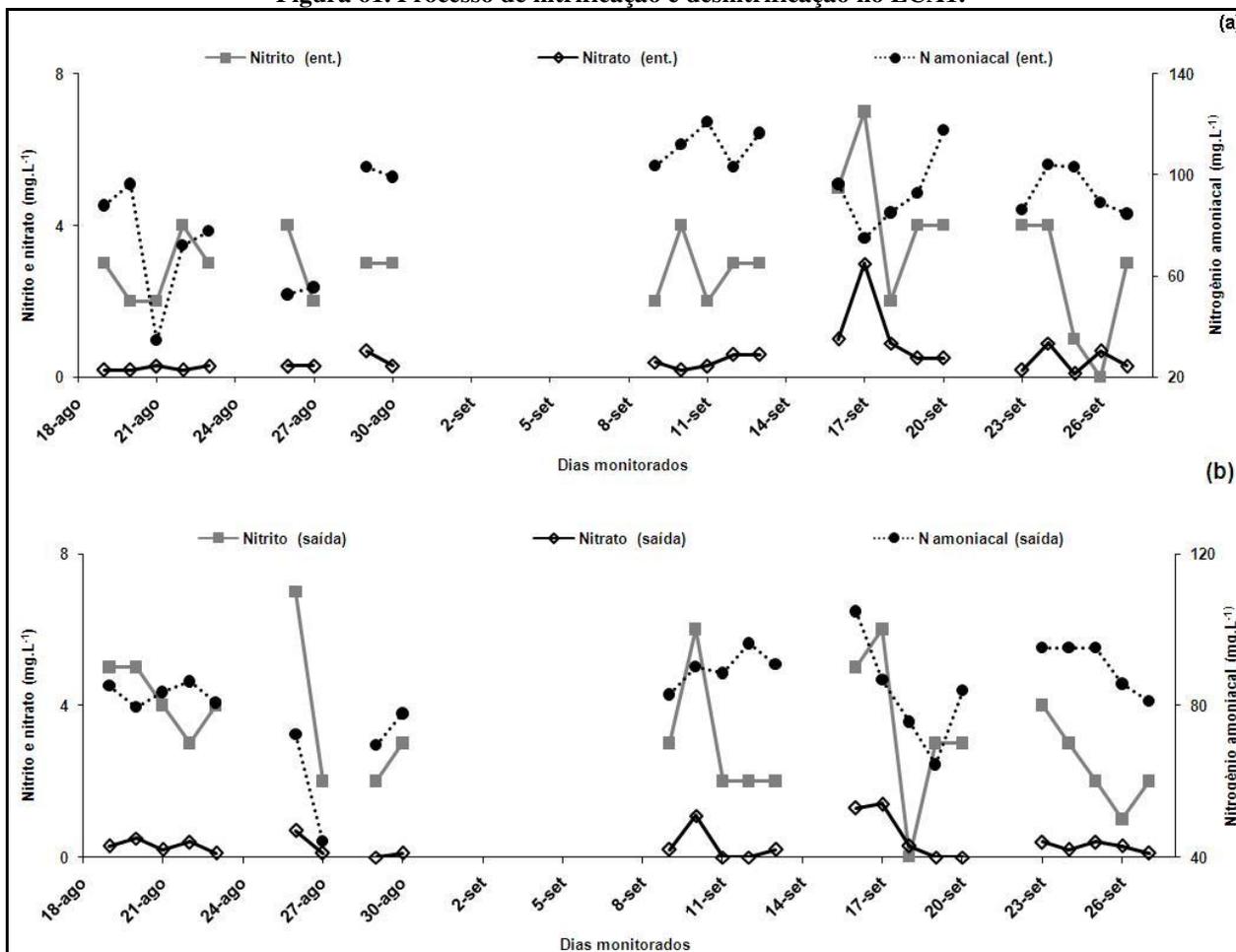
Figura 60. Cargas (a) e retenções (b) de entrada e saída de nitrogênio amoniacal no LCA1.



### 5.5.2.2. Nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato

Observa-se na Figura 61 o processo de nitrificação e desnitrificação que ocorreu durante o período estudado (19/08/13 à 27/09/13) no afluente (Figura 61a) e no efluente (Figura 61b) do LCA1. Conforme as concentrações de nitrogênio amoniacal caem, as concentrações de nitrito e nitrato se elevam, o mesmo é observado no inverso das concentrações.

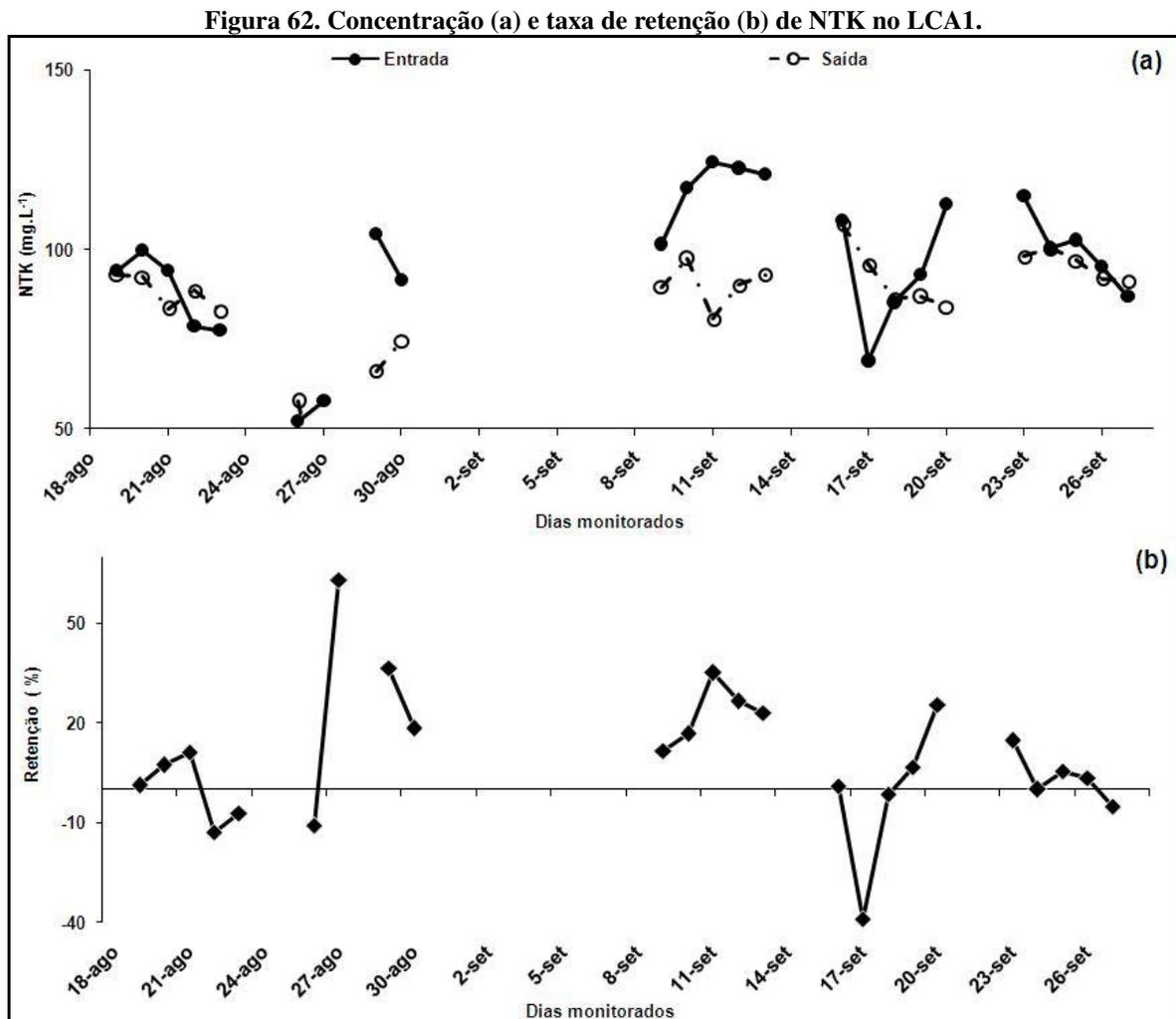
Figura 61. Processo de nitrificação e desnitrificação no LCA1.



### 5.5.2.3. Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)

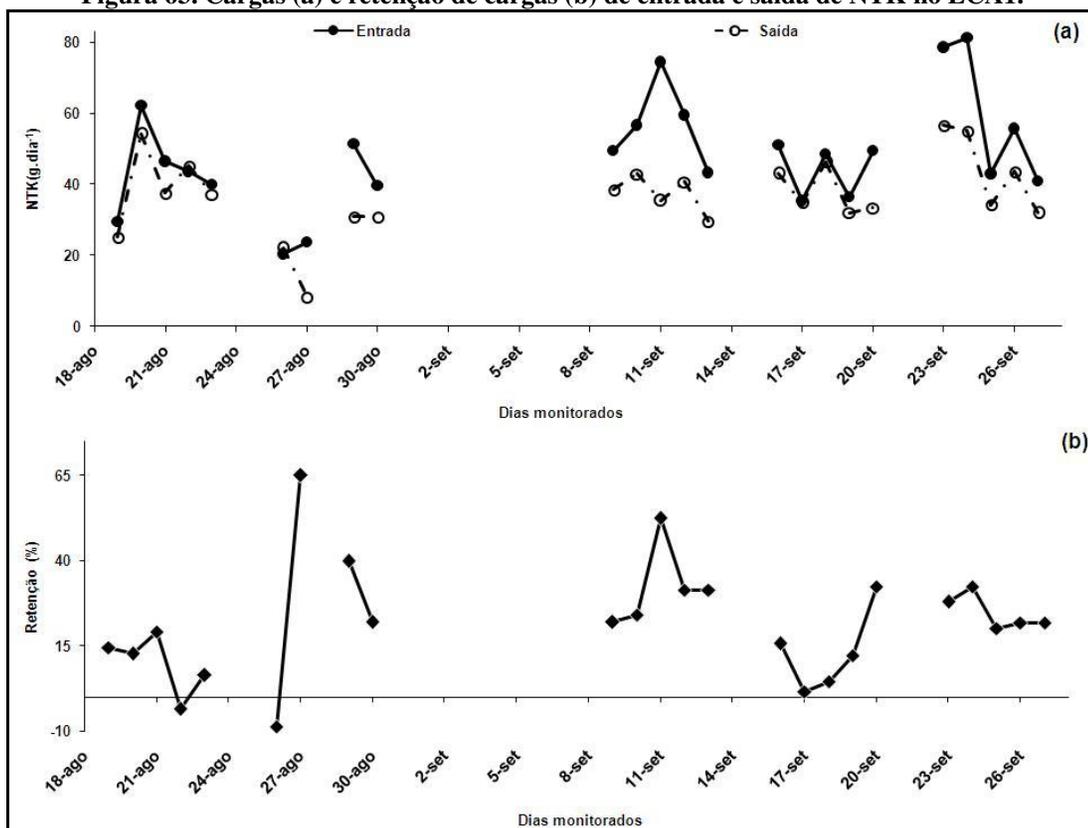
Ao observarmos as concentrações de NTK, a maior retenção do período ocorreu no dia 27/08/13 com 63,1%, cuja concentração de entrada foi 57,7 mg.L<sup>-1</sup> e de saída 21,3 mg.L<sup>-1</sup>. A

menor retenção aconteceu em 17/09/13 com -39,0%, cuja concentração de entrada foi 68,9 mg.L<sup>-1</sup> e de saída 95,8 mg.L<sup>-1</sup>. Na Figura 62 estão apresentados os gráficos da concentração de entrada e saída de nitrogênio total Kjeldahl no LCA1 (Figura 62a), e a taxa de remoção (Figura 62b).



Quando as cargas do analito são analisadas os resultados são favoráveis, com retenção negativa em apenas dois dias monitorados. A maior porcentagem foi 65% no dia 27/08/13 representando uma retenção de 15,3 g.dia<sup>-1</sup> ( $K_e = 23,6$  g.dia<sup>-1</sup> e  $K_s = 8,3$  g.dia<sup>-1</sup>). A menor retenção observada foi -8,6% no dia 26/08/13 um aumento de 1,7 g.dia<sup>-1</sup>, cuja carga de entrada foi 20,4 g.dia<sup>-1</sup> e de saída 22,1 g.dia<sup>-1</sup>. No período estendido a carga retida de NTK no LCA1 foi 939 g. Na Figura 63 estão apresentados os gráficos das cargas (Figura 63a) e da retenção de NTK (Figura 63b).

Figura 63. Cargas (a) e retenção de cargas (b) de entrada e saída de NTK no LCA1.



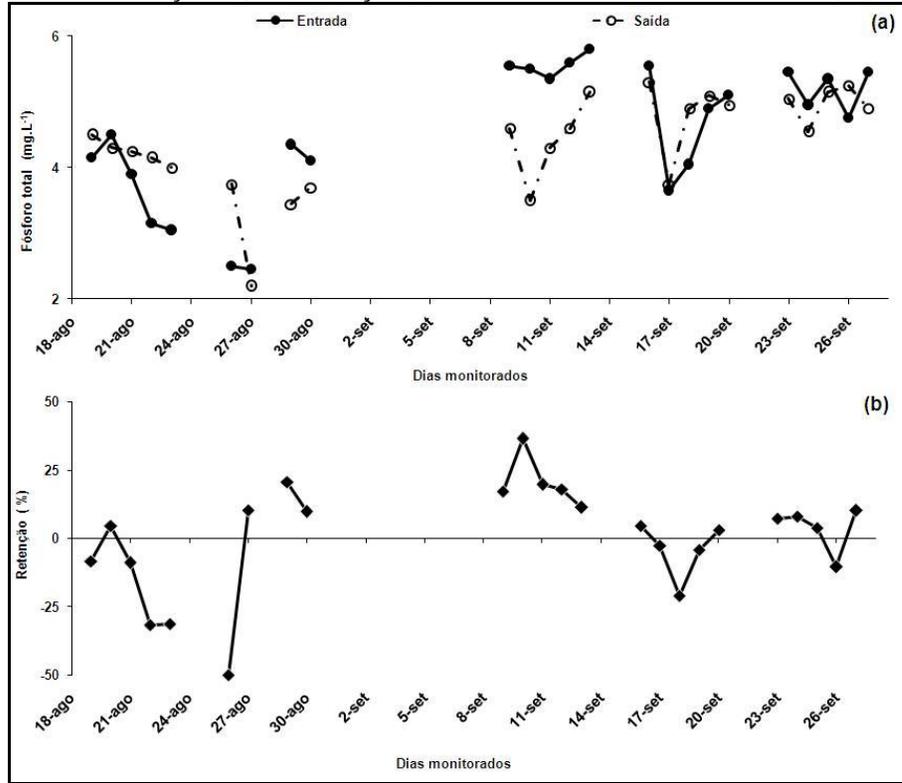
#### 5.5.2.4. Fósforo Total

A maior retenção de fósforo total no período ocorreu no dia 10/09/13 com 36,4%, cuja concentração de entrada foi 5,5 mg.L<sup>-1</sup> e de saída 3,5 mg.L<sup>-1</sup>. A menor retenção aconteceu em 26/08/13 com -50,0%, pelo fato da concentração de saída (3,8 mg.L<sup>-1</sup>) ter sido maior que a de entrada (2,5 mg.L<sup>-1</sup>). A menor retenção da concentração de fósforo total no LCA1 coincide com a menor do LC e com a menor retenção de NTK.

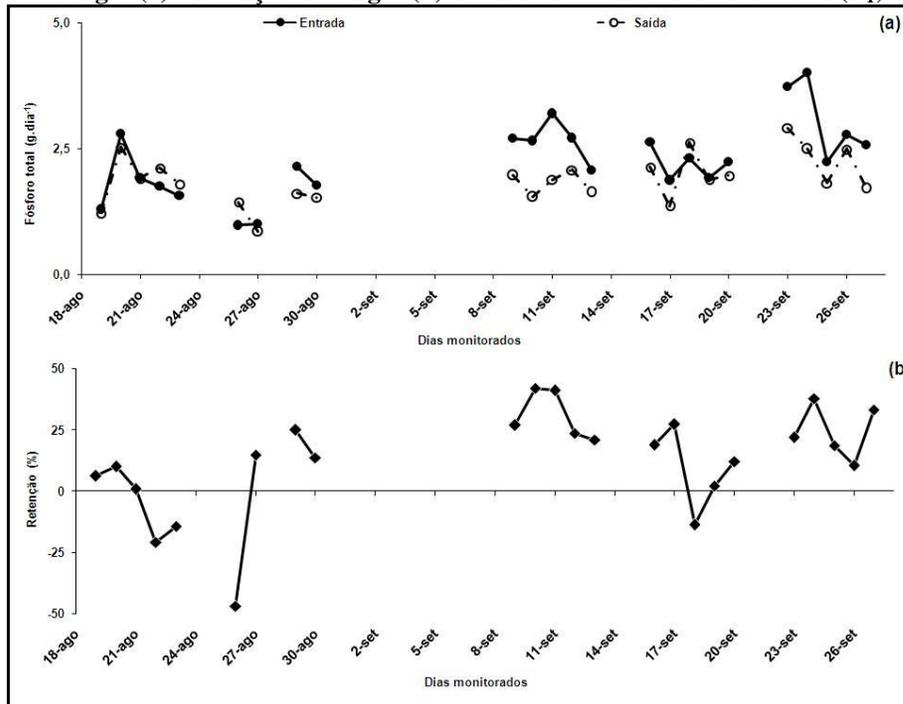
Analisando em cargas, a maior porcentagem foi 42,0 % representando uma retenção de 1,1 g.dia<sup>-1</sup>, com carga de entrada de 2,7 g.dia<sup>-1</sup> e saída 1,5 g.dia<sup>-1</sup> no dia 10/09/13. A menor retenção observada ocorreu no dia 26/08/13 (-47,1%) um aumento de 0,4 g.dia<sup>-1</sup>, cuja carga de entrada foi 1,0 g.dia<sup>-1</sup> e de saída 1,4 g.dia<sup>-1</sup>. Na Figura 64 estão apresentados os gráficos da concentração de entrada e saída de fósforo total no LCA1 (Figura 64a) e suas remoções (Figura 64b). No período estendido, a carga retida de fósforo total no LCA1 foi 31,9 g. Na Figura 65 estão apresentados os gráficos da carga de entrada e saída de fósforo total no LCA1 (Figura 65a)

e suas respectivas diferenças (Figura 65b).

**Figura 64. Concentrações (a) e diferenças (b) de entrada e saída de fósforo total ( $P_T$ ) no LCA1.**



**Figura 65. Cargas (a) e retenção de cargas (b) de entrada e saída de fósforo total ( $P_T$ ) no LCA1.**



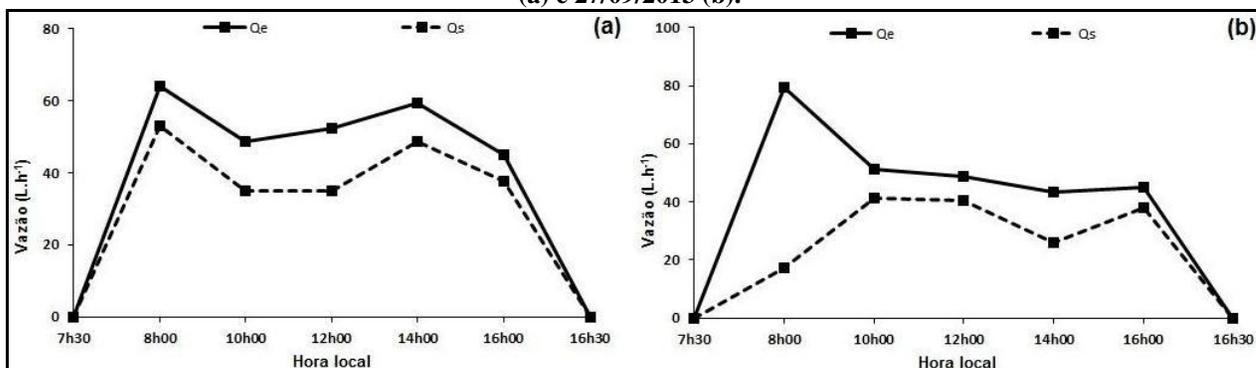
## 5.6. Comportamento do Leito Cultivado com Aguapé (2) – LCA2

### 5.6.1. Monitoramento da quantidade de água residuária

#### 5.6.1.1. Vazão (Q) – escala horária

As vazões horárias de entrada ( $Q_e$ ) e de saída ( $Q_s$ ) do LCA2 nos dias 26/09/13 (Figura 66a) e 27/09/13 (Figura 66b) estão apresentadas na Figura 66. Às 8 horas do dia 26/09/13 (Figura 66a) não tinha vazão de esgoto na faculdade, por esse motivo este dado não foi apresentado.

Figura 66. Vazão horária de entrada ( $Q_e$ ) e saída ( $Q_s$ ) no Leito Cultivado Aguapé 2 para os dias 26/09/2013 (a) e 27/09/2013 (b).



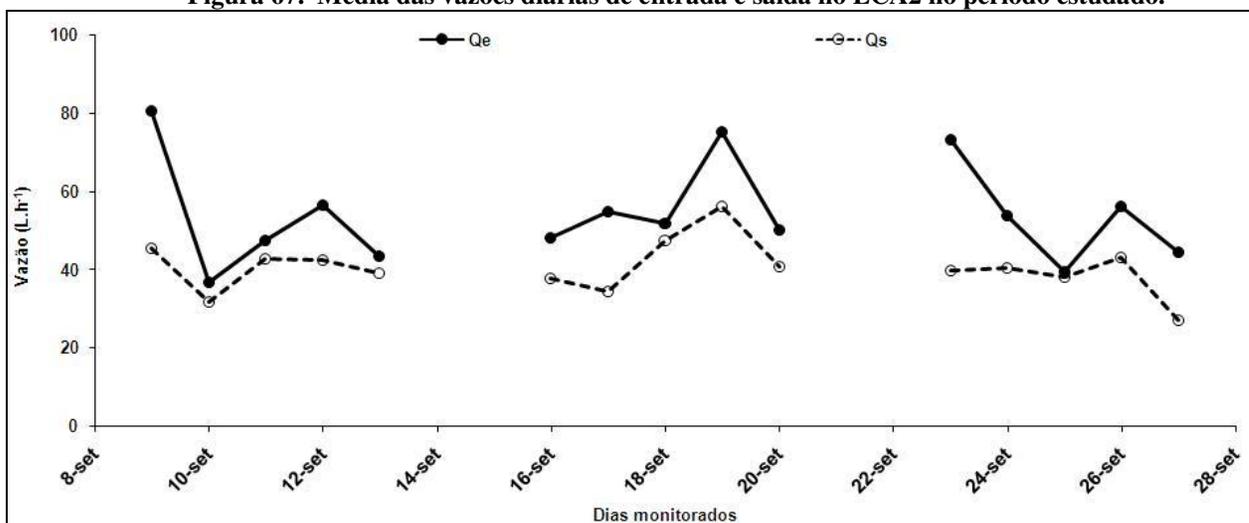
A vazão máxima e mínima registrada na entrada do LCA2 no período estudado foi de 354,6 L.h<sup>-1</sup> às 12 horas do dia 09/09/13, e 26,1 L.h<sup>-1</sup> às 10 horas de 13/09/13, respectivamente. A vazão máxima registrada na saída do LCA2 ocorreu às 12 horas do dia 09/09/13 (176,4 L.h<sup>-1</sup>), e a mínima vazão de saída registrada foi 14,4 L.h<sup>-1</sup> às 14 horas de 17/09/13.

A maior diferença entre as vazões de entrada e saída do LCA2 em 26/09/13 ocorreu às 14 horas com 17,1 L.h<sup>-1</sup>; neste dia a evapotranspiração calculada foi de 106,7 L.dia<sup>-1</sup>, com TDH de 2,4 dias e altura da lâmina d'água evaporada de 243,5 mm.dia<sup>-1</sup>. Enquanto que a maior diferença entre as vazões registrada no dia 27/09/13 foi de 62,1 L.h<sup>-1</sup> às 08 horas, com TDH de 2,1 dias, evapotranspiração calculada de 167,6 L.dia<sup>-1</sup> e altura da lâmina d'água evaporada de 382,6 mm.dia<sup>-1</sup>.

### 5.6.1.2. Vazão (Q) – escala diária

A Figura 67 apresenta a vazão média diária de entrada e saída do LCA2 no período estudado, de 09/09/13 à 27/09/13. A vazão média máxima de entrada e saída ocorreram no dia 09/09/13, com  $Q_e = 160,8 \text{ L. h}^{-1}$  e  $Q_s = 90,9 \text{ L. h}^{-1}$ , enquanto que a vazão mínima de entrada e saída aconteceram nas sextas-feiras 13/09/13 ( $Q_e = 43,4 \text{ L. h}^{-1}$ ) e 27/09/13 ( $Q_s = 32,6 \text{ L. h}^{-1}$ ). Pode-se observar neste gráfico como a vazão média de entrada nos leitos varia drasticamente.

Figura 67. Média das vazões diárias de entrada e saída no LCA2 no período estudado.



### 5.6.1.3. Tempo de detenção hidráulica (TDH) e evapotranspiração

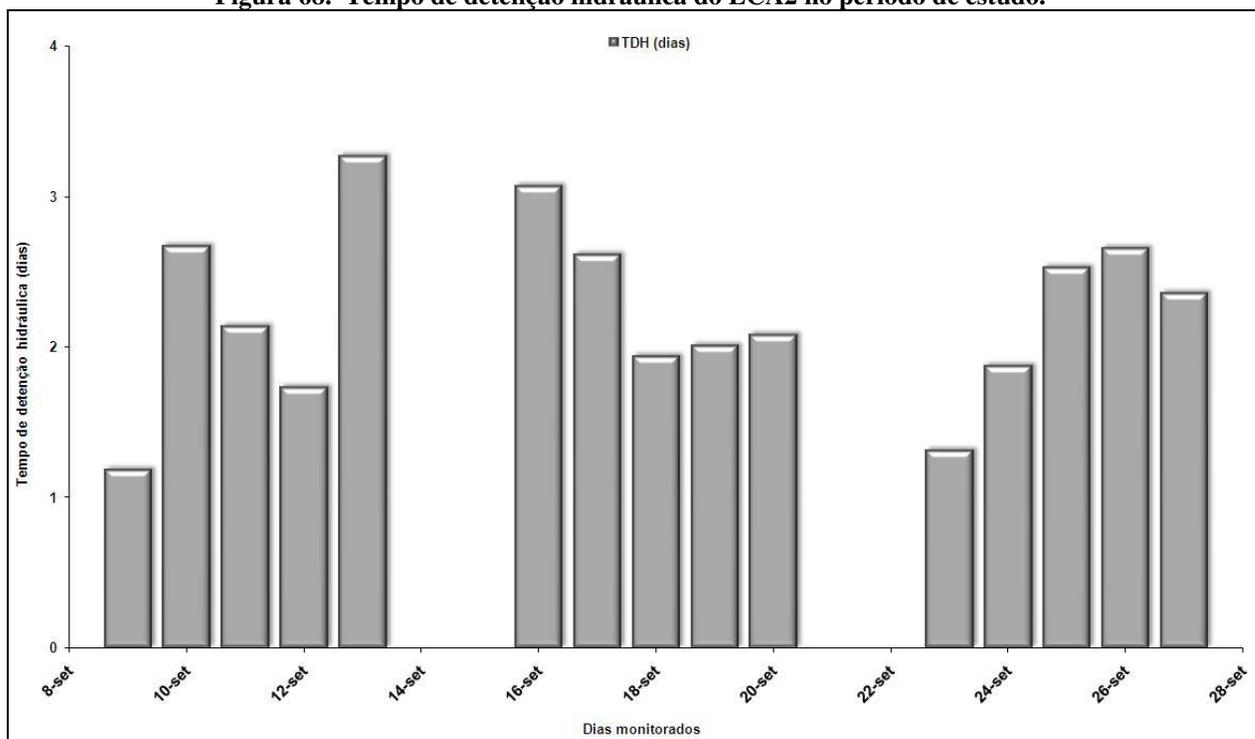
Estão apresentados na Tabela 07 os valores do tempo de detenção hidráulica (TDH), taxa de evapotranspiração e lâmina d'água evaporada com suas respectivas médias e desvios-padrão, do período de 09/09/13 à 27/09/13. A taxa de evapotranspiração foi dada pela diferença do volume total de esgoto diário da entrada, menos da saída do LCA2.

Observa-se que a média do TDH (2,0 dias) do diferem por apenas 0,5 dia e tendo em vista que o objetivo era manter o TDH entre 2 – 3 dias durante o experimento, foram valores satisfatórios. Já a taxa de evapotranspiração e altura da lâmina d'água evaporada foram apresentam desvios-padrão muito maiores. Na Figura 68 está apresentado o gráfico do TDH do LCA2 no período estudado.

**Tabela 7. Tempo de detenção hidráulica, taxa de evapotranspiração e lâmina d'água evaporada no LCA2.**

Data	TDH (dias)	Taxa de evapotranspiração (L.dia <sup>-1</sup> )	Lâmina d'água evaporada (mm.dia <sup>-1</sup> )
9/set	1,2	456,4	103,7
10/set	2,7	55,7	12,7
11/set	2,1	50,9	11,6
12/set	1,7	193,0	43,9
13/set	3,3	33,5	7,6
16/set	3,1	85,7	19,5
17/set	2,6	176,4	40,1
18/set	1,9	57,8	13,1
19/set	2,0	149,0	33,9
20/set	2,1	99,1	22,5
23/set	1,3	447,6	101,7
24/set	1,9	163,0	37,0
25/set	2,5	17,6	4,0
26/set	2,7	112,1	25,5
27/set	2,4	181,4	41,2
<b>Média total</b>	<b>2,2</b>	<b>151,9</b>	<b>34,5</b>
<b>Desvio-padrão</b>	<b>0,6</b>	<b>134,3</b>	<b>30,5</b>

**Figura 68. Tempo de detenção hidráulica do LCA2 no período de estudo.**



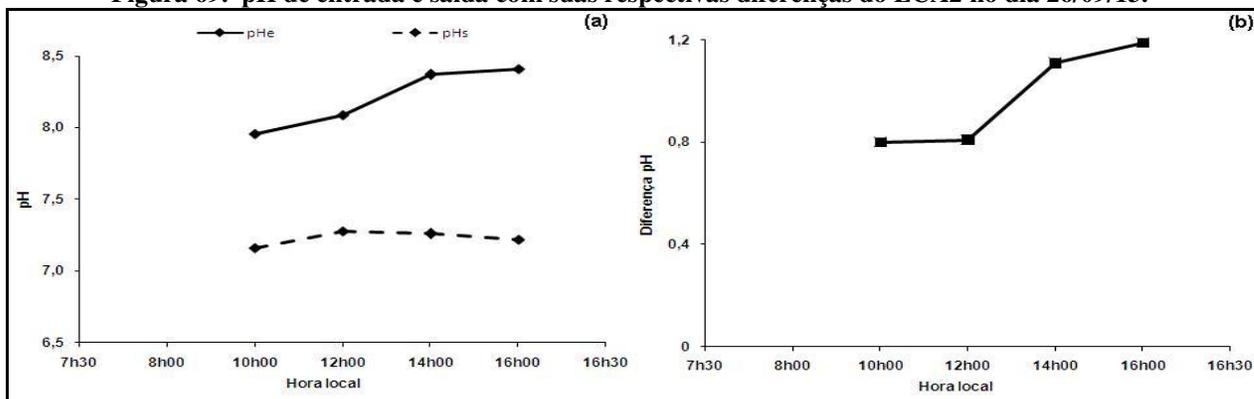
## 5.6.2. Monitoramento da qualidade da água residuária

### 5.6.2.1. pH – escala horária

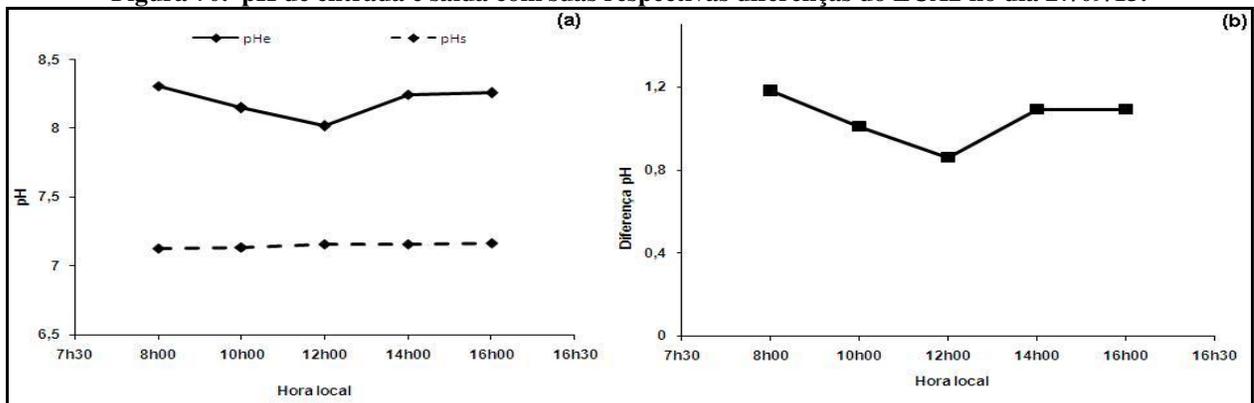
A média das diferenças do pH de entrada e saída no dia 26/09/13 foi  $1,0 \pm 0,2$  e no dia 27/09/13 foi  $1,0 \pm 0,1$ . O pH máximo e mínimo na entrada do LCA2 registrados no período estudado (09/09 à 27/09/13) foram 8,76 às 16 horas de 19/09/13 e 7,65 às 12 horas de 09/09/13. Na saída do LCA2 o pH máximo registrado foi 7,53 às 16 horas de 16/09/13 e o mínimo foi 6,87 às 12 horas de 09/09/2013.

Nas Figuras 69 e 70 estão apresentadas as medidas horárias do pH de entrada (pHe) e de saída (pHs) no LCA2 nos dias 26/09/13 (Figura 69a) e 27/09/13 (Figura 70a). As Figuras 69b e 70b apresentam as diferenças horárias entre o pH de entrada e saída no LCA2 nos dias 26 e 27/09/13, respectivamente.

**Figura 69. pH de entrada e saída com suas respectivas diferenças do LCA2 no dia 26/09/13.**

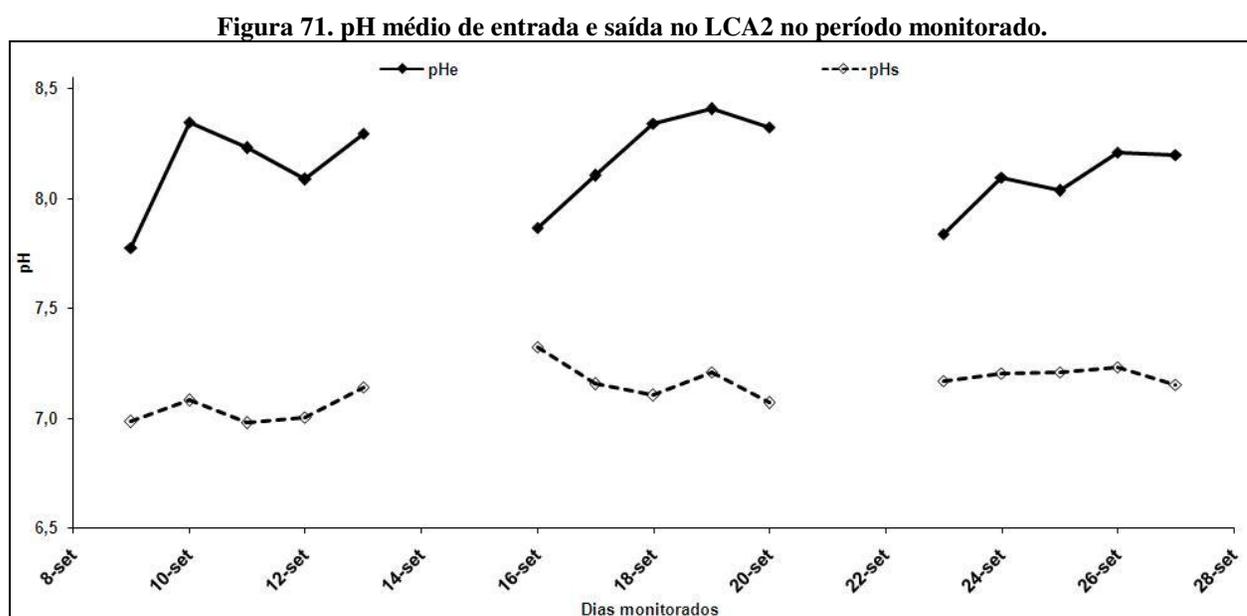


**Figura 70. pH de entrada e saída com suas respectivas diferenças do LCA2 no dia 27/09/13.**



### 5.6.2.2. pH – escala diária

Na Figura 71 estão apresentadas as médias do pH de entrada e saída no Leito Cultivado Aguapé 2 no período de 09/09 à 27/09/13. A maior diferença entre o pH médio de entrada e de saída (1,27) ocorreu no dia 10/09/13 com valores de 8,35 (entrada) e 7,08 (saída), enquanto que a menor diferença foi de 0,54 no dia 16/09/13, com valores de 7,87 (entrada) e 7,33 (saída). Em 100% das observações no período estudado houve redução do pH, se tornando menos alcalino e mais próximo da neutralidade.



### 5.6.2.3. Oxigênio Dissolvido (OD) – escala horária

O OD máximo e mínimo na entrada do LCA2 registrados no período estudado (09/09 à 27/09/13) foram  $8,84 \text{ mg.L}^{-1}$  às 08 horas de 25/09/13, com temperatura do esgoto de  $24,1 \text{ }^\circ\text{C}$ , enquanto que o mínimo foi  $0,07 \text{ mg.L}^{-1}$  às 16 horas de 26/09/13 com temperatura de  $24,3 \text{ }^\circ\text{C}$ . A temperatura máxima de entrada registrada no LCA2 no período estudado ocorreu no dia 09/09/13 às 14 horas com  $29,6^\circ\text{C}$ ; a mínima registrada foi de  $19,5 \text{ }^\circ\text{C}$  às 08 horas do dia 27/09/13.

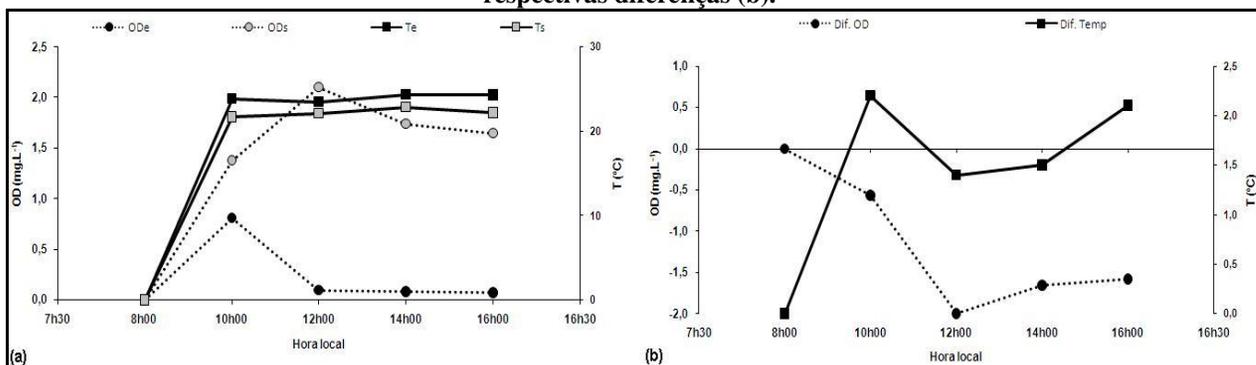
Na saída do LC o OD máximo registrado foi  $2,51$  às 14 horas de 16/09/13 com temperatura de  $24,2 \text{ }^\circ\text{C}$ , e o OD mínimo foi  $0,1$  às 14 e às 16 horas de 19/09/2013, com

temperaturas de 24,5 e 24,4°C, respectivamente. A temperatura máxima de saída no período estudado ocorreu às 16 horas do dia 20/09/13 (25,3 °C), e a mínima foi de 18,3°C às 8 horas do dia 27/09/13.

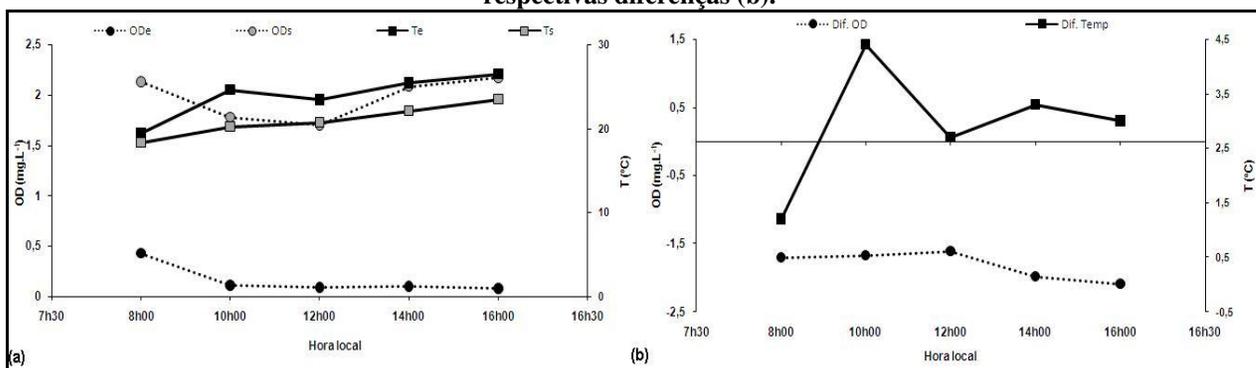
A diferença média entre o oxigênio dissolvido de entrada e saída no LCA2 no dia 26/09/13 foi de  $-1,5 \pm 0,6$ , enquanto que da temperatura foi de  $1,8 \pm 0,4$ . Já para o dia 27/09/13 a média das diferenças dos valores de OD foi  $-1,8 \pm 0,2$  e de temperatura foi  $2,9 \pm 1,2$ .

Nas Figuras 72 e 73 estão apresentadas as medidas horárias do OD de entrada (ODe) e de saída (ODs) no Leito Cultivado Aguapé 2, nos dias 26/09/13 (Figura 72a) e 27/09/13 (Figura 73a). As Figuras 72b e 73b apresentam as diferenças horárias entre o OD e a temperatura de entrada e saída no LCA2 nos dias 26/09/13 e 27/09/13, respectivamente.

**Figura 72. Oxigênio dissolvido e temperatura afluente e efluente ao LCA2 no dia 26/09/13 (a) com suas respectivas diferenças (b).**



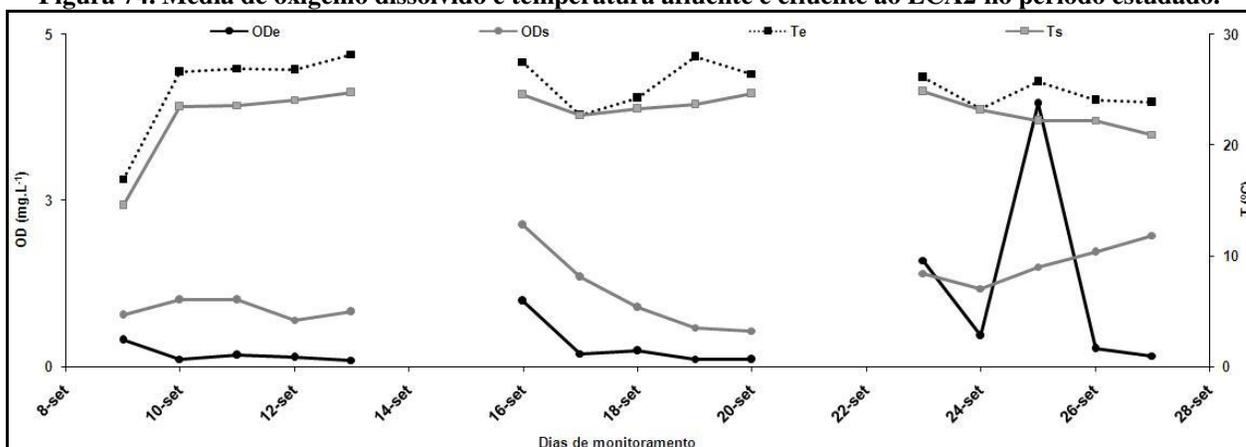
**Figura 73. Oxigênio dissolvido e temperatura afluente e efluente ao LCA2 no dia 27/09/13 (a) com suas respectivas diferenças (b).**



#### 5.6.2.4. Oxigênio Dissolvido (OD) – escala diária

A média máxima e mínima de OD registrados no LCA2 no período estudado (09/09 à 27/09/13) foram 3,96 mg.L<sup>-1</sup> no dia 25/09/13 e 0,10 mg.L<sup>-1</sup> nos dias 13/09 e 20/09/13 (esses valores mínimos de OD coincidem com os mínimos no LCA2). Na saída do LCA2 o OD máximo registrado foi 2,13 mg.L<sup>-1</sup> no dia 16/09/13 e 0,54 mg.L<sup>-1</sup> no dia 20/09/13. A temperatura média máxima de entrada registrada foi 28,2 °C nos dias 09 e 13/09/13, e a mínima foi 22,7 °C no dia 17/09/13. Já na saída do LCA2 foi registrado 24,8 °C no dia 23/09/13 e 21,0 °C no dia 27/09/13. Na Figura 74 estão apresentadas as médias diárias de entrada e saída de oxigênio dissolvido, e a temperatura do esgoto no Leito Cultivado Aguapé 2.

**Figura 74. Média de oxigênio dissolvido e temperatura afluente e efluente ao LCA2 no período estudado.**



#### 5.6.2.5. Cor

Na Figura 75 estão apresentadas as concentrações de entrada e saída de cor no LCA2 (Figura 75a) e suas taxas de remoção (Figura 75b). Na Figura 76 estão apresentadas as cargas de entrada e saída de cor (Figura 76a) e as diferenças entre as cargas (Figura 76b).

Figura 75. Concentração (a) e remoção (b) de cor no LCA2.

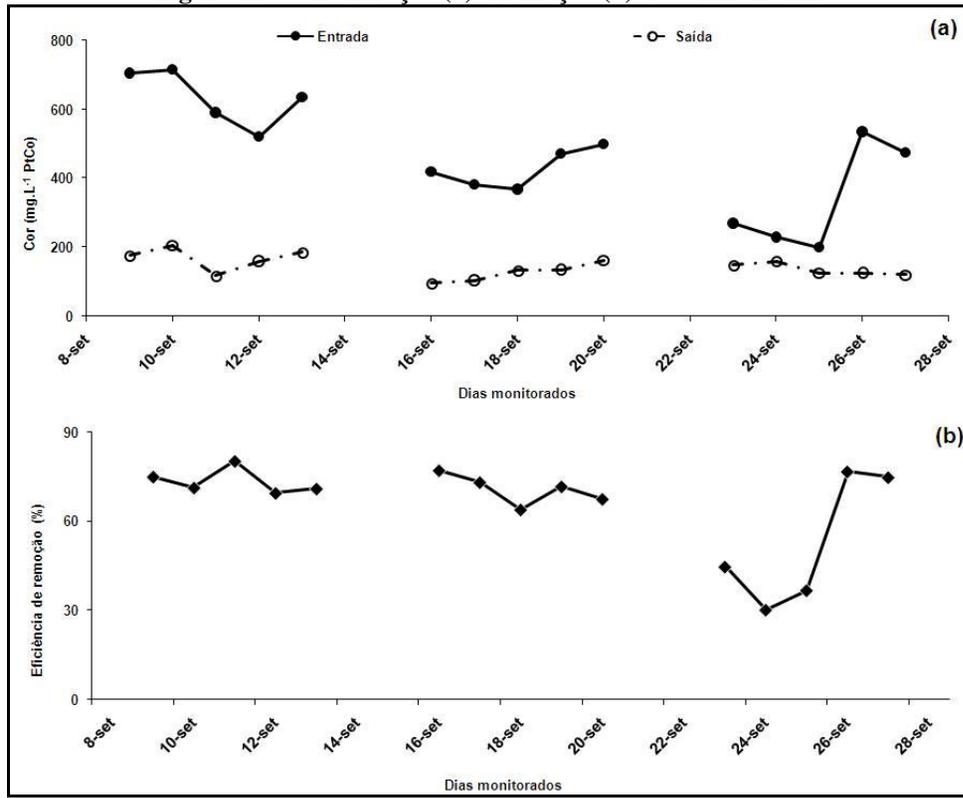
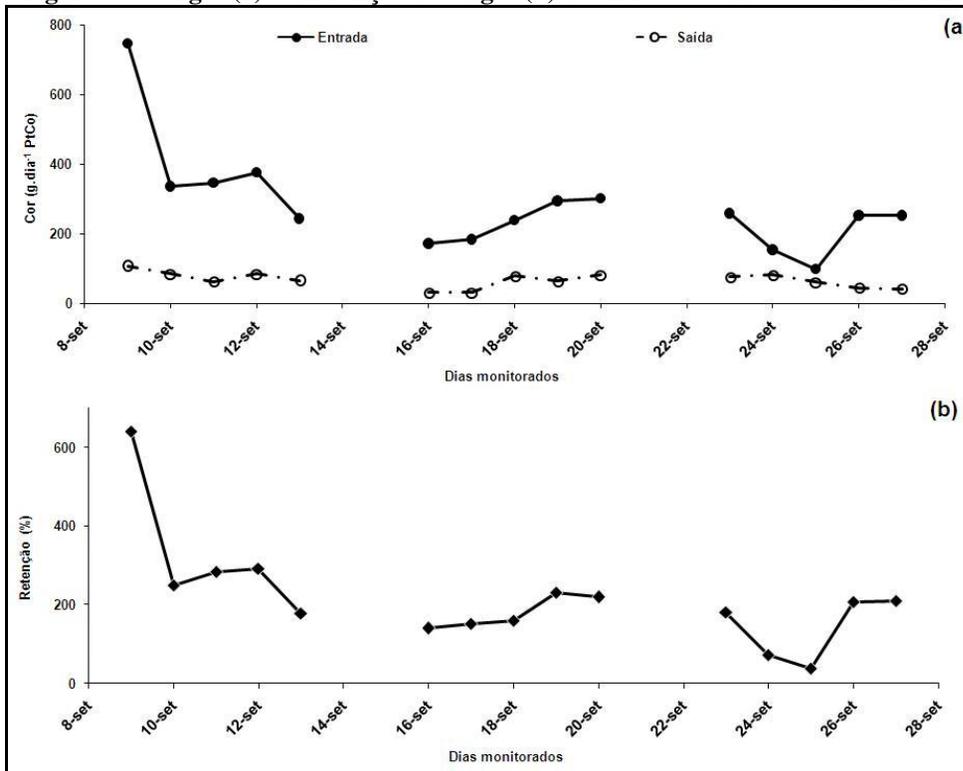


Figura 76. Cargas (a) e diferenças de cargas (b) de entrada e saída de cor no LCA2.



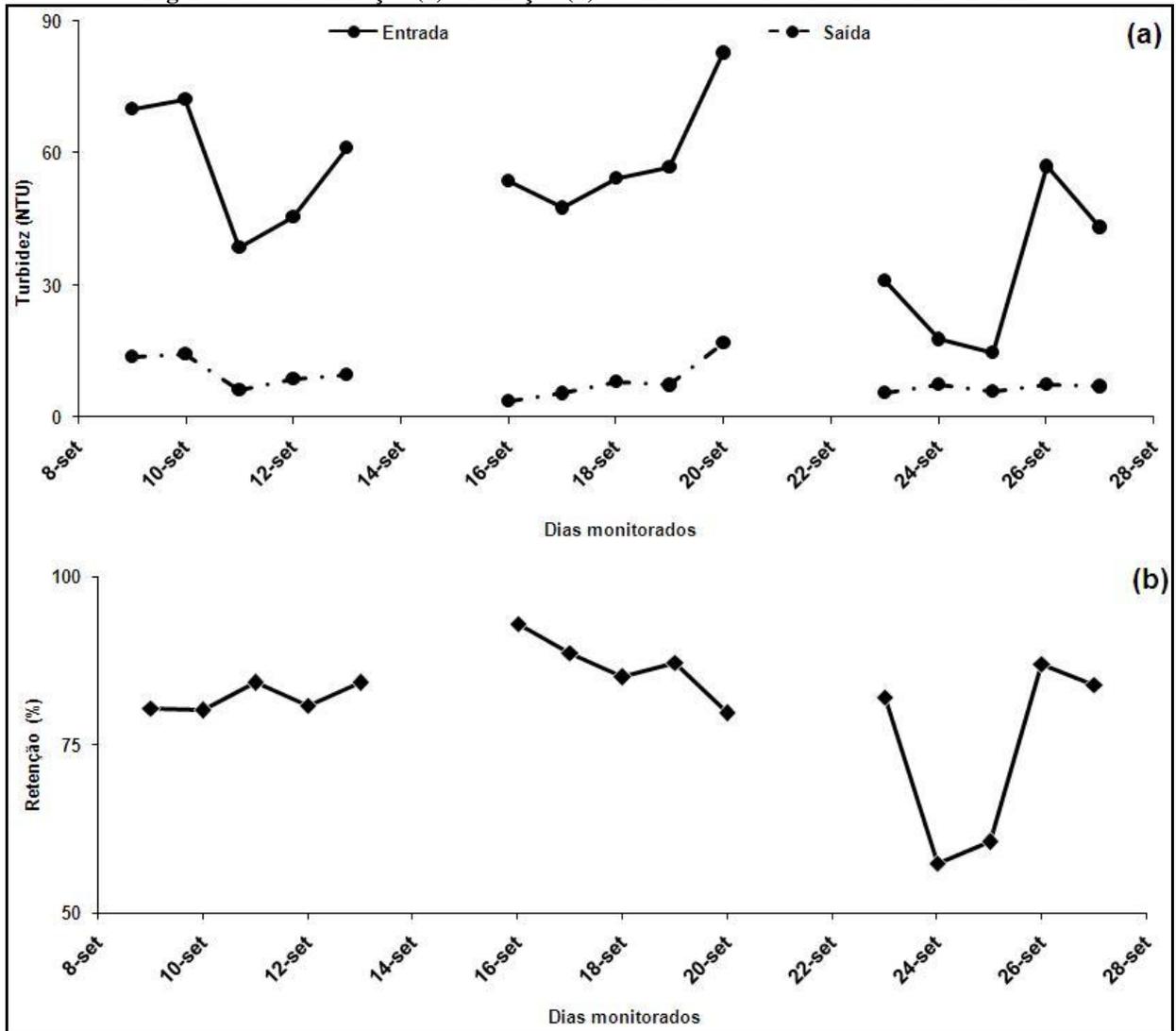
A maior concentração de cor afluyente ao LCA2 ocorreu no dia 10/09/13 com  $715 \text{ mg.L}^{-1}$  PtCo, enquanto que a menor foi  $199 \text{ mg.L}^{-1}$  PtCo no dia 25/09/13. Na saída do leito a maior concentração foi  $206 \text{ mg.L}^{-1}$  PtCo também no dia 10/09/13, e a menor foi  $96 \text{ mg.L}^{-1}$  PtCo no dia 16/09/13. A maior porcentagem de remoção de cor em  $\text{mg.L}^{-1}$  foi 80% no dia 11/09/13, e a menor remoção foi de 30% no dia 24/09/13.

Observa-se no dia 09/09/13 a maior carga de cor,  $747 \text{ g.dia}^{-1}$  na entrada do LCA2, enquanto que a menor carga foi  $99 \text{ g.dia}^{-1}$  no dia 25/09/13. A maior carga calculada na saída do leito foi  $107 \text{ g.dia}^{-1}$  também em 09/09/13, enquanto que  $31 \text{ g.dia}^{-1}$  foi a menor carga obtida na saída deste leito em 16/09/13. A maior massa retida pelo LC foi  $640 \text{ g.dia}^{-1}$  em 09/09/13 e a menor foi no dia 25/09/13, retendo apenas  $38 \text{ g.dia}^{-1}$ . No período estendido a carga retida de cor pelo LCA2 foi 28,0 kg.

#### **5.6.2.6. Turbidez**

A maior turbidez observada na entrada do LCA2 foi no dia 20/09/13 (83 NTU), e a menor foi 15 NTU no dia 25/09/13. A maior turbidez observada na saída do LC foi 17 NTU e ocorreu no dia 20/09/13, já a menor foi no dia 16/09/13, com 4 NTU. No mesmo dia foi observada a maior remoção de turbidez, com 93%, enquanto que a menor remoção foi no dia 24/09/13 com 57 NTU. Na Figura 77 estão apresentados os gráficos de entrada e saída de turbidez no LCA2 (Figura 77a) com suas respectivas porcentagens de remoção (Figura 77b).

Figura 77. Concentração (a) e remoção (b) de entrada e saída de turbidez no LCA2.



### 5.6.2.7. Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Observa-se no dia 09/09/13 a maior carga de DQO,  $239,9 \text{ g.dia}^{-1}$  na entrada do LCA2, enquanto que a menor carga foi  $34,7 \text{ g.dia}^{-1}$  no dia 25/09/13. A maior carga calculada na saída do LCA2 foi  $42,5 \text{ g.dia}^{-1}$  em 12/09/13, enquanto que  $0,0 \text{ g.dia}^{-1}$  foi a menor carga obtida na saída deste leito no dia 25/09/13. A maior massa retida pelo LCA2 foi  $217,9 \text{ g.dia}^{-1}$  em 09/09/13 (primeiro dia de amostragem) e a menor foi no dia 25/09/13 retendo  $34,7 \text{ g.dia}^{-1}$  (toda a carga de entrada). Na Figura 78 estão apresentados os gráficos da concentração de entrada e saída de DQO no LCA2 (Figura 78a) e sua taxa de retenção (Figura 78b). Na Figura 79 estão apresentados os

gráficos da carga diária de DQO (Figura 79a) e as diferenças entre as cargas de entrada e saída de DQO (Figura 79b). No período estendido a carga retida de DQO pelo LCA2 foi 15,2 kg.

Figura 78. Concentração (a) e remoção (b) de entrada e saída de DQO no LCA2.

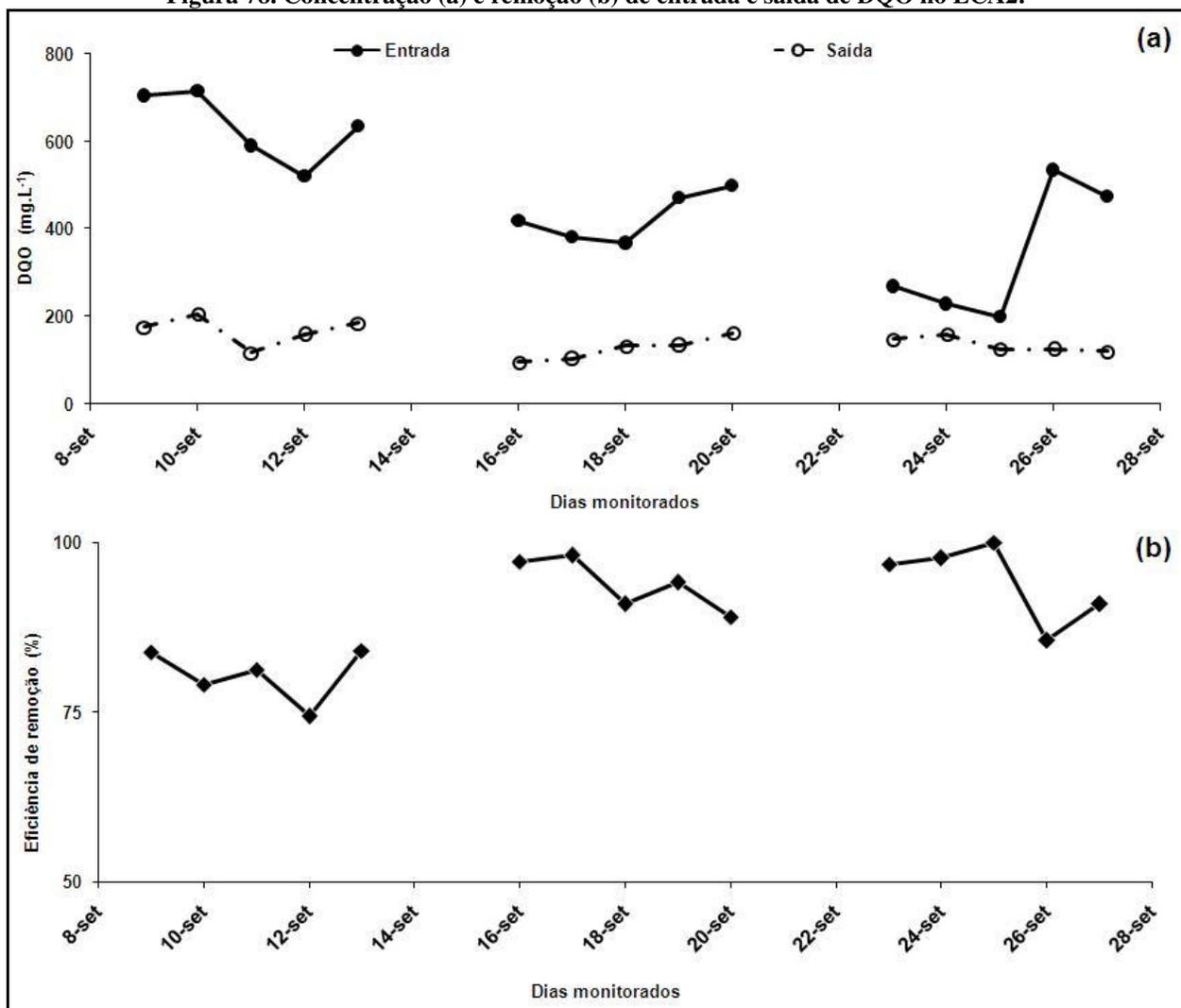
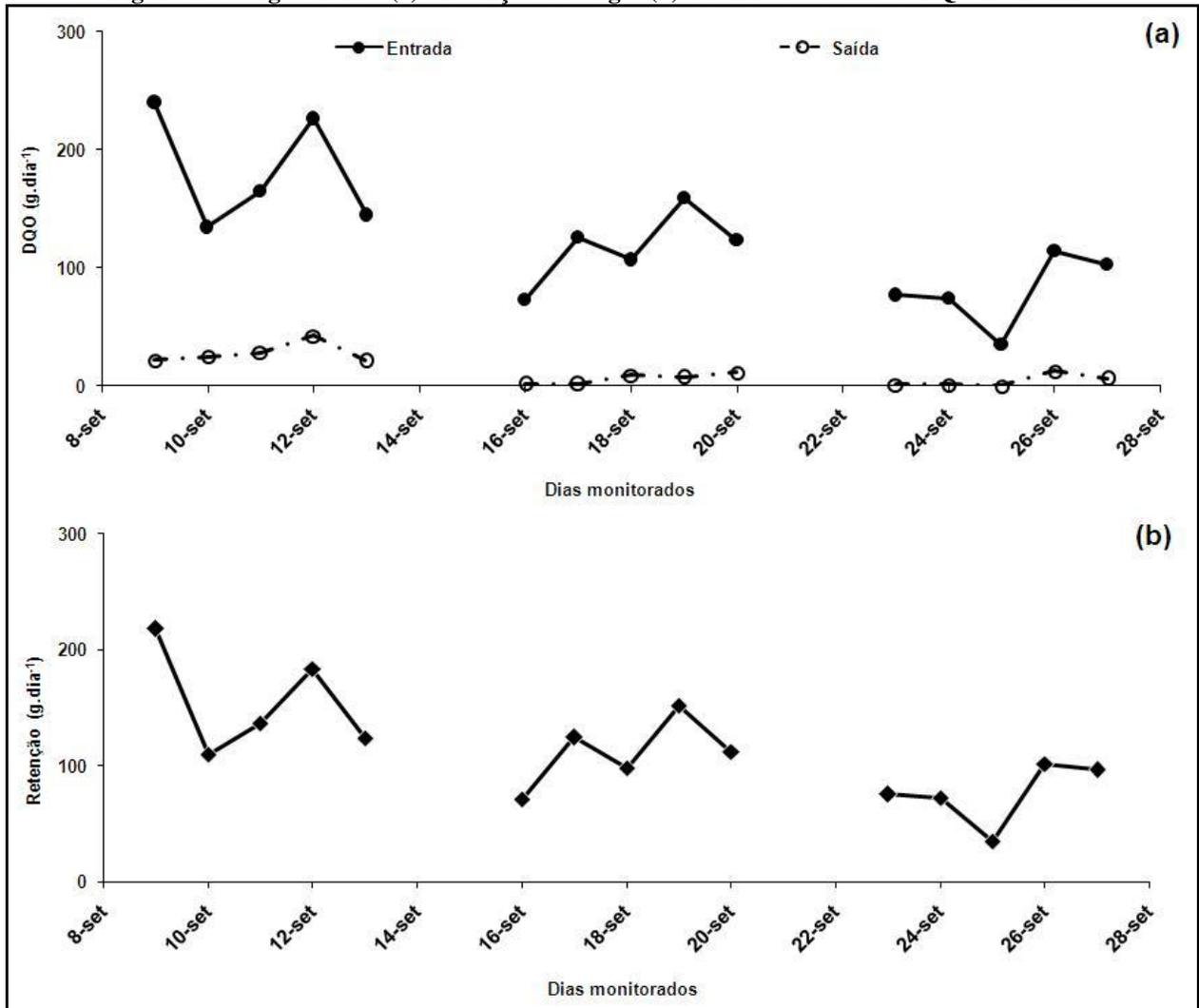


Figura 79. Cargas diárias (a) e retenção de cargas (b) de entrada e saída de DQO no LCA2.



A maior concentração de DQO afluente ao leito ocorreu no dia 13/09/13 com 377,5 mg.L<sup>-1</sup>, enquanto que a menor foi 70,0 mg.L<sup>-1</sup> no dia 25/09/13. Na saída do LCA2 a maior concentração foi 80,0 mg.L<sup>-1</sup> no dia 12/09/13, e a menor foi < 1 mg.L<sup>-1</sup> no dia 25/09/13. A maior porcentagem de remoção de DQO em mg.L<sup>-1</sup> foi 100% no dia 25/09/13, e a menor remoção foi de 74,4% no dia 12/09/13.

#### 5.6.2.8. Nitrito (NO<sup>2-</sup>)

Na Figura 80 estão apresentados os gráficos de entrada e saída de NO<sup>2-</sup> no LCA2 em concentração (Figura 80a) e a diferença de nitrito em mg.L<sup>-1</sup> (Figura 80b). Na Figura 81 estão

apresentados os gráficos de entrada e saída de  $\text{NO}_2^-$  no LCA2 em carga (Figura 81a) e as diferenças entre as cargas de entrada e saída de nitrito (Figura 81b).

Figura 80. Concentração (a) e diferença (b) de entrada e saída de  $\text{NO}_2^-$  no LCA2.

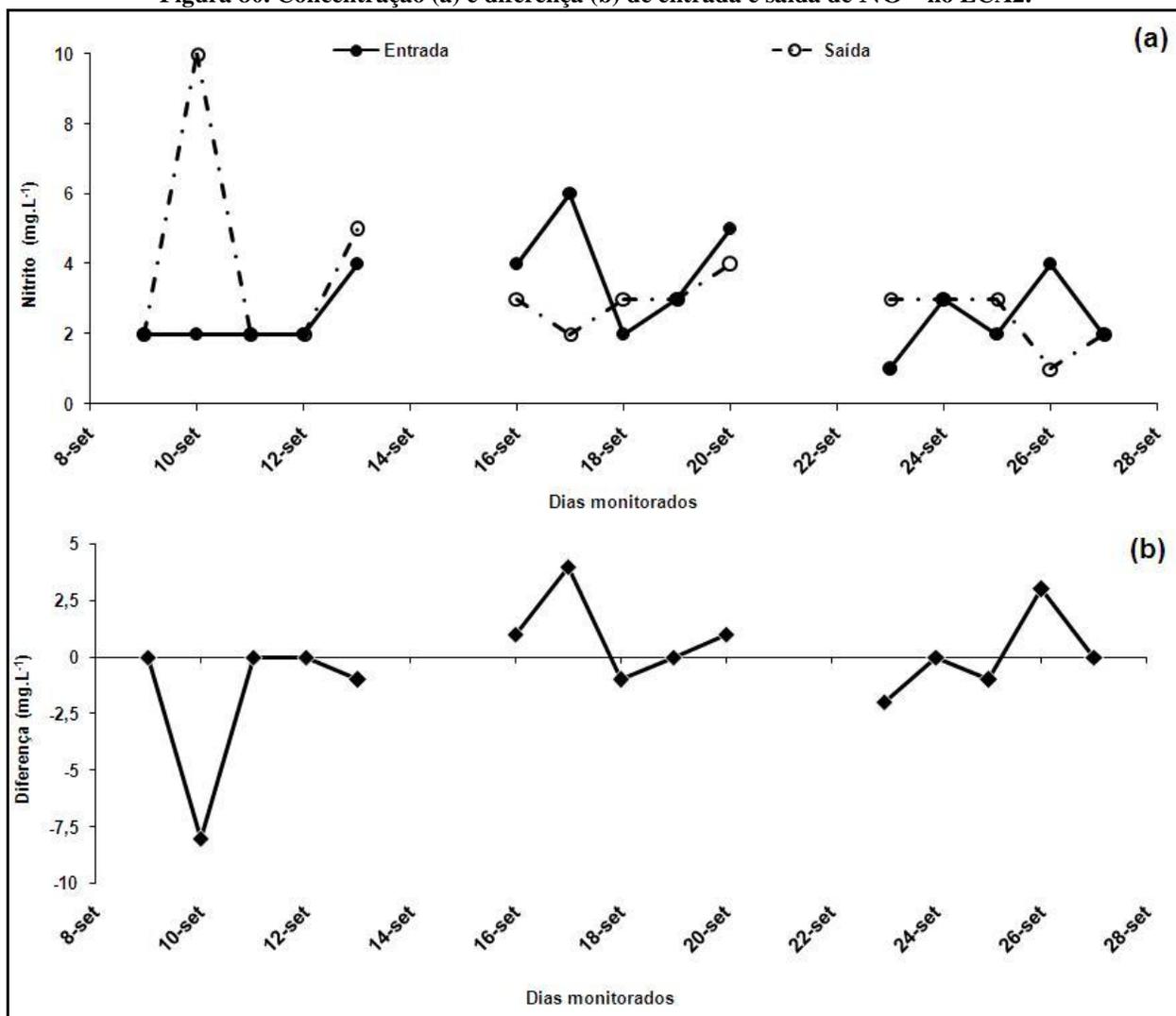
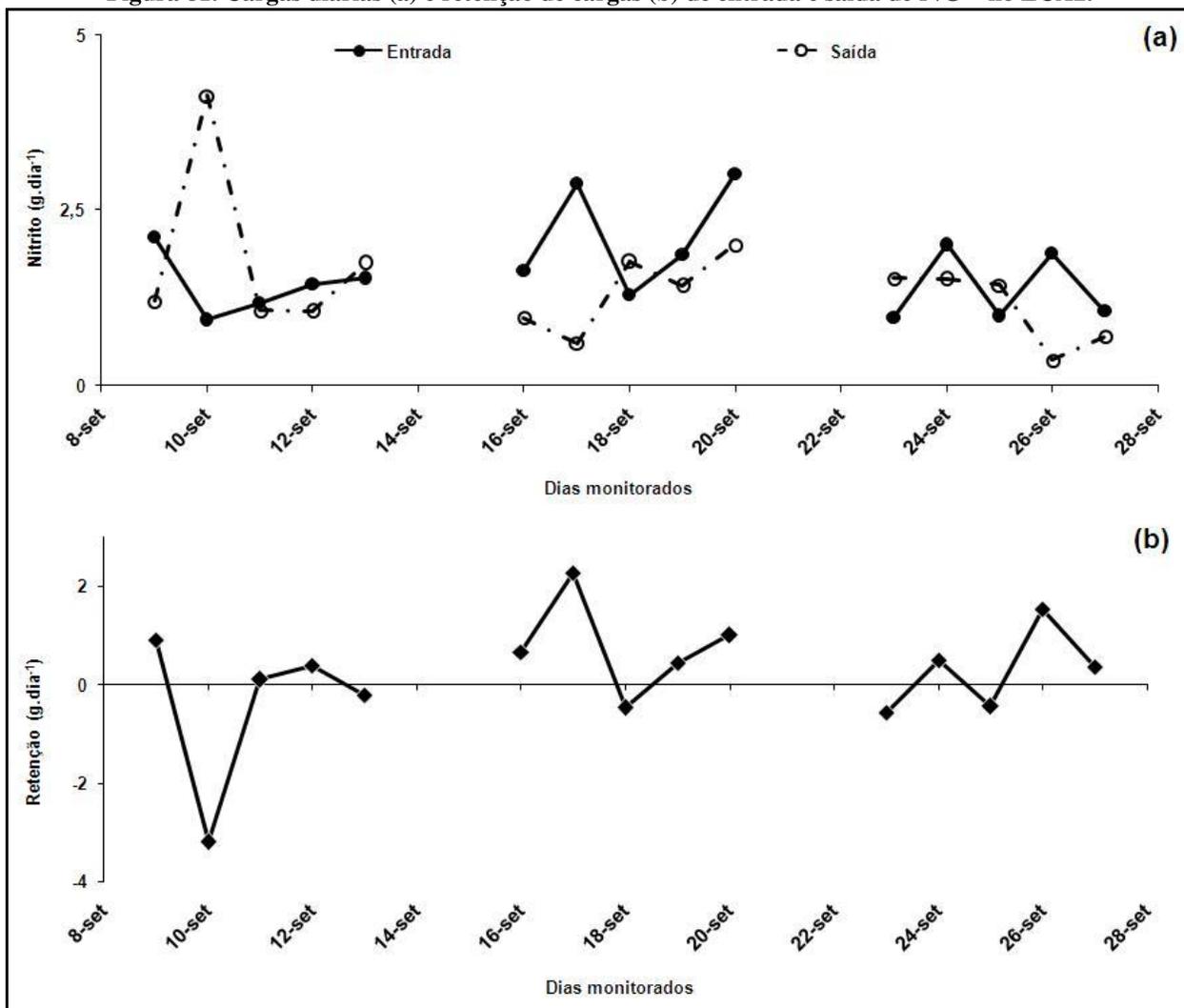


Figura 81. Cargas diárias (a) e retenção de cargas (b) de entrada e saída de  $\text{NO}_2^-$  no LCA2.



A maior concentração observada de nitrito no afluente do LCA2 foi  $6 \text{ mg.L}^{-1}$  no dia 17/09/13, e a maior concentração de saída foi  $10 \text{ mg.L}^{-1}$  no dia 10/9/13. A menor concentração de  $\text{NO}_2^-$  afluente ao LCA2 ocorreu no dia 23/09/13 com  $1 \text{ mg.L}^{-1}$ , e a menor concentração efluente foi  $1 \text{ mg.L}^{-1}$  no dia 26/09/13.

No período estudado em 26,7% dos casos houve remoção da concentração de nitrito, enquanto que em 33,3% dos casos houve acréscimo deste nutriente e em 40,0% não houve diferença entre o afluente e o efluente. Ao compararmos as diferenças entre as cargas de nitrito os resultados são mais favoráveis, pois em 66,7% dos casos houve remoção do nutriente e 33,3% dos casos houve acréscimo, em nenhum caso não houve diferença entre a entrada e a saída.

A maior carga de entrada foi  $3,0 \text{ g.dia}^{-1}$  ocorrida no dia 20/09/13, enquanto que a menor

foi  $0,9 \text{ g.dia}^{-1}$ , no dia 10/09/13. Na saída do LCA2 a maior concentração foi  $4,1 \text{ g.dia}^{-1}$  no dia 10/09/13 e a menor  $0,4 \text{ g.dia}^{-1}$  em 26/09/13. No período estendido a carga retida de nitrato no LCA2 foi  $41,5 \text{ g}$ .

### 5.6.2.9. Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ )

É possível observar na Figura 82 os gráficos da concentração de entrada e saída de  $\text{NO}_3^-$  (Figura 82a) e as diferenças afluente e efluente de nitrato em  $\text{mg.L}^{-1}$  (Figura 82b). Na Figura 83 observa-se os gráficos das cargas de  $\text{NO}_3^-$  (Figura 83a) e as diferenças entre as cargas de entrada e saída de nitrato (Figura 83b).

Figura 82. Concentração (a) e diferença (b) de entrada e saída de nitrato no LCA2.

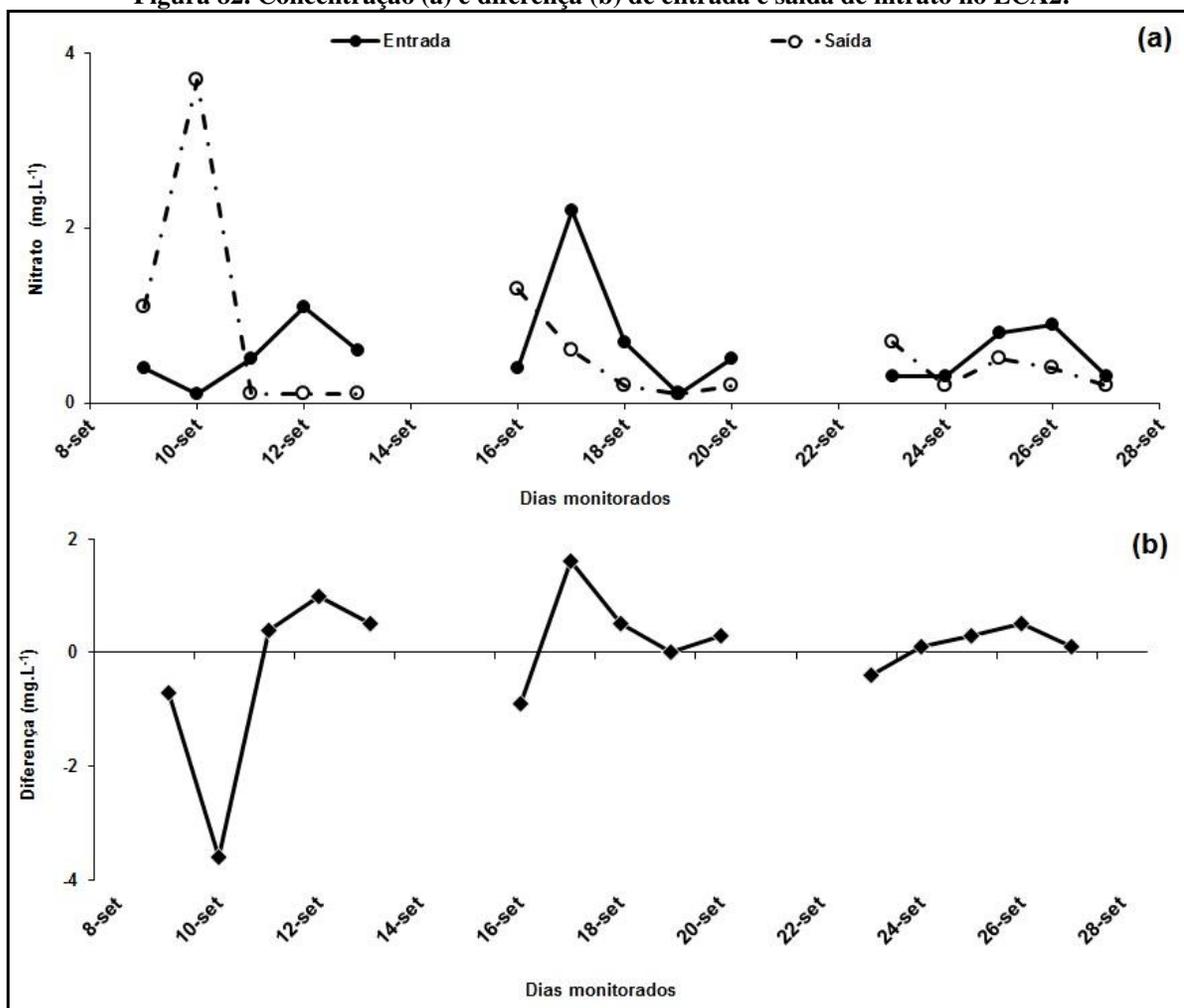
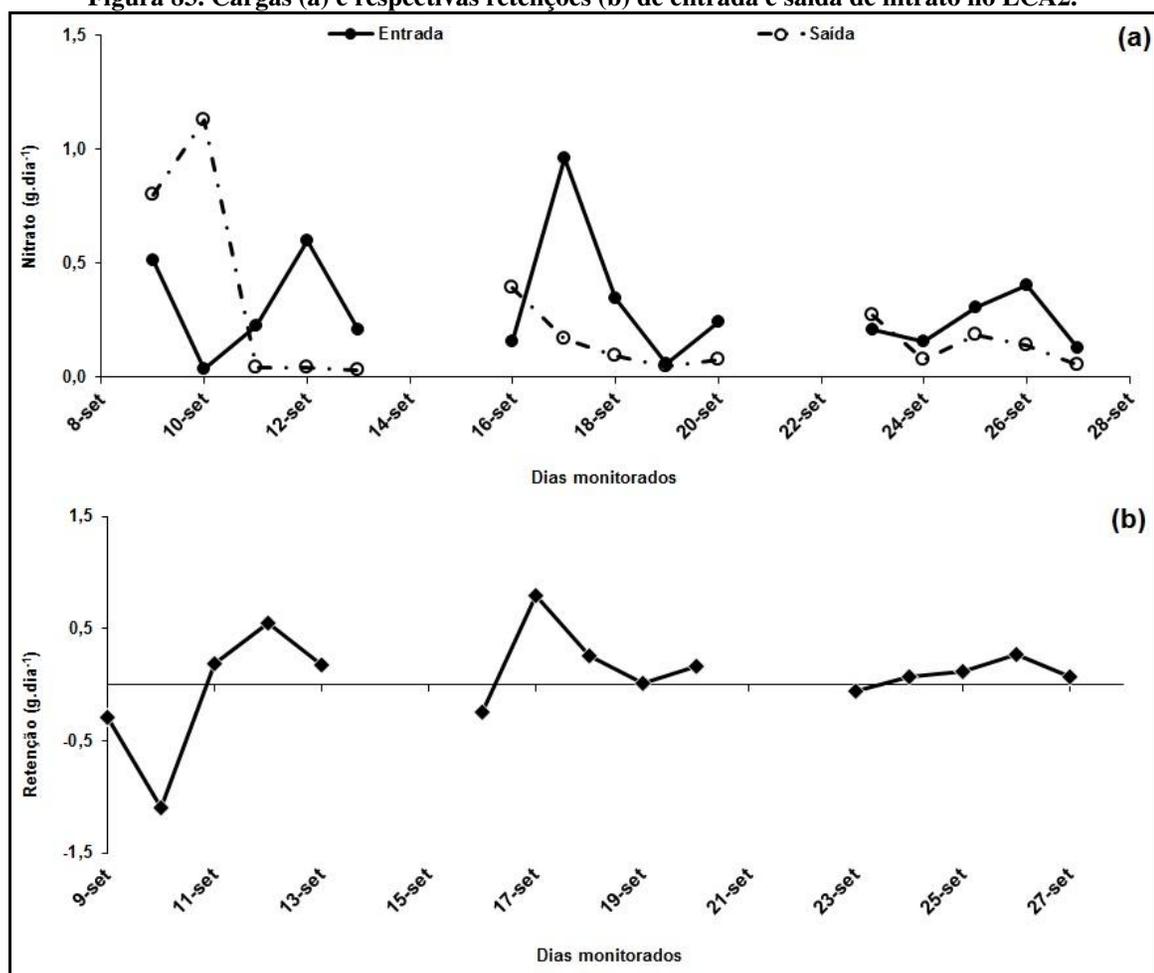


Figura 83. Cargas (a) e respectivas retenções (b) de entrada e saída de nitrato no LCA2.



A maior concentração de nitrato na entrada do LCA2 foi observada no dia 17/09/13, com 2,2 mg.L<sup>-1</sup> e na saída do leito foi 3,7 mg.L<sup>-1</sup> no dia 10/09/13. O menor valor observado na entrada e na saída do LCA2 foi 0,1 mg.L<sup>-1</sup> nos dias 10 e 19/09/13 (afluente) e 11, 12, 13 e 19/09/13 (efluente). Em 66,7% dos casos houve remoção da concentração de nitrato no LCA2, em 26,7% dos casos houve nitrificação (acréscimo de nitrato) e em 6,7% não houve diferença. Os resultados de remoção de nitrato no LCA2 são maiores do que no LC e no LCA1.

Na entrada no LCA2 a maior carga observada no período de estudo foi 1,1 g.dia<sup>-1</sup> em 17/09/13, e a menor foi 0,05 g.dia<sup>-1</sup> em 10/09/13; a maior carga observada na saída foi 1,5 g.dia<sup>-1</sup> em 10/09/13, e a menor 0,03 g.dia<sup>-1</sup> em 13/09/13. Como no caso do nitrito, foram observados no nitrato melhores resultados ao analisarmos as cargas do composto. Em apenas 66,7% dos casos houve remoção de nitrato, enquanto que em 26,7% dos casos houve aumento do nutriente, e em nenhum caso não houve diferença entre as cargas de entrada e saída do LCA2. No período

estendido, a carga de nitrato retida pelo LCA2 foi 10,8 g.

### 5.6.2.10. Nitrogênio amoniacal (NH<sub>3</sub>)

A maior retenção de nitrogênio amoniacal no período ocorreu no dia 09/09/13 com 50,3%, dia que a concentração de entrada foi 100,2 mg.L<sup>-1</sup> e de saída 49,8 mg.L<sup>-1</sup>. A menor retenção aconteceu em 17/09/13 com -13,6%, pelo fato da concentração de saída (84,0 mg.L<sup>-1</sup>) ter sido maior que a de entrada (73,9 mg.L<sup>-1</sup>). Analisando em cargas, a maior porcentagem foi 71,7% representando uma retenção de 76,1 g.dia<sup>-1</sup>, enquanto que a menor foi 14,2% - uma retenção de 6,7 g.dia<sup>-1</sup>. No período estendido a carga retida pelo LCA2 de nitrogênio amoniacal foi 3,4 kg. Na Figura 84 estão apresentados os gráficos da concentração de entrada e saída de nitrogênio amoniacal no LCA2 (Figura 84a) e a porcentagem de remoção de NH<sub>3</sub> (Figura 84b). Na Figura 85 estão apresentados os gráficos das cargas de NH<sub>3</sub> (Figura 85a) e suas taxas de retenção (Figura 85b).

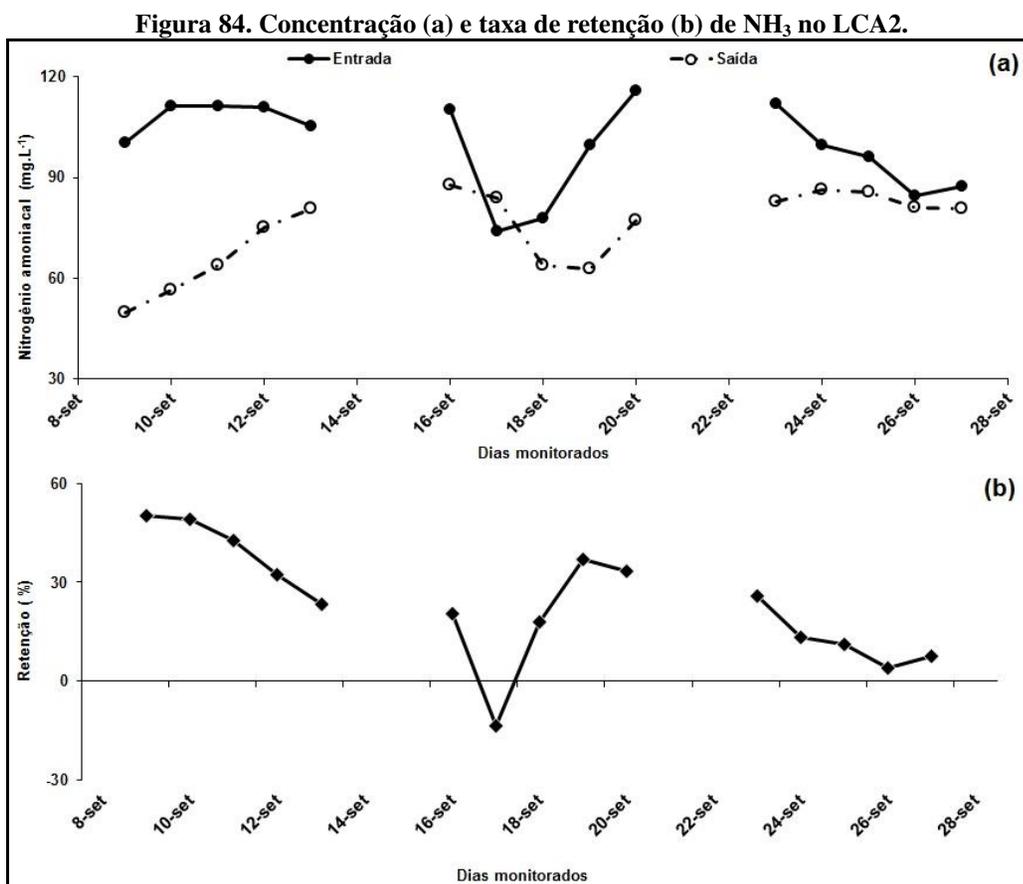
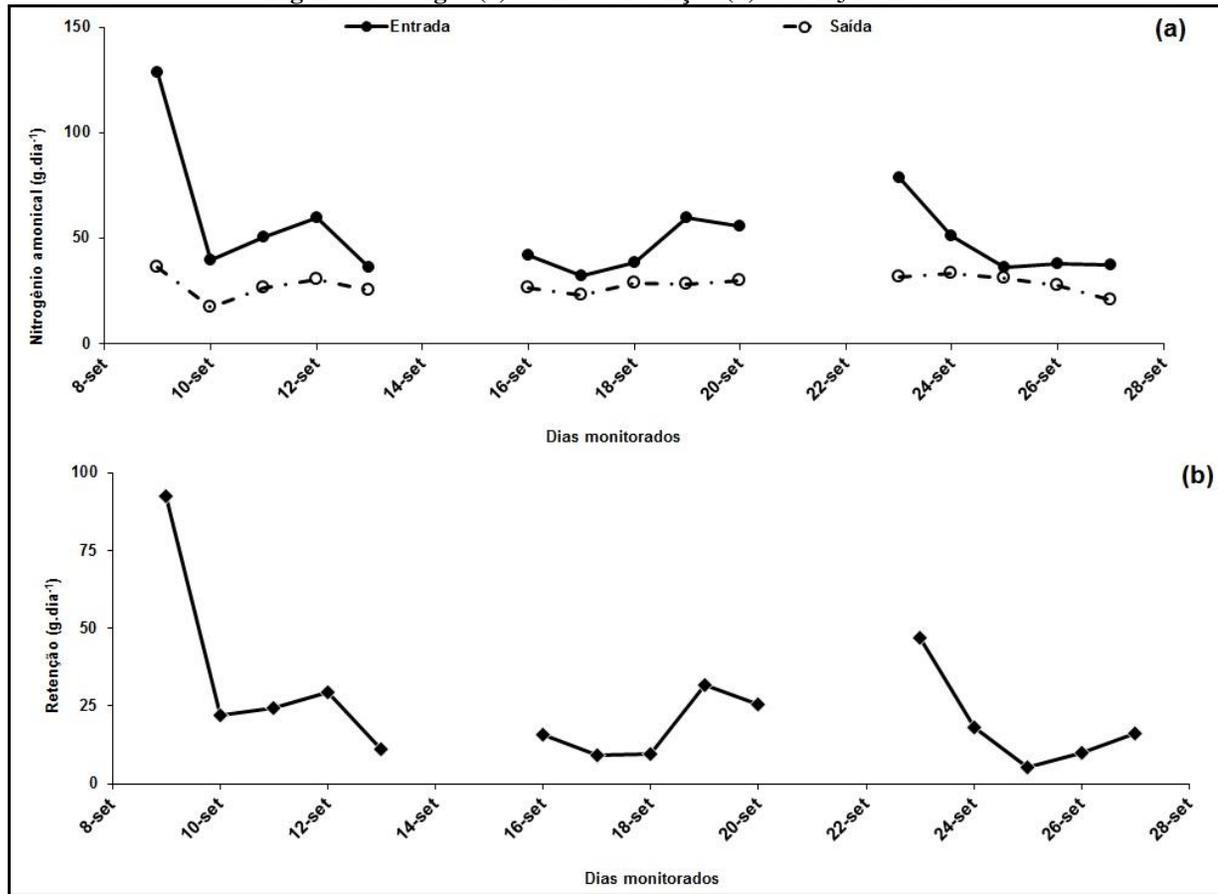


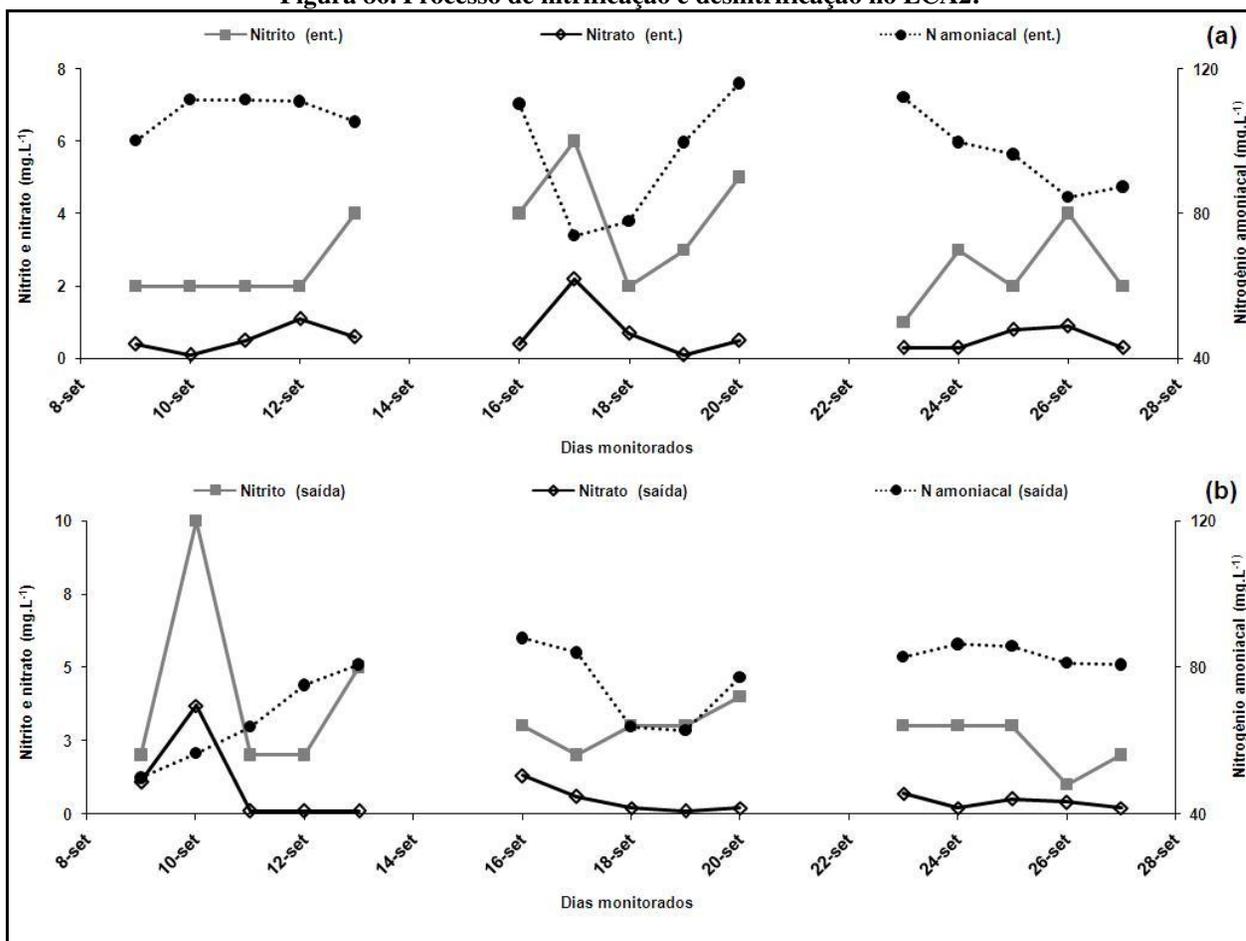
Figura 85. Cargas (a) e taxa de retenção (b) de  $\text{NH}_3$  no LCA2.



### 5.6.2.11. Nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato

O processo de nitrificação e desnitrificação que ocorreu durante o período estudado pode ser observado na Figura 86 no afluente (Figura 86a) e no efluente (Figura 86b) do LCA2.

Figura 86. Processo de nitrificação e desnitrificação no LCA2.



### 5.6.2.12. Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)

Na Figura 87 estão apresentados os gráficos da concentração de entrada e saída de Nitrogênio Total Kjeldahl no LCA2 (Figura 87a) e as retenções diárias (Figura 87b). Na Figura 88 estão apresentados os gráficos das cargas de NTK (Figura 88a), com suas respectivas retenções (Figura 88b). No período estendido a massa de NTK retida pelo LCA2 foi 3,6 kg.

Figura 87. Concentração (a) e retenção (b) de NTK afluente e efluente ao LCA2.

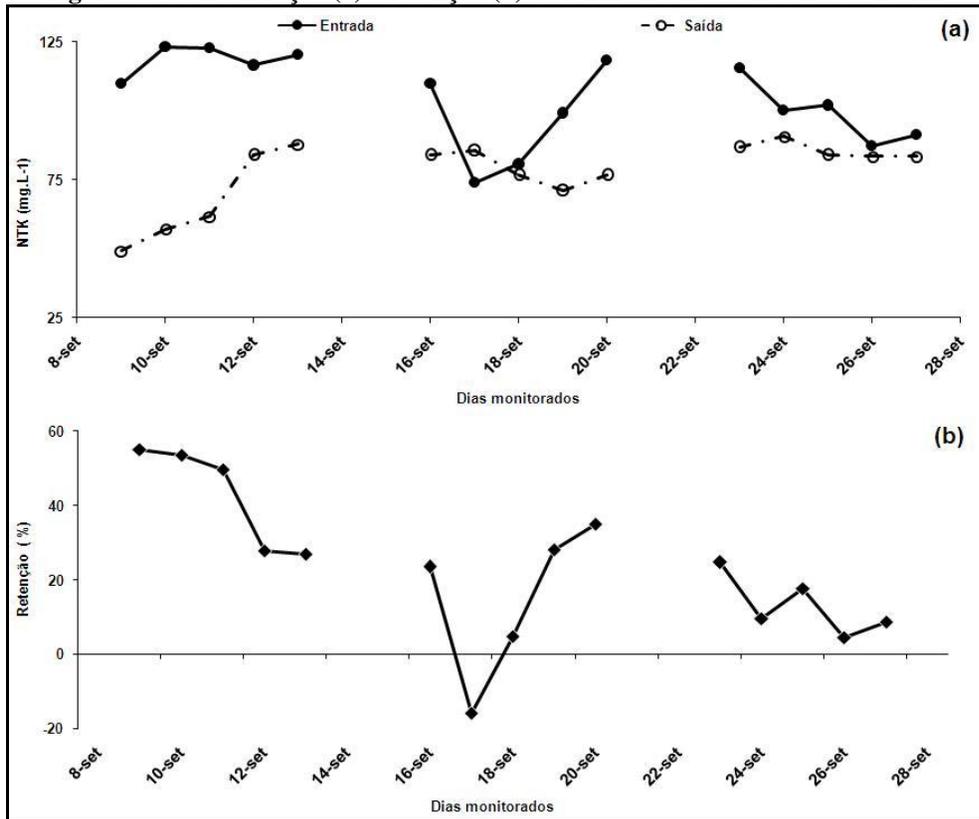
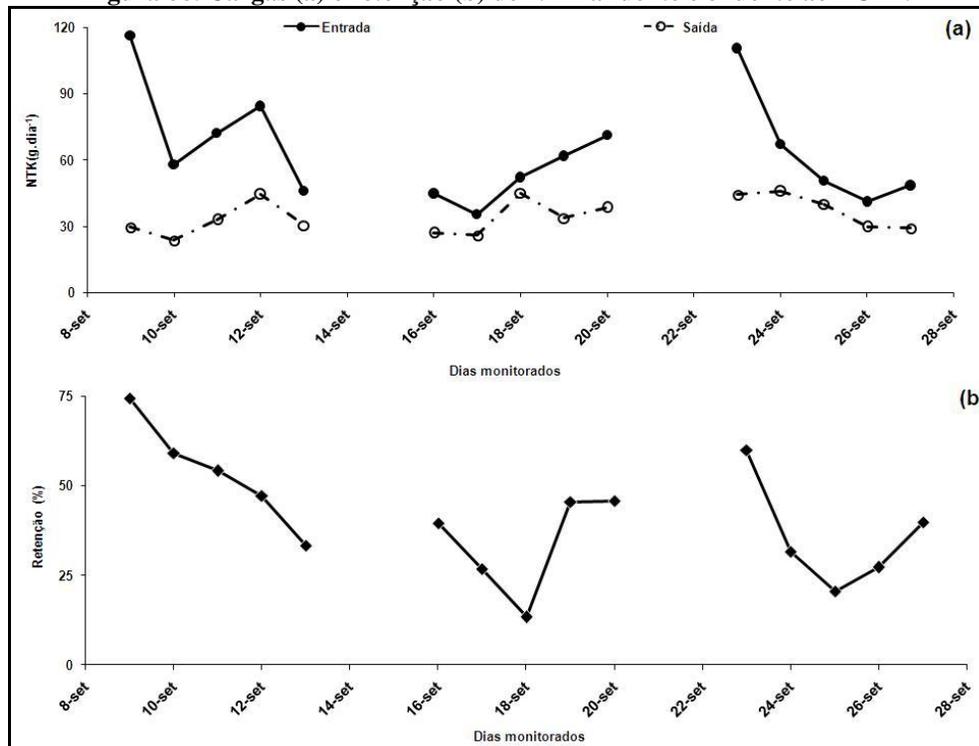


Figura 88. Cargas (a) e retenção (b) de NTK afluente e efluente ao LCA2.



Ao observarmos as concentrações de NTK, a maior retenção do período ocorreu no dia 10/09/13 com 53,6%, cuja concentração de entrada foi 123,2 mg.L<sup>-1</sup> e de saída 57,1 mg.L<sup>-1</sup>. A menor retenção aconteceu em 17/09/13 com -15,9%, cuja concentração de entrada foi 73,9 mg.L<sup>-1</sup> e de saída 85,7 mg.L<sup>-1</sup>. No geral o LCA2 apresentou maiores taxas de retenção de NTK do que o LC e o LCA1.

Quando as cargas do analito são analisadas os resultados são favoráveis, com retenção positiva em 100% dos dias monitorados. A maior porcentagem foi 74,4% representando uma retenção de 86,6 g.dia<sup>-1</sup>, dia em que a carga de entrada foi 116,3 g.dia<sup>-1</sup> e a carga de saída 29,7 g.dia<sup>-1</sup>. A menor retenção observada foi 13,4% no dia 18/09/13 uma retenção de 7,0 g.dia<sup>-1</sup>, cuja carga de entrada foi 52,1 g.dia<sup>-1</sup> e de saída 45,1 g.dia<sup>-1</sup>.

#### **5.6.2.13. Fósforo Total**

A maior retenção de fósforo total no período ocorreu no dia 09/09/13 com 65,5%, cuja concentração de entrada foi 5,5 mg.L<sup>-1</sup> e de saída 1,9 mg.L<sup>-1</sup>. A menor retenção aconteceu em 20/09/13 com 18,4%, com concentração afluente de 5,2 mg.L<sup>-1</sup> e efluente de 4,2 mg.L<sup>-1</sup>. Na Figura 89 estão apresentadas as concentrações de entrada e saída de fósforo total no LCA2 (Figura 89a) e as retenções diárias (Figura 89b).

Analisando em cargas, as taxas de retenção são maiores, com retenção positiva em 100% dos dias monitorados. A maior porcentagem foi 80,3% representando uma retenção de 4,7 g.dia<sup>-1</sup>, com carga de entrada de 5,8 g.dia<sup>-1</sup> e saída 1,1 g.dia<sup>-1</sup>. A menor retenção observada ocorreu no dia 25/09/13 (23,4%) uma retenção de 0,6 g.dia<sup>-1</sup>, cuja carga de entrada foi 2,4 g.dia<sup>-1</sup> e de saída 1,8 g.dia<sup>-1</sup>. No período estendido, a massa de fósforo total retida pelo LCA2 foi 213,9 g.

Na Figura 90 estão apresentadas as cargas de entrada e saída de fósforo total (Figura 90a) e as diferenças entre as cargas de entrada e saída (Figura 90b).

Figura 89. Concentrações (a) e taxas de retenção (b) de entrada e saída de fósforo total no LCA2.

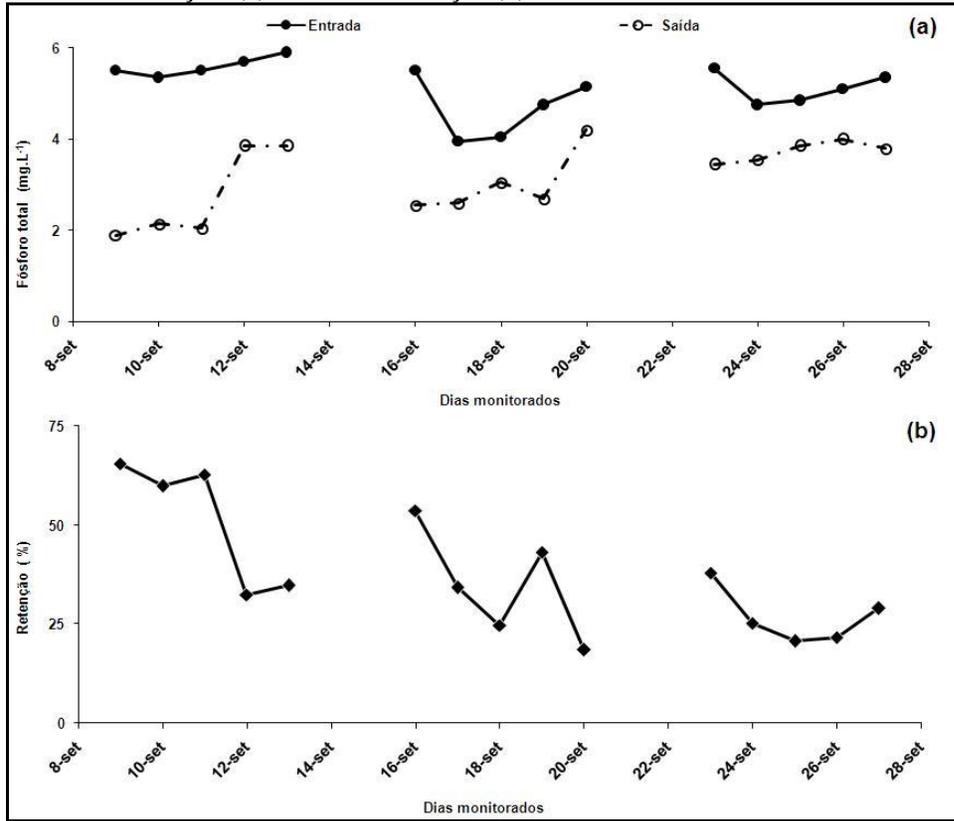
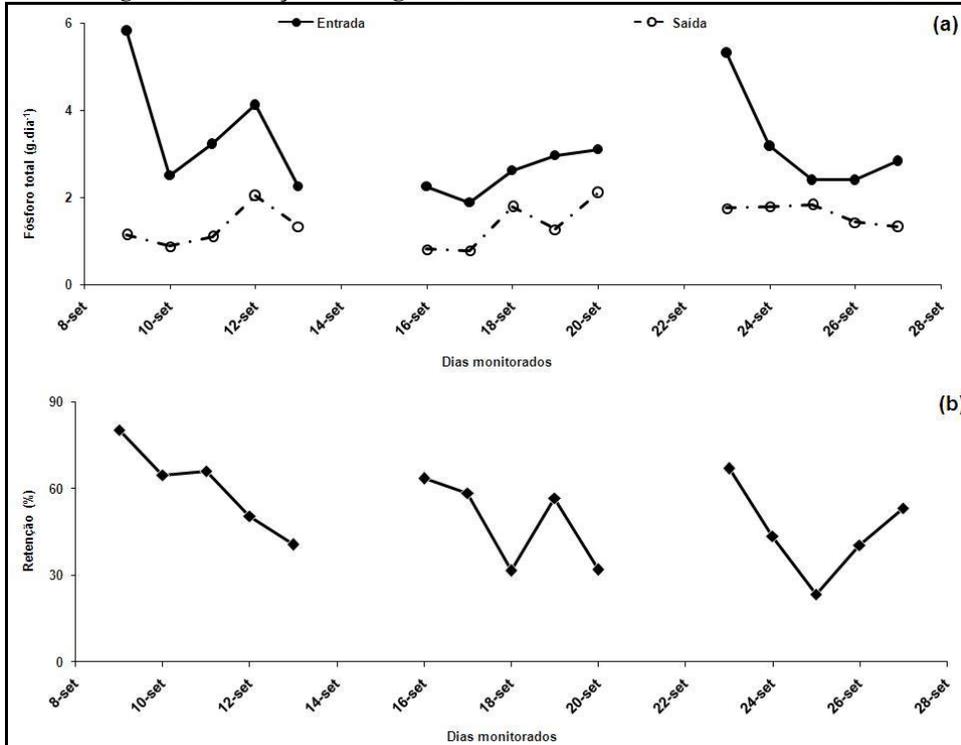


Figura 90. Cargas (a) e retenção de cargas (b) de entrada e saída de fósforo total (P<sub>T</sub>) no LCA2.



## 5.7. Comparação entre os leitos cultivados

Neste capítulo serão comparados os valores máximos e mínimos de entrada e saída de nutrientes no LC, LCA1 e LCA2, bem como as eficiências máximas, médias e mínimas de retenção de nutrientes. As comparações serão divididas em quantidade e qualidade da água residuária.

### 5.7.1. Quantidade de água residuária

Para quantidade de água residuária serão comparados os itens vazão ( $L.h^{-1}$ ), tempo de detenção hidráulica (dias) e evapotranspiração ( $L.dia^{-1}$ ) e altura da lâmina d'água evaporada ( $mm.dia^{-1}$ ).

#### 5.7.1.1. Vazão (Q), tempo de detenção hidráulica (TDH) e evapotranspiração

É possível observar na Tabela 8 as médias obtidas de vazão afluyente ( $L.dia^{-1}$ ), TDH (dias), evapotranspiração (L) e altura da lâmina d'água evaporada ( $mm.dia^{-1}$ ) no período estudado (19/08 - 31/08/13 e 09/09 - 27/09/13). A maior evapotranspiração ocorreu no LCA2 com  $152 L.d^{-1}$ , seguido pelo LC com  $143 L.d^{-1}$  e o LCA1 com a menor evapotranspiração observada de  $68 L.d^{-1}$ . A maior lâmina d'água evaporada ocorreu no LCA2 com  $35 mm.d^{-1}$ , seguido pelo LC com  $31 mm.d^{-1}$  e pelo LCA1 com  $18 mm.d^{-1}$ .

As vazões médias do LC e LCA2 foram iguais e os TDH médios do LC e do LCA1 foram iguais, no entanto a evapotranspiração e lâmina d'água evaporada foram mais altos no LCA2.

**Tabela 8. Vazão, TDH, evapotranspiração e lâmina d'água evaporada médios dos leitos cultivados no período monitorado.**

Leito	Vazão ( $L.h^{-1}$ )	TDH (dias)	Evapotranspiração ( $L.dia^{-1}$ )	Lâmina d'água evaporada ( $mm.dia^{-1}$ )
LC	54,0	2,6	143	31
LCA1	47,1	2,6	68	18
LCA2	54,0	2,2	152	35

### 5.7.2. Qualidade da água residuária

Neste capítulo serão comparados os valores afluente e efluente de pH, oxigênio dissolvido, temperatura, demanda química de oxigênio, cor, turbidez, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total Kjeldahl e fósforo total.

#### 5.7.2.1. Potencial hidrogeniônico (pH)

Na Tabela 9 estão observados o pH máximo, médio e mínimo observado nos três LC no período estudado. Observa-se que o maior valor afluente foi 8,8 para os três leitos enquanto que o maior valor efluente foi 7,5 para o LCA2. A maior média obtida na entrada do LC foi 8,2 no LCA2 e a menor média efluente foi 7,2 também no LCA2; o mínimo pH obtido na entrada foi 7,4 no LCA1, e na saída foi 6,9 no LCA2.

**Tabela 9. pH máximos, médios e mínimos dos leitos cultivados no período monitorado.**

	LC		LCA1		LCA2	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
<b>Máximo</b>	8,8	7,7	8,8	8,7	8,8	7,5
<b>Média</b>	8,1	7,3	8,1	7,4	8,2	7,1
<b>Mínimo</b>	7,6	7,1	7,4	7,2	7,7	6,9

#### 5.7.2.2. Oxigênio Dissolvido (OD) e temperatura (T)

Observa-se na Tabela 10 os valores máximos e mínimos e as médias de oxigênio dissolvido nos três leitos cultivados, no período de 19/08 à 27/09/13. O valor máximo afluente foi 14,8 mg.L<sup>-1</sup> no LCA1, enquanto que o valor máximo efluente foi 14,6 mg.L<sup>-1</sup> no LC, valores ocorridos no dia 27/08/13 dia em que as temperaturas ambiente e da água residuária foram as mais baixas do período. As maiores médias de entrada e saída ocorreram no LC com 1,5 mg.L<sup>-1</sup>, e os valores mínimos de entrada e saída observado foi 0,1 mg.L<sup>-1</sup> em todos os leitos.

**Tabela 10. Oxigênio dissolvido máximos, médios e mínimos dos leitos cultivados no período monitorado.**

	LC (mg.L <sup>-1</sup> )		LCA1 (mg.L <sup>-1</sup> )		LCA2 (mg.L <sup>-1</sup> )	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
<b>Máximo</b>	13,7	14,6	14,8	13,7	8,8	2,5
<b>Média</b>	1,5	1,5	1,2	1,5	0,6	1,2
<b>Mínimo</b>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Na Tabela 11 é possível observar as temperaturas máximas atingidas, as médias e as temperaturas mínimas observadas nos LC no período de estudo. Observa-se que as temperaturas de entrada no LCA2 são maiores do que no LC e no LCA1.

**Tabela 11. Temperaturas máximas, médias e mínimas dos leitos cultivados no período monitorado.**

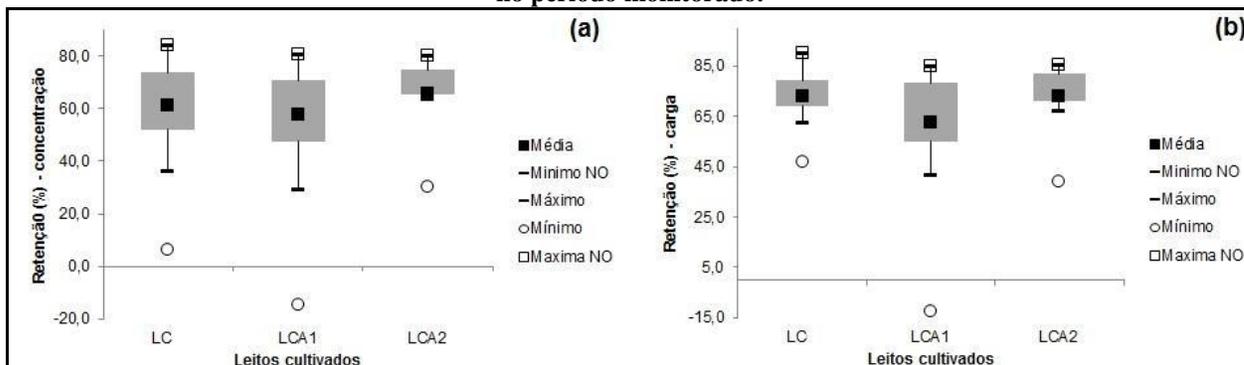
	LC		LCA1		LCA2	
	Entrada (°C)	Saída (°C)	Entrada (°C)	Saída (°C)	Entrada (°C)	Saída (°C)
<b>Máximo</b>	29,3	30,9	28,9	26,0	29,6	25,3
<b>Média</b>	24,2	24,1	24,1	22,9	25,8	23,5
<b>Mínimo</b>	16,8	18,0	17,3	17,5	19,5	18,3

### 5.7.2.3. Cor

Na Figura 91a estão apresentadas as eficiências médias de remoção de concentração e de cargas de cor (%), máximas *outliers* e não *outliers* (que neste caso foram os mesmos valores) e as mínimas, que exceto pelo LCA2 que foram mais próximos os mínimos *outliers* e não *outliers*, nos outros leitos apresentaram bastante discrepância. A retenção média de cor obtida pelos leitos foi 61,2%, 57,5% e 65,5% para o LC, LCA1 e LCA2, respectivamente. A máxima retenção *outlier* e não *outlier* foram iguais para o LC e o LCA2 com 84,1 e 80,2%, respectivamente. Já o LCA1 diferiu com 80,5% *outlier* e 76,6% não *outlier*.

Analisando a retenção de massa as taxas são mais altas (Figura 91b), com retenção média de 72,8%, 62,8% e 73,2% e retenção máxima (*outlier* e não *outlier*) de 90,3%, 85,0% e 85,7%, para o LC, LCA1 e LCA2, respectivamente. As mínimas retenções observadas não *outliers* foram 47,0%, -12,6% e 38,9% enquanto que as mínimas *outliers* foram 62,4%, 42,0% e 67,1% para LC, LCA1 e LCA2, respectivamente.

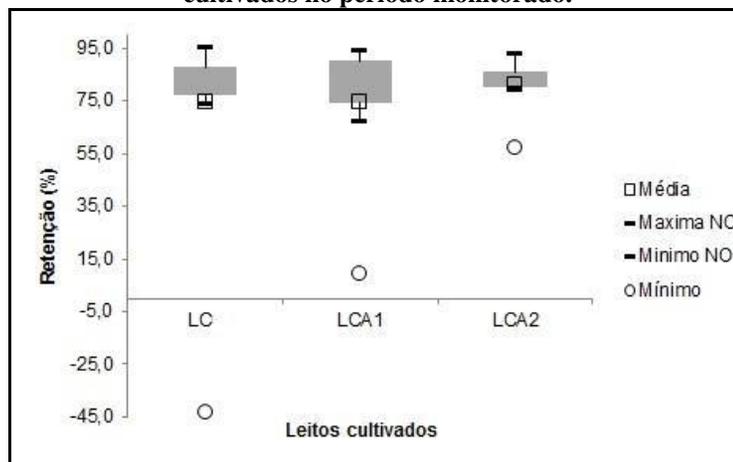
**Figura 91. Eficiência de retenção de cor máxima, média e mínima (outliers e não outliers) dos leitos cultivados no período monitorado.**



#### 5.7.2.4. Turbidez

Na Figura 92 estão apresentadas as eficiências médias de remoção de turbidez (%), máximas *outliers* e não *outliers* (NO) e os mínimos *outliers* e (NO). É possível observar na Figura 92 que máximas NO foram iguais às máximas, obtendo 95,1 %, 94,1% e 93,0% de retenção para o LC, LCA1 e LCA2, respectivamente. As mínimas foram -43,2%, 9,5% e 57,4% e as mínimas NO foram 73,8%, 67,4% e 79,7% também para LC, LCA1 e LCA2. A mínima negativa de -43,2% ocorreu no dia seguinte de uma intensa chuva noturna, que provavelmente “lavou” o leito e provocou deslocamento de nutrientes e turbidez. A retenção média de turbidez foi 74,4% para o LC e LCA1 e 80,9% para o LCA2, mais uma vez evidenciando que o LCA2 é o leito mais eficiente na retenção de poluentes.

**Figura 92. Eficiência de retenção de turbidez máxima, média e mínima (outliers e não outliers) dos leitos cultivados no período monitorado.**

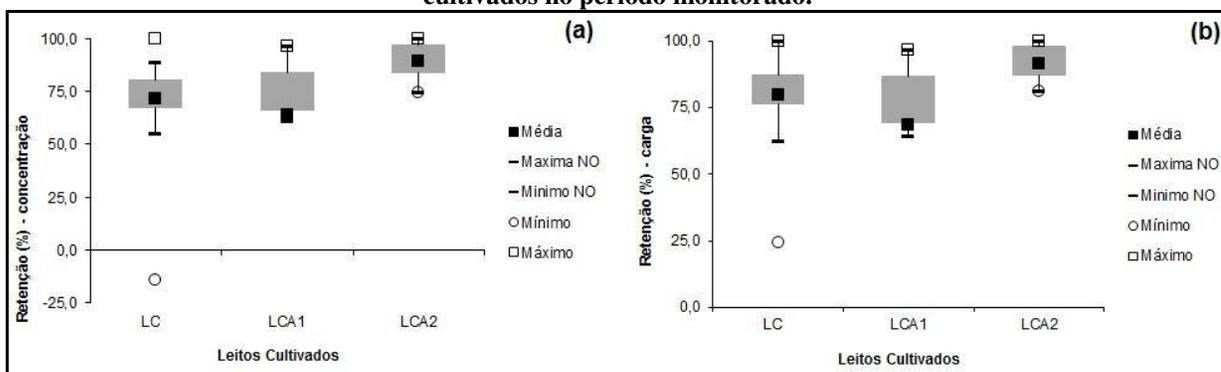


### 5.7.2.5. Demanda Química de Oxigênio (DQO)

É possível observar na Figura 93 que as mínimas retenções observadas (em  $\text{mg.L}^{-1}$  e  $\text{g.dia}^{-1}$ ) foram -14,0%, -20,8% e 85,6% para o LC, LCA1 e LCA2, respectivamente. Conforme falado anteriormente retenções negativas são provenientes de deslocamento do biofilme ou da “lavagem” do leito, por uma alta descarga de vazão afluyente ou por precipitação. É interessante observar que mesmo a mínima retenção do LCA2 é altamente eficiente (85,6%). Ao tirarmos os valores discrepantes, os valores mínimos NO são 54,9%, 60,8% e 74,4% para LC, LCA1 e LCA2, respectivamente. As máximas retenções de DQO foram 100% para o LC e o LCA2, e 96,2% para LCA1 enquanto que as máximas NO foram 88,5%, 96,2% e 100% para LC, LCA1 e LCA2. As retenções médias para os três LC foram satisfatórias, destacando a melhor eficiência de tratamento pelo LCA2 com 93,7%, seguido pelo LC com 74,0% e pelo LCA1 com 69,1%, pelos mesmos motivos discutidos no capítulo anterior.

A eficiência de retenção de carga de DQO não difere muito da eficiência de retenção de concentração. As máximas (*outliers* e NO) observadas foram 79,8%, 68,4% e 91,8% e as médias foram 79,8%, 68,4% e 91,8% para LC, LCA1 e LCA2, respectivamente. As taxas mínimas NO observadas foram 62,2% e 64,1%, e as mínimas discrepantes foram 24,2%, -74,3% para LC e LCA1, enquanto que para o LCA2 as taxas mínimas foram as mesmas - 81,2%.

Figura 93. Eficiência de retenção de DQO máxima, média e mínima (*outliers* e não *outliers*) dos leitos cultivados no período monitorado.



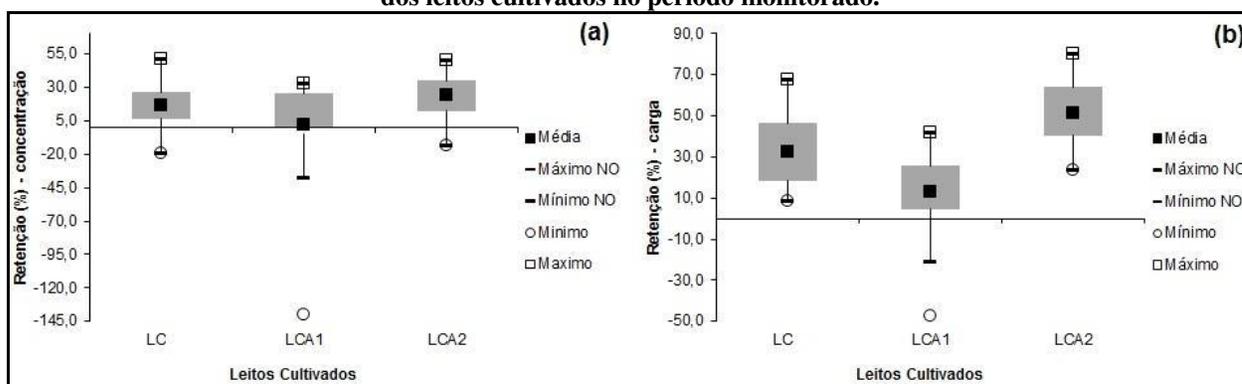
### 5.7.2.6. Nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_3$ )

Na Figura 94 é possível observar que as mínimas retenções *outliers* e não *outliers* foram

iguais para o LC e LCA2 (-19,2 e -13,6 %, respectivamente), já para o LCA1 a mínima retenção NO foi -37,2% enquanto que o outro valor mínimo foi bem mais discrepante, com -140,3% de retenção. As máximas retenções observadas para os três leitos, *outliers* e não *outliers*, foram iguais com 51,0 % para o LC, 32,6% para LCA1 e 50,3% para o LCA2. A média máxima de retenção foi obtida pelo leito com vegetação mais desenvolvida, o LCA2 com 23,7%, seguida pelo LC com 16,2% e pelo LCA1 com 2,0 % de retenção.

A retenção média de massa de nitrogênio amoniacal foi 38,9%, 14,4% e 41,2% para o LC, LCA1 e LCA2, respectivamente, as retenções máximas *outliers* e NO foram iguais com 62,3%, 46,3% e 71,7%, seguindo a mesma ordem. As mínimas *outliers* e NO foram iguais para o LC (9,9%) e para o LCA2 (14,2%), enquanto que para o LCA1 a mínima *outlier* foi -119,0% e a NO -9,5%.

**Figura 94. Eficiência de retenção de nitrogênio amoniacal máxima, média e mínima (*outliers* e não *outliers*) dos leitos cultivados no período monitorado.**



Na Tabela 12 estão apresentados os resultados de NH<sub>3</sub> na saída (efluente) dos três leitos cultivados.

**Tabela 12. Valores médios, mínimos e máximos de saída de nitrogênio amoniacal nos leitos cultivados.**

Valores efluente - Nitrogênio amoniacal (mg.L <sup>-1</sup> )			
	LC	LCA1	LCA2
<b>Mínimo</b>	54,3	44,2	49,8
<b>Média</b>	77,5	83,1	74,6
<b>Máximo</b>	94,6	104,7	87,9

### 5.7.2.7. Nitrito (NO<sup>2-</sup>)

Na Tabela 13 observam-se os valores de entrada e saída médios, máximos e mínimos de nitrito. As médias de entrada são iguais para o LC e LCA1 com 3,1 mg.L<sup>-1</sup>, diferindo apenas 0,2 mg.L<sup>-1</sup> da média de entrada no LCA2 (2,9 mg.L<sup>-1</sup>). Os valores máximos de entrada e saída foram no LC de 9,0 mg.L<sup>-1</sup>, enquanto que os mínimos de entrada e saída ocorreram no LCA1 com 0,0 mg.L<sup>-1</sup>. A Tabela 14 apresenta a eficiência média de retenção de nitrito nos leitos, com seus respectivos desvios-padrão.

**Tabela 13. Valores médios, mínimos e máximos de entrada e saída de nitrito nos leitos cultivados.**

	Nitrito (mg.L <sup>-1</sup> )					
	LCe	LCs	LCA1e	LCA1s	LCA2e	LCA2s
<b>Mínimo</b>	1,0	1,9	0,0	0,0	2,0	3,0
<b>Média</b>	3,1	3,9	3,1	3,3	2,9	3,2
<b>Máximo</b>	9,0	9,0	7,0	6,0	6,0	4,0

**Tabela 14. Eficiências médias de retenção de concentração de nitrito com seus respectivos desvios-padrão.**

	Eficiência de retenção (%) - Nitrito		
	LC	LCA1	LCA2
<b>Média</b>	-42,8	-15,7	-35,9
<b>Desvio-padrão</b>	68,1	58,9	118,7

Estão apresentadas na Tabela 15 as cargas de entrada e saída médios, máximos e mínimos de nitrito. As cargas médias de entrada e saída para o LC e LCA1 são iguais, 1,5 g.dia<sup>-1</sup> e 1,4 g.dia<sup>-1</sup>, respectivamente; a carga média de saída de nitrito no LCA2 é igual à dos demais leitos, porém a média de entrada foi maior (1,7 g.dia<sup>-1</sup>). O valor mínimo de entrada e saída foi no LCA1 com 0,0 g.dia<sup>-1</sup> para ambos, enquanto que o valor máximo de entrada foi 3,6 g.dia<sup>-1</sup> no LCA1 e o valor máximo de saída foi 3,4 g.dia<sup>-1</sup> no LC.

**Tabela 15. Cargas médias, mínimas e máximas de entrada e saída de nitrito nos leitos cultivados.**

	Nitrito (g.dia <sup>-1</sup> )					
	LCe	LCs	LCA1e	LCA1s	LCA2e	LCA2s
<b>Mínimo</b>	0,5	0,6	0,0	0,0	1,3	1,8
<b>Média</b>	1,5	1,4	1,5	1,4	1,7	1,4
<b>Máximo</b>	3,5	3,4	3,6	2,6	3,0	2,0

As eficiências médias de retenção de massa de nitrito (Tabela 16) são mais interessantes do que as de retenção de concentração do nutriente, pois as médias estão mais próximas do 0 (menos negativas) e os desvios-padrão são menores. Porém, de qualquer forma estas médias negativas indicam que houve nitrificação em ambos os leitos.

**Tabela 16. Eficiências médias de retenção de massa de nitrito com seus respectivos desvios-padrão.**

<b>Eficiência de retenção (%) - Nitrito</b>			
	<b>LC</b>	<b>LCA1</b>	<b>LCA2</b>
<b>Média</b>	-5,2	-3,1	-6,7
<b>Desvio-padrão</b>	57,2	56,9	101,0

#### 5.7.2.8. Nitrito (NO<sup>3-</sup>)

Observa-se na Tabela 17 que o menor valor de entrada de nitrito ocorreu no LC com 0,0 mg.L<sup>-1</sup> e o menor de saída ocorreu no LCA1, também com 0,0 mg.L<sup>-1</sup>. O maior valor de entrada e saída ocorreu no LC com 3,2 mg.L<sup>-1</sup> e 4,4 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Tabela 17. Valores médios, mínimos e máximos de entrada e saída de nitrito nos leitos cultivados.**

<b>Nitrato (mg.L<sup>-1</sup>)</b>						
	<b>LCe</b>	<b>LCs</b>	<b>LCA1e</b>	<b>LCA1s</b>	<b>LCA2e</b>	<b>LCA2s</b>
<b>Mínimo</b>	0,0	0,1	0,1	0,0	0,6	0,1
<b>Média</b>	0,6	0,9	0,5	0,3	0,6	0,6
<b>Máximo</b>	3,2	4,4	3,0	1,4	2,2	3,7

Estão apresentadas na Tabela 18 as cargas mínimas, médias e máximas de nitrito no período de monitoramento. Tanto na entrada quanto na saída dos três LC o mínimo valor observado foi 0,0 g.dia<sup>-1</sup> de nitrito; a maior média de entrada ocorreu no LCA2 com 0,4 g.dia<sup>-1</sup> e a menor média de entrada foi 0,3 g.dia<sup>-1</sup> para o LC e LCA1. A maior média obtida na saída também foi 0,3 g.dia<sup>-1</sup> no LC e LCA2, e a menor ocorreu para o LCA1 com 0,1 g.dia<sup>-1</sup>. O valor máximo encontrado na entrada e na saída dos LC foi 1,5 g.dia<sup>-1</sup> no LCA1 e no LCA2, respectivamente.

**Tabela 18. Cargas médias, mínimas e máximas de entrada e saída de nitrato nos leitões cultivados.**

	<b>Nitrato (g.dia<sup>-1</sup>)</b>					
	<b>LCe</b>	<b>LCs</b>	<b>LCA1e</b>	<b>LCA1s</b>	<b>LCA2e</b>	<b>LCA2s</b>
<b>Mínimo</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Média</b>	0,3	0,3	0,3	0,1	0,4	0,3
<b>Máximo</b>	1,2	1,3	1,5	0,5	1,1	1,5

Na Tabela 19 estão apresentadas as retenções médias de concentração de nitrato pelos LC, onde observa-se que a média que mais se aproxima do 0 e possui menor desvio-padrão é do LCA1, o que indica que este leito foi o melhor na retenção de nitrato.

**Tabela 19. Eficiências médias de retenção de concentração de nitrato com seus respectivos desvios-padrão.**

	<b>Eficiencia de remoção (%) - Nitrato</b>		
	<b>LC</b>	<b>LCA1</b>	<b>LCA2</b>
<b>Média</b>	-181,6	-5,9	-234,3
<b>Desvio-padrão</b>	516,0	139,5	936,5

Já na Tabela 20 que apresenta as médias de massa retida de nitrato com seus respectivos desvios-padrão, observa-se que as médias de retenção para o LCA1 e LCA2 são iguais, porém pelo fato do desvio-padrão do LCA1 ser menor, ele se mostra mais eficiente.

**Tabela 20. Eficiências médias de retenção de massa de nitrato com seus respectivos desvios-padrão.**

	<b>Massa retida (g) - Nitrato</b>		
	<b>LC</b>	<b>LCA1</b>	<b>LCA2</b>
<b>Média</b>	-0,1	0,1	0,1
<b>Desvio-padrão</b>	0,3	0,3	0,5

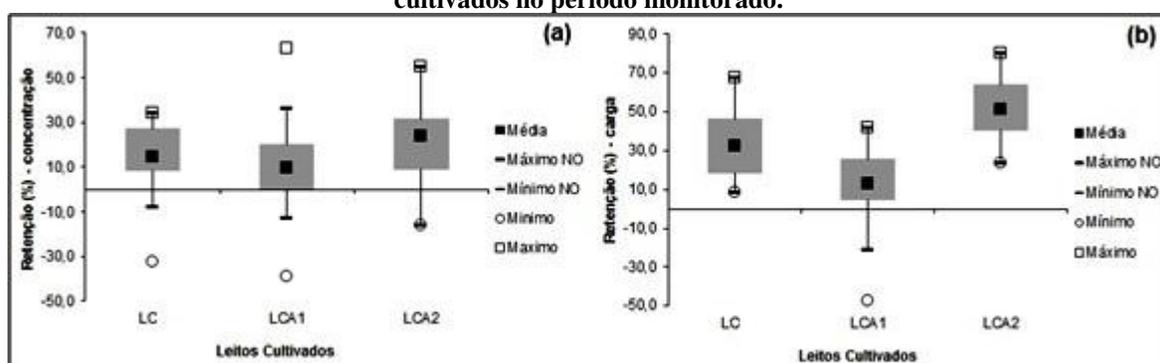
#### **5.7.2.9. Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)**

Como é possível observar na Figura 95 os valores médios de retenção de NTK (mg.L<sup>-1</sup>) foram 23,6% para o LCA2, seguido pelo LC com 14,7% e pelo LCA1 com 9,6% de retenção. As mínimas retenções encontradas foram -32,3, -39,0 e -15,9% para o LC, LCA1 e LCA2, respectivamente; as mínimas retenções NO foram -8,1% para o LC, -12,9% para o LCA1 e -15,9% no LCA2. Para LC e LCA2 as máximas retenções *outliers* e NO são as mesmas de 34,3%

e 55,1%, respectivamente. Para o LCA1 a máxima retenção foi 63,1% e a máxima retenção NO foi 36,6%.

As retenções médias de massa de NTK foram 37,8%, 21,6% e 41,2%, para o LC, LCA1 e LCA2. Seguindo a mesma ordem, as mínimas *outliers* e NO foram 7,4%, -8,6% e 13,4%, enquanto que a máxima *outlier* para o LCA1 foi 65,0% e a NO foi 52,4%, para o LC e LCA2 foram iguais com 61,3% e 74,4%, respectivamente.

**Figura 95. Eficiência de retenção de NTK máxima, média e mínima (*outliers* e não *outliers*) dos leitos cultivados no período monitorado.**

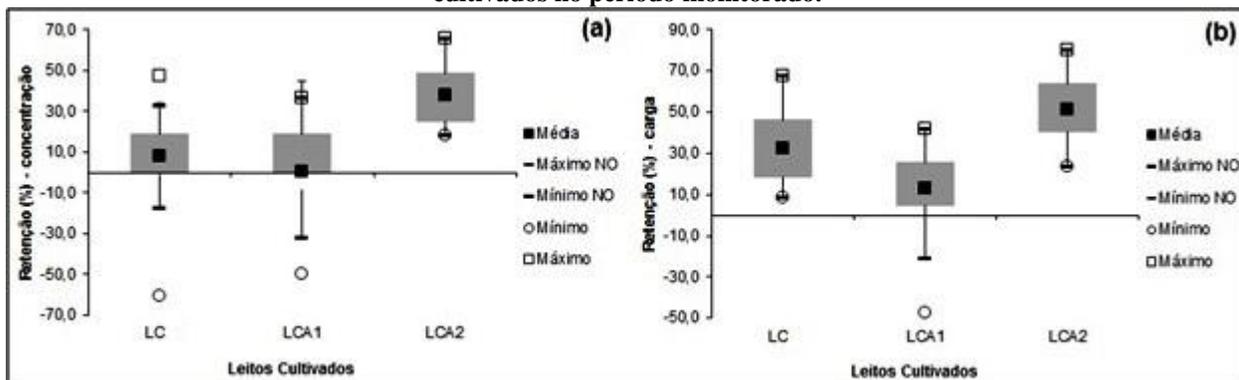


### 5.7.2.10. Fósforo Total

As retenções médias, máximas e mínimas de fósforo total nos LC (em  $\text{mg.L}^{-1}$ ) são apresentadas na Figura 96. O valor mínimo e mínimo NO no LCA2 foram os mesmos (18,4%), já para o LC o mínimo discrepante foi -60,4% e não *outlier* foi -17,2%, e para o LCA1 o mínimo foi -50,0% enquanto que o mínimo NO foi -31,7% de retenção. Para o LC a retenção máxima *outlier* foi 47,4% e a não *outlier* foi 32,9%. Já para o LCA1 e LCA2 os dois máximos são iguais, com 36,4% para o LCA1 e 65,5% no LCA2. As médias de retenção foi mais alta para o LCA2 com 37,6%, seguido pelo LC com 7,8% e pelo LCA1 com 0,6% de retenção.

Analisando em cargas, a máxima retenção obtida (NO e *outlier*) foi 67,9%, 42,0% e 80,3%, e as retenções médias foram 32,6%, 12,9% e 51,4% para LC, LCA1 e LCA2 para ambos, respectivamente. As mínimas retenções *outliers* e não *outliers* para o LC e LCA2 foram iguais, com 8,5% e 23,4%; para o LCA1 a mínima NO foi -20,8% e a *outlier* foi -47,1%.

Figura 96. Eficiência de retenção de fósforo total máxima, média e mínima (*outliers* e não *outliers*) dos leitos cultivados no período monitorado.



## 5.8. Avaliação metodológica para análise cromatográfica de 17- $\alpha$ -etinilestradiol

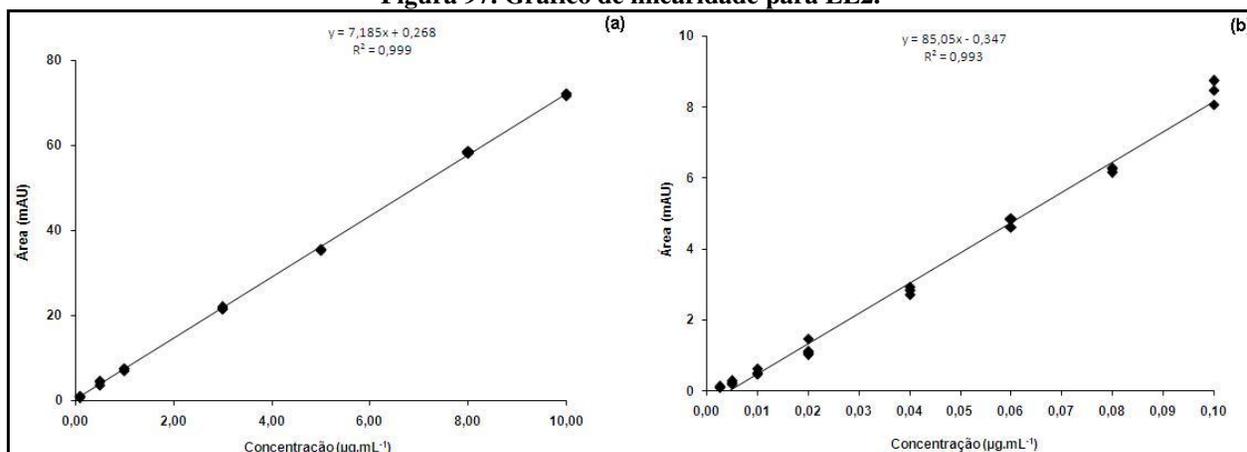
### 5.8.1. Seletividade

A análise do hormônio 17- $\alpha$ -etinilestradiol por HPLC – DAD/UV foi uma metodologia seletiva pelo fato dos espectros de absorção da amostra terem sido aproximadamente iguais aos do padrão em acetonitrila, na região de 210 – 280 nm do UV pode-se dizer que os picos cromatográficos eram puros, ou seja, não havia nenhuma outra substância interferindo na mesma área e tempo de retenção (5,1 à 5,4 minutos).

### 5.8.2. Linearidade e faixa linear de trabalho

O coeficiente de correlação ( $R^2$ ) obtido no primeiro estudo de linearidade, na faixa de trabalho de 0,1 à 10,0  $\mu\text{g.mL}^{-1}$ , foi 0,999 (equação da reta  $y = 7,185$  e  $x = 0,268$ ). A Figura 97 (a) mostra o gráfico de linearidade para esta concentração da substância 17- $\alpha$ -etinilestradiol. Na Figura 97 (b) observa-se o gráfico da linearidade de EE2 na concentração de 0,002 à 0,1  $\mu\text{g.mL}^{-1}$  com  $R^2 = 0,993$  (equação da reta  $y = 85,05$  e  $x = -0,347$ ). Os coeficientes de regressão e linearidade para as duas faixas de trabalho foram satisfatórios.

Figura 97. Gráfico de linearidade para EE2.



Após a verificação da curva de calibração e da linearidade do método foi realizada a Análise de Variância para verificar a quantidade de resíduos do modelo, o ajuste da reta e a distribuição dos resíduos. Na Tabela 21 está apresentada a estatística da regressão, e na Tabela 22 a análise de variância.

Tabela 21. Estatística da regressão linear.

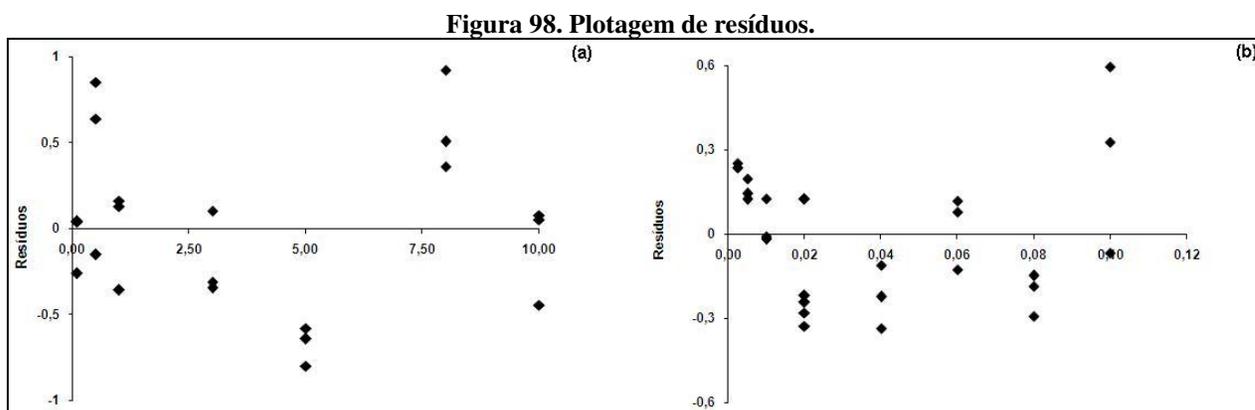
Concentração 0,10 - 10,0 µg.mL <sup>-1</sup>		Concentração 0,003 - 0,10 µg.mL <sup>-1</sup>	
Estatística de regressão		Estatística de regressão	
R múltiplo	0,9998	R múltiplo	0,9967
R-Quadrado	0,9997	R-Quadrado	0,9935
R-quadrado ajustado	0,9997	R-quadrado ajustado	0,9932
Erro padrão	0,4845	Erro padrão	0,2413
Observações	21	Observações	26

Tabela 22. Análise de variância da linearidade.

Concentração 0,10 - 10,0 µg.mL <sup>-1</sup>					
	Graus de liberdade	Soma quadrática	Média quadrática	Estatística F	F de significância
<b>Regressão</b>	1	14008,7	14008,7	59680,5	1,1E-34
<b>Resíduo</b>	19	4,5	0,2	–	–
<b>Total</b>	20	14013,1	–	–	–
Concentração 0,003 - 0,10 µg.mL <sup>-1</sup>					
	Graus de liberdade	Soma quadrática	Média quadrática	Estatística F	F de significância
<b>Regressão</b>	1	212,0	212,0	3641,9	0,0
<b>Resíduo</b>	24	1,4	0,1	–	–
<b>Total</b>	25	213,4	–	–	–

Na Figura 98 é possível observar que a distribuição dos resíduos foi aleatória, o que

significa que a linearidade de ambas faixas de trabalho é satisfatória.



### 5.8.3. Exatidão, recuperação e extração em fase sólida

Em amostras de água residuária isentas de EE2 e contaminadas com solução padrão deste analito, as taxas de recuperação ficaram entre 58,5 e 105,4 %.

No primeiro teste de recuperação a amostra “Esgoto II” saturou o cartucho com 300 mL de amostra, talvez por esse motivo não tenha atingido a faixa ideal de recuperação. As amostras “Esgoto I” e “Esgoto II” tiveram 500 mL de amostra passados pelo cartucho e taxas de recuperação dentro da estabelecida pela legislação. No segundo teste de recuperação apenas as amostras de água ultra pura tiveram 500 mL de extração, porém apresentaram recuperação maior que o máximo descrito pela legislação. A amostra “Esgoto I” saturou o cartucho após a passagem de 280 mL de amostra, e a “Esgoto II” saturou o cartucho após a passagem de 286 mL de amostra, e apenas esta amostra de esgoto obteve recuperação dentro do estabelecido pela legislação.

No terceiro teste, tanto a amostra contaminada com  $40 \mu\text{g.mL}^{-1}$  e concentração final de  $8 \mu\text{g.mL}^{-1}$  em 100 mL passados pelo cartucho, quanto esta mesma amostra diluída dez vezes apresentaram recuperação satisfatória da substância. O quarto teste, realizado com esgoto *in natura* contaminado com  $2 \mu\text{g.mL}^{-1}$  de EE2, apresentou recuperação satisfatória sem que fosse necessária a etapa de extração.

Os testes de recuperação mostraram que o cartucho Oasis HLB da marca *Waters* apresentaram 100% de recuperação dentro da faixa estabelecida pela legislação, quando comparados aos resultados dos cartuchos C 18. Por isso, ficou definida a utilização dos cartuchos

com fase sólida lipofílica e hidrofílica. Na Tabela 23 estão apresentadas as concentrações das amostras e as porcentagens obtidas no teste de recuperação.

**Tabela 23. Testes de recuperação para EE2.**

<b>Teste n.º 1</b>		
<b>Amostra</b>	<b>Concentração (<math>\mu\text{g.mL}^{-1}</math>)</b>	<b>Recuperação (%)</b>
Esgoto I	6,21	77,7
Esgoto II*	2,81	58,5
Esgoto III	8,02	100,3
<b>Teste n.º 2</b>		
<b>Amostra</b>	<b>Concentração (<math>\mu\text{g.mL}^{-1}</math>)</b>	<b>Recuperação (%)</b>
Água I	11,49	143,7
Água II	11,84	147,9
Esgoto I*	2,96	66,1
Esgoto II*	4,76	104,5
<b>Teste n.º 3</b>		
<b>Amostra</b>	<b>Concentração (<math>\mu\text{g.mL}^{-1}</math>)</b>	<b>Recuperação (%)</b>
Esgoto	1,69	105,4
Esgoto (d = 10x)	0,14	85,4
<b>Teste n.º 4</b>		
<b>Amostra</b>	<b>Concentração (<math>\mu\text{g.mL}^{-1}</math>)</b>	<b>Recuperação (%)</b>
Esgoto (a)** I	1,54	77,1
Esgoto (a)** II	1,54	77,1
Esgoto (a)** III	1,54	77,1
Esgoto (f)*** I	1,64	81,9
Esgoto (f)*** II	1,64	82,1

\* amostras que o cartucho de extração saturou antes que fossem passados 500 mL de amostra.

\*\* esgoto *in natura* filtrado em algodão.

\*\*\* esgoto *in natura* filtrado em filtro de papel.

#### 5.8.4. Limite de detecção (LOD) e limite de quantificação (LOQ)

Juntamente com o segundo estudo de linearidade foram testados o limite de quantificação do equipamento (LQE) e limite de detecção do equipamento (LDE). Preparando-se padrões com concentrações cada vez menores foi verificado que a última concentração que apresentou pico cromatográfico definido, sem ser confundido com o ruído, e apresentou repetibilidade nas áreas calculadas ( $0,109 \pm 0,009$  mAU) foi a concentração de  $0,0025 \mu\text{g.mL}^{-1}$ ,  $2,52 \mu\text{g.L}^{-1}$  ou ainda  $2.520 \text{ ng. L}^{-1}$ . Sendo assim, conclui-se que este é o limite de quantificação do equipamento, e o limite de detecção do equipamento será considerado um valor duas vezes menor que esse, ou seja:  $0,0013 \mu\text{g.mL}^{-1}$ ,  $1,26 \mu\text{g.L}^{-1}$  ou  $1.260 \text{ ng. L}^{-1}$ .

### 5.8.5. Concentrações de 17- $\alpha$ -etinilestradiol nas amostras

Com os volumes totais de água residuária que entrou nos leitos nos dias em que houve adição de EE2, foram calculadas algumas das concentrações previstas de EE2 nas entradas dos leitos (Tabela 24). Todas as concentrações previstas na entrada podem ser encontrados no Anexo IV, Tabela A.4.1. Como foi verificado que a maioria das amostras de entrada dos LC possuíam concentrações muito pequenas, menores ou na faixa do limite de detecção do aparelho, um teste foi realizado utilizando amostras do início do período de adição de EE2, do meio do período e do último dia de adição e monitoramento. Estas amostras escolhidas estão em negrito na Tabela 24.

**Tabela 24. Concentrações de EE2 presentes nas amostras.**

Data	Amostra	Massa adicionada diariamente		70 $\mu\text{g}$ (2 comprimidos)	
		Volume diário total (L)	Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )	Concentração ( $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ )
<b>19/set</b>	<b>LC</b>	<b>362,3</b>	<b>0,19</b>	<b>0,0002</b>	<b>193</b>
19/set	LCA1	392,6	0,18	0,0002	178
19/set	LCA2	623,0	0,11	0,0001	112
24/set	LC	682,4	0,10	0,0001	103
24/set	LCA1	811,1	0,09	0,0001	86
<b>24/set</b>	<b>LCA2</b>	<b>669,3</b>	<b>0,10</b>	<b>0,0001</b>	<b>105</b>
<b>27/set</b>	<b>LC</b>	<b>429,4</b>	<b>0,16</b>	<b>0,0002</b>	<b>163</b>
27/set	LCA1	471,5	0,15	0,0001	148
<b>27/set</b>	<b>LCA2</b>	<b>531,0</b>	<b>0,13</b>	<b>0,0001</b>	<b>132</b>

Primeiramente foram injetados 10  $\mu\text{L}$  das amostras do LCA2 no dia 27/09/13 *in natura*. Depois foram injetados 100  $\mu\text{L}$  de todas amostras após o processo de extração em fase sólida, para verificar se um maior volume de injeção proporcionaria leitura dos picos, porém a injeção de 100  $\mu\text{L}$  acabou provocando um alargamento dos picos e um arraste dos compostos. Então, decidiu-se injetar 20  $\mu\text{L}$  e ressuspender a amostra após secura total em 1 mL. Os resultados estão apresentados na Tabela 25.

**Tabela 25. Resultados das amostras analisadas com EE2.**

Amostra	Data	Concentração realizada	Coincidência do espectro	Volume injetado ( $\mu\text{L}$ )	Média dos resultados ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )	Concentração esperada ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )
LC - E	19/set	52,4 vezes	< 50%	20	0,0009 $\pm 0,0004$	0,0002
LC - E	19/set	150 vezes	79%	20	0,0014 $\pm 0,0003$	0,0002
LCA2 - E	24/set	44,6 vezes	< 50%	20	0,0014 $\pm 0,0002$	0,0001
LCA2 - E	24/set	250 vezes	23 - 36%	20	0,0003 $\pm 0,00002$	0,0001
LC - E	27/set	400 vezes	< 3%	20	0,0003 $\pm 0,0001$	0,0002
LCA2 - E	27/set	38 vezes	0%	20	0,0004 $\pm 0,0001$	0,0001
LCA2 - E	27/set	300 vezes	14 - 68%	20	0,0002 $\pm 0,00001$	0,0001

## 5.9. Análise estatística

A estatística foi realizada analisando separadamente os dados da escala horária, dos dados da escala diária. Em cada escala de monitoramento foram testados os dados de entrada nos leitos cultivados, para verificar se apesar de ser coletada uma amostra na entrada de cada leito (pelo fato da vazão não ser idêntica nos três leitos, foi necessário coletar uma amostra de cada um para realizarmos um cálculo confiável das cargas dos analitos) e os dados de entrada menos os de saída, ou seja, eficiência de remoção/retenção.

As variáveis analisadas na escala horária foram pH, oxigênio dissolvido (OD), temperatura (T) e vazão (Q), com 24 dias de monitoramento para os três leitos. Na escala diária foram analisados os parâmetros cor, turbidez, demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total, nitrogênio total Kjeldahl (NTK), nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato, com 24 dias de monitoramento para o LC e LCA1 e 15 dias de monitoramento para o LCA2.

Antes de ser escolhido o teste estatístico mais apropriado para a análise, foi testada a normalidade de todos os dados, de ambas as escalas. O software estatístico utilizado foi o SPSS Statistics 21.0 para todas as análises.

### 5.9.1. Teste de Normalidade – escala horária

O teste de Kolmogorov-Smirnov foi aplicado com nível de significância 5%, ou seja, se o p-valor for superior a 0,05, aceitamos a hipótese nula de que a variável testada tem distribuição Normal. Na Tabela 26 é possível visualizar o teste de Normalidade, as variáveis com a letra “e” são de entrada nos LC, e com a letra “s” são de saída.

Tabela 26. Teste de Normalidade.

Teste de Kolmogorov-Smirnov		
Variável	Estatística K-S	p-valor
pHe	4,476	0,000
ODe (mg.L <sup>-1</sup> )	4,792	0,000
Te (°C)	1,581	0,013
Qe (L.h <sup>-1</sup> )	3,208	0,000
<b>pHs</b>	<b>1,231</b>	<b>0,097</b>
ODs (mg.L <sup>-1</sup> )	3,050	0,000
Ts (°C)	2,009	0,001
Qs (L.h <sup>-1</sup> )	4,438	0,000

Segundo os p-valores, apenas a diferença entre entrada e saída do pH (eficiência) mostra evidências de que é Normal. Como as demais não o são, serão aplicados testes não paramétricos para as comparações.

#### 5.9.1.1. Comparação entre os leitos para as variáveis de entrada

Foram comparadas as medianas dos três leitos com os valores de entrada das variáveis através do teste de Kruskal-Wallis, com nível de significância 5%. Ou seja, se o p-valor de alguma variável for igual ou inferior a 0,05, há evidência de que algum dos três leitos é diferente para aquela variável. Porém, o teste não diz qual dos leitos é diferente. Para obter esse tipo de resultado, é preciso realizar outro teste que compara pares de leitos. Na Tabela 27 estão apresentados os resultados deste teste Kruskal-Wallis, a letra “e” são de entrada nos LC.

**Tabela 27. Teste Kruskal-Wallis para as variáveis do esgoto de entrada nos leitos cultivados.**

Medianas dos leitos					
Variável	LC	LCA1	LCA2	Estatística K-W	p-valor
pHe	8,150	8,140	8,140	0,108	0,948
ODe (mg.L <sup>-1</sup> )	0,890	0,530	0,125	41,518	<b>0,000</b>
Te (°C)	24,300	24,200	26,200	22,768	<b>0,000</b>
Qe (L.h <sup>-1</sup> )	48,600	49,500	54,000	8,238	<b>0,016</b>

Apenas o pH de entrada tem os três leitos com valores iguais a nível 5%. OD, temperatura e vazão de entrada apresentam diferença entre os leitos. Para verificarmos quais leitos são diferentes para essas variáveis, será aplicado o teste de Mann-Whitney para comparar pares de leitos com nível 5% de significância.

#### **5.9.1.1.1. Oxigênio dissolvido afluyente (mg.L<sup>-1</sup>)**

Observa-se na Tabela 28 que as medianas de entrada são iguais a nível 5% para os leitos LC e LCA1, e eles têm as maiores medianas. O LC e LCA1 são estatisticamente diferentes do leito LCA2, e este leito tem a menor mediana dos três leitos. O LC e o LCA1 encontram-se um ao lado do outro, mas entre o LCA1 e o LCA2 existem outros 5 leitos, assim o esgoto percorre um caminho maior até chegar no LCA2, o que deve ter causado a diferença entre os parâmetros.

**Tabela 28. Teste Mann-Whitney para a variável OD.**

Leito 1	Leito 2	Mediana 1	Mediana 2	Estatística M-W	p-valor	Resultado
LC	LCA1	0,890	0,530	-1,832	0,067	Sem diferença
LC	LCA2	0,890	0,125	-6,140	<b>0,000</b>	<b>Diferentes</b>
LCA1	LCA2	0,530	0,125	-5,052	<b>0,000</b>	<b>Diferentes</b>

#### **5.9.1.1.2. Temperatura afluyente (°C)**

Na Tabela 29 é possível observar que as medianas de entrada são iguais a nível 5% para os leitos LC e LCA1. Eles são estatisticamente diferentes do leito LCA2, que tem a maior mediana dos três leitos, e provavelmente é diferente dos demais pelo mesmo motivo apresentado no tópico anterior.

**Tabela 29. Teste Mann-Whitney para a variável temperatura.**

<b>Leito 1</b>	<b>Leito 2</b>	<b>Mediana 1</b>	<b>Mediana 2</b>	<b>Estatística M-W</b>	<b>p-valor</b>	<b>Resultado</b>
LC	LCA1	24,300	24,200	-0,735	0,462	Sem diferença
LC	LCA2	24,300	26,200	-3,897	<b>0,000</b>	<b>Diferentes</b>
LCA1	LCA2	24,200	26,200	-4,575	<b>0,000</b>	<b>Diferentes</b>

**5.9.1.1.3. Vazão de entrada (L.h<sup>-1</sup>)**

As medianas de entrada são iguais a nível 5% para os leitos LC e LCA1. Eles são estatisticamente diferentes do leito LCA2, que tem a maior mediana dos três leitos, ou seja, possui vazão de entrada diferente do LC e LCA1. Este fator não é prejudicial tendo em vista que a vazão de esgoto é variável durante o dia, que a distância entre o LCA1 e o LCA2 é bem maior do que entre o LC e o LCA1 e pelo fato da vazão ser controlada manualmente com registro de esfera, o que torna impossível manter duas vazões de entrada exatamente iguais. Na Tabela 30 está apresentado o teste Mann-Whitney para a variável vazão.

**Tabela 30. Teste Mann-Whitney para vazão afluente.**

<b>Leito 1</b>	<b>Leito 2</b>	<b>Mediana 1</b>	<b>Mediana 2</b>	<b>Estatística M-W</b>	<b>p-valor</b>	<b>Resultado</b>
LC	LCA1	48,600	49,500	-0,374	0,708	Sem diferença
LC	LCA2	48,600	54,000	-2,459	<b>0,014</b>	<b>Diferentes</b>
LCA1	LCA2	49,500	54,000	-2,668	<b>0,008</b>	<b>Diferentes</b>

**5.9.1.2. Eficiência de remoção/retenção dos parâmetros analisados na escala horária**

A medida de eficiência foi realizada para o parâmetro pH e OD, para temperatura somente serão apresentados se os valores diferem entre si. Essa medida de eficiência foi realizada utilizando o valor de entrada menos o de saída das variáveis pH e OD. Essa diferença, para indicar eficiência, é positiva para o pH e negativa para o OD.

No caso do OD, quanto maior é o seu valor em módulo, mais eficiente é o leito. Primeiro, foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis para os três leitos (Tabela 31), em todas as variáveis, com nível 5%. Os valores para os leitos são as medianas por variável.

**Tabela 31. Teste Kruskal-Wallis para variáveis de eficiência.**

Variável	Medianas dos leitos (eficiência)			Estatística K-W	p-valor
	LC	LCA1	LCA2		
pH	0,800	0,720	1,075	51,384	<b>0,000</b>
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	-0,190	-0,330	-0,775	36,210	<b>0,000</b>
T (°C)	0,100	1,000	2,700	102,464	<b>0,000</b>
Q (L.h <sup>-1</sup> )	11,250	3,600	8,100	19,640	<b>0,000</b>

Todos os leitos são diferentes para as quatro variáveis. Para verificarmos quais leitos são diferentes, novamente foi aplicado o teste de Mann-Whitney para comparar pares de leitos com nível 5% de significância.

#### 5.9.1.2.1. Eficiência de neutralização do pH

É possível observar na Tabela 32 os p-valores menores do que 0,05 indicando que todos os leitos são diferentes entre si. Entre o leito controle e o leito cultivado aguapé 1, o controle é melhor em mediana, ou seja, é mais eficiente. Porém, ao fazer as outras comparações, a mediana do LCA2 se mostra mais eficiente do que as demais para o pH. Sendo assim, na neutralização do pH o LCA1 é menos eficiente que o LC, que é menos eficiente que o LCA2.

**Tabela 32. Teste Mann-Whitney para eficiência de neutralização do pH.**

Leito 1	Leito 2	Mediana 1	Mediana 2	Estatística M-W	p-valor	Resultado
LC	LCA1	0,800	0,720	-2,391	0,017	LC
LC	LCA2	0,800	1,075	-5,325	<b>0,000</b>	<b>LCA2</b>
LCA1	LCA2	0,720	1,075	-6,900	<b>0,000</b>	<b>LCA2</b>

#### 5.9.1.2.2. Oxigênio Dissolvido

Os p-valores menores do que 0,05 indicam que todos os leitos são diferentes entre si. A mediana do LCA2 se mostrou mais eficiente comparando com as medianas dos outros leitos para o OD, seguida pelo LCA1 e LC em ordem decrescente de valores.

Sendo assim, o LC é o leito menos eficiente no aumento de OD e o LCA2 é o mais eficiente, o que indica que a presença de macrófita melhora os resultados de OD do esgoto e que

quanto mais desenvolvida a macrófita, melhor. Na Tabela 33 estão apresentados os resultados do teste Mann-Whitney para OD.

**Tabela 33. Teste Mann-Whitney para eficiência de aeração dos leitos cultivados.**

<b>Leito 1</b>	<b>Leito 2</b>	<b>Mediana 1</b>	<b>Mediana 2</b>	<b>Estatística M-W</b>	<b>p-valor</b>	<b>Resultado</b>
LC	LCA1	-0,190	-0,330	-2,384	0,017	LCA1
LC	LCA2	-0,190	-0,775	-5,918	<b>0,000</b>	<b>LCA2</b>
LCA1	LCA2	-0,330	-0,775	-4,102	<b>0,000</b>	<b>LCA2</b>

### 5.9.1.2.3. Temperatura

Na Tabela 34 estão apresentados os resultados do teste Mann-Whitney para temperatura. Os p-valores menores do que 0,05 indicam que todos os leitos são diferentes entre si. A maior mediana é a do leito LCA2, e a menor é a do LC – ou seja, o LCA2 é o leito que diminuiu mais a temperatura de saída do efluente, pelo fato de ter uma vegetação desenvolvida, seguido pelo LCA1 e pelo LC (sem vegetação).

**Tabela 34. Teste Mann-Whitney para diferença de temperatura.**

<b>Leito 1</b>	<b>Leito 2</b>	<b>Mediana 1</b>	<b>Mediana 2</b>	<b>Estatística M-W</b>	<b>p-valor</b>	<b>Resultado</b>
LC	LCA1	0,100	1,000	-7,323	<b>0,000</b>	<b>Diferentes</b>
LC	LCA2	0,100	2,700	-8,705	<b>0,000</b>	<b>Diferentes</b>
LCA1	LCA2	1,000	2,700	-5,210	<b>0,000</b>	<b>Diferentes</b>

### 5.9.1.2.4. Vazão

As comparações indicam que LC e LCA2 são estatisticamente iguais (p-valor maior do que 0,05) para diferença entre vazões afluente e efluente, e têm valores maiores de mediana do que o LCA1. Na Tabela 35 estão apresentados os resultados do teste para esta variável.

**Tabela 35. Teste Mann-Whitney para diferença de vazão.**

<b>Leito 1</b>	<b>Leito 2</b>	<b>Mediana 1</b>	<b>Mediana 2</b>	<b>Estatística M-W</b>	<b>p-valor</b>	<b>Resultado</b>
LC	LCA1	11,250	3,600	-3,750	<b>0,000</b>	<b>Diferentes</b>
LC	LCA2	11,250	8,100	-0,587	0,557	Sem diferença
LCA1	LCA2	3,600	8,100	-3,775	<b>0,000</b>	<b>Diferentes</b>

### 5.9.2. Teste de Normalidade – escala diária (mg.L<sup>-1</sup>)

O teste Kolmogorov-Smirnov foi aplicado com nível de significância 5%, ou seja, se o p-valor for superior a 0,05, aceitamos a hipótese nula de que a variável testada tem distribuição Normal.

#### 5.9.2.1. Variáveis de entrada

As variáveis de entrada cor, DQO, fósforo, NTK, nitrogênio amoniacal (em mg.L<sup>-1</sup>) e turbidez (em NTU) são aproximadamente Normais. Então, foi aplicada a ANOVA para analisar se os leitos são diferentes. Para o nitrito e nitrato de entrada (em mg.L<sup>-1</sup>), os dados não são Normais, então são aplicados testes não-paramétricos. Na Tabela 36 estão apresentados os dados do teste de Normalidade para as variáveis de entrada.

**Tabela 36. Teste de Normalidade para as variáveis de entrada.**

Teste de Kolmogorov-Smirnov		
Variável	Estatística K-S	p-valor
Cor (mg.L <sup>-1</sup> )	0,818	0,515
Turbidez (NTU)	0,569	0,902
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	0,585	0,884
Fósforo (mg.L <sup>-1</sup> )	1,166	0,132
NTK (mg.L <sup>-1</sup> )	0,728	0,664
N amoniacal (mg.L <sup>-1</sup> )	1,068	0,204
<b>Nitrito (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>1,799</b>	<b>0,003</b>
<b>Nitrato (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>1,586</b>	<b>0,013</b>

#### 5.9.2.2. Variáveis de eficiência (mg.L<sup>-1</sup>)

As variáveis de eficiência de cor, DQO, fósforo, NTK, nitrogênio amoniacal (em mg.L<sup>-1</sup>) e turbidez (em NTU) são aproximadamente Normais. Então, foi realizada ANOVA para verificar se os leitos são diferentes. Para a eficiência de nitrito e nitrato (em mg.L<sup>-1</sup>), os dados não são Normais, então serão aplicados testes não-paramétricos. Na Tabela 37 estão apresentados os dados do teste de Normalidade para as variáveis de eficiência.

**Tabela 37. Teste de Normalidade para as variáveis de eficiência.**

<b>Teste de Kolmogorov-Smirnov</b>		
<b>Variável</b>	<b>Estatística K-S</b>	<b>p-valor</b>
Cor (mg.L <sup>-1</sup> )	0,517	0,952
Turbidez (NTU)	0,863	0,446
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	0,552	0,921
Fósforo (mg.L <sup>-1</sup> )	0,787	0,565
NTK (mg.L <sup>-1</sup> )	0,694	0,722
N amoniacal (mg.L <sup>-1</sup> )	0,571	0,901
<b>Nitrito (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>1,603</b>	<b>0,012</b>
<b>Nitrato (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>1,364</b>	<b>0,049</b>

**5.9.2.3. Comparação entre os leitos para as variáveis de entrada (mg.L<sup>-1</sup>)**

Testando as medianas de nitrito e nitrato (em mg.L<sup>-1</sup>) com o teste de Kruskal-Wallis, verifica-se que o afluente dos leitos são iguais a nível 5% de significância para estes parâmetros. Os dados do teste são apresentados na Tabela 38.

**Tabela 38. Teste de comparações com Kruskal-Wallis.**

<b>Variável</b>	<b>Medianas dos leitos</b>			<b>Estatística K-W</b>	<b>p-valor</b>
	<b>LC</b>	<b>LCA1</b>	<b>LCA2</b>		
Nitrito (mg.L <sup>-1</sup> )	8,150	8,140	8,140	0,648	0,723
Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	24,300	24,200	26,200	1,246	0,536

Ao testar as médias dos três leitos para as variáveis que são aproximadamente Normais com a ANOVA, é possível ver que a nível 5% de significância, aceita-se a hipótese de que para cor, DQO, fósforo, NTK, nitrogênio amoniacal (em mg.L<sup>-1</sup>) e turbidez (em NTU) o afluente dos três leitos é igual. Os dados são apresentados na Tabela 39.

**Tabela 39. Teste ANOVA para as variáveis de entrada.**

ANOVA						
Variáveis	Fonte de variação	Soma Quadrática	g.l.	Média Quadrática	Estatística F	P-valor
Cor (mg.L <sup>-1</sup> )	Regressão	9088,229	2	4544,115	0,135	0,874
	Erro	2015400,183	60	33590,003		
	Total	2024488,413	62			
Turbidez (NTU)	Regressão	150,146	2	75,073	0,146	0,865
	Erro	30941,336	60	515,689		
	Total	31091,482	62			
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Regressão	3371,145	2	1685,572	0,226	0,799
	Erro	448242,006	60	7470,700		
	Total	451613,151	62			
Fósforo (mg.L <sup>-1</sup> )	Regressão	3,753	2	1,876	2,311	0,108
	Erro	48,710	60	0,812		
	Total	52,462	62			
NTK (mg.L <sup>-1</sup> )	Regressão	727,875	2	363,938	1,068	0,350
	Erro	20455,049	60	340,917		
	Total	21182,924	62			
N amoniacal (mg.L <sup>-1</sup> )	Regressão	819,707	2	409,854	1,314	0,276
	Erro	18711,122	60	311,852		
	Total	19530,829	62			

#### 5.9.2.4. Eficiência de remoção/retenção dos parâmetros analisados na escala diária (mg.L<sup>-1</sup>)

A eficiência das variáveis foi medida pelo maior valor positivo de média ou mediana, da diferença entre os valores de entrada e saída obtidos nos testes. Para comparar os três leituras das variáveis não Normais, foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis (Tabela 40).

**Tabela 40. Teste de comparações da eficiência com Kruskal-Wallis.**

Variável	Medianas dos leituras			Estatística K-W	p-valor
	LC	LCA1	LCA2		
Nitrito (mg.L <sup>-1</sup> )	0,000	0,000	0,000	2,752	0,253
Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	<b>-0,200</b>	<b>0,200</b>	<b>0,300</b>	<b>6,384</b>	<b>0,041</b>

Para a eficiência média das variáveis cor, DQO, fósforo, NTK, nitrogênio amoniacal (em mg.L<sup>-1</sup>) e turbidez (em NTU), apresenta-se a ANOVA abaixo (Tabela 41).

**Tabela 41. Teste ANOVA para as variáveis de eficiência.**

Variáveis	Fonte de variação	Soma Quadrática	g.l.	Média Quadrática	Estatística F	P-valor
Cor (mg.L <sup>-1</sup> )	Regressão	16531,417	2	8265,709	0,274	0,761
	Erro	1809526,233	60	30158,771		
	Total	1826057,651	62			
Turbidez (NTU)	Regressão	81,327	2	40,664	0,080	0,924
	Erro	30635,524	60	510,592		
	Total	30716,852	62			
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Regressão	18416,593	2	9208,297	1,356	0,266
	Erro	407517,629	60	6791,960		
	Total	425934,222	62			
Fósforo (mg.L <sup>-1</sup> )	Regressão	<b>32,507</b>	<b>2</b>	<b>16,253</b>	<b>24,450</b>	<b>0,000</b>
	Erro	<b>39,886</b>	<b>60</b>	<b>0,665</b>		
	Total	<b>72,392</b>	<b>62</b>			
NTK (mg.L <sup>-1</sup> )	Regressão	<b>2545,691</b>	<b>2</b>	<b>1272,845</b>	<b>3,809</b>	<b>0,028</b>
	Erro	<b>20048,579</b>	<b>60</b>	<b>334,143</b>		
	Total	<b>22594,270</b>	<b>62</b>			
N amoniacal (mg.L <sup>-1</sup> )	Regressão	<b>3105,961</b>	<b>2</b>	<b>1552,980</b>	<b>4,722</b>	<b>0,012</b>
	Erro	<b>19734,135</b>	<b>60</b>	<b>328,902</b>		
	Total	<b>22840,095</b>	<b>62</b>			

As variáveis cor, DQO, nitrito (em mg.L<sup>-1</sup>) e turbidez (em NTU) possuem os três leitos aproximadamente iguais a nível 5% de significância. Já as variáveis fósforo, NTK, nitrogênio amoniacal e nitrato (em mg.L<sup>-1</sup>) têm alguns dos leitos diferentes a nível 5%. Foi necessário explorar para descobrir quais leitos são diferentes.

O teste de comparação múltipla de Tukey foi utilizado para variáveis Normais (fósforo, NTK e nitrogênio amoniacal em mg.L<sup>-1</sup>), e o teste de Mann-Whitney para a variável não Normal (nitrato em mg.L<sup>-1</sup>), comparando pares de leitos a nível de significância 5%.

#### 5.9.2.4.1. Eficiência de remoção/retenção de fósforo total (mg.L<sup>-1</sup>)

Para o fósforo total (mg.L<sup>-1</sup>), o LCA2 é o melhor leito, com maior média de eficiência, os leitos LC e LCA1 são estatisticamente iguais. Na Tabela 42 estão apresentados os dados do teste de Tukey.

**Tabela 42. Teste de comparações múltiplas de Tukey para fósforo total (mg.L<sup>-1</sup>).**

Leito 1	Leito 2	Média 1	Média 2	Diferença	p-valor	Resultado
LC	LCA1	0,438	0,158	0,279	0,466	Sem diferença
LC	LCA2	0,438	1,960	-1,523	<b>0,000</b>	<b>LCA2</b>
LCA1	LCA2	0,158	1,960	-1,802	<b>0,000</b>	<b>LCA2</b>

**5.9.2.4.2. Eficiência de remoção/retenção de nitrogênio total Kjeldahl (mg.L<sup>-1</sup>)**

Para o NTK (mg.L<sup>-1</sup>) o LCA2 foi o melhor leito com maior média de eficiência, porém o leito LC é estatisticamente igual ao LCA1 e ao LCA2. Ao comparar apenas os leitos cultivados com aguapé, o LCA2 é melhor. Assim, pode-se dizer em tese que o LC e LCA2 são os melhores leitos, ou seja: LC = LCA1 < LC = LCA2. Os resultados são apresentados na Tabela 43.

**Tabela 43. Teste de comparações múltiplas de Tukey para NTK (mg.L<sup>-1</sup>).**

Leito 1	Leito 2	Média 1	Média 2	Diferença	p-valor	Resultado
LC	LCA1	16,870	10,572	6,298	0,462	Sem diferença
LC	LCA2	16,870	27,179	-10,309	0,209	Sem diferença
LCA1	LCA2	10,572	27,179	-16,606	<b>0,021</b>	<b>LCA2</b>

**5.9.2.4.3. Eficiência de remoção/retenção de nitrogênio amoniacal (mg.L<sup>-1</sup>)**

Para o nitrogênio amoniacal em mg.L<sup>-1</sup> o LCA2 é o melhor leito, com maior média de eficiência. Porém, como no caso do NTK, o leito LC é estatisticamente igual ao LCA1 e ao LCA2. Ao comparar apenas os leitos cultivados com aguapé, o LCA2 é melhor. Sendo assim, pode-se dizer que o LC e o LCA2 são os melhores leitos, ou seja: LC = LCA1 < LC = LCA2. Na Tabela 44 estão apresentados os dados do teste de Tukey.

**Tabela 44. Teste de comparações múltiplas de Tukey para nitrogênio amoniacal (mg.L<sup>-1</sup>).**

Leito 1	Leito 2	Média 1	Média 2	Diferença	p-valor	Resultado
LC	LCA1	17,033	7,257	9,777	0,157	Sem diferença
LC	LCA2	17,033	25,237	-8,204	0,361	Sem diferença
LCA1	LCA2	7,257	25,237	-17,981	<b>0,010</b>	<b>LCA2</b>

#### 5.9.2.4.4. Eficiência de remoção/retenção de nitrato ( $\text{mg.L}^{-1}$ )

O LC teve uma mediana negativa, e é diferente do LCA1. Os leitos LCA1 e o LC são estatisticamente iguais ao leito LCA2. Na Tabela 45 estão apresentados os dados do teste de Mann-Whitney.

Tabela 45. Teste de comparações com Mann-Whitney para nitrato ( $\text{mg.L}^{-1}$ ).

Leito 1	Leito 2	Mediana 1	Mediana 2	Estatística M-W	p-valor	Resultado
LC	LCA1	-0,200	0,200	-2,451	0,014	Diferentes
LC	LCA2	-0,200	0,300	-1,691	0,091	Sem diferença
LCA1	LCA2	0,200	0,300	-0,188	0,853	Sem diferença

#### 5.9.3. Teste de Normalidade – escala diária

Para testar se os dados pertencem à distribuição Normal, aplica-se o teste de Kolmogorov-Smirnov, pois a amostra foi superior a 50 para todas as variáveis. O teste foi aplicado com nível de significância 5%, ou seja, se o p-valor for superior a 0,05 será aceita a hipótese nula de que a variável testada tem distribuição Normal.

##### 5.9.3.1. Variáveis de entrada ( $\text{g.dia}^{-1}$ )

As variáveis de entrada cor, DQO, fósforo, NTK, nitrogênio amoniacal e nitrito são aproximadamente Normais. Então será aplicado o teste ANOVA para analisar se os leitos são diferentes. Para o nitrato de entrada, os dados não são Normais, então serão aplicados testes não-paramétricos. A Tabela 46 apresenta os valores do teste de Normalidade.

**Tabela 46. Teste de Normalidade para as variáveis de entrada (g.dia<sup>-1</sup>).**

<b>Teste de Kolmogorov-Smirnov</b>		
<b>Variável</b>	<b>Estatística K-S</b>	<b>p-valor</b>
Cor (g.dia <sup>-1</sup> )	1,201	0,111
DQO (g.dia <sup>-1</sup> )	0,441	0,990
Fósforo (g.dia <sup>-1</sup> )	0,926	0,358
NTK (g.dia <sup>-1</sup> )	0,789	0,562
N amoniacal (g.dia <sup>-1</sup> )	0,944	0,335
Nitrito (g.dia <sup>-1</sup> )	1,169	0,130
<b>Nitrato (g.dia<sup>-1</sup>)</b>	<b>1,421</b>	<b>0,035</b>

**5.9.3.2. Variáveis de eficiência (g.dia<sup>-1</sup>)**

Todas as variáveis de eficiência são aproximadamente Normais. Então, também será aplicado a ANOVA para analisarmos se os leitões são diferentes. Na Tabela 47 estão apresentados os resultados do teste de Normalidade para as variáveis de eficiência de retenção.

**Tabela 47. Teste de Normalidade para as variáveis de eficiência de retenção (g.dia<sup>-1</sup>).**

<b>Teste de Kolmogorov-Smirnov</b>		
<b>Variável</b>	<b>Estatística K-S</b>	<b>p-valor</b>
Cor (g.dia <sup>-1</sup> )	1,149	0,142
DQO (g.dia <sup>-1</sup> )	0,662	0,773
Fósforo (g.dia <sup>-1</sup> )	1,059	0,212
NTK (g.dia <sup>-1</sup> )	1,018	0,251
N amoniacal (g.dia <sup>-1</sup> )	1,026	0,243
Nitrito (g.dia <sup>-1</sup> )	0,694	0,722
Nitrato (g.dia <sup>-1</sup> )	1,154	0,139

**5.9.3.3. Comparação entre os leitões para as variáveis de entrada (g.dia<sup>-1</sup>)**

Ao testar as médias dos três leitões para as variáveis que são aproximadamente Normais com a ANOVA, a nível 5% de significância, aceita-se a hipótese de que os leitões são iguais para as variáveis cor, DQO e nitrito. As médias são diferentes para fósforo, NTK e nitrogênio amoniacal. Na Tabela 48 estão apresentados os resultados do teste ANOVA para as variáveis de entrada.

**Tabela 48. Teste ANOVA para as variáveis de entrada (g.dia<sup>-1</sup>).**

<b>Análise de Variância - ANOVA</b>						
<b>Variáveis</b>	<b>Fonte de variação</b>	<b>Soma Quadrática</b>	<b>g.l.</b>	<b>Média Quadrática</b>	<b>Estatística F</b>	<b>p-valor</b>
Cor (g.dia <sup>-1</sup> )	Regressão	40008,7	2	20004,4	1,613	0,208
	Erro	744101,0	60	12401,7		
	Total	784109,7	62			
DQO (g.dia <sup>-1</sup> )	Regressão	51,5	2	4063,6	1,911	0,157
	Erro	127614,1	60	2126,9		
	Total	135741,4	62			
<b>Fósforo (g.dia<sup>-1</sup>)</b>	Regressão	<b>7,8</b>	<b>2</b>	<b>3,9</b>	<b>5,319</b>	<b>0,007</b>
	Erro	<b>43,7</b>	<b>60</b>	<b>0,7</b>		
	Total	<b>51,5</b>	<b>62</b>			
NTK (g.dia <sup>-1</sup> )	Regressão	<b>2560,6</b>	<b>2</b>	<b>1280,3</b>	<b>4,085</b>	<b>0,022</b>
	Erro	<b>18804,7</b>	<b>60</b>	<b>313,4</b>		
	Total	<b>21365,3</b>	<b>62</b>			
N amoniacal (g.dia <sup>-1</sup> )	Regressão	<b>2408,4</b>	<b>2</b>	<b>1204,2</b>	<b>4,256</b>	<b>0,019</b>
	Erro	<b>16976,8</b>	<b>60</b>	<b>282,9</b>		
	Total	<b>19385,2</b>	<b>62</b>			
Nitrito (g.dia <sup>-1</sup> )	Regressão	0,2	2	0,1	0,136	0,873
	Erro	36,3	60	0,6		
	Total	36,4	62			

Para o Nitrato, os leitões são iguais a nível 5% de significância, comparando suas medianas com o teste de Kruskal-Wallis. Na Tabela 49 pode-se observar os resultados do teste.

**Tabela 49. Teste de comparações com Kruskal-Wallis.**

<b>Variável</b>	<b>Medianas dos leitões</b>			<b>Estatística K-W</b>	<b>p-valor</b>
	<b>LC</b>	<b>LCA1</b>	<b>LCA2</b>		
Nitrato (g.dia <sup>-1</sup> )	0,173	0,167	0,294	2,872	0,238

### 5.9.3.3.1. Fósforo total afluyente (g.dia<sup>-1</sup>)

Para o fósforo de entrada, o LC e o LCA1 são estatisticamente iguais a nível 5%, mas ambos são diferentes do LCA2, provavelmente pela distância entre o LCA1 e o LCA2 que causa maior instabilidade na vazão, podendo causar também acúmulo ou perda do nutriente durante sua passagem pela tubulação. Na Tabela 50 estão apresentados os resultados do teste de Tukey.

**Tabela 50. Teste de comparações múltiplas de Tukey para fósforo afluyente (g.dia<sup>-1</sup>).**

<b>Fósforo (g.dia<sup>-1</sup>)</b>						
<b>Leito 1</b>	<b>Leito 2</b>	<b>Média 1</b>	<b>Média 2</b>	<b>Diferença</b>	<b>p-valor</b>	<b>Resultado</b>
LC	LCA1	2,321	2,287	0,034	0,990	Sem diferença
LC	LCA2	2,321	3,127	-0,806	<b>0,015</b>	<b>Diferentes</b>
LCA1	LCA2	2,287	3,127	-0,840	<b>0,011</b>	<b>Diferentes</b>

### 5.9.3.3.2. Nitrogênio total Kjeldahl afluyente (g.dia<sup>-1</sup>)

No NTK de entrada, novamente o LC e o LCA1 são estatisticamente iguais a nível 5%, mas ambos são diferentes do LCA2. Os resultados são apresentados na Tabela 51.

**Tabela 51. Teste de comparações múltiplas de Tukey para NTK afluyente (g.dia<sup>-1</sup>).**

<b>NTK (g.dia<sup>-1</sup>)</b>						
<b>Leito 1</b>	<b>Leito 2</b>	<b>Média 1</b>	<b>Média 2</b>	<b>Diferença</b>	<b>p-valor</b>	<b>Resultado</b>
LC	LCA1	49,837	48,301	1,536	0,951	Sem diferença
LC	LCA2	49,837	63,954	-14,118	<b>0,048</b>	<b>Diferentes</b>
LCA1	LCA2	48,301	63,954	-15,653	<b>0,025</b>	<b>Diferentes</b>

### 5.9.3.3.3. Nitrogênio amoniacal

Analisando o nitrogênio amoniacal afluyente, o LC é estatisticamente igual ao LCA1 e ao LCA2. Contudo, se compararmos os dois leitos cultivados com aguapé eles são diferentes entre si a nível 5%, provavelmente essa diferença ocorre devido aos processos de nitrificação e desnitrificação. Na Tabela 52 estão apresentados os resultados do teste de Tukey para este parâmetro.

**Tabela 52. Teste de comparações múltiplas de Tukey para nitrogênio amoniacal afluyente (g.dia<sup>-1</sup>).**

<b>N amoniacal (g.dia<sup>-1</sup>)</b>						
<b>Leito 1</b>	<b>Leito 2</b>	<b>Média 1</b>	<b>Média 2</b>	<b>Diferença</b>	<b>p-valor</b>	<b>Resultado</b>
LC	LCA1	48,101	45,399	2,702	0,844	Sem diferença
LC	LCA2	48,101	61,000	-12,899	0,059	Sem diferença
LCA1	LCA2	45,399	61,000	-15,601	<b>0,018</b>	<b>Diferentes</b>

### 5.9.3.4. Eficiência de remoção/retenção dos parâmetros analisados na escala diária (g.dia<sup>-1</sup>)

Para a eficiência média das variáveis cor, DQO, fósforo, NTK, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato, foi utilizado o teste ANOVA apresentado na Tabela 53 (abaixo).

**Tabela 53. Teste ANOVA para as variáveis de eficiência.**

Análise de Variância - ANOVA						
Variáveis	Fonte de variação	Soma Quadrática	g.l.	Média Quadrática	Estatística F	p-valor
Cor (g.dia <sup>-1</sup> )	Regressão	42239,6	2	21119,8	2,073	0,135
	Erro	611223,0	60	10187,1		
	Total	653462,7	62			
DQO (g.dia <sup>-1</sup> )	Regressão	14972,3	2	7486,2	4,191	0,020
	Erro	107182,4	60	1786,4		
	Total	122154,8	62			
Fósforo (g.dia <sup>-1</sup> )	Regressão	15,9	2	8,0	16,511	0,000
	Erro	28,9	60	0,5		
	Total	44,8	62			
NTK (g.dia <sup>-1</sup> )	Regressão	2998,4	2	1499,2	7,955	0,001
	Erro	11307,4	60	188,5		
	Total	14305,8	62			
N amoniacal (g.dia <sup>-1</sup> )	Regressão	3229,4	2	1614,7	8,966	0,000
	Erro	10805,3	60	180,1		
	Total	14034,6	62			
Nitrito (g.dia <sup>-1</sup> )	Regressão	0,074	2	0,037	0,047	0,954
	Erro	47,418	60	0,790		
	Total	47,492	62			
Nitrato (g.dia <sup>-1</sup> )	Regressão	0,500	2	0,250	1,834	0,169
	Erro	8,179	60	0,136		
	Total	8,679	62			

As variáveis cor, nitrito e nitrato possuem os três leitos aproximadamente iguais a nível 5% de significância. Já as variáveis DQO, fósforo, NTK e nitrogênio amoniacal têm alguns dos leitos diferentes a nível 5%. A seguir, estão apresentados os testes de comparação múltipla de Tukey (paramétrico) para variáveis que foram significantes na tabela anterior, pois todas são aproximadamente Normais, comparando pares de leitos a nível de significância 5%.

#### 5.9.3.4.1. Eficiência de remoção/retenção de DQO (g.dia<sup>-1</sup>)

Realizando o teste de Tukey para DQO o LCA2 é o leito mais eficiente em comparação aos demais, com maior média, mas ele também é estatisticamente igual ao LC, tornando ambos boas opções de tratamento analisando estatisticamente a eficiência. Assim, pode-se dizer: LC = LCA1 < LC = LCA2. Na Tabela 54 estão demonstrados os resultados do teste de Tukey.

Tabela 54. Teste de comparações múltiplas de Tukey para DQO (g.dia<sup>-1</sup>).

Teste de Tukey - DQO (g.dia <sup>-1</sup> )						
Leito 1	Leito 2	Média 1	Média 2	Diferença	p-valor	Resultado
LC	LCA1	83,509	74,338	9,171	0,734	Sem diferença
LC	LCA2	83,509	113,877	-30,368	0,082	Sem diferença
LCA1	LCA2	74,338	113,877	-39,539	<b>0,017</b>	<b>LCA2</b>

#### 5.9.3.4.2. Eficiência de remoção/retenção de fósforo total (g.dia<sup>-1</sup>)

Na Tabela 55 estão apresentados os resultados do teste de Tukey para o fósforo total. Os resultados demonstram que o LCA2 é o melhor leito, com maior média de eficiência. Os leitos LC e LCA1 são estatisticamente iguais.

Tabela 55. Teste de comparações múltiplas de Tukey para fósforo total (g.dia<sup>-1</sup>).

Teste de Tukey - Fósforo (g.dia <sup>-1</sup> )						
Leito 1	Leito 2	Média 1	Média 2	Diferença	p-valor	Resultado
LC	LCA1	0,780	0,390	0,390	0,135	Sem diferença
LC	LCA2	0,780	1,695	-0,915	<b>0,001</b>	<b>LCA2</b>
LCA1	LCA2	0,390	1,695	-1,305	<b>0,000</b>	<b>LCA2</b>

#### 5.9.3.4.3. Eficiência de remoção/retenção de NTK (g.dia<sup>-1</sup>)

O resultado do teste de Tukey para NTK foi o mesmo que o de DQO. O LCA2 é o melhor leito com maior média de eficiência, porém o leito LC é estatisticamente igual ao LCA1 e ao LCA2. Quando são comparados apenas os leitos cultivados com aguapé o LCA2 é mais eficiente. Assim, pode-se dizer em tese que LC e LCA2 são os melhores leitos. Ordem: LC = LCA1 < LC = LCA2. Os resultados são apresentados na Tabela 56.

**Tabela 56. Teste de comparações múltiplas de Tukey para NTK (g.dia<sup>-1</sup>).**

Teste de Tukey - NTK (g.dia <sup>-1</sup> )						
Leito 1	Leito 2	Média 1	Média 2	Diferença	p-valor	Resultado
LC	LCA1	19,505	11,244	8,261	0,102	Sem diferença
LC	LCA2	19,505	29,185	-9,680	0,090	Sem diferença
LCA1	LCA2	11,244	29,185	-17,940	<b>0,001</b>	<b>LCA2</b>

#### 5.9.3.4.4. Eficiência de remoção/retenção de nitrogênio amoniacal (g.dia<sup>-1</sup>)

Para o NH<sub>3</sub> o LC e o LCA2 são melhores do que o LCA1, e LC e LCA2 são estatisticamente iguais a nível 5%. Ou seja, ambos são os melhores leitos em eficiência de retenção de nitrogênio amoniacal. Na Tabela 57 estão apresentados os resultados do teste de Tukey.

**Tabela 57. Teste de comparações múltiplas de Tukey para nitrogênio amoniacal (g.dia<sup>-1</sup>).**

N amoniacal (g.dia <sup>-1</sup> )						
Leito 1	Leito 2	Média 1	Média 2	Diferença	p-valor	Resultado
LC	LCA1	19,392	9,362	10,030	<b>0,032</b>	<b>LC</b>
LC	LCA2	19,392	27,679	-8,287	0,154	Sem diferença
LCA1	LCA2	9,362	27,679	-18,317	<b>0,000</b>	<b>LCA2</b>

## 5.10. Monitoramento da vegetação dos leitos cultivados

### 5.10.1. Comportamento do Leito Cultivado com Aguapé (1) - LCA1

#### 5.10.1.1. Desenvolvimento vegetativo

Pelo fato do rápido e intenso crescimento do aguapé, não foi possível acompanhar o desenvolvimento da vegetação por número de plantas, número de folhas por planta, altura da planta e índice de área foliar. Então, desde o plantio o leito era fotografado semanalmente, com o intuito de verificar o tempo que o aguapé demoraria em se espalhar por toda área do LCA1.

No dia 13/08/13 ocorreu o plantio de 25 mudas de *Eichornia crassipes* no LCA1, as mudas foram retiradas de outros leitos presentes no local. Nas duas primeiras semanas após o

plântio a lâmina d'água do LC era mantida acima do meio suporte, pois, tendo em vista que o aguapé é uma planta flutuante que cresce em uma superfície livre de água, quando ela é plantada em meio suporte é necessário deixar uma alta lâmina d'água para que a temperatura emanada pela brita não atrapalhe seu desenvolvimento.

Antes de ser cultivada *Eichhornia crassipes*, existia *Typha spp.* (taboa) cultivada no LCA1. Este leito com taboa sofreu 5 ataques de animais antes do cultivo de aguapé.

Em 19/08/13 começou o primeiro período de monitoramento da água residuária no LCA1. No dia 28/08/13, durante a segunda semana consecutiva de coleta, o LCA1 sofreu o ataque de animais (possivelmente capivaras) que comeram algumas folhas, e retiraram algumas mudas de aguapés que estavam próximos à saída de água residuária do LCA1. Neste mesmo dia foram replantadas mais 5 mudas de *Eichhornia crassipes* na região de coleta efluente.

É possível observar na Figura 99 o desenvolvimento vegetativo do LCA1. A primeira foto em 13/08/13 (plântio), a segunda foto em 26/08/13, a terceira e a quarta foto em 29/08/13 (dia seguinte do ataque dos animais), a quinta foto em 09/09/13, a sexta foto em 18/09/13, a sétima foto em 26/09/13 e a oitava foto em 27/09/13 (último dia de monitoramento). Observa-se que o crescimento de aguapé no LCA1 foi afetado após o ataque de animais, pois a vegetação não teve um crescimento uniforme em todo o leito, e no local que os animais retiraram e comeram mudas mesmo após o replântio, o aguapé teve um desenvolvimento mais lento naquela área e alguns brotos morreram. Porém, depois de passadas algumas semanas essa área do LCA1 conseguiu se recuperar e quase igualar seu estágio de desenvolvimento com as demais plantas do leito.

**Figura 99. Desenvolvimento vegetativo do LCA1 (13/08/13 à 27/09/13).**



Fonte: Arquivo pessoal (2013).

No dia 19/09/13 o hormônio 17- $\alpha$ -etinilestradiol (EE2) começou a ser adicionado no LCA1. Depois de alguns dias de adição observou-se que várias folhas de diferentes plantas no LCA1 começaram a amarelar, e ficar com manchas que antes da adição elas não possuíam. Infelizmente não foram encontrados métodos para quantificação e análise dos efeitos do EE2 na *Eichhornia crassipes*, e este fato pode ter sido causado ou não à adição de EE2 no LCA1, por isso na Figura 100 estão apresentadas estas observações e uma foto do LCA1 no último dia de monitoramento.

**Figura 100. LCA1 no último dia de monitoramento (foto 1) e folhas amarelas do aguapé.**



Fonte: Arquivo pessoal (2013).

#### **5.10.1.2. Biomassa verde e seca**

A quantidade de biomassa verde produzida pela *Eichhornia crassipes* da parte aérea da planta, levando em consideração hastes e folhas, foi igual à 57,4 kg após quatro meses de desenvolvimento, e o peso total do sistema radicular foi 20,9 kg. Somando parte aérea e radicular resulta num total de 78,3 kg, sendo assim, o LCA1 produziu 17,0 kg.m<sup>-2</sup> de biomassa úmida de aguapé.

Da massa total, 898,93 g de parte aérea e 793,05 g de sistema radicular foram pesados e secos em estufa, obtendo assim 10,2 kg de biomassa seca de aguapé.

### 5.10.1.3. Absorção de nutrientes

Na Tabela 58 estão apresentados os resultados dos nutrientes que foram retirados da água residuária e absorvidos pelo aguapé presente no LCA1, tanto no sistema radicular quanto na parte aérea.

**Tabela 58. Absorção de macronutrientes pela *Eichhornia crassipes* no LCA1.**

Amostra	Macronutrientes (g.kg <sup>-1</sup> )					
	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre
<b>Caule e folhas</b>	47,7	13,6	62,7	20,9	6,6	5,1
<b>Sistema radicular</b>	30,8	11,1	4,6	10,8	2,6	13,8
<b>Total</b>	<b>78,5</b>	<b>24,7</b>	<b>67,3</b>	<b>31,7</b>	<b>9,2</b>	<b>18,9</b>

### 5.10.2. Comportamento do Leito Cultivado com Aguapé (2) – LCA2

#### 5.10.2.1. Desenvolvimento vegetativo

Como no caso do LCA1, o LCA2 foi fotografado semanalmente desde o plantio, com o intuito de verificar o tempo que o aguapé demoraria a se espalhar por toda área do reservatório. O LCA2 foi cultivado com 25 mudas de *Eichhornia crassipes* em 01/07/13, foi retirado todo o aguapé existente neste leito e replantadas as mudas. Isso ocorreu aproximadamente um mês e meio (43 dias) antes do LCA1.

O desenvolvimento vegetativo do LCA2 foi mais tranquilo do que do LCA1, pois a macrófita existente neste LC antes de 01/07/13 era o próprio aguapé e este leito nunca sofreu ataque de animais, nem depredação.

Nas duas primeiras semanas após o plantio a lâmina d'água do LC era mantida acima do meio suporte, pois, para que a temperatura emanada pela brita não atrapalhasse seu desenvolvimento. Na Figura 101 é observa-se o crescimento vegetativo do aguapé: o plantio na primeira foto (01/07/13), segunda foto em 16/07/13, terceira foto em 23/07/13, quarta foto em 30/07/13, quinta foto em 11/08/13, sexta foto em 26/08/13, sétima foto em 09/09/13 (primeira floração) e oitava foto em 18/09/13.

**Figura 101. Desenvolvimento vegetativo do LCA2 (01/07/13 à 18/09/13).**



**Fonte: Arquivo pessoal (2013).**

O crescimento de aguapé no LCA2 não foi uniforme, pois as plantas eram maiores no início do leito ao lado direito. Quando este fato foi constatado, verificou-se que a tubulação que trazia o esgoto afluente ao leito estava direcionada para este local, então não havia uma boa distribuição do afluente o que gerou um crescimento vegetativo preferencial naquela área. Então a tubulação foi redirecionada para o lado esquerdo do leito, e então a vegetação daquela área começou a recuperar seu crescimento.

Após o início da adição de EE2 (19/09/13) não foi observada nenhuma alteração na vegetação do LCA2. Na Figura 102 é possível observar o LCA2 no último dia de coleta – 27/09/13.

**Figura 102. LCA2 no último dia de monitoramento – 27/09/13.**



**Fonte: Arquivo pessoal (2013).**

### 5.10.2.2. Biomassa verde e seca

Após cinco meses de desenvolvimento, foram produzidos 53,7 kg de biomassa verde pelo LCA2, levando em conta apenas a parte aérea da planta; o sistema radicular total pesado foi 27,8 kg. Somando parte aérea e sistema radicular o total foi 81,5 kg, resultando em uma produção de biomassa úmida de 18,5 kg.m<sup>-2</sup>.

Foi separada uma massa de 704,99 g de parte aérea e 713,99 g de sistema radicular, que foram secos em estufa, obtendo assim 10,4 kg de biomassa seca de *Eichhornia crassipes*.

### 5.10.2.3. Absorção de nutrientes

Observa-se na Tabela 59 a remoção e absorção de nutrientes provenientes da água residuária, pelo sistema radicular e pela parte aérea, do aguapé cultivado no LCA2.

**Tabela 59. Absorção de macronutrientes pela *Eichhornia crassipes* no LCA2.**

Macronutrientes (g.kg <sup>-1</sup> )						
Amostra	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre
<b>Caule e folhas</b>	50,7	14,7	56,6	15,4	4,8	4,6
<b>Sistema radicular</b>	33,8	7,8	10,7	11,8	1,7	9,5
<b>Total</b>	<b>84,5</b>	<b>22,5</b>	<b>67,3</b>	<b>27,2</b>	<b>6,5</b>	<b>14,1</b>

### 5.10.3. Comparação da vegetação dos leitos cultivados

Serão apresentados neste capítulo os resultados das análises de biomassa verde e seca produzida pelo LCA1 e LCA2, e da absorção de nutrientes pela *Eichhornia crassipes*.

#### 5.10.3.1. Biomassa verde e seca

Na Tabela 60 estão apresentados os resultados obtidos da produção de biomassa pelo LCA1 e LCA2, e na Tabela 61 os teores de umidade calculados para o LCA1 e o LCA2. Observa-se que a parte aérea do LCA1 tinha mais umidade do que a do LCA2, no entanto o sistema radicular do LCA2 era mais úmido que do LCA1. Ao calcularmos uma média geral de umidade,

o aguapé do LCA2 apresentou maior quantidade de água.

**Tabela 60. Biomassa verde e seca produzida pelos LC no período estudado.**

	<b>LCA1</b>	<b>LCA2</b>
Tempo (dias)	120	163
<b>Biomassa verde</b>		
Parte aérea (kg)	57,4	53,7
Sistema radicular (kg)	20,9	27,8
Total (kg)	78,3	81,5
Densidade (kg.m <sup>-2</sup> )	17,0	18,5
Produtividade (kg.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> )	0,14	0,11
<b>Biomassa seca</b>		
Parte aérea (kg)	4,9	5,6
Sistema radicular (kg)	5,3	4,8
Total (kg)	10,2	10,4
Densidade (kg.m <sup>-2</sup> )	2,2	2,4
Produtividade (kg.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> )	0,02	0,01

**Tabela 61. Teor de umidade da biomassa produzida pelo aguapé nos LC.**

	<b>Teor de umidade (%)</b>	
	<b>LCA1</b>	<b>LCA2</b>
<b>Parte aérea</b>	91,4	89,6
<b>Sistema radicular</b>	74,6	82,8
<b>Total (média)</b>	<b>83,0</b>	<b>86,2</b>

### 5.10.3.2. Absorção de nutrientes

Na Tabela 62 é possível observar que a remoção de nitrogênio média, na parte aérea e no sistema radicular são maiores no LCA2 quando comparado ao LCA1. Provavelmente o nitrogênio (N) é um nutriente que a planta necessita todo o tempo, por isso a planta com 163 dias de desenvolvimento absorveu mais N do que a planta com 120 dias.

A remoção de fósforo da parte aérea do LCA2 foi maior do que no LCA1, o contrário aconteceu na remoção pelo sistema radicular. Mas, em média, o LCA1 removeu mais fósforo total que o LCA2. É interessante observar que a remoção média de potássio foi igual no LCA2 e no LCA1, no entanto, um leito absorveu mais na parte aérea e o outro absorveu mais no sistema radicular. As remoções médias de cálcio, magnésio e enxofre foram maiores no LCA1.

**Tabela 62. Macronutrientes removidos pelo aguapé no LCA1 e no LCA2.**

Tratamento	Macronutrientes (g.kg <sup>-1</sup> )					
	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre
<b>Parte aérea</b>						
LCA1	47,7	13,6	62,7	20,9	6,6	5,1
LCA2	50,7	14,7	56,6	15,4	4,8	4,6
<b>Sistema radicular</b>						
LCA1	30,8	11,1	4,6	10,8	2,6	13,8
LCA2	33,8	7,8	10,7	11,8	1,7	9,5
<b>Total</b>						
LCA1	<b>78,5</b>	<b>24,7</b>	<b>67,3</b>	<b>31,7</b>	<b>9,2</b>	<b>18,9</b>
LCA2	<b>84,5</b>	<b>22,5</b>	<b>67,3</b>	<b>27,2</b>	<b>6,5</b>	<b>14,1</b>

Estão apresentados na Tabela 63 os dados da composição percentual de macronutrientes nos LC, e na Tabela 64 a massa diária removida pelo aguapé no LCA1 e LCA2.

**Tabela 63. Composição percentual de macronutrientes no LCA1 e LCA2.**

	Composição percentual de macronutrientes (%)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
LCA1	7,9	2,5	6,7	3,2	0,9	1,9
LCA2	7,9	2,3	7,0	2,8	0,7	1,5
<b>Média</b>	<b>7,9</b>	<b>2,4</b>	<b>6,9</b>	<b>3,0</b>	<b>0,8</b>	<b>1,7</b>

**Tabela 64. Massa removida diariamente de macronutrientes no LCA1 e LCA2.**

	Massa diária removida de macronutrientes (g.m <sup>2</sup> .dia <sup>-1</sup> )					
	N	P	K	Ca	Mg	S
LCA1	11,1	3,5	9,6	4,5	1,3	2,7
LCA2	9,2	2,4	7,3	3,0	0,7	1,5
<b>Média</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

#### 5.10.4. Balanço de massa

A partir do cálculo da quantidade total de nitrogênio e de fósforo que entrou e saiu do LCA1 e do LCA2 no período estendido, com a quantidade total de biomassa seca produzida pelos LC no período e os resultados de absorção de nitrogênio e fósforo pela biomassa, é possível realizar o balanço de massa global do sistema no período estendido, ou seja, quanto efetivamente foi removido do sistema (com a retirada das macrófitas) e quanto ficou retido no sistema, no biofilme e no substrato. O resultado do balanço de massa para nitrogênio total está apresentado

na Tabela 65, e para fósforo total está apresentado na Tabela 66.

**Tabela 65. Balanço de massa de nitrogênio total no LCA1 e no LCA2 no período estendido.**

<b>Balanço de massa no período estendido - Nitrogênio Total</b>					
	<b>Massa afluyente (g)</b>	<b>Massa efluente (g)</b>	<b>Diferença (g)</b>	<b>Remoção planta (g)</b>	<b>Retenção (g)</b>
<b>LCA1</b>	4074	3135	939	397	542
<b>LCA2</b>	8133	4514	3619	446	3173

**Tabela 66. Balanço de massa de fósforo total no LCA1 e no LCA2 no período estendido.**

<b>Balanço de massa no período estendido - Fósforo Total</b>					
	<b>Massa afluyente (g)</b>	<b>Massa efluente (g)</b>	<b>Diferença (g)</b>	<b>Remoção planta (g)</b>	<b>Retenção (g)</b>
<b>LCA1</b>	193	161	32	125	-94
<b>LCA2</b>	399	185	214	120	94



## 6. DISCUSSÃO

A discussão dos resultados deste trabalho será apresentada em quatro diferentes tópicos – metodologia utilizada, água residuária (vazão, volume, TDH, evapotranspiração, pH, OD, cor, turbidez, DQO, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total Kjeldahl e fósforo total), análises cromatográficas de 17- $\alpha$ -etinilestradiol (estudo da linearidade, testes de recuperação, concentrações encontradas) e por fim, sobre a vegetação nos leitos cultivados (produção de biomassa verde e seca, e absorção de nutrientes).

### 6.1. Metodologia utilizada

A metodologia utilizada neste estudo foi o monitoramento dos leitos cultivados a cada duas horas. A escolha teve o intuito de aumentar a confiabilidade nos dados de remoção/retenção de poluentes, levando em conta a flutuação das concentrações e das cargas dos mesmos durante o dia, a tomada e registro das vazões afluente e efluente ao leito, a coleta das amostras de água residuária, medida de pH, OD e temperatura foram realizadas diariamente, de segunda à sexta-feira, das oito às dezesseis horas. Kletecke (2011), Piedade (2010), Oliveira (2006), Melo Júnior (2003) utilizaram sistema horário de coleta e monitoramento.

Kletecke (2011) estudou leitos cultivados avaliando a retenção e exportação de nutrientes antes e após a poda das plantas, monitorando e realizando coletas nos LC diariamente, de segunda a sexta-feira, das 9 às 18 horas para os seguintes parâmetros: vazão, fósforo total, condutividade elétrica, pH, OD e temperatura. Piedade (2010) avaliou a dinâmica de retenção de fósforo em três leitos cultivados com *Typha spp.* e como pós-tratamento de reator anaeróbio compartimentado; o monitoramento, coleta de dados e de amostras foi realizado em escala horária, das 9 às 18 horas, de segunda à sexta-feira para análises de fósforo total, vazão, volume, TDH e evapotranspiração. Oliveira (2006) estudou a dinâmica de retenção de fósforo em leitos cultivados com *Typha spp.* e *Oryza sativa* (arroz) de fluxo subsuperficial, comparando as configurações retangular e quadrada, no tratamento secundário de água residuária proveniente da Faculdade de Engenharia Agrícola. O autor monitorou os LC diariamente, de segunda à sexta-feira, em escala horária das 9 às 17 horas, para vazão, coleta de amostras e análises de pH, condutividade elétrica e fósforo total. Melo Júnior (2003) avaliou o desenvolvimento

ecofisiológico da macrófita *Typha* spp. presente em leitos cultivados, relacionando transpiração foliar, condutância estomática e radiação fotossinteticamente ativa com dados climáticos, e também com retirada de nutrientes como fósforo, nitrato e amônia presentes na água residuária; vazão, pH, condutividade elétrica, coleta de amostras e análises ecofisiológicas eram realizadas diariamente, de segunda à sexta-feira, das 8 às 20 horas. Polisel (2005) também utilizou coletas horárias, durante 24 horas, para a formação de uma amostra composta; porém, essas coletas eram realizadas uma vez por semana durante o período de sete semanas, começando pela segunda-feira na primeira semana, terça-feira na segunda semana e assim por diante, até chegar ao domingo. O autor estudou chicaneamento em lagoas de estabilização, além da utilização de macrófitas aquáticas no processo de tratamento de águas residuárias. Outro experimento que realizou coletas freqüentes foi o de Mohan et al. (2010), realizando coletas diárias, em triplicata, das 8h às 8h30 e das 16 às 16h30 (duas vezes ao dia).

No entanto, dificilmente são encontrados estudos que avaliam o desempenho dos leitos cultivados em escalas horárias ou a cada duas horas, como foi realizado neste estudo. França et al. (2012) estudou o desempenho de *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes* no tratamento de águas residuárias com coletas semanais, durante um mês. Travaini-Lima e Sipaúba-Tavares (2012) estudando as características limnológicas de uma *wetland* com diferentes tipos de macrófitas, realizou seis coletas aleatórias no período chuvoso (janeiro à março/2008) e oito coletas aleatórias no período de seca (junho à agosto/2008). Chavan e Dhulap (2012) realizavam coletas pontuais após 4 dias de detenção hidráulica; Wang et al. (2012) realizavam coletas quinzenais em uma lagoa com aguapé; Mohan et al. (2011) realizaram coletas diárias, porém em horários determinados: triplicatas entre 16 e 16h30. Chen et al. (2010) realizaram seis coletas de abril de 2008 à fevereiro de 2009 – duas para teste, duas na estação fria e duas na estação quente. Jonas e Hussar (2010) conduziram um experimento de tratamento de águas residuárias com lagoas de aguapé com 56 dias, realizando coletas a partir do 14º dia, a cada 7 dias, consecutivamente. Maine et al. (2009) realizaram a coleta de 47 amostras no período de março de 2003 à 2006, a cada duas semanas até outubro de 2003 e a partir daí, mensalmente até março de 2006.

## 6.2. Água residuária

Neste capítulo serão discutidos os resultados obtidos das análises da água residuária dos três leitos cultivados, avaliando quantidade e qualidade nas escalas horárias e diárias. Quanto as variáveis de entrada analisadas na escala horária em  $\text{mg.L}^{-1}$  os testes estatísticos indicaram evidências a favor de que o OD, a temperatura e a vazão do esgoto afluyente aos leitos LC e LCA1 são iguais, porém esses valores são diferentes para o LCA2, possivelmente por existirem cinco leitos entre o LCA1 e o LCA2.

O pH de entrada na escala horária tem resultados estatisticamente iguais para os leitos a nível 5%, e para as variáveis de entrada analisadas na escala diária, o esgoto afluyente possui valores estatisticamente iguais para os três leitos a nível 5% de significância. Para fósforo e NTK de entrada em  $\text{g.dia}^{-1}$  LCA2 é diferente de LCA1 e LC que, em média, são iguais entre si. Para nitrogênio amoniacal o LCA1 e LCA2 são diferentes, apesar de cada um deles ser semelhante ao LC em média. As variáveis cor, DQO, nitrito e nitrato são estatisticamente iguais.

### 6.2.1. Quantidade de água residuária

#### 6.2.1.1. Vazão (Q), tempo de detenção hidráulica (TDH) e evapotranspiração

Chavan e Dhulap (2012) trataram esgoto municipal em recipientes de  $0,01 \text{ m}^3$  de aguapés flutuantes de fluxo superficial, utilizando TDH de 4 dias e vazão média de  $0,5 \text{ L.h}^{-1}$ . Em 2012, França et al. trabalharam com lagoas de aguapé com vazão de  $8,3 \text{ L.dia}^{-1}$  em reservatórios com  $0,25 \text{ m}^3$  de capacidade, com TDH de 0, 7, 14, 21 e 28 dias. Jonas e Hussar (2010) utilizaram três recipientes com aguapé flutuante de  $0,6 \text{ m}^3$  cada e vazão de  $5,2 \text{ L.h}^{-1}$ , resultando em um TDH de 8 dias, enquanto que Mohan et al. (2010 e 2011) em um tanque de macrófitas flutuantes (*Eichhornia crassipes* + *Cyphoma gibbosum* + algas) de  $0,02 \text{ m}^3$ , utilizando areia de lagoa como meio suporte mantiveram uma vazão afluyente de  $0,8 \text{ L.h}^{-1}$ . Chen et al. (2010) trabalharam com vazões aproximadas de  $20,8 \text{ L.h}^{-1}$  em um tanque com aguapé de  $13,52 \text{ m}^3$  e TDH de 27 dias para realizar tratamento terciário de água residuária de suinocultura. Um TDH de 7 à 12 dias foi utilizado em uma *wetland* de superfície livre de aproximadamente  $1.000 \text{ m}^3$ , e vazão afluyente de  $100 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$  por Maine et al. em 2009. Em lagoas de aguapés com capacidade de  $1,5 \text{ m}^3$  e vazão

afluente variando de 9,4 à 18,8 L.h<sup>-1</sup>, Yi et al. (2009) trabalharam com TDH de 3,3 à 6,6 dias. Em 2009, Mees et al. trabalhou com lagoas de aguapé tratando uma vazão de 1.350 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup> em uma lagoa de *Eichhornia crassipes* flutuantes com TDH de 5 dias, e aproximadamente 7.000 m<sup>3</sup> de capacidade. Observa-se o fato de dificilmente a macrófita *Eichhornia crassipes* estar fixa à um meio suporte em um sistema de tratamento, pois geralmente é utilizada como macrófita flutuante em lagoas de grandes áreas e tratando grandes volumes de água, por isso se torna difícil comparar as vazões e TDH utilizados neste estudo com a literatura.

Em experimentos com capacidade aproximada ao do estudo em questão, de 2,0 à 4,0 m<sup>3</sup>, Kletecke (2011) trabalhou com vazões variando de 37,5 à 41,6 L.h<sup>-1</sup> e TDH variando de 1,1 à 1,4 dias em leitos cultivados com *Hedychium coronarium*, *Heliconia psittacorum*, *Cyperus alternifolius*, *Colocasia esculenta* e um leito testemunha, apenas com brita. Já Piedade (2010) trabalhou com leitos cultivados com *Typha* spp. e leitos apenas com brita, de mesma capacidade aproximada, obtendo vazões médias afluente de 55,4 L.h<sup>-1</sup> com TDH médio de 1,99 dias. Zanella (2008) utilizou reservatórios de 2,3 m<sup>3</sup> para leitos cultivados com *Zantedeschia aethiopica*, *Cyperus papyrus*, *Canna x generalis* e *Cyperus isocladius* mantendo TDH de 1, 2 e 3,5 dias com vazões aproximadas de 35,9, 13,7 e 10,3 L.h<sup>-1</sup>, respectivamente.

Os resultados de vazão e TDH apresentados por Piedade (2010) e Zanella (2008) são os mais próximos aos obtidos neste estudo; Kletecke (2011) apresenta resultados de vazão próximos aos que foram trabalhados, porém com TDH inferior. Observa-se que 72,7% dos estudos apresentados neste capítulo trabalharam com vazões diferentes e TDH superior ao trabalhado, o que pode proporcionar maiores taxas de remoção de nutrientes quando comparados à TDH menores, mas que por outro lado aumenta efetivamente a taxa de evapotranspiração dos sistemas, fato que pode ser problemático em locais com escassez de água onde o efluente do sistema de tratamento será reutilizado.

Altos valores de TDH também podem inviabilizar um sistema de tratamento deste tipo, por exemplo, em locais com alta vazão afluente se tornam necessárias grandes áreas de instalação para que mantenha um alto TDH, o que pode se tornar economicamente inviável.

Provavelmente a maior taxa de evapotranspiração e lâmina d'água evaporada se deu no LCA2 por ser o leito com vegetação mais densa, já o LC não possuía cobertura vegetal e por isso foi o segundo com maior evapotranspiração e lâmina d'água evaporada. Por fim, pelo fato do LCA1 possuir vegetação rala esta impedia grandes perdas de água por evaporação (como no LC),

mas também não possuía vegetação suficiente para proporcionar uma grande evapotranspiração (como no LCA2), por isso foi o leito com menor evapotranspiração e menor lâmina d'água evaporada.

Weber e Legge (2013) estudaram três leitos cultivados de fluxo vertical vegetados com *Phragmites australis* e três sem vegetação com volume de 0,17 m<sup>3</sup>, obtendo uma média de evapotranspiração de 0,53 L.d<sup>-1</sup> nos leitos vegetados e 0,28 L.d<sup>-1</sup> nos leitos sem vegetação. Kletecke (2011) obteve uma altura máxima de lâmina d'água evaporada de 15,5 mm.d<sup>-1</sup> em leito cultivado com *Heliconia psittacorum* e mínimas de 6,1 mm.d<sup>-1</sup> em leitos cultivados com *Hedychium coronarium* e *Cyperus alternofilius* - os valores observados com *Heliconia psittacorum* aproxima-se ao encontrado no LCA1, porém com as demais macrófitas foram bem menores do que os observados no LC e LCA2.

Já Piedade (2010) obteve em leitos cultivados com *Typha* spp. média de 89,8 ± 74,2 mm d<sup>-1</sup>, valores mais altos que os encontrados neste estudo. Konnerup et al. (2009) em leitos cultivados de fluxo subsuperficial com 2 m<sup>3</sup> observaram altura média da lâmina d'água evaporada de 28 mm.d<sup>-1</sup> para *Canna x generalis* L. Bailey, e 8 mm.d<sup>-1</sup> para *Heliconia psittacorum* L.f. × *H. Spathocircinata* na Tailândia, o LC possuía volume próximo ao deste estudo e os valores encontrados para *Canna x generalis* L. Bailey foram os mais próximos aos deste estudo com *Eichhornia crassipes*.

Dornelas (2008) estudando leitos cultivados com 72,3 m<sup>2</sup> e TDH de 1,2 dias obteve 3,6 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup> de evapotranspiração em uma *wetland* vegetada com taboa, e 1,9 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup> em uma *wetland* controle (sem vegetação); a altura da lâmina d'água evaporada foi 50 mm.d<sup>-1</sup> para a *wetland* vegetada e 26 mm.d<sup>-1</sup> para a *wetland* controle, valores de lâmina d'água evaporada próximos aos obtidos neste estudo, apesar do estudo de Dornelas (2008) ter ocorrido no período de janeiro à abril, com dois meses da estação verão e dois meses da estação de outono.

Em média apenas três autores relataram valores de lâmina d'água evaporada próximos aos obtidos neste estudo, já para evapotranspiração não foram encontrados dados semelhantes. Diversos autores relatam evaporação e evapotranspiração como interferentes na eficiência de tratamento de águas residuárias por leitos cultivados, no entanto, poucos são os autores que calculam esses valores e discutem sua interferência. Por isso foi encontrada nenhuma literatura que estuda estes dados com *Eichhornia crassipes*, e mesmo com outras macrófitas existem poucas literaturas atuais.

## 6.2.2. Qualidade da água residuária

### 6.2.2.1. Potencial hidrogeniônico (pH)

Chunkao et al. (2012) relataram que o pH de uma lagoa com aguapé de  $8,09 \times 10^5 \text{ m}^3$  aumentou de 8,0 (afluente) para 8,3 (efluente), em média, no período monitorado. Chavan e Dhulap (2012) relataram um aumento de 6,7 (entrada) para 7,2 (saída) de uma lagoa de aguapés; Kletecke (2011) obteve pH afluente variando de 6,8 à 8,4 e efluente de 7,2 à 7,8, e Mohan et al. (2010 e 2011) obtiveram pH afluente variando entre 5,9 – 8,1 e efluente entre 6,6 – 7,8.

Jonas e Hussar (2010) obtiveram pH afluente variando entre 8,1 e 8,3 e pH efluente variando entre 6,6 e 7,2; Maine et al. (2009) obtiveram pH médio afluente de 9,0 e efluente de 7,7 e Zanella (2008) trabalhou com esgoto doméstico com pH variando entre 6,0 e 8,5.

Neste estudo o pH variou entre 6,9 e 8,8 (no afluente), valores que estão de acordo com a Resolução CONAMA 430/2011, que estabelece que o pH para lançamento de águas residuárias deve estar de 5,0 à 9,0. Em média o pH de 43% dos estudos relatados neste capítulo são próximos aos pH afluente e efluente obtidos neste estudo.

### 6.2.2.2. Oxigênio Dissolvido (OD) e temperatura (T)

Lee et al. (2013) relataram que durante inverno e primavera os valores de pH e concentrações de OD são maiores do que nas demais estações do ano, este pode ter sido um dos motivos de altas concentrações de OD e também do aumento de suas concentrações no efluente.

No geral, ao compararmos os valores horários e diários de entrada e saída de oxigênio dissolvido ocorre um acréscimo de oxigênio, provavelmente consequência da aeração que os rizomas do aguapé promovem no esgoto durante sua passagem pelo leito. Estes dados não corroboram com os apresentados por Polisel (2005), que em uma lagoa de aguapé de  $48,3 \text{ m}^3$  obteve média de  $7,8 \text{ mg.L}^{-1}$  de OD afluente e  $1,2 \text{ mg.L}^{-1}$  no efluente. Wang et al. (2013) relataram aumento de OD em um lago eutrofizado de larga escala na China, onde foi construído um canal confinado de *E. crassipes*. Antes do cultivo de *E. crassipes* o OD na água poluída do lago era entre  $4 - 6 \text{ mg.L}^{-1}$  e após o cultivo aumentou até o máximo de  $7,8 \text{ mg.L}^{-1}$  o que pode ter sido causado, entre outros fatores, pelo fluxo contínuo de água no lago que distribui o oxigênio pela

mesma.

Chavan e Dhulap (2012) observaram um aumento de 0,6 para 3,2 mg.L<sup>-1</sup> de oxigênio dissolvido, esses dados são condizentes com os do estudo apresentado nesta dissertação. Mohan et al. (2011) também relataram um aumento na concentração de oxigênio dissolvido, mesmo que discreto, de 1,2 mg.L<sup>-1</sup> para 1,8 mg.L<sup>-1</sup> em um tanque com *E. crassipes* e outras duas macrófitas flutuantes. No mesmo tanque, em 2010, os autores relataram um aumento no OD de 1,4 para 2,2 mg.L<sup>-1</sup>; Maine et al. (2009) obtiveram uma redução de OD de 1,53 mg.L<sup>-1</sup> para 0,89 mg.L<sup>-1</sup>.

Observa-se que 60% dos autores relataram aumento de oxigênio dissolvido na saída do sistema de tratamento, enquanto que 40% relataram diminuição, os dados obtidos neste estudo estão condizentes com a maioria dos autores relatados neste capítulo.

As temperaturas de entrada no LCA2 foram maiores do que no LC e no LCA1, o que pode ter sido causado pela distância que o LCA2 está em relação aos outros leitos. Nas médias de entrada e saída é possível observar que o grau de desenvolvimento da vegetação interfere na diminuição da temperatura, pois no leito não vegetado a temperatura cai apenas 0,1 °C, no LCA1 cai 1,2°C e no LCA2 (leito de vegetação mais desenvolvida) a temperatura cai 2,3°C.

Travaini-Lima e Sipaúba-Tavares (2012) em um *wetland* construído de 82,8m<sup>2</sup>, cultivado com as macrófitas *Cyperus giganteus* Vahl, *Typha domingensis* Pers., *Pontederia cordata* L. e *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms tratando água de aquicultura obtiveram uma média de temperatura da água de 26,7°C na estação chuvosa (verão) e 19,8°C na estação seca. Chunkao et al. (2012) relataram que a temperatura da água de uma lagoa com aguapé na Tailândia, no período de agosto à novembro, foi 27°C tanto para o afluente quanto para o efluente. Wang et al. (2012) estudaram um grande lago eutrofizado de larga escala na China onde foi construído um canal confinado de *E. crassipes*, no período de agosto à outubro de 2010, e relataram um decréscimo na temperatura da água de 24,0°C em agosto para 20,2°C em outubro.

Kletecke (2011) relatou variações na temperatura afluente de 18,8 a 25,7°C e efluente de 17,3 a 24,6°C, no esgoto da Faculdade de Engenharia Agrícola no período de maio à outubro de 2009, na cidade de Campinas. No período de março a maio de 2005, Zanella (2008) caracterizou o esgoto afluente aos leitos cultivados presentes na Faculdade de Engenharia Agrícola relatando temperatura média de 28,3 ± 1,3 °C.

Todas as temperaturas medidas neste estudo foram satisfatórias, pois, a Resolução CONAMA 430/2011 estabelece que a temperatura máxima de lançamento de águas residuárias

em corpos d'água é no máximo 40°C, e todas as temperaturas afluente e efluente obtidas neste estudo foram menores que isso.

### 6.2.2.3. Cor

A maior média de entrada de cor nos LC ocorreu para o LC, provavelmente pelo fato do LC ser o primeiro leito da linha da tubulação estudado, não há sedimentação nem perda de cor no decorrer da tubulação. Os menores valores de entrada e saída de cor ocorreram para o LCA2, sendo o melhor na retenção de cor, seguido pelo LC e pelo LCA1, que foi o leito que teve diversos contratempos durante o experimento.

Chavan e Dhulap (2012) relataram diminuição visual de cor, porém não apresentaram resultados de análises físico-químicas deste parâmetro. Jonas e Hussar (2010) obtiveram valores máximos de 900 UC para o afluente e 300 UC para o efluente, e mínimos de 340 UC para o afluente e 80 UC no efluente. Os autores tiveram uma remoção máxima de 88,9% de UC (1 UC é igual à 1 mg.L<sup>-1</sup> PtCo), remoção média de 74,3% e mínima de 40% no pós-tratamento, resultados semelhantes aos apresentados neste trabalho. Mohan et al. (2010) obtiveram concentração de cor no afluente variando entre 540 e 650 UH, e uma eficiência média de remoção de 20,4%, equivalente a 121,5 UH. Provavelmente as remoções apresentadas por Mohan et al. (2010) são menores pela diferenciação do tipo de esgoto. Cunha (2006) estudou um sistema de alagados construídos de fluxo superficial composto por um canal de decantação, um canal de macrófitas flutuantes (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratioides*, *Salvinia auriculata*) e emergentes (*Typha angustifolia*), seguido de duas células paralelas de solos filtrantes cultivados com *Oryza sativa*; de acordo com a autora a remoção de concentração de cor após o canal de macrófitas flutuantes variou entre 18,8 e 80%.

Borges (2005) estudou um sistema *wetland* de fluxo contínuo em escala laboratorial cultivado com *Eichhornia crassipes*, para tratar efluente de piscicultura, e obteve remoções máximas de cor de 98,2% após 115 dias de operação, com um afluente contendo 57,5 mg.L<sup>-1</sup> Pt e efluente com 1 mg.L<sup>-1</sup> Pt. Apesar dos diferentes tipos de água residuária estudados pelos autores, as taxas de retenção de cor relatadas são próximas às obtidas neste estudo.

#### 6.2.2.4. Turbidez

Chunkao et al. (2012) relataram um aumento de turbidez de 28 NTU (afluente) para 34 NTU (efluente), gerando uma remoção negativa de -21,4%. Tratando água residuária de fermentador de hidrogênio, Mohan et al. (2011) obtiveram uma média de retenção de 63,8% de turbidez ou 84,8 NTU, com concentrações variando entre 48 e 188 NTU no afluente. No mesmo tanque, Mohan et al. (2010), obtiveram turbidez afluente variando entre 43 e 280 NTU e uma eficiência de remoção média de 32,4 NTU, ou 33,1%. Em 2010, Jonas e Hussar obtiveram remoção de turbidez variando entre 84,7 e 96,6%, resultando em uma remoção média de 97,3%.

Gentelini et al. (2008) estudaram tratamento de efluente de piscicultura em tanques de 1,3 m<sup>3</sup> cultivados com aguapé, obtendo uma turbidez de 79,78 ± 12,92 NTU no afluente e 48,09 ± 19,41 no efluente com TDH de 4 horas, 33,90 ± 16,67 com TDH de 8 horas e 29,73 ± 11,60 com TDH de 12 horas, resultando em remoções aproximadas de 39,7%, 57,5% e 62,7% para os TDH anteriormente mencionados, respectivamente. Polisel (2005) obteve remoções médias de 51,4% de turbidez, valores bem menores do que os encontrados neste estudo.

As taxas de retenção de turbidez obtidas por Jonas e Hussar (2010) corroboram com a deste estudo; possivelmente as taxas obtidas por Mohan et al. (2010 e 2011) sejam menores pelo fato de trabalharem com concentrações maiores de turbidez, o mesmo pode-se supor para os valores relatados por Gentelini et al. (2008), além do fato de trabalharem com menores TDH. O LC apresentou um caso de retenção negativa, como Chunkao et al. (2012), que possivelmente pode ter ocorrido por deslocamento de biofilme ou precipitação.

#### 6.2.2.5. Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Conforme falado anteriormente retenções negativas são provenientes de deslocamento do biofilme ou da “lavagem” do leito, por uma alta descarga de vazão afluente ou por precipitação. O LC e o LCA1 obtiveram mínimas retenções negativas (*outliers*), no entanto é interessante destacar que mesmo a mínima retenção do LCA2 foi altamente eficiente (85,6%).

França et al. (2012) trabalharam com lagoas de aguapé e obtiveram com TDH de 28 dias uma taxa de remoção de 28,45% no reservatório de amianto, e uma taxa de 8,20% no reservatório de polietileno, com concentração de 725,24 mg.L<sup>-1</sup> no efluente bruto. Chunkao et al. (2012)

relatarem concentrações afluente de 100 à 180 mg.L<sup>-1</sup> e efluente de 73 à 120 mg.L<sup>-1</sup>, obtendo taxas de remoção entre 27 e 70%. Chavan e Dhulap (2012) obtiveram taxas de remoção de DQO médias de 49,2% com uma concentração afluente de 315 mg.L<sup>-1</sup> e efluente de 160 mg.L<sup>-1</sup>; Mohan et al. (2011) obteve uma redução média de 51,4% de DQO, com concentração afluente de 360 mg.L<sup>-1</sup> e efluente de 185 mg.L<sup>-1</sup>. Em 2010, Mohan et al. obteve remoções de DQO entre 54,4 e 60,7% trabalhando com esgoto doméstico, e de 68,1 à 72,9% com água residuária de fermentador de hidrogênio. Trabalhando com menores ou maiores concentrações afluente de DQO, todos os autores citados anteriormente obtiveram médias de retenção menores que neste estudo.

Em um tanque com aguapé de 13,52 m<sup>3</sup> e TDH de 27 dias para realizar tratamento terciário de água residuária de suinocultura, Chen et al. (2010) obtiveram taxas de remoção de DQO de 59,5% no mês de julho (~ 36°C), 35,8% no mês de agosto com temperatura média de 33°C e 23,3% em dezembro (~15°C); a concentração afluente variou de 825 à 1770 mg.L<sup>-1</sup>, e no efluente variou entre 633 e 770 mg.L<sup>-1</sup>. Jonas e Hussar (2010) obtiveram remoções de DQO variando de 43,6 à 71,4% com uma média de 61,9%, as concentrações afluente variaram de 191 à 729 mg.L<sup>-1</sup> e no efluente de 98 à 411 mg.L<sup>-1</sup>. Observa-se que a maioria das taxas de remoção de DQO encontrados na literatura são menores que as obtidas neste estudo, sendo que as que mais se aproximam são as de Mohan et al. (2010 e 2011), provavelmente pelo estudo ter passado pela estação de verão que na Índia pode chegar à temperaturas de até 40°C, e também no experimento de Jonas e Hussar (2010) que foi realizado no Brasil. O clima e a temperatura quente agem como um catalisador no biofilme microbiano, mas diversos outros fatores podem interferir na taxa de remoção de DQO, como por exemplo a fixação do aguapé no substrato que, infelizmente não foram encontradas referências na literatura.

#### **6.2.2.6. Nitrogênio amoniacal (NH<sub>3</sub>)**

Baixas retenções de nitrogênio amoniacal, como as obtidas neste estudo, podem ser causadas pelo processo de nitrificação, porque grande parte de NH<sub>3</sub> e NH<sub>4</sub><sup>-</sup> que entram no LC irá transformar-se em nitrito e posteriormente à nitrato. Travaini-Lima e Sipaúba-Tavares (2012) obteve concentrações de amônia variando entre 0,1 e 1,2 mg.L<sup>-1</sup>, muito menores do que as encontradas neste estudo, obtendo eficiência média de remoção de 78% na estação seca e 38,7% na estação chuvosa. Em um tanque com aguapé, Chen et al. (2010) obtiveram remoções médias

de 92,4% de nitrogênio amoniacal na estação quente (análises realizadas em julho e agosto), com valores variando de 120 à 184 mg.L<sup>-1</sup> no afluente, e de 6,1 à 19 mg.L<sup>-1</sup> no efluente. Nos meses de dezembro e fevereiro (inverno) os autores relatam que as taxas de remoção foram bem menores, com 19,1% de média e valores afluente variando entre 99 e 644 mg.L<sup>-1</sup>, e no efluente variações entre 72 e 578 mg.L<sup>-1</sup>. Jonas e Hussar (2010) obtiveram remoções variando entre 63 e 84,6%, com média de 78,2%, as concentrações afluente variaram entre 50 e 130 mg.L<sup>-1</sup> e no efluente a variação foi de 10 à 30 mg.L<sup>-1</sup>, os valores deste afluente são próximos aos encontrados neste trabalho.

Maine et al. (2009) tratando efluente de fábrica de ferramentas obtiveram concentrações de 1,51 mg.L<sup>-1</sup> NH<sub>4</sub><sup>-</sup> no afluente e 1,76 mg.L<sup>-1</sup> no efluente, uma remoção de -24%. Mees et al. (2009) com TDH de 5 dias obtiveram um remoção média de nitrogênio amoniacal de 11,1%, enquanto que a máxima foi 47,5%; Polisel (2005) obteve concentração média afluente de 31,5 mg.L<sup>-1</sup> e média de 25,5 mg.L<sup>-1</sup> no efluente, resultando em uma redução média de 19,1% com TDH de 2 dias em uma lagoa de aguapé tratando esgoto municipal.

As concentrações de NH<sub>3</sub> obtidas por Travaini-Lima e Sipaúba-Tavares (2012) foram menores que as deste estudo, talvez por isso suas taxas de retenção foram maiores; no entanto Jonas e Hussar (2010) trabalharam com concentrações maiores, próximas à deste estudo, e mesmo assim obtiveram altas taxas de retenção, provavelmente conseqüente do TDH.

As retenções obtidas por Huang et al. (2010) no verão foram bem mais satisfatórias do que as obtidas pelos autores no inverno, que se assemelham as retenções obtidas neste estudo que ocorreu no último mês de inverno e primeiro de outono, com concentrações afluente semelhantes. Maine et al. (2009) trabalharam com concentrações baixas e mesmo assim obtiveram média de retenção negativa, como as retenções mínimas obtidas neste estudo. Mees et al. (2009) trabalhou com TDH elevado, porém obteve as taxas de retenção mais próximas do experimento em questão; e por fim Polisel (2005), que trabalhou com concentrações mais baixas porém obteve taxas de remoção semelhantes.

As concentrações médias, mínimas e máximas de NH<sub>3</sub> no efluente dos LC são todas maiores que 20 mg.L<sup>-1</sup>, que é o máximo permitido pela Resolução CONAMA 430/2011 de nitrogênio amoniacal total na água residuária para que esta possa ser lançada em um corpo d'água. Sendo assim, em relação ao parâmetro nitrogênio amoniacal este efluente necessitaria de um pós-tratamento para que houvesse a desnitrificação do mesmo e ele pudesse ser lançado nos

corpos hídricos.

#### 6.2.2.7. Nitrito ( $\text{NO}^{2-}$ )

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que, no geral, houve nitrificação nos LC porque as médias de saída de nitrito em todos os leitos são maiores que as de entrada do nutriente. Lee et al. (2013) também observaram aumento de nitrito, mas no efluente de uma lagoa aerada contendo *Phragmites australis*. Travaini-Lima e Sipaúba-Tavares (2012) obtiveram eficiência de 84,9% de remoção de nitrito na estação seca e 47,8% na estação chuvosa, com concentrações variando entre 0,03 e 0,2  $\text{mg.L}^{-1}$ , concentrações menores do que as obtidas neste estudo e taxas de retenção maiores. Kantawanichkul e Boontakhum (2012) em leitos de fluxo subsuperficial vertical cultivados com *Cyperus alternifolius L* tratando esgoto sintético, obtiveram concentrações de nitrito no efluente variando de 1 à 4  $\text{mg.L}^{-1}$  após cinco dias de detenção, essas concentrações variam de acordo com as encontradas neste experimento. Rivas et al. (2011) trabalharam com concentrações efluente de nitrito de 0,11  $\text{mg.L}^{-1}$  em um leito horizontal de fluxo subsuperficial, e 0,10  $\text{mg.L}^{-1}$  em um leito horizontal de fluxo subsuperficial para polimento, ambos cultivados com *Typha latifolia* tratando esgoto municipal em um sistema com várias etapas de tratamento.

Cunha (2006) obteve remoções próximas à 66,7% de nitrito, que são valores bem mais altos do que os apresentados neste estudo, mas Zanella (2008) observou remoções médias de nitrito de  $-89,5 \pm 183,8 \%$  nos leitos cultivados com *Cyperus papyrus*,  $-15,8 \pm 73,2 \%$  nos cultivados com diversas macrófitas emergentes e remoção média de  $-27,3\% \pm 158,9 \%$  no leito com apenas brita, valores que corroboram com os observados no LC, LCA1 e LCA2. Borges (2005) em uma *wetland* de escala laboratorial tratando água de rio obteve concentração afluente de 0,12  $\text{mg.L}^{-1}$  e efluente de 0,054  $\text{mg.L}^{-1}$ , resultando em uma remoção de 53,8% após um dia de detenção.

Cerca de 43% dos estudos relatados anteriormente apresentaram dados condizentes com o apresentado nesta dissertação obtendo aumento ou retenções negativas de nitrito o que, como no caso do  $\text{NH}_3$ , não demonstra ineficiência do processo mas sim um processo de nitrificação.

#### 6.2.2.8. Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ )

Wang et al. (2013) obtiveram redução de 86% de nitrato em um rio eutrofizado, pois antes da passagem da água pelo canal de *Eichhornia crassipes* a concentração média era de  $5,8 \text{ mg.L}^{-1}$  e após a passagem foi  $0,8 \pm 0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . Travaini-Lima e Sipaúba-Tavares (2012) observaram remoção média de 55,3% no verão, com concentrações variando entre 1,1 e  $1,4 \text{ mg.L}^{-1}$ , e remoção média de 31,5% de nitrato no inverno com concentrações variando entre 0,7 e  $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ ; as taxas de remoção encontradas por Travaini-Lima e Sipaúba-Tavares (2012) e por Wang et al. (2013) são mais altas do que as encontradas neste estudo. O mesmo ocorreu com Chavan e Dhulap (2012), tendo remoções médias de 86% de nitrato, com médias de  $9,2 \text{ mg.L}^{-1}$  no afluente e  $1,2 \text{ mg.L}^{-1}$  no efluente, com TDH de 4 dias. Kletecke (2011) trabalhou com concentrações afluente de nitrato variando entre 0,8 e  $3,5 \text{ mg.L}^{-1}$  em esgoto doméstico da Faculdade de Engenharia Agrícola, e são concentrações próximas às obtidas neste estudo.

Mohan et al. (2011) obtiveram remoção média de 70% de nitrato e concentrações médias afluente de  $133 \text{ mg.L}^{-1}$  e de  $38,9 \text{ mg.L}^{-1}$  no efluente, porém em 2010 Mohan et al. obtiveram no mesmo tanque uma remoção média de  $29 \text{ mg.L}^{-1}$  de nitrato equivalente à 23,1% de remoção tratando a mesma água residuária. No entanto, após adição de esgoto doméstico os autores relatam uma remoção de  $33 \text{ mg.L}^{-1}$  de nitrato, equivalente à 22,4% de eficiência. Jonas e Hussar (2010) em lagoas de aguapé tratando efluente de RAC de atividade de suinocultura obtiveram remoção mínima de 44%, média de 70,4% e máxima de 96,5%, trabalhando com concentração afluente ( $90 - 250 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e efluente ( $30 - 140 \text{ mg.L}^{-1}$ ), bem mais altas que as trabalhadas neste estudo, assim como também são as encontradas por Mohan et al. (2011 e 2010). Valores de concentração e remoção mais próximos aos obtidos neste estudo foram relatados por Polisel (2005), que obteve concentrações médias afluente de  $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$  e efluente de  $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$  em uma lagoa de aguapé tratando esgoto municipal obtendo remoção média de 66,7%.

A média de nitrato na saída no LC foi maior que a de entrada, no LCA1 a média de saída foi menor do que na entrada e no LCA2 não houve diferença entre a entrada e a saída; isso pode indicar que houve nitrificação no LC, desnitrificação no LCA1 e no LCA2 pode não ter ocorrido nenhum processo, ou pode ter ocorrido nitrificação e consumo de nitrato pelas macrófitas reduzindo assim a quantidade de nitrato na saída do LC.

A retenção média que mais se aproxima do 0 e possui menor desvio-padrão é do LCA1, o

que indica que este leito foi o melhor na retenção de nitrato. O teste estatístico de Mann-Whitney indicou que o LC e o LCA1 são estatisticamente diferentes ( $p < 0,05$ ), evidenciando assim que o LCA1 é mais eficiente da retenção de nitrato do que os demais, que pode ser decorrente de grande consumo deste nutriente durante o crescimento da planta, pois segundo Chavan e Dhulap (2012) o nitrato é um nutriente essencial para um bom desenvolvimento vegetal, e o LCA1 possui um mês a menos que o LCA2. Altos valores no efluente do LC são por não haver assimilação de nitrato porque o LC não é vegetado.

#### **6.2.2.9. Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)**

Novamente o LCA2 foi o mais eficiente dos três leitos cultivados, pois suas taxas de retenção de NTK foram maiores que nos outros dois leitos. Wang et al. (2013) obtiveram redução de 76% de nitrogênio total na água de um lago eutrofizado, com concentração de  $14 \text{ mg.L}^{-1}$  antes da passagem pelo canal de aguapé, e  $3,3 \pm 0,9 \text{ mg.L}^{-1}$  após a passagem. Mees et. al (2009) relataram remoção média de 21,2% e máxima de 87,9% de nitrogênio total, com TDH de 5 dias. Gentelini et al. (2008) obtiveram remoções médias de 21% com TDH de 4 horas, 33% com TDH de 8 horas e 40% com TDH de 12 horas, evidenciando que quanto maior o TDH, maior será a taxa de remoção do nutriente; o valor de nitrogênio total no afluente foi em média  $1,94 \pm 0,87 \text{ mg.L}^{-1}$ , enquanto que no efluente variou de  $1,17 \pm 0,55 \text{ mg.L}^{-1}$  à  $1,53 \pm 0,44 \text{ mg.L}^{-1}$  – valores bem menores que os trabalhados nos LC.

LU et al. (2008) estudaram uma *wetland* com aguapé flutuante para tratar água residuária de uma fazenda produtora de ovos de pata, obtendo taxas de remoção de nitrogênio total médias de 21,8%, com concentração afluente de  $12,7 \text{ mg.L}^{-1}$  e efluente  $9,9 \text{ mg.L}^{-1}$ . Polisel (2005) obteve retenção média de 29,1% de NTK em lagoa de aguapé, com média afluente de  $37,8 \text{ mg.L}^{-1}$  e efluente de  $26,8 \text{ mg.L}^{-1}$ . Borges (2005) trabalhou com concentração média afluente de  $1,12 \text{ mg.L}^{-1}$  e efluente de  $0,63 \text{ mg.L}^{-1}$ , com remoção média de 43,7% de nitrogênio total.

Exceto pelo estudo de Wang et al. (2013) que obteve altas taxas de retenção de NTK, porém trabalhando com concentrações mais baixas, as taxas de retenção dos demais estudos citados corroboram se não com as taxas de retenção calculadas pela concentração, com as taxas de retenção calculadas pela carga do nutriente.

### 6.2.2.10. Fósforo Total

Ao compararmos as médias de retenção fica claro como o LCA2 foi mais eficiente na retenção de fósforo total, com 37,6%, seguido pelo LC com 7,8% e pelo LCA1 com 0,6% de retenção. Travaini-Lima e Sipaúba-Tavares (2012) observaram remoções de 91,0% de fósforo total na estação seca, com concentrações variando entre 0,3 e 3,8 mg.L<sup>-1</sup>, e na estação chuvosa eficiência de 60,5% com concentrações variando 0,1 e 0,2 mg.L<sup>-1</sup>. Chen et al. (2010) observaram em um tanque com aguapé remoções médias de 75,8 e 87,0% no verão, com concentração afluente variando entre 33 e 56 mg.L<sup>-1</sup> e efluente variando entre 7,3 e 8,2 mg.L<sup>-1</sup>; no inverno os autores observaram remoções de 50,0 a 62,4%, com fósforo total afluente de 45,2 a 58 mg.L<sup>-1</sup> e efluente variando entre 17 e 28 mg.L<sup>-1</sup>. Em 2010, Jonas e Hussar trabalharam com concentrações afluente de fósforo total entre 37,8 e 42,5 mg.L<sup>-1</sup>, no efluente as concentrações variaram de 4 a 17,8 mg.L<sup>-1</sup>, resultando em remoções variando entre 55,5 e 89,5% com uma média de 74,8% de remoção de fósforo total. As taxas de remoção citadas pelos autores anteriormente são bem mais elevadas do que as encontradas neste estudo, independentemente se as concentrações afluente eram maiores ou menores.

Maine et al. (2009) obteve remoção média de -8% de fósforo total com concentração média afluente de 0,25 mg.L<sup>-1</sup>, e efluente de 0,27 mg.L<sup>-1</sup>; Mees et al (2009) relatou taxa de remoção média de 11,1% e máxima de 38,9% em uma lagoa de aguapé. Gentelini et al. (2008) obtiveram redução de 20,3% com TDH de 4 horas, 32,2% com TDH de 8 horas e 40,7% com TDH de 12 horas; a concentração afluente era em média 0,59 mg.L<sup>-1</sup>, e a efluente variou entre 0,35 e 0,47 mg.L<sup>-1</sup>. LU et al. (2008) relataram retenção média de 23,0%, com média afluente de 8,86 mg.L<sup>-1</sup> e efluente 6,82 mg.L<sup>-1</sup>. Em 2005, Polisel obteve remoção média negativa de fósforo total (-48,8%) em uma lagoa de aguapé cuja concentração média afluente foi 4,3 mg.L<sup>-1</sup>, e efluente 6,4 mg.L<sup>-1</sup>. Apesar das concentrações afluente e efluente variarem bastante, as retenções obtidas por Maine et al. (2009), Mees et al. (2009), Gentelini et al. (2008) e Polisel (2005) são as mais próximas às obtidas neste estudo.

### 6.3. Análise cromatográfica de 17- $\alpha$ -etinilestradiol

Neste item serão discutidos os resultados obtidos durante a tentativa de desenvolvimento de uma metodologia para análise de 17- $\alpha$ -etinilestradiol em amostras de esgoto doméstico.

#### 6.3.1. Avaliação da metodologia utilizada

Para concentrações na faixa de trabalho de 0,0025 à 0,10  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , e de 0,1 à 10,0  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , é possível considerar o método analítico utilizando cartuchos de extração Oasis HLB com 250 mg de fase sólida da marca *Waters*, extraindo amostras de 100 à 500 mL, válido pois os testes de recuperação indicaram bons resultados. Pela demonstração de picos cromatográficos com boa resolução, pode-se considerar válida a utilização de acetonitrila grau HPLC (marca J. T. Baker) e água *Milli Q*<sup>®</sup> (50:50) como fase móvel no modo isocrático, a temperatura da coluna em 30°C, fluxo de 0,6  $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$  e injeção de 10  $\mu\text{L}$  no sistema cromatográfico HPLC *Agilent Technologies 1260 Infinity*, Detector *Agilent 1260 DAD*, coluna ACE 3 C-18 (100 mm x 4,6 mm) e software *Openlab*. O comprimento de onda ficou definido como 210 nm, por apresentar picos com melhor resolução e menor ruído na linha de base, quando comparados aos picos em 280 nm. Segundo INMETRO (2007) e ANVISA (2003) correlações entre 0,91 e 0,99 são consideradas satisfatórias, sendo assim foi possível afirmar que o método possui linearidade adequada, além de também ter causado uma distribuição aleatória dos resíduos.

A quantificação de interferentes endócrinos em concentrações traço é de difícil realização em matrizes ambientais. Não existem metodologias definidas pela legislação brasileira para análises desses compostos, nem valores orientadores. A USEPA criou a metodologia n.º 539 (2010), que define a análise de EE2 utilizando LC-ESI-MS/MS (Cromatografia Líquida acoplada à Espectrometria de Massas com triplo quadrupolo e ionização por electrospray) por ser um aparelho que é capaz de detectar e identificar compostos presentes em baixos níveis em amostras ambientais, com extração em fase sólida de 1 L de amostra em cartuchos C 18, e limites de detecção (LD) de 0,33  $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$  e menor concentração reportada pelos laboratórios de 1,3  $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ . Tendo em vista que o LDE encontrado neste estudo foi 2.520  $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ , fica clara a dificuldade em detectar estes compostos no HPLC-DAD/UV.

Raimundo (2011), cuja metodologia de extração em fase sólida foi utilizada neste

trabalho, também identificou 17- $\alpha$ -etinilestradiol por LC-MS/MS obtendo limites de detecção de 4,2 ng.L<sup>-1</sup> e de quantificação 13,9 ng.L<sup>-1</sup>, trabalhando na faixa linear de 4,2 a 80 ng.L<sup>-1</sup>, extraindo de 1 à 4L de amostra de água bruta. Miège et al. (2010), Gerolin (2008), Carlson et al. (2013) e Chen et al. (2009) também utilizaram LC-MS/MS para quantificação de 17- $\alpha$ -etinilestradiol. Outros autores utilizaram Cromatografia Líquida ou Cromatografia Líquida de Alta Eficiência acoplada à espectrometria de massas para análise deste composto (Li et al., 2013; Santos, 2011; Song et al., 2009; Moreira, 2008). Uma comparação entre Cromatografia Gasosa (GC) e Cromatografia Líquida (LC), ambas com Espectrometria de Massas (MS) foi realizada por Mazellier et al. (2008); já Lucena (2013), Pessoa et al. (2012), Souza (2011), Peres (2011), Zhang et al. (2008), Ghiselli (2006) e Gray et al. (2005), identificaram EE2 com GC-MS. Lisboa Filho (2012) trabalhou com Cromatografia Líquida Ultra Rápida acoplada a Detector de Fluorescência (UFLC-FLU) para detecção e quantificação de EE2.

Torres et al. (2013) trabalhou com HPLC-DAD modelo 1200 da *Agilent Technologies*, coluna Kromasil 100 C18, injeção de 20  $\mu$ L e fluxo de 1 mL.min<sup>-1</sup> testando diferentes comprimentos de onda, e diferentes solventes na fase móvel. Segundo os autores as melhores condições cromatográficas obtidas para o EE2 foram no comprimento de onda em 280 nm, fase móvel composta por 51% de metanol e 49% de água ultra pura (com gradiente de concentração), obtendo um tempo de retenção de 53 minutos. Foram utilizados cartuchos Oasis HLB da marca *Waters*, porém com 500 mg de fase móvel, utilizando 200 mL de amostra para extração (Torres et al., 2013) com uma metodologia diferente da utilizada neste estudo. Os autores não relataram os LD e LQ encontrados, relataram apenas que a faixa de trabalho foi de 0,5 a 4,0 ng.L<sup>-1</sup>, e a recuperação do EE2 variou entre 65 e 116%.

Santos (2012) e Santos et al. (2012) analisou, entre outros compostos, o hormônio 17- $\alpha$ -etinilestradiol por HPLC *Waters* com detector de arranjo de diodos, utilizando como fase móvel acetonitrila e água (50:50), (v/v), no modo isocrático, com fluxo de 0,6 mL.min<sup>-1</sup>, coluna C 18 da marca *Luna* e leitura a 280 nm; os autores obtiveram um limite de 0,39 mg.L<sup>-1</sup> de detecção e 1,31 mg.L<sup>-1</sup> de quantificação, valores de trabalho bem maiores que os encontrados em amostras ambientais (SANTOS, 2012) e também neste trabalho. Machado (2010) analisou EE2 e outros hormônios em um HPLC da marca *Shimadzu*, com detector DAD SPD M20A realizando injeções de 20  $\mu$ L e coluna cromatográfica ODS C8 (octadecilsilano) 4,6 mm x 15 cm, também da *Shimadzu*. A autora testou diversas proporções da fase móvel e relatou que com 50% de

acetonitrila foi a mais eficiente para EE2, fluxo de  $1,4 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ , em 280 nm. A metodologia de extração para água superficial foi a mesma utilizada por Raimundo (2007), com cartuchos C18 e outros solventes de extração, porém diferente da utilizada neste trabalho. O limite de detecção do equipamento foi  $42 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ , bem menor que o apresentado neste estudo, e o limite de quantificação foi  $120 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ , maior que o obtido neste experimento.

Em 2007, Fernandes realizou extração de EE2 em cartuchos C18 filtrando 2 L de amostra (água tratada) e a análise foi em HPLC *Waters*, com coluna C-18 de fase reversa de 150 mm x 3,9 mm, detector DAD, injeção manual de 20  $\mu\text{L}$ , fase móvel composta por 40% de acetonitrila e 60% de água osmolisada com eluição isocrática, vazão de  $0,6 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$  e leitura à 280 nm. Fernandes (2007) relata um limite de quantificação do método de  $0,0679 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ , porém não relata os limites de detecção e quantificação do equipamento. Araújo (2006) realizou a extração em fase sólida de 100 mL de esgoto afluente e efluente de uma ETE em cartuchos C18, com leitura em HPLC Shimadzu, injeção de 20  $\mu\text{L}$ , detector DAD, coluna LC-18 Supelco com 250 mm x 4,6 mm x 5 $\mu\text{m}$ , eluição no modo isocrático da fase móvel com acetonitrila/água (48:52), fluxo de  $1 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ , leitura de EE2 a 280 nm. O limite de detecção obtido foi  $0,0833 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  e o limite de quantificação foi  $0,250 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (maiores que os obtidos no presente estudo), mas mesmo assim não foram detectados hormônios, inclusive o EE2, no esgoto bruto e no esgoto tratado da ETE de Araraquara (ARAÚJO, 2006), o que possivelmente pode ser devido aos elevados limites de detecção do HPLC-DAD quando comparado a um detector de massas, segundo o autor.

Algumas das dificuldades encontradas por Araújo (2006) também foram encontradas neste estudo, como a dificuldade em realizar uma extração em fase sólida adequada e eficiente em uma matriz de esgoto, a qual não foi conseguida passar mais do que 0,5 L de amostra, volume que pode ser considerado pequeno quando comparado à passagem de 1 à 4 L de amostra de água bruta e/ou tratada realizada por outros autores (GHISELLI, 2006; RAIMUNDO, 2007; FERNANDES, 2007; RAIMUNDO, 2011) e também recomendada pela metodologia n.º 539 da USEPA. Além da dificuldade da extração da amostra, é importante ressaltar o limite que os detectores de arranjo de diodos tem em relação à espectrômetros de massa, produzindo um limite de detecção e quantificação muito limitado quando comparado aos MS, mais reduzido ainda quando comparados aos espectrômetros de massa com triplo quadrupolo (MS/MS). No entanto, é interessante o desenvolvimento de uma metodologia de análise de hormônios em HPLC-DAD pelo fato do aparelho, do detector e dos reagentes possuírem custo reduzido quando comparados

à GC-MS e LC-MS/MS.

#### **6.4. Vegetação dos leitos cultivados**

Neste item serão discutidas a biomassa verde e seca produzida pelo LCA1 e LCA2, bem como a absorção de nutrientes pela *Eichhornia crassipes*.

##### **6.4.1. Biomassa verde e seca**

Como era esperado devido aos 43 dias antes que o aguapé foi cultivado no LCA2 em relação ao LCA1, o LCA2 apresentou maior quantidade de biomassa verde que o LCA1. No entanto essa diferença foi de apenas 3,2 kg, talvez por este leito ser mais velho algumas folhas e caules do LCA2 já estavam senescendo quando a vegetação foi retirada, e por isso este leito apresentou 3,7 kg a menos que o LCA1 na pesagem da parte aérea. De acordo com Balasubramanian et al. (2012) a decomposição de 50% das folhas da *Eichhornia crassipes* ocorrem entre 0 e 14 dias de plantio, e do pecíolo ocorre do dia 14 até o dia da retirada da planta, o que pode explicar o fato do LCA1 possuir maior massa de parte aérea do que o LCA2.

Segundo Balasubramanian et al. (2012), o sistema radicular do aguapé é a última parte da planta que entrará em decomposição; os autores relataram que a decomposição de 50% da planta ocorreu entre 53,3 e 83,8 dias, porém observaram uma demora variando entre 384,6 e 605 dias para 99% de decomposição. Esses dados justificam o fato do sistema radicular do LCA2 estar mais desenvolvido que do LCA1, apresentando 6,9 kg a mais. Esses dados evidenciam que quanto mais antiga a planta de *Eichhornia crassipes* mais desenvolvido é seu sistema radicular, que demorará mais para se decompor, porém se faz necessária a retirada dos caules e folhas amarelas e mais antigas para que estas não se decomponham, aumentando assim a carga de matéria orgânica no LC.

Tham (2012) estudou o desenvolvimento de aguapé em uma lagoa e em um rio, obtendo uma produtividade de 400 kg.ha<sup>-1</sup>.semana<sup>-1</sup> de massa seca, e uma composição de 81 g.kg<sup>-1</sup> de massa seca, levando em consideração apenas a parte aérea. Em 11 meses, Mees et al. (2009) produziu 28 toneladas de aguapé em uma área de 0,087 ha tratando efluente de frigorífico durante onze meses, resultando em aproximadamente 32,2 kg.m<sup>-2</sup>, com umidade de 83,7% no aguapé

corroborando com os valores de umidade encontrados neste estudo. Após dois meses de experimento Mees et al. (2009) obtiveram uma densidade de  $28 \text{ kg.m}^{-2}$ , e após três meses  $\text{kg.m}^{-2}$ , maior produtividade do que neste trabalho provavelmente pelo fato do efluente proveniente de frigorífico ser mais rico em nutrientes do que o esgoto doméstico. De acordo com Vymazal e Kröpfelová (2008) a porcentagem de biomassa de sistema radicular em relação a biomassa total deve estar entre 10 e 56%, e os resultados obtidos corroboram com essa afirmação, pois a porcentagem de sistema radicular do LCA1 foi 26,7% e do LCA2 foi 34,1%. Gentelini et al. (2008) obteve uma produção de  $8,95 \text{ kg.m}^{-2}$  de aguapé tratando efluente de piscicultura com TDH de 4 horas,  $8,55 \text{ kg.m}^{-2}$  com TDH de 12 horas e  $6,59 \text{ kg.m}^{-2}$  com TDH de 8 horas; é possível que os valores obtidos pelos autores sejam menores porque o efluente de piscicultura é menos rico em nutrientes do que o esgoto utilizado neste trabalho. Polisel (2005) retirou diariamente uma alíquota de aguapé de uma lagoa tratando esgoto municipal e pesou imediatamente; após um dia de secagem em grade para drenagem da água no sol. De acordo com o autor, a produtividade variou de  $0,71- 0,77 \text{ kg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  de biomassa fresca e de  $0,20 - 0,27 \text{ kg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  de biomassa seca, resultando em uma média de 70% de umidade que provavelmente é menor do que a obtida neste estudo por terem sido diferentes métodos de secagem.

#### **6.4.2. Absorção de nutrientes**

Wang et al. (2013) relataram que o nitrogênio absorvido pelo aguapé representou 64% do nitrogênio afluente ao sistema, em 761 t de aguapé retirado do lago 486 t era nitrogênio. Já Lee et al. (2013) obtiveram absorções máximas de  $583,2 \text{ g.m}^2$  de nitrogênio total e  $62,0 \text{ g.m}^2$  de fósforo total no mês de setembro, em um experimento realizado na Korea. Ambos autores apresentaram remoções inferiores às obtidas neste experimento. Segundo Wang e Calderon (2012), de um teor de 6,56% de biomassa do aguapé de 1,2 à 3,2% é nitrogênio; isso significa que a cada tonelada de aguapé 0,031 toneladas são de nitrogênio, ou também que uma tonelada de aguapé verde pode absorver cerca de 2,01 kg de nitrogênio e 0,30 kg de fósforo (P) (Wang e Calderon, 2012).

Moraes (2012) obteve remoção média de 6,4% (0,23 kg) de nitrogênio total por capim tifton 85 em um período de 10 dias, e 0,74% da massa de fósforo total no período de um mês, analisando a remoção obtida neste trabalho no mesmo período de tempo que ao experimento de

Moraes (2012), observa-se que o capim tifton 85 apresentou menores taxas de remoção de nitrogênio total e maiores taxas de remoção de fósforo total. Em um período de oito meses de desenvolvimento, Kletecke (2011) relatou uma absorção de 21,3 g.kg<sup>-1</sup> de nitrogênio total e 2,3 g.kg<sup>-1</sup> de fósforo total na parte aérea de *Hedychium coronarium*, 27,1 g.kg<sup>-1</sup> de nitrogênio e 2,2 g.kg<sup>-1</sup> de fósforo na *Heliconia psittacorum*, 25,8 e 24,5 g.kg<sup>-1</sup> de nitrogênio e 3,0 g.kg<sup>-1</sup> na *Cyperus alternifolius*, na planta *Colocasia esculenta* foram absorvidos 37,2 g.kg<sup>-1</sup> de N e 6,8 g.kg<sup>-1</sup> de P; apenas os resultados obtidos pela *Colocasia esculenta* se aproximam aos do sistema radicular da *Eichhornia crassipes*, mas são inferiores aos obtidos pela parte aérea (que foi a região analisada na *Colocasia*). Relacionando a carga de fósforo efluente dos leitos cultivados com a carga de fósforo presente na parte aérea de *Typha sp.*, Piedade (2010) obteve 10,6% de remoção de fósforo em um período de aproximadamente 22 meses.

Konnerup et al. (2009) apresentaram absorção média de nitrogênio de 41% para a planta *Canna indica* e 12% para *Heliconia psittacorum* L.f.× *H. Spathocircinata*, uma taxa de 84,7 e 12,2 g.m<sup>2</sup>.ano<sup>-1</sup> para *Canna* e *Heliconia*, respectivamente. Mees et al. (2009) obtiveram 4,28% de nitrogênio total, 0,68% de fósforo total e 3,4% de potássio na biomassa de aguapé utilizado em uma *wetland* que tratava dejetos suínos. Após 240 dias de estudo, Dornelas (2008) relatou que a matéria seca de taboa proveniente de um leito cultivado apresentou 13,9 g.kg<sup>-1</sup> de nitrogênio, 2,6 g.kg<sup>-1</sup> de fósforo, 20,5 g.kg<sup>-1</sup> de potássio, 15,2 g.kg<sup>-1</sup> de cálcio, 1,9 g.kg<sup>-1</sup> de magnésio e 1,3 g.kg<sup>-1</sup> de enxofre. Em um estudo realizado por Matsumura (2002) a biomassa natural de *Eichhornia crassipes* apresentou composição química média de 3,15% de nitrogênio, 2,75% de potássio, 0,95% de cálcio, 0,70% de fósforo, 0,35% de enxofre e 0,25% de magnésio, entre outros nutrientes.

Os resultados obtidos no presente estudo com aguapé tratando água residuária apresentaram composição percentual e taxas de absorção/remoção de macronutrientes bem mais elevadas do que nos estudos encontrados com aguapé ou outras plantas, exceto pela maior absorção de fósforo pelo capim tifton 85 relatado por Moraes (2012). Os valores obtidos neste estudo são superiores aos em que o aguapé e outras plantas foram cultivados com água de rio, lago, ou lagoa, e também são superiores aos que aguapé e demais plantas foram cultivados em água residuária de suinocultura e esgoto doméstico. Isso evidencia que o aguapé é uma planta com altas taxas de remoção de fósforo e nitrogênio, e as grandes diferenças entre remoção de nutrientes por aguapé provavelmente são provenientes de diferentes manejos da planta, ou uma

evidencia que o aguapé cultivado em meio suporte se torna mais eficiente do que o flutuante, em lagoas.

## 7. CONCLUSÕES

Com os resultados apresentados neste trabalho é possível concluir que:

- Pelos resultados dos testes estatísticos, o LCA2 foi o leito mais eficiente para os parâmetros pH e OD na escala horária, para todas as variáveis na escala diária, e mais eficiente na retenção de cargas de todas as variáveis analisadas;
- No parâmetro temperatura os três leitos foram diferentes entre si, apresentando maior eficiência o LCA2 pelo fato de possuir cobertura vegetal mais densa que os demais leitos;
- O LC e LCA2 foram os melhores leitos para o nitrogênio amoniacal, e o LCA2 foi o melhor leito para retenção de fósforo total;
- O Leito Cultivado Aguapé (2) foi o leito mais eficiente para diversos parâmetros pelo fato da macrófita ter se desenvolvido de maneira esperada, sem interferência de fatores externos, e também pelo estágio de desenvolvimento vegetativo do aguapé - 43 dias a mais que o LCA1;
- A vegetação no LCA1 não se desenvolveu tão bem quanto no LCA2, e apresentou alguns parâmetros com resultados inferiores ao LC devido a replantios e mudanças de macrófita, o que gerou diversos deslocamentos do biofilme, afetando a eficiência de remoção/retenção do leito, quando comparado ao controle. Apesar disso, o LCA1 apresentou maiores taxas de absorção de nutrientes pela planta na análise da biomassa do que o LCA2;
- A maior dificuldade de identificação e quantificação de compostos em concentrações traço presentes em águas residuárias é o preparo da amostra, pois se torna muito difícil conseguir concentrar uma amostra rica em matéria orgânica mais que 100 vezes por extração em fase sólida, e por isso os limites de detecção alcançados com HPLC-DAD não foram suficientes para análise dessas amostras de água residuária, com concentrações na faixa de nanogramas por litro;
- Apesar do EE2 adicionado aos leitos cultivados não ter sido quantificado neste estudo pela metodologia adaptada de águas superficiais por estar abaixo dos níveis de detecção e quantificação alcançados no aparelho, a metodologia reproduzida em águas residuárias foi satisfatória, apresentando bons índices de recuperação, seletividade, exatidão, linearidade, regressão, limites de detecção e de quantificação.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, C. D.; FILALI-MEKNASSI, Y.; AURIOL, M.; TYAGI, R.; NOGUEROL, T. N.; PIÑA, B. Removal of estrogenic activity of natural and synthetic hormones from a municipal wastewater: Efficiency of horseradish peroxidase and lacase from *Trametes versicolor*. **Chemosphere**. v. 70, p. 445 – 452, set. 2007.

ALS ENVIRONMENTAL. Disponível em <[http://www.caslab.com/Ethinyl\\_estradiol\\_CAS\\_57-63-6/](http://www.caslab.com/Ethinyl_estradiol_CAS_57-63-6/)>. Acesso em 25/11/2013.

ALTMANN, D.; SCHAAR, H.; BARTEL, C.; SCHORKOPF, D. L. P.; MILLER, I.; KREUZINGER, N.; MÖSTL, E.; GRILLITSCH, B. Impact of ozonation on ecotoxicity and endocrine activity of tertiary treated wastewater effluent. **Water Research**. n. 46, p. 3693 – 3702, abr. 2012.

ALVORD, H. H.; KADLEC, R. H. Atrazine fate and transport in the Des Plaines Wetlands. **Ecological Modelling**. n. 90, p. 97-107, ago, 1995.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION; EATON, A. D.; *et al.* **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21 ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2005.

AMORIM, F. F. **Remoção dos contaminantes orgânicos  $\beta$ -estradiol e saxitoxinas (STX, Neo-STX E dc-STX) por meio de nanofiltração: Avaliação em escala de bancada**. 123f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília. 2007.

ARAÚJO, J. C.. **Estudo da eficiência do tratamento de efluentes domésticos da cidade de Araraquara-SP na remoção de hormônios sexuais**. 83p. Dissertação (Mestre em Ciências) – Instituto de Química, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2006.

ATKINSON, S. K.; MARLATT, V. L.; KIMPE, L. E.; LEAN, D. R. S.; TRUDEAU, V. L.; BLAIS, J. M. The occurrence of steroidal estrogens in south-eastern Ontario wastewater treatment plants. **Science of the Total Environment**. n. 430, p. 119 – 125, may. 2012.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2.<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BALASUBRAMANIAN, D.; ARUNACHALAM, K.; DAS, A. K.; ARUNACHALAM, A. Decomposition and nutrient release of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. Under different trophic conditions in wetlands of eastern Himalayan foothills. **Ecological Engineering**. v. 44, p. 111 – 122, may. 2012.

BERGIER, I.; SALIS, S. M.; MIRANDA, C. H. B.; ORTEGA, E.; LUENGO, C. A. Biofuel production from water hyacinth in the Pantanal wetland. **Ecohydrology & Hydrobiology**. v. 12, n. 1, p. 77 – 84, 2012.

BOARETTO, A. E.; VAN RAIJ, B.; SILVA, F. C.; CHITOLINA, J. C.; TEDESCO, M. J.; CARMO, C. A. F. S. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.<sup>a</sup> ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

BORGES, A. K. P. **Despoluição de águas superficiais e efluentes de piscicultura através de sistemas construídos de áreas alagadas (constructed wetland)**. 140f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro. 2005.

BORTOLOTTI, I. M.; NETO, G. G. O uso do camalote, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, Pontederiaceae, para confecção de artesanato no Distrito de Albuquerque, Corumbá, MS, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**. v. 19, n. 2, p. 331 – 337, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n. 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para

consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, v.141, n.59, p.266, seção 1. 25 mar. 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n. 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário da União**, Brasília, dez/2011.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário da União**, Brasília, maio/2011.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RE n.º 899, de 29 de maio de 2013. Determina a publicação do “Guia para validação de métodos analíticos e bioanalíticos”. **Diário Oficial da União**. Poder Executivo, junho de 2003.

BRIX, H. Functions of macrophytes in constructed wetlands. **Water Science and Technology**. v. 29, n. 4, p. 71 – 78, 1994.

BULLER, L. S.; BERGIER, I.; ORTEGA, E.; SALIS, S. M. Dynamic energy valuation of water hyacinth biomass in wetlands: an ecological approach. **Journal of Cleaner Production**. v. 54, p. 177 – 187, 2013.

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística Básica**, 7.<sup>a</sup> ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2012.

CARLSON, J. C.; ANDERSON, J. C.; LOW, J. E.; CARDINAL, P.; MACKENZIE, S. D.; BEATTIE, S. A.; CHALLIS, J. K.; BENNETT, R. J.; MERONEK, S. S.; WILKS, R. P. A.; BUHAY, W. M.; WONG, C. S.; HANSON, M. L. Presence and hazards of nutrients and emerging organic micropollutants from sewage lagoon discharges into Dead Horse Creek, Manitoba, Canada. **Science of the Total Environment**. v. 445 – 446, p. 64 – 78, 2013.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA. < <http://www.cepagri.unicamp.br/>> acesso em 28 de junho de 2012.

CHAVAN, B. L.; DHULAP, V. P. Treatment of Sewage through Phytotechnological Studies with Constructed Wetland Using *Eichhornia crassipes*. **Journal of Environmental Research And Development**. v. 7, n. 2, p. 660 – 667, oct./dec. 2012.

CHEN, X.; CHEN, X.; WAN, X.; WENG, B.; HUANG, Q. Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) waste as an adsorbent for phosphorus removal from swine wastewater. **Bioresource Technology**. v. 101, p. 9025 – 9030, jul. 2010.

CHEN, H-C.; KUO, H-W.; DING, W-H. Determination of estrogenic compounds in wastewater using liquid chromatography-tandem mass spectrometry with electrospray and atmospheric pressure photoionization following desalting extraction. **Chemosphere**. v. 74, p. 508 – 514, 2009.

CHIN, Y. P.; MILLER, P. L. Photoinduced Degradation of Carbaryl in a Wetland Surface Water. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 50, n. 23, p. 6758 – 6765, 2002.

CHUNKAO, K.; NIMPEE, C.; DUANGMAL, K. The King's initiatives using water hyacinth to remove heavy metals and plant nutrients from wastewater through Bueng Makkasan in Bangkok, Thailand. **Ecological Engineering**. v. 39, p. 40 – 52, 2012.

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**. 77f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2001.

CONOLLY, L.; CAI, K.; ELLIOT, C. T.; PHILLIPS, D. H.; SCIPPO, M. L.; MULLER, M. Treatment of estrogens and androgens in dairy wastewater by a constructed wetland system. **Water Research**. n. 46, p. 2333-2343, 2012.

COMISSÃO EUROPÉIA (1999). **“Community strategy for endocrine disrupter – a range of substances suspected of interfering with hormone systems of humans and wildlife”**.

Communication from the Commission to the Council and the European Parliament – COM (1999) 706 final.

COMISSÃO EUROPÉIA (2012). **“Endocrine Disruptors – Introduction”**.

<[http://ec.europa.eu/environment/endocrine/documents/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/endocrine/documents/index_en.htm)> acessado em 25 de junho de 2012.

COMISSÃO EUROPÉIA (2012). **“What is the endocrine system?”**

< [http://ec.europa.eu/environment/endocrine/definitions/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/endocrine/definitions/index_en.htm)> acessado em 25 de junho de 2012.

COMISSÃO EUROPÉIA (2001). **Opinion of the Economic and Social Committee on "Proposal for a Directive of the European Parliament and Council amending Directive 96/22/EC concerning the prohibition of certain substances having a hormonal or thyrostatic action and of  $\beta$  agonists"**. Official Journal C 014, pg 0047-0049, oct. 2001.

CUNHA, C. A. G. **Análise da eficiência de um sistema combinado de alagados construídos na melhoria da qualidade das águas**. 174f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2006.

DINIZ, M. S.; MAURÍCIO, R.; PETROVIC, M.; DE ALDA, M. J. L.; AMARAL, L.; PERES, I.; BARCELÓ, D.; SANTANA, F. Assessing the estrogenic potency in a Portuguese wastewater treatment plant using an integrated approach. **Journal of Environmental Sciences**. v. 22, n. 10, p. 1613 – 1622, jan. 2010.

DORNELAS, F. L. **Avaliação do desempenho de wetlands horizontais subsuperficiais como pós-tratamento de efluentes de reatores UASB**. 115f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2008.

ELIAS, E. M. **Ácido fólico e ferro em alimentos**. 120f. Tese (Doutorado em Alimentos e Nutrição) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2010.

FERNANDES, R. **Estudos de Remoção de 17 $\alpha$ -Ethinilestradiol de Águas para Abastecimento, utilizando Dióxido de Cloro, Hipoclorito de Sódio, Carvão Ativado em Pó (CAP) e Tratamento Físico-químico**. 151p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2007.

FRANÇA, J. B. A.; TEIXEIRA, I. R.; FERREIRA, A. A.; AVELINO NETO, S. Eficiência das macrófitas *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. (aguapé) e *Pistia stratiotes* L. (alface d'água), cultivadas em diferentes materiais no tratamento de efluente sanitário bruto. **Engenharia na Agricultura**. v. 20, n. 6, p. 554 – 563, nov./dez. 2012.

GADD, J. B.; NORTHCOTT, G. L.; TREMBLAY, L. A. Passive Secondary Biological Treatment Systems Reduce Estrogens in Dairy Shed Effluent. **Environment Science Technology**. v. 44, p. 7601 – 7606, ago. 2010.

GENTELINI, A. L.; GOMES, S. D.; FEIDEN, A.; ZENATTI, D.; SAMPAIO, S. C.; COLDEBELLA, A. Produção de biomassa das macrófitas aquáticas *Eichhornia crassipes* (aguapé) e *Egeria densa* (egeria) em sistema de tratamento de efluente de piscicultura orgânica. **Semina: Ciências Agrárias**. v. 29, n. 2, p. 441 – 448, jun. 2008.

GEROLIN, E. R. R. **Ocorrência e remoção de disruptores endócrinos em águas utilizadas para abastecimento público de Campinas e Sumaré – São Paulo**. 190f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2008.

GIBSON, R.; SMITH, M. D.; SPARY, C. J.; TYLER, C. R.; HILL, E. M. Mixtures of estrogenic contaminants in bile of fish exposed to wastewater treatment works effluents. **Environmental Science Technology**. v. 39, n. 8, p. 2461–2471. 2005.

GHISELLI, G. **Avaliação da Qualidade das Águas Destinadas ao Abastecimento Público de Campinas: Ocorrência e Determinação dos Interferentes Endócrinos (IE) e Produtos Farmacêuticos e de Higiene Pessoal (PFHP)**. 159p. Tese (Doutorado em Química Analítica) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2006.

GIZ - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH. **Technology review of constructed wetlands: Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment**. Sustainable sanitation – ecosan program. 36p. Eschborn, 2011.

GRAY, J. L.; SEDLAK, D. L. The fate of Estrogenic Hormones in an Engineered Treatment Wetland with Dense Macrophytes. **Water Environment Research**. v. 77, n. 01, p. 24-31, jan/fev, 2005.

GUIMARÃES, T. S. **Detecção e quantificação dos hormônios sexuais 17  $\beta$ -estradiol (E2), estriol (E3), estrona (E1) e 17  $\alpha$ -etinilestradiol (EE2) em água de abastecimento: estudo de caso da cidade de São Carlos, com vistas ao saneamento ambiental**. 81f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

HIJOSA-VALSERO, M.; MATAMOROS, V.; MARTÍN-VILLACORTA, J.; BÉCARES, E.; BAYONA, J. M. Assessment of full-scale natural systems for the removal of PPCPs from wastewater in small communities. **Water Research**. v. 44, p. 1429 – 1439, out., 2009.

HIJOSA-VALSERO, M.; MATAMOROS, V.; SIDRACH-CARDONA, R.; MARTÍN-VILLACORTA, J.; BÉCARES, E.; BAYONA, J. M. Comprehensive assessment of the design configuration of constructed wetlands for the removal of pharmaceuticals and personal care products from urban wastewaters. **Water Research**. v. 44, p. 3669 – 3678, abr., 2010.

HUTCHINS, S. R.; WHITE, M. V.; HUDSON, F. M.; FINE, D. D. Analysis of Lagoon Samples from Different Concentrated Animal Feeding Operations for Estrogens and Estrogen Conjugates. **Environmental Science Technology**. v. 41, n. 3, p. 738 – 744, abr., 2007.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Orientações sobre validação de métodos de ensaios químicos**. DOQ-CGCRE-008. Revisão 2 – junho, 2007.

IUPAC – International Union of Pure and Applied Chemistry. **Endocrine Disruptors in the Environment**. IUPAC Technical Report.v. 75, n. 05, p. 631 – 681, 2003.

INTERSTATE TECHNOLOGY & REGULATORY COUNCIL. **Technical and Regulatory Guidance Document for Cosntructed Treatment Wetlands**. Washington, D. C., U.S.A. 128p. 2003.

JARDIM, W. F.; GHISELLI, G. Interferentes Endócrinos no Ambiente. **Química nova**. v. 30, n. 03, p. 695-706, fev., 2007.

JOHNSON, A. C.; WILLIAMS, R. J., MATTHIESSEN, P. The potential steroid hormone contribution of farm animals to freshwaters, the United Kingdom as a case study. **Science of the Total Environment**. n. 362, p. 166 - 178, 2006.

JONAS, T. C.; HUSSAR, G. J. Utilização do aguapé no pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio compartimentado. **Engenharia Ambiental**. v. 7, n. 4, p. 20 – 32, out./dez. 2010.

KANTAWANICHKUL, S.; BOONTAKHUM, W. Effect of dosing regime on nitrification in a subsurface vertical flow treatment wetland system. **Water Science & Technology**. v. 66, n. 6, p. 1220 – 1224, mar. 2012.

KIM, S. D.; LEE, J.; CHO, J.; KIM, S. H. Influence of 17  $\beta$ -estradiol binding by dissolved organic matter isolated from wastewater effluent on estrogenic activity. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. v. 74, p. 1280 – 1287, mar., 2011.

KLETECKE, R. M. **Remoção/exportação de nutrientes de esgoto doméstico utilizando plantas ornamentais: *Hedychium coronarium*, *Heliconia psittacorum*, *Cyperus alternifolius* e *Colocasia esculenta***. 310f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2011.

KONNERUP, D.; KOOTTATEP, T.; BRIX, H. Treatment of domestic wastewater in tropical, subsurface flow constructed wetlands planted with *Canna* and *Heliconia*. **Ecological Engineering**. v. 35, p. 248 – 257, 2009.

LANGE, I.G.; DAXENBERER, A.; SCHIFFER, B.; WITTERS, H.; IBARRETA, D.; MEYER, H.H.D. Sex hormones originating from different livestock production systems: fate and potential disrupting activity in the environment. **Analytical Chemical Acta**. n. 473, p. 27 - 37, 2002.

LARSSON, D. G. J.; ADOLFSSON-ERICI, M.; PARKKONEN, J.; PETTERSON, M.; BERG, A. H.; OLSSON, P. E., FORLIN, L. Ethinyloestradiol - an undesired fish contraceptive? **Aquatic Toxicology**. v. 45, n. 2, p. 91–97. 1999.

LEE, S. Y.; MANQUIZ, M. C.; CHOI, J. Y.; JEONG, S. M.; KIM, L. H. Seasonal nutrient uptake of plant biomass in a constructed wetland treating piggery wastewater effluent. **Water Science & Technology**. v. 67, n. 6, p. 1317 – 1323, 2013.

LI, X.; ZHENG, W.; KELLY, W. R. Occurrence and removal of pharmaceutical and hormone contaminants in rural wastewater treatment lagoons. **Science of the Total Environment**. v. 445 – 446, p. 22 – 28, 2013.

LISBOA FILHO, N. S. **Desenvolvimento e validação de método analítico para determinação de interferentes endócrinos**: aplicação em amostras de água da Baía de Todos os Santos, BA.

87f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2012.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M. **Plantas ornamentais no Brasil:** arbustivas, herbáceas e trepadeiras. 1.088p. 3.<sup>a</sup> ed. Editora Plantarum. Nova Odessa, 2001.

LU, J.; FU, Z.; YIN, Z. Performance of a water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) system in the treatment of wastewater from a duck farm and the effects of using water hyacinth as duck feed. **Journal of Environmental Sciences.** v. 20, p. 513 – 519, 2008.

LUCENA, W. S. **Determinação de estrogênios em afluentes da lagoa de Araruama – RJ.** 102f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública e Meio Ambiente) – Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), Rio de Janeiro. 2013.

MAINE, M. A.; SUÑE, N.; HADAD, H.; SÁNCHEZ, G.; BONETTO, C. Influence of vegetation on the removal of heavy metals and nutrients in a constructed wetland. **Journal of Environmental Management.** v. 90, p. 355 – 363, 2009.

MATSUMURA, Y. Evaluation of supercritical water gasification and biomethanation for wet biomass utilization in Japan. **Energy Conversion and Management.** v. 43, p. 1301 – 1310, 2002.

MAZELLIER, P.; MÉITÉ, L.; DE LAAT, J. Photodegradation of the steroid hormones 17 $\beta$ -estradiol (E2) and 17 $\alpha$ -ethinylestradiol (EE2) in dilute aqueous solution. **Chemosphere.** v. 73, p. 1216 – 1223, 2008.

MEES, J. B. R.; GOMES, S. D.; VILAS BOAS, M. A.; FAZOLO, A.; SAMPAIO, S. C. Removal of organic matter and nutrients from slaughterhouse wastewater by using *Eichhornia crassipes* and evaluation of the generated biomass composting. **Engenharia Agrícola.** v. 29, n. 3, p. 466 – 473, jul./set. 2009.

MEES, J. B. R.; DAMASCENO, S.; VILAS BOAS, M. A.; FAZOLO, A.; SAMPAIO, S. C. Estabilização da biomassa de aguapé através da compostagem com águas residuárias de suínos e resíduos de frigorífico. **Semina: Ciências Agrárias**. v. 30, n. 3, p. 709 – 716, jul./set. 2009.

MELO JÚNIOR, A. S. **Dinâmica da remoção de nutrientes em alagados construídos com *Typha sp.*** 312f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2003.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. 3.<sup>a</sup> ed. McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering. 1991.

MIÈGE, C.; BADOS, P.; BROSSE, C.; COQUERY, M. Method validation for the analysis of estrogens (including conjugated compounds) in various aqueous matrices. **Trends in Analytical Chemistry**. v. 28, n. 2, p. 237 – 244, 2009.

MOHAN, S. V.; MOHANAKRISHNA, G.; CHIRANJEEVI, P.; PERI, D.; SARMA, P. N. Ecologically engineered system (EES) designed to integrate floating, emergent and submerged macrophytes for the treatment of domestic sewage and acid rich fermented-distillery wastewater: Evaluation of long term performance. **Bioresource Technology**. v. 101, p. 3363 – 3370, jan. 2010.

MOHAN, S. V.; KUMAR, A. K.; CHIRANJEEVI, P.; MOHANAKRISHNA, G. Natural attenuation of endocrine-disrupting estrogens in an ecologically engineered treatment system (EETS) designed with floating, submerged and emergent macrophytes. **Ecological Engineering**. v. 37, p. 1555 – 1562, jul. 2011.

MOORE, M. T.; RODGERS Jr., J. H.; SMITH Jr., S.; COOPER, C. M. Mitigation of metolachlor-associated agricultural runoff using constructed wetlands in Mississippi, USA. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.84, p. 169-176, jul, 2000.

MORAES, D. C. **Influência da sazonalidade e de plantas na redução da concentração de poluentes em sistema de alagados construídos de escoamento vertical, com alimentação em pulso, empregado para tratar esgoto doméstico bruto.** 127f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

MOREIRA, D. S. **Desenvolvimento de metodologia analítica por cromatografia/espectrometria de massas para avaliação da ocorrência de perturbadores endócrinos em mananciais de abastecimento da região metropolitana de Belo Horizonte.** 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2008.

MULCHANDANI, A.; MENG, Z.; CHEN, W. Removal of Estrogenic Pollutants from Contaminated Water Using Molecularly Imprinted Polymers. **Environment Science Technology.** v. 39, n. 22, p. 8958 – 8962, out, 2005.

NETO, B.B., SCARMINIO, I.S., BRUNS, R.E., **Como Fazer Experimentos**, 4<sup>a</sup>ed. São Paulo: Artmed Editosa S.A., 2010.

OLGUÍN, E. J.; SÁNCHEZ-GÁLVAN, G. Aquatic phytoremediation: Novel insights in tropical and subtropical regions. **Pure Applied Chemistry.** v. 82, n. 1, p. 27 – 38, 2010.

OLIVEIRA, C. L. B. **Dinâmica da Retenção de Fósforo de Águas Residuárias em Sistemas de Alagados Construídos.** 189f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2006.

PERES, M. R. **Remoção de interferentes endócrinos 17- $\alpha$ -etinilestradiol, 17- $\beta$ -estradiol e 4-nonilfenol por adsorção em carvão ativado em pó em água de abastecimento público.** 151f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2011.

PESSOA, G. P.; SANTOS, A. B.; SOUZA, N. C.; ALVES, J. A. C.; NASCIMENTO, R. F. Desenvolvimento de metodologia para avaliar remoção de estrogênios em estações de tratamento de esgotos. **Química Nova**. v. 35, n. 5, p. 968 – 973, 2012.

PIEIDADE, A. R. **Dinâmica da remoção de fósforo em leitos cultivados com Typha sp.** 195f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2010.

POLISEL, K. C. **Desempenho de lagoas de maturação utilizando macrófitas aquáticas e chicaneamento.** 171f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2005.

RAIMUNDO, C. C. M. **Ocorrência de interferentes endócrinos e produtos farmacêuticos nas águas superficiais da bacia do rio Atibaia.** 126f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2007.

RAIMUNDO, C. C. M. **Contaminantes emergentes em água tratada e seus mananciais: sazonalidade, remoção e atividade estrogênica.** 172f. Tese (Doutorado em Química Ambiental) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2011.

REINHARD, Martin; GROSS, Birgit; MONTGOMERY-BROWN, John; NAUMANN, Anneke. Occurrence and fate of pharmaceuticals and alkylphenol ethoxylate metabolites in an effluent-dominated river and wetland. **Environmental Toxicology and Chemistry**. USA, v. 23, n. 09, p. 2074 – 2083, 2004.

RIBANI, M.; BOTTOLI, C.B.G.; COLLINS, C.H.; JARDIM, I.C.S.F. e MELO, L.F.C. Validação em métodos cromatográficos e eletroforéticos. **Química Nova**. n. 5, v. 27, p. 771-780, 2004.

RIVAS, A.; BARCELÓ-QUINTAL, I.; MOELLER, G. E. Pollutant removal in a multi-stage municipal wastewater treatment system comprised of constructed wetlands and a maturation pond, in a temperate climate.

SANTOS, R. M. F. **Pós-tratamento de esgoto:** Sistema sequencial de leitos cultivados (*Constructed Wetlands*) vertical e horizontal. 180f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2009.

SANTOS, I. J. S.; GROSSMAN, M. J.; SARTORATTO, A.; PONEZI, A. N.; DURRANT, L. R. Degradation of the recalcitrant pharmaceuticals carbamazepina and 17- $\alpha$ -ethinylestradiol by lignolytic fungi. **Chemical Engineering Transactions**. v. 27, p. 169 – 174, 2012.

SANTOS, E. P. C. C. **Remoção de etinilestradiol no tratamento de água para consumo humano:** estudo em escala piloto. 189f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2011.

SARMAH, A.; NORTHCOTT, G. L.; LEUSCH, F.D.L.; TREMBLAY, L.A. A survey of endocrine disrupting chemicals (EDCs) in municipal sewage and animal wastewaters in the Waikato region of New Zealand. **Science of the Total Environment**. n. 355, p. 135 - 144, 2006.

SCHNEIDER, R. J.; HINTEMANN, T.; SCHNEIDER, C.; SCHÖLER, H. F. Field study using two immunoassays for the determination of estradiol and ethinylestradiol in the aquatic environment. **Water Research**. n. 40, p. 2287-2294, abr., 2006.

SHAPPEL, N. W. Estrogenic Activity in the Environment: Municipal Wastewater Effluent, River, Ponds, and Wetlands. **Journal of Environmental Quality**. v. 35, p. 122 – 132, jan., 2006.

SHAPPELL, N. W.; BILLEY, L. O.; FORBES, D.; MATHENY, T. A.; POACH, M. E.; REDDY, G. B.; HUNT, P. G. Estrogenic Activity and Steroid Hormones in Swine Wastewater

through a Lagoon Constructed-Wetland System. **Environmental Science & Technology**. v. 41, n. 02, p. 444-450, 2007.

SHORE, L. S.; BAREL-COHEN, K.; SHEMESH, M.; WENZEL, A.; MUELLER, J.; KRONFELD-SCHOR, N. Monitoring of natural and synthetic hormones in a polluted river. **Journal of Environmental Management**. v. 78, p. 16 – 23, ago., 2005.

SILVA, S. C. “Wetlands construídos” de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos. 231f. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília. 2007.

SNYDER, S. A.; KIM, S. D.; CHO, J.; KIM, In S.; VANDERFORD, B. J. Occurrence and removal of pharmaceuticals and endocrine disruptors in South Korean surface, drinking, and waste waters. **Water Research**. v. 41, p. 1013 – 1021, ago., 2006.

SONG, H. L.; NAKANO, K.; TANIGUCHI, T.; NOMURA, M.; NISHIMURA, O.. Estrogen removal from treated municipal effluent in small-scale constructed wetland with different depth. **Bioresource Technology**. v. 100, p. 2945 – 2951, fev., 2009.

SOUZA, N. C. **Avaliação de micropoluentes emergentes em esgotos e águas superficiais**. 183f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2011.

SUIDAN, M. T.; MARFIL-VEGA, R.; MILLS, M. A. Assessment of the abiotic transformation of 17- $\beta$ -estradiol in the presence of vegetable matter. **Chemosphere**. v. 82, p. 1468 – 1474, jan., 2011.

SUMPTER, J. P.; JHONSON, A. C. Lessons from endocrine disruption and their application to other issues concerning trace organics in the aquatic environment. **Environmental Science Technology**. v. 39, n. 12, p. 4321–4332, 2005.

TAKEMOTO, E.; TEIXEIRA FILHO, J.; GODOY, H. T. Validação de metodologia para a determinação simultânea dos antioxidantes sintéticos em óleos vegetais, margarinas e gorduras hidrogenadas por CLAE/UV. **Química Nova**. v. 32, n. 35, p. 1189 – 1194, maio, 2009.

THAM, H. T. **Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) – Biomass Production, Ensilability and Feeding Value to Growing Cattle**. 64f. Thesis (Doctoral in Animal Nutrition and Management) – Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 2012.

TORRES, N. H.; AMÉRICO, J. H. P.; NAZATO, C.; MARANHO, L. A.; HARDER, M. N. C.; FIGUEIREDO, L. A.; VILCA, F. Z.; TORNISIELO, V. L. Otimização de metodologia de análise de hormônios em água superficial por HPLC-DAD. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves – RS. **Anais**. 2013.

TRAVAINI-LIMA, F.; SIPAÚBA-TAVARES, L. H. Efficiency of a constructed wetland for wastewaters treatment. **Acta Limnologica Brasiliensia**. v. 24, n. 3, p. 255 – 265, 2012.

USEPA. **Design manual on constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment**. EPA/625/1-88/022, CERL, Cincinnati – OH/USA, 1988. 83p.

USEPA. **Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment**. Technology Assessment. United States Environmental Protection Agency, Washington, D. C., U.S.A, 1993. 87p.

USEPA. **Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters**. Manual. EPA/625/R-99/010, Cincinnati, Ohio/USA. 1999. 165p.

USEPA. **Method 539**: Determination of hormones in drinking water by solid phase extraction (SPE) and liquid chromatography electrospray ionization tandem mass spectrometry (LC-ESI-MS/MS). EPA Document n.º 815-B-10-001, Cincinnati, Ohio/USA, nov., 2010. 36 p.

USEPA. **The third unregulated contaminant monitoring rule (UCMR3)**. EPA 815-F-12-004, may 2012.

VALENTIM, M. A. A. **Uso de leitos cultivados no tratamento de efluente de tanque séptico modificado**. 137f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 1999.

VALENTIM, M. A. A. **Desempenho de leitos cultivados (“constructed wetland”) para tratamento de esgoto: contribuições para concepção e operação**. 233f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas . Campinas. 2003.

VIEIRA, S. **Análise de Variância**. São Paulo: Editora Atlas, 2006.

VON SPERLING, M.; CORAUCCI FILHO, B.; MONTEGGIA, L. O.; PIVELLI, R. P. PROSAB, Edital 5, tema 2, **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Coordenadores: Francisco Suetônio Bastos Mota e Marcos von Sperling. Capítulo 9, 430 p, Fortaleza, 2009.

VYMAZAL, J. **“Types of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment”**. Conferência: 6th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Águas de São Pedro/SP, out/1998.

VYMAZAL, J. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. **Science of the Total Environment**. v. 380, p. 48 - 65, 2007.

VYMAZAL, J.; KRÖPFELOVÁ, L. **Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow**. 579p. Springer Science + Business Media B. V. 2008.

WANG, Z.; ZHANG, Z.; ZHANG, J.; ZHANG, Y.; LIU, H.; YAN, S. Large-scale utilization of water hyacinth for nutrient removal in Lake Dianchi in China: The effects on the water quality, macrozoobenthos and zooplankton. **Chemosphere**. v. 89, p. 1255 – 1261, 2012.

WANG, Z.; CALDERON, M. M. Environmental and economic analysis of application of water hyacinth for eutrophic water treatment coupled with biogas production. **Journal of Environmental Management**. v. 110, p. 246-253, 2012.

WANG, Z.; ZHANG, Z.; ZHANG, Y.; ZHANG, J.; YAN, S.; GUO, J. Nitrogen removal from Lake Caohai, a typical ultra-eutrophic lake in China with large scale confined growth of *Eichhornia crassipes*. **Chemosphere**. v. 92, p. 177 – 183, apr. 2013.

WEBER, K. P.; LEGGE, R. L. Comparison of the catabolic activity and catabolic profiles of rhizospheric, gravel-associated and interstitial microbial communities in treatment wetlands. **Water Science & Technology**. v. 67, n. 4, p. 886 – 893, 2013.

WHITE, J. R.; CONKLE, J. L.; METCALFE, C. D. Reduction of pharmaceutically active compounds by a lagoon wetland wastewater treatment system in Southeast Louisiana. **Chemosphere**. v. 73, p. 1741 – 1748, set., 2008.

YI, Q.; HUR, C.; KIM, Y. Modeling nitrogen removal in water hyacinth ponds receiving effluent from waste stabilization ponds. **Ecological Engineering**. v. 35, p. 75 – 84, 2009.

ZANELLA, L. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluente sanitários:** wetlands-construídos utilizando brita e bambu como suporte. 213f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

ZHANG, Y.; ZHOU, J. L. Occurrence and removal of endocrine disrupting chemicals in wastewater. **Chemosphere**. v. 73, p. 848 – 853, 2008.

ZHENG, W.; LI, X.; YATES, S. R.; BRADFORD, S. A. Anaerobic Transformation Kinetics and Mechanism of Steroid Estrogenic Hormones in Dairy Lagoon Water. **Environmental Science & Technology**. v. 46, p. 5471 – 5478, abr., 2012.

ZHENG, W.; LI, X.; KELLY, W. R. Occurrence and removal of pharmaceutical and hormone contaminants in rural wastewater treatment lagoons. **Science of the Total Environment**. v. 445 – 446, p. 22 – 28, jan., 2013.

ZHOU, J. L.; ZHANG, Y. Occurrence and removal of endocrine disrupting chemicals in wastewater. **Chemosphere**. v. 73, p. 848 – 853, jul., 2008.

## **ANEXO I**

Figura A1.1. Bula do anticoncepcional que foi adicionado aos leitos cultivados (frente).



**Seleene**  
etinilestradiol  
acetato de ciproterona



**Eurofarma**

**PARA EVITAR USO IMPRÓPRIO DO MEDICAMENTO LEIA ESTA BULA COM ATENÇÃO!**

---

**FORMA FARMACÊUTICA E APRESENTAÇÃO**

Comprimido Revestido. Cartucho contendo 21 ou 63 comprimidos.

**USO ADULTO**

**USO ORAL**

**Composição**  
Cada comprimido revestido contém:

etinilestradiol .....	0,035 mg
acetato de ciproterona .....	2,000 mg
Excipientes q.s.p. ....	1 comprimido revestido

*Excipientes (povidona c-15, lactose, amido de milho, celulose microcristalina, croscovidona, aerosil 200, laurilsulfato de sódio, estearato de magnésio, opadray, corante laca eritrosina, dióxido de titânio, corante laca crepúculo, goma laca).*

**INFORMAÇÕES À PACIENTE**

**Ação esperada do medicamento**  
O produto começa a agir durante o primeiro ciclo de tratamento, possuindo ação anticonceptiva.

**Cuidados de armazenamento**  
O produto deve ser conservado em temperatura ambiente (temperatura entre 15° C e 30° C) e protegido da umidade.

**Prazo de validade**  
Desde que observados os devidos cuidados de conservação, o prazo de validade do produto é de 24 meses, contados a partir da data de fabricação impressa em sua embalagem externa.

**NÃO USE MEDICAMENTOS COM O PRAZO DE VALIDADE VENCIDO.**

**Gravidez e lactação**  
Informe ao médico ocorrência de gravidez na vigência do tratamento ou após o seu término. Informar ao médico se está amamentando.

**Cuidados de administração**  
Antes de iniciar o tratamento deve ser feito exame geral detalhado, minuciosa exploração ginecológica, incluindo as mamas e deve ser afastada a possibilidade de gravidez. Durante tratamentos prolongados a paciente deve submeter-se a exames de controle a cada 6 meses aproximadamente.  
Siga a orientação do seu médico, respeitando sempre os horários, as doses e a duração do tratamento.

**Modo de usar**  
Aguardar a próxima menstruação. O tratamento inicia-se no primeiro dia

do ciclo (primeiro dia de sangramento – primeiro dia do ciclo). Retirar o primeiro comprimido marcado com o dia da semana correspondente (por exemplo: segunda-feira), perfurando o alumínio; para isto basta pressionar com o dedo a bolha correspondente até que o comprimido saia. Tomar o comprimido sem mastigar com um pouco de líquido. Para a tomada diária dos comprimidos, pode ser escolhida uma hora qualquer, de preferência após o café da manhã ou após o jantar; o importante é tomar sempre mais ou menos à mesma hora. Seguindo as setas impressas no alumínio, tomar um comprimido por dia até terminar a cartela. Na cartela está assinalado o dia da semana em que deve ser tomado cada comprimido; desta forma torna-se fácil comprovar se foi tomado ou não o comprimido do dia. Após terminada a cartela, intercala-se uma pausa de 7 dias, durante a qual ocorrerá um sangramento semelhante ao menstrual. Após a pausa de 7 dias, continua-se com uma nova cartela, independentemente de ter cessado ou não o sangramento.

O esquema, portanto, é fácil de memorizar: 3 semanas de tratamento, 1 semana de descanso e cada cartela é iniciada sempre no mesmo dia da semana que a anterior. Em caso de falta de sangramento, no pós-aborto ou pós-parto imediato, o início do tratamento com SELENE® Fica a critério médico, observadas as contra-indicações.

**Interrupção do tratamento**  
Motivos para interrupção imediata do tratamento - aparecimento, pela primeira vez, de dores de cabeça do tipo enxaqueca, ou crises frequentes de dor de cabeça mais forte que o habitual; alterações repentinas da visão, audição, etc., primeiros sinais de inchaço ou dores não-habituais nas pernas, dores do tipo pontadas ao respirar, ou tosse de origem desconhecida; sensação de dor e aperto no tórax; cirurgias já planejadas (6 semanas antes da data prevista); imobilização forçada (acidentes, etc.). Outros motivos para interromper o tratamento: aparecimento de icterícia, hepatite, coqueluche generalizada, aumento da frequência de ataques epilépticos, aumento considerável da pressão sanguínea, gravidez. Não interromper o tratamento sem o conhecimento do seu médico.

**Reações adversas**  
Informar ao médico o aparecimento de reações desagradáveis, como p. ex.: dores de cabeça, problemas de estômago, enjôos, sensação de aumento das mamas, variações de peso, alterações de humor e do desejo sexual. Em geral tendem a desaparecer espontaneamente após 2 ou 3 ciclos. Após o tratamento prolongado aparecem, às vezes, em mulheres predispostas, manchas no rosto que ficam mais visíveis ao tomar banho de sol. Por isso, recomenda-se a mulheres predispostas que não fiquem muito tempo no sol. Em casos isolados, observou-se diminuição de tolerância a lentes de contato. Consultar o médico sempre que apareçam sintomas não-habituais.

**TUDO MEDICAMENTO DEVE SER MANTIDO FORA DO ALCANCE DAS CRIANÇAS.**

**Ingestão concomitante com outras substâncias**  
Se estiver tomando regularmente qualquer outro remédio, em especial anticoncepcional oral, avise o médico. O anticoncepcional deve ser suspenso.  
Laxantes suaves não reduzem a segurança anticoncepcional. Porém, quando ocorrerem vômitos intensos ou problemas intestinais com diarreia, não se pode ter certeza de que os componentes ativos foram absorvidos e exerceram sua ação, sendo portanto duvidosa a segurança anticoncepcional durante o ciclo em curso. Em tais casos recomenda-se adicionalmente métodos anticoncepcionais não-hormonais com exceção dos métodos de ritmo (Ogino-Knaus) e da temperatura, sem deixar de tomar os comprimidos.

**Contra-indicações e Precauções**  
O uso de Seleene® é contra-indicado, nos seguintes casos: Amamentação; gravidez; coqueluche acentuada durante gravidez anterior; formação ou deslocamento de coágulos nas veias e artérias (p. ex.: "derrame", infarto de miocárdio); diabetes grave; câncer ginecológico ou de mama tratado ou atual; icterícia; tumores de fígado, atuais ou já tratados; distúrbios do metabolismo das gorduras; dificuldade de audição. O produto não está indicado para pacientes do sexo masculino.  
*O que fazer frente a sangramentos vaginais:* a ocorrência de sangramentos vaginais durante as três semanas de uso do produto, não é motivo para interromper o tratamento. Um sangramento ligeiro pode desaparecer por si só. Se o sangramento tiver uma intensidade semelhante à da menstruação normal, o médico deve ser avisado.  
*O que fazer frente à ausência de sangramento menstrual:* se excepcionalmente não ocorrer sangramento durante os sete dias de descanso consulte o médico antes de iniciar a cartela seguinte.  
*Esquecimento de um comprimido:* o esquecimento de um comprimido pode ser corrigido tomando-o dentro das 12 horas seguintes à hora da tomada habitual. Se, ao notar o esquecimento, já houver transcorrido mais de 12 horas, assim como no caso de aparecimento de vômitos ou diarreia, o efeito anticoncepcional durante o ciclo em questão pode estar comprometido. Para evitar uma possível gravidez, que obrigaria a suspender o tratamento com SELENE®, deve-se empregar adicionalmente algum método anticoncepcional não-hormonal, com exceção dos métodos de ritmo (Ogino-Knaus) e da temperatura. Deve-se continuar tomando os comprimidos diários de SELENE® - com exceção da esquecida - até acabar a embalagem. Com isto evita-se a ocorrência prematura de sangramento por privação hormonal. Normalmente ocorre sangramento durante a semana de pausa após os 21 comprimidos. Se não ocorrer sangramento após o ciclo de tomada irregular, é preciso consultar o médico antes de reiniciar o tratamento. Ao suspender o uso de SELENE®, recupera-se em geral, a função normal dos ovários, assim como a capacidade de engravidar. Somente observa-se que o primeiro ciclo sem tratamento pode durar uma semana a mais do que o habitual. No entanto, se em 2 a 3 meses não se estabelecer um ciclo normal, a causa desta irregularidade deve ser investigada. Informe ao médico se é diabética, tem pressão alta, varizes, epilepsia, tendência a diabetes, ou história anterior de inflamações das veias das pernas. Informe também se teve ou tem alguma das doenças indicadas como contra-indicações, já que nestes casos não deve ser tomado o medicamento. Em caso de dúvida, consulte o médico. Informe ao seu médico sobre qualquer medicamento que esteja usando, antes do início ou durante o tratamento.

**Observações especiais:**  
Pacientes com intenso consumo de cigarro, idade mais avançada e que usaram anticoncepcional oral combinado por vários anos e que estejam tomando SELENE®, podem ter maior risco de presença de coágulo. Muito raramente se observaram alterações no fígado sob emprego prolongado de substâncias hormonais, como as do produto, que obrigaram a suspensão da sua administração. Por isso, deve-se informar o médico se surgirem dores não-habituais na região do estômago e fígado que não cessem por si só dentro de pouco tempo.

**NÃO TOME REMÉDIO SEM O CONHECIMENTO DO SEU MÉDICO. PODE SER PERIGOSO PARA A SAÚDE.**

---

**INFORMAÇÕES TÉCNICAS**

**CARACTERÍSTICAS**  
**Modo de ação**  
O produto é constituído de uma associação do hormônio estrogênico

Figura A1.2. Bula do anticoncepcional que foi adicionado aos leitos cultivados (verso).

**Etinilestradiol e do progestogênio Acetato de Ciproterona, que quimicamente são assim denominados: (17a)- 19- Norpregna-1,3,5 (10)- trien-20-yne-3, 17-diol** e acetato de 6-cloro, 1b, 2b, dihidro-17a dihidroxil-3 H ciclopropa [1,2]-pregna 1, 4, 6 triene 3,20 dione, respectivamente. O acetato de ciproterona inibe a ação de andrógenos, possibilitando assim o tratamento de doenças causadas por produção excessiva de andrógenos ou uma sensibilidade maior da paciente a estes hormônios. O acetato de ciproterona associado a um estrogênio complementa o tratamento de distúrbios androgênicos.

**INDICAÇÕES**  
Tratamento das manifestações androgênicas da mulher, como por exemplo acne, particularmente as formas acentuadas e aquelas acompanhadas de seborréia, inflamações ou nódulos (acne papulopustulosa, acne nódulocística), alopecia androgênica, casos leves de hirsutismo. Se o hirsutismo surgiu recentemente ou intensificou-se consideravelmente nos últimos tempos, é necessário que suas causas sejam esclarecidas. Durante o tratamento com SELENE® diminui a secreção excessiva das glândulas sebáceas, um dos fatores determinantes da acne e da seborréia. Com isso consegue-se, geralmente após 3 - 4 meses, êxito no tratamento das lesões acnéicas e impede-se a formação de outras novas. O excesso de gordura na pele e no cabelo geralmente desaparece antes. A queda de cabelo que freqüentemente acompanha a seborréia também é diminuída. SELENE® também está indicado no tratamento dos casos leves de hirsutismo, especialmente o facial leve. Nesta indicação a duração do tratamento é de vários meses. O acetato de ciproterona, apesar do efeito antiandrógeno descrito, possui um marcante efeito progestogênico; por isto administrado isoladamente ocasiona distúrbios de ciclo menstrual que todavia não ocorrem durante o tratamento com SELENE®, graças a associação do acetato de ciproterona com o etinilestradiol. Durante o tratamento com o SELENE® é inibida a ovulação, impedindo-se assim uma possível gravidez. Portanto não é necessário o emprego simultâneo de contraceptivos hormonais ou de outro tipo.

**DURAÇÃO DO TRATAMENTO**  
Depende da gravidade do quadro clínico; em geral é de vários meses. Após a remissão dos sintomas, recomenda-se prolongar o tratamento durante pelo menos 3 - 4 ciclos. Se após várias semanas ou meses após o final do tratamento ocorrerem recidivas, não há inconveniente em administrar SELENE® novamente.

**CONTRA-INDICAÇÕES**  
GRAVIDEZ; PERÍODO DE LACTAÇÃO; ALTERAÇÕES GRAVES DA FUNÇÃO HEPÁTICA; ANTECEDENTES DE ICTERICIA IDIOPÁTICA GRAVIDICA E PRURIDO GESTACIONAL GRAVE; SÍNDROME DE DUBIN-JOHNSON E DE ROTOR; TUMORES HEPÁTICOS (ATUAIS OU JÁ TRATADOS); PROCESSOS TROMBOEMBÓLICOS OU ANTECEDENTES DOS MESMOS (R. EX.: ACIDENTE VASCULAR CEREBRAL, INFARTO DO MIOCÁRDIO); ANEMIA FALCIFORME; CARCINOMA DE MAMA OU DE ENDOMETRIO TRATADOS OU ATUAIS; DIABETES GRAVE COM ALTERAÇÕES VASCULARES; ALTERAÇÕES DO METABOLISMO LÍPIDICO; ANTECEDENTES DE HERPES GRAVIDICO; OTOSCLEROSE AGRAVADA DURANTE GESTAÇÕES PRECEDENTES. O PRODUTO NÃO ESTÁ INDICADO PARA PACIENTES DO SEXO MASCULINO.

**PRECAUÇÕES E ADVERTÊNCIAS**  
COMPORTEAMENTO ANTE SANGRAMENTOS VAGINAIS: A OCORRÊNCIA DE PEQUENOS SANGRAMENTOS VAGINAIS OU MANCHAS DE SANGUE ("SPOTTING") DURANTE AS TRÊS SEMANAS DE USO DO PRODUTO, NÃO É

MOTIVO PARA INTERROMPER O TRATAMENTO. UM LIGEIRO SANGRAMENTO PODE DESAPARECER POR SI SÓ; CASO O SANGRAMENTO TENHA INTENSIDADE SEMELHANTE À MENSTRUAÇÃO NORMAL, A CAUSA DEVE SER INVESTIGADA. COMPORTEAMENTO ANTE A AUSÊNCIA DE SANGRAMENTO MENSTRUAL: SE EXCEPCIONALMENTE NÃO OCORRER SANGRAMENTO DURANTE OS SETE DIAS DE DESCANSO, O TRATAMENTO NÃO DEVE SER CONTINUADO ATÉ QUE SEJA EXCLUÍDA A POSSIBILIDADE DE GRAVIDEZ. ESQUECIMENTO DE UM COMPRIMIDO: O ESQUECIMENTO DE UM COMPRIMIDO PODE SER CORRIGIDO TOMANDO-O DENTRO DAS 12 HORAS SEGUINTE À HORA DA TOMADA HABITUAL. SE AO NOTAR O ESQUECIMENTO, JÁ HOUVER TRANSCORRIDO MAIS DE 12 HORAS, A PACIENTE DEVE CONTINUAR TOMANDO OS COMPRIMIDOS RESTANTES EXCLUINDO O COMPRIMIDO NÃO TOMADO POR ESQUECIMENTO. NORMALMENTE OCORRE SANGRAMENTO DURANTE A SEMANA DE PAUSA APÓS 21 COMPRIMIDOS. SE NÃO OCORRER SANGRAMENTO APÓS UM CICLO DE TOMADA IRREGULAR, A POSSIBILIDADE DE GRAVIDEZ DEVE SER EXCLUÍDA. ERROS NA ADMINISTRAÇÃO, VÔMITOS OU DISTÚRBIOS INTESTINAIS COMO DIARREIA, ALTERAÇÕES METABÓLICAS INDIVIDUAIS MUITO POUCO FREQUENTES OU A ADMINISTRAÇÃO SIMULTÂNEA PROLONGADA DE DETERMINADOS MEDICAMENTOS COMO BARBITÚRICOS, FENILBUTAZONA, HIDANTOÍNA, RIFAMPICINA, AMPICILINA, PODEM INFLUIR DESFAVORAVELMENTE SOBRE A EFICÁCIA CONTRACEPTIVA (PRIMEIROS SINTOMAS POSSÍVEIS: SANGRAMENTOS INTERMEDIÁRIOS). NESTES CASOS DEVE-SE EMPREGAR ADICIONALMENTE OUTROS MÉTODOS CONTRACEPTIVOS. DEVE HAVER CUIDADOSA VIGILÂNCIA SE A PACIENTE APRESENTAR: DIABETES, HIPERTENSÃO, VARIZES, OTOSCLEROSE, ESCLEROSE MÚLTIPLA, EPILEPSIA, PORFÍRIA, TETANIA, CHOREA MINOR, ANTECEDENTES DE FLEBITE OU TENDÊNCIA A DIABETES. SE A PACIENTE QUEIXAR-SE DE CEFALÉIA SEMELHANTE A ENXAQUECA OU HOUVER AUMENTO DA FREQUÊNCIA DE CEFALÉIAS DE INTENSIDADE NÃO-HABITUAL, BEM COMO DISTÚRBIOS REPENTINOS DA PERCEPÇÃO (VISÃO, AUDIÇÃO, ETC.), SINAIS INICIAIS DE TROMBOFLEBITES OU TROMBOEMBÓLIAS (EDEMAS OU DORES NÃO-HABITUAIS NAS PERNAS, DOR AO RESPIRAR OU TOSSE DE ORIGEM DESCONHECIDA); SENSAÇÃO DE DOR E CONSTRIÇÃO DO TÓRAX, A MEDICAÇÃO DEVE SER SUSPensa. TAMBÉM EM CASOS DE INTERVENÇÕES PLANEJADAS (6 SEMANAS ANTES DA DATA PREVISTA) OU IMOBILIDADE FORÇADA (ACIDENTES, ETC.) A MEDICAÇÃO DEVE SER SUSPensa IMEDIATAMENTE. EM TODOS ESTES CASOS PODE EXISTIR RISCO MAIOR DE TROMBOSE. OUTROS MOTIVOS PARA SUSPENDER A MEDICAÇÃO: APARECIMENTO DE ICTERICIA, HEPATITE, PRURIDO GENERALIZADO, AUMENTO DA FREQUÊNCIA DOS ATAQUES EPILEPTICOS, AUMENTO CONSIDERÁVEL DA PRESSÃO ARTERIAL, GRAVIDEZ. CASO O MEDICAMENTO TENHA SIDO USADO DURANTE A GRAVIDEZ, DEVE-SE OBSERVAR ATENTAMENTE OS FETOS MASCULINOS DEVIDO À POSSIBILIDADE DE FEMINIZAÇÃO DOS MESMOS PELA SUPRESSÃO ANDROGÊNICA.

**OBSERVAÇÕES ESPECIAIS**  
SEGUNDO AS MAIS RECENTES INFORMAÇÕES, NÃO SE PODE EXCLUIR QUE A ADMINISTRAÇÃO DE ASSOCIAÇÕES ESTRÓGENO-PROGESTOGÊNICAS HORMONAIS NÃO ESTEJA ASSOCIADA A AUMENTO DE RISCO DE DOENÇAS TROMBOEMBÓLICAS VENOSAS E ARTERIAIS. COM RELAÇÃO A TROMBOSE ARTERIAL (P. EX.: APOPLEXIA, INFARTO DE MIOCÁRDIO) PARECE AUMENTAR O RISCO RELATIVO QUANDO, CONCOMITANTEMENTE EXISTEM OUTROS FATORES, TAIS COMO INTENSO CONSUMO DE CIGARRO, IDADE MAIS AVANÇADA E USO DE CONTRACEPTIVOS ORAIS COMBINADOS POR VÁRIOS ANOS. MUITO RARAMENTE SE OBSERVAM ALTERAÇÕES HEPÁTICAS SOB EMPREGO

PROLONGADO DE SUBSTÂNCIAS HORMONAIS, COMO AS DO PRODUTO, QUE OBRIGUEM À SUSPENSÃO DA SUA ADMINISTRAÇÃO. POR ISSO SE SURGIREM DORES NÃO-HABITUAIS NA REGIÃO EPIGÁSTRICA, QUE NÃO CESSEM POR SI SÓ DENTRO DE POUCO TEMPO, DEVE SER EXCLUÍDA A EXISTÊNCIA DE HEPATOPATIA.

**INTERAÇÕES MEDICAMENTOSAS**  
SE A PACIENTE ESTIVER TOMANDO REGULARMENTE OUTROS MEDICAMENTOS COMO BARBITÚRICOS, FENILBUTAZONA, HIDANTOÍNA, RIFAMPICINA, AMPICILINA, A EFICÁCIA DE SELENE® PODE SER REDUZIDA. TAMBÉM PODEM MODIFICAR-SE AS NECESSIDADES DE ANTIDIABÉTICOS OU INSULINA. LAXANTES SUAVES NÃO REDUZEM A SEGURANÇA CONTRACEPTIVA.

**REAÇÕES ADVERSAS**  
EM CASOS ISOLADOS, O TRATAMENTO PODE CAUSAR CEFALÉIAS, DISTÚRBIOS GÁSTRICOS, NÁUSEAS, TENSÃO MAMÁRIA, VARIAÇÕES DE PESO, ALTERAÇÕES DA LIBIDO E DO HUMOR. APÓS TRATAMENTOS PROLONGADOS APARECEM, ÀS VEZES, EM MULHERES PREDISPOSTAS, PIGMENTAÇÕES (CLOASMA) NO ROSTO, QUE FICAM MAIS VISÍVEIS APÓS EXPOSIÇÃO AO SOL. POR ISSO RECOMENDA-SE A MULHERES PREDISPOSTAS QUE NÃO SE EXPONHAM DURANTE MUITO TEMPO AOS RAIOS SOLARES. EM CASOS ISOLADOS, OBSERVOU-SE UMA DIMINUIÇÃO DA TOLERÂNCIA A LENTES DE CONTATO.

**POSOLOGIA**  
Antes de iniciar o tratamento deve ser feito exame geral detalhado, minuciosa exploração ginecológica, incluindo as mamas, e deve ser afastada a possibilidade de gravidez. Durante tratamentos prolongados a paciente deve ser submetida a exames de controle a cada 6 meses aproximadamente. Um comprimido ao dia, de preferência após o café da manhã ou o jantar, iniciando no primeiro dia do ciclo (primeiro dia de sangramento - primeiro dia do ciclo). Nos ciclos subseqüentes, deverá ser observado um intervalo de 7 dias entre o último comprimido do ciclo e o primeiro comprimido do ciclo que se inicia.

**SUPERDOSAGEM**  
A superdosagem pode causar náuseas; algumas mulheres podem apresentar sangramento vaginal por supressão. Devem-se utilizar procedimentos gerais de lavagem gástrica e tratamento geral de suporte.

**VENDA SOB PRESCRIÇÃO MÉDICA.**  
N.º de lote, data de fabricação e prazo de validade: VIDE CARTUCHO.  
Para sua segurança, mantenha esta embalagem até o uso total do medicamento.  
MS - 1.0043.0598  
Farm. Resp.: Dra. Sônia Albano Badaró - CRF-SP 19.258



**EUROFARMA LABORATÓRIOS LTDA.**  
Av. Ver. José Diniz, 3.465  
São Paulo - SP  
CNPJ 61.190.096/0001-92  
Indústria Brasileira



**Eurofarma**  
0800-704-3376  
eurofarm@eurofarma.com.br  
www.eurofarma.com.br

209074-01 (A) L 10

## ANEXO II

Tabela A2. 1. Dados obtidos no LC na escala horária durante o período monitorado (1/3).

Leito Cultivado Controle - LCC (1 de 5)								
Hora	pH		OD (mg/L)		Temperatura (°C)		Q (L/h)	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
<b>19/08/13 - Segunda-feira</b>								
11h00	8,0	7,1	2,3	2,4	19,0	19,0	48,6	25,2
12h00	8,0	7,1	1,2	1,8	21,0	20,0	52,2	32,4
13h00	8,2	7,1	1,9	1,6	22,0	21,0	44,1	32,4
14h00	8,2	7,2	1,5	1,5	22,0	21,0	54,9	32,4
15h00	8,2	7,2	1,0	1,5	22,0	21,6	61,2	33,3
16h00	8,4	7,1	1,4	1,1	22,0	22,0	52,2	34,2
<b>Média</b>	8,2	7,1	1,6	1,6	21,3	20,8	52,2	31,7
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,0	0,5	0,4	1,2	1,1	5,8	3,2
<b>20/08/13 - Terça-feira</b>								
8h00	8,5	7,3	1,3	1,9	20,4	20,4	47,7	22,5
10h00	8,5	7,2	1,2	1,5	21,4	21,4	44,1	29,7
12h00	8,5	7,2	0,8	1,5	22,7	21,7	47,7	33,3
14h00	8,5	7,2	0,4	0,9	23,4	23,6	48,6	40,5
16h00	8,6	7,3	0,8	1,0	23,4	23,9	132,3	72,0
<b>Média</b>	8,5	7,2	0,9	1,4	22,3	22,2	53,4	33,0
<b>Desvio padrão</b>	0,0	0,1	0,4	0,4	1,3	1,5	38,2	19,2
<b>21/08/13 - Quarta-feira</b>								
10h00	8,5	7,3	1,4	1,3	21,5	21,3	65,7	52,2
12h00	8,4	7,4	1,5	1,0	22,9	23,8	130,5	54,0
14h00	8,4	7,4	1,6	1,2	23,8	23,8	69,3	55,8
16h00	8,4	7,4	0,9	0,7	24,8	25,1	57,6	56,7
<b>Média</b>	8,4	7,4	1,3	1,1	22,7	23,5	80,8	54,7
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,0	0,3	0,2	1,4	1,6	33,5	2,0
<b>22/08/13 - Quinta-feira</b>								
8h00	8,0	7,2	2,7	2,0	21,7	22,0	77,4	18,0
10h00	8,0	7,3	1,2	1,5	24,3	23,8	57,6	28,8
12h00	8,0	7,2	0,7	1,0	25,1	24,9	49,5	31,5
14h00	8,3	7,3	0,8	1,7	25,5	24,4	88,2	44,1
16h00	8,4	7,3	1,8	2,3	25,8	24,6	88,2	54,0
<b>Média</b>	8,1	7,2	1,5	1,7	24,5	23,9	72,2	35,3
<b>Desvio padrão</b>	0,2	0,0	0,8	0,5	1,7	1,2	17,8	14,0
<b>23/08/13 - Sexta-feira</b>								
8h00	8,0	7,2	2,2	2,3	22,5	22,4	48,6	15,3
10h00	8,0	7,2	3,1	2,0	24,3	24,2	36,0	32,4
12h00	7,9	7,1	2,2	2,1	26,0	24,5	85,5	37,8
14h00	7,9	7,2	2,3	1,7	26,1	25,2	76,5	45,0
16h00	7,9	7,3	4,9	4,9	25,4	25,0	57,6	48,6
<b>Média</b>	7,9	7,2	2,9	2,6	24,9	24,3	60,8	35,8
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,0	1,2	1,3	1,5	1,1	20,2	13,1

Leito Cultivado Controle - LCC (2 de 5)								
Hora	pH		OD (mg/L)		Temperatura (°C)		Q (L/h)	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
<b>26/08/13 - Segunda-feira</b>								
10h00	7,6	7,2	2,6	1,8	23,7	23,0	40,5	18,0
12h00	7,6	7,2	3,0	1,8	23,9	23,1	63,0	31,5
14h00	7,6	7,2	2,4	1,8	24,4	23,8	37,8	34,2
16h00	7,7	7,2	2,9	2,8	24,2	23,4	72,0	36,0
<b>Média</b>	7,6	7,2	2,7	2,1	24,1	23,3	53,3	29,9
<b>Desvio padrão</b>	0,0	0,0	0,2	0,5	0,3	0,4	16,8	8,2
<b>27/08/13 - Terça-feira</b>								
8h00	7,8	7,3	2,7	2,7	18,3	18,3	63,0	17,1
10h00	7,9	7,3	8,0	8,2	18,4	18,6	58,5	27,9
12h00	8,0	7,4	13,7	14,6	18,1	18,4	54,9	35,1
<b>Média</b>	7,9	7,3	8,1	8,5	18,3	18,4	58,8	26,7
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,0	5,5	6,0	0,2	0,2	4,1	9,1
<b>29/08/13 - Quinta-feira</b>								
8h00	8,1	7,2	4,3	4,3	16,8	18,0	63,0	17,1
10h00	8,2	7,4	13,1	11,8	18,7	18,9	58,5	28,8
12h00	8,2	7,2	0,3	1,3	20,4	20,1	54,9	31,5
14h00	8,2	7,4	0,3	0,8	20,4	20,5	54,0	36,0
16h00	8,3	7,4	0,1	0,6	23,1	21,6	50,4	40,5
<b>Média</b>	8,2	7,3	3,6	3,8	19,9	19,8	56,2	30,8
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,1	5,6	4,7	2,3	1,4	4,8	8,9
<b>30/08/13 - Sexta-feira</b>								
8h00	8,2	7,3	1,1	0,9	20,0	20,5	36,9	16,2
10h00	8,2	7,4	0,6	0,6	20,9	20,8	56,7	24,3
12h00	8,2	7,4	0,5	1,0	22,7	21,6	48,6	30,6
14h00	8,1	7,4	0,5	0,4	23,5	22,7	45,0	34,2
16h00	8,1	7,4	0,5	0,7	25,2	23,9	37,8	36,0
<b>Média</b>	8,1	7,4	0,6	0,7	22,5	21,9	45,0	28,3
<b>Desvio padrão</b>	0,0	0,0	0,3	0,2	2,1	1,4	8,2	8,1
<b>09/09/13 - Segunda-feira</b>								
10h00	7,9	7,2	2,9	2,5	25,8	25,4	37,8	35,1
12h00	7,7	7,2	2,4	1,1	27,4	27,3	36,9	29,7
14h00	7,8	7,1	0,2	1,3	29,3	29,8	117,9	101,7
16h00	8,0	7,2	0,2	0,9	27,8	28,2	27,9	27,9
<b>Média</b>	7,8	7,2	1,4	1,5	27,6	27,7	55,1	48,6
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,1	1,4	0,7	1,4	1,8	42,1	35,5

Tabela A2. 2. Dados obtidos no LC na escala horária durante o período monitorado (2/3).

Leito Cultivado Controle - LCC (3 de 5)								
Hora	pH		OD (mg/L)		Temperatura (°C)		Q (L/h)	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
<b>10/09/13 - Terça-feira</b>								
8h00	8,3	7,4	0,6	1,6	23,4	23,0	63,0	51,3
10h00	8,3	7,4	0,4	0,9	25,4	24,6	45,9	45,0
12h00	8,3	7,4	0,2	0,9	27,5	27,8	36,9	36,0
14h00	8,4	7,5	0,2	0,4	27,5	29,0	62,1	60,3
16h00	8,5	7,4	0,1	0,4	28,0	28,3	39,6	39,6
<b>Média</b>	8,4	7,4	0,3	0,8	26,4	26,5	49,5	46,4
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,0	0,2	0,5	1,9	2,6	12,4	9,7
<b>11/09/13 - Quarta-feira</b>								
8h00	8,2	7,3	1,0	1,2	23,1	23,1	62,1	57,6
10h00	8,3	7,4	0,2	1,3	26,4	25,4	25,2	25,2
12h00	8,2	7,4	0,3	1,0	27,9	27,9	43,2	43,2
14h00	8,3	7,4	0,2	1,3	27,4	28,4	54,9	54,0
16h00	8,4	7,4	0,1	0,6	27,8	28,7	40,5	40,5
<b>Média</b>	8,3	7,4	0,3	1,1	26,5	26,7	45,2	44,1
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,0	0,4	0,3	2,0	2,4	14,2	12,8
<b>12/09/13 - Quinta-feira</b>								
8h00	8,1	7,3	1,0	1,4	24,6	23,5	36,9	34,2
10h00	8,0	7,3	0,6	1,2	24,4	24,2	41,4	28,8
12h00	8,0	7,4	0,2	0,9	26,8	27,7	37,8	34,2
14h00	8,1	7,4	0,2	0,3	27,9	29,1	45,0	45,0
<b>Média</b>	8,1	7,3	0,5	0,9	25,9	26,1	40,3	35,6
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,1	0,4	0,5	1,7	2,7	3,7	6,8
<b>13/09/13 - Sexta-feira</b>								
10h00	8,3	7,5	0,2	1,1	26,8	26,6	25,2	24,3
12h00	8,2	7,4	0,1	0,7	27,4	28,3	44,1	41,4
14h00	8,3	7,5	0,2	0,4	28,8	30,9	45,0	39,6
16h00	8,3	7,4	0,2	0,6	29,1	30,6	45,0	44,1
<b>Média</b>	8,3	7,4	0,2	0,7	28,0	29,1	39,8	37,4
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,1	0,0	0,3	1,1	2,0	9,8	8,9
<b>16/9/13 - Segunda-feira</b>								
10h00	7,8	7,3	3,4	2,2	27,6	26,7	38,7	34,2
12h00	7,8	7,1	2,8	1,0	29,3	29,7	74,7	45,0
14h00	7,9	7,3	2,3	1,2	27,3	28,1	46,8	41,4
16h00	8,0	7,4	2,3	1,2	26,8	27,0	36,0	36,0
<b>Média</b>	7,9	7,3	2,7	1,4	27,8	27,9	49,1	39,2
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,1	0,5	0,6	1,1	1,4	17,7	5,0

Leito Cultivado Controle - LCC (4 de 5)								
Hora	pH		OD (mg/L)		Temperatura (°C)		Q (L/h)	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
<b>17/09/13 - Terça-feira</b>								
8h00	8,2	7,7	0,2	1,4	23,7	22,6	48,6	27,9
10h00	7,9	7,5	1,8	1,2	22,6	22,5	45,0	35,1
14h00	8,3	7,6	2,9	1,1	22,5	22,7	45,0	22,5
16h00	8,5	7,6	2,3	1,0	22,5	22,2	40,5	32,4
<b>Média</b>	8,2	7,6	1,8	1,2	22,8	22,5	44,8	29,5
<b>Desvio padrão</b>	0,2	0,1	1,2	0,2	0,6	0,2	3,3	5,5
<b>18/09/13 - Quarta-feira</b>								
8h00	8,2	7,4	0,5	1,3	22,3	21,0	61,2	44,1
10h00	8,2	7,5	1,8	0,9	24,4	25,2	38,7	34,2
12h00	8,4	7,5	2,1	0,8	24,6	25,1	40,5	39,6
14h00	8,6	7,4	0,2	0,6	24,1	24,1	53,1	52,2
16h00	8,6	7,5	0,2	0,6	23,9	23,8	36,9	36,0
<b>Média</b>	8,4	7,4	0,9	0,9	23,9	23,8	46,1	41,2
<b>Desvio padrão</b>	0,2	0,0	0,9	0,3	0,9	1,7	10,6	7,2
<b>19/09/13 - Quinta-feira</b>								
10h00	8,0	7,4	0,2	0,6	25,1	25,1	40,5	35,1
12h00	8,4	7,5	0,9	0,9	26,6	26,1	43,2	42,3
14h00	8,7	7,5	0,2	0,2	27,3	23,5	46,8	43,2
16h00	8,8	7,7	0,2	0,1	26,8	27,4	39,6	38,7
<b>Média</b>	8,5	7,5	0,4	0,5	26,5	25,5	42,5	39,8
<b>Desvio padrão</b>	0,4	0,1	0,4	0,3	0,9	1,6	3,2	3,7
<b>20/09/13 - Sexta-feira</b>								
8h00	8,2	7,3	0,3	0,9	24,8	24,6	58,5	36,9
10h00	8,2	7,3	0,2	1,2	24,3	24,5	58,5	46,8
12h00	8,3	7,4	0,1	0,3	26,2	27,0	42,3	30,6
14h00	8,5	7,4	0,2	0,2	26,8	26,7	27,9	27,0
16h00	8,4	7,4	0,1	0,3	26,6	27,3	52,2	36,0
<b>Média</b>	8,3	7,4	0,2	0,6	25,7	26,0	47,9	35,5
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,1	0,1	0,5	1,1	1,4	13,0	7,5
<b>23/09/13 - Segunda-feira</b>								
8h00	7,8	7,2	2,7	1,8	25,5	24,9	46,8	34,2
10h00	7,9	7,2	3,4	1,5	25,0	24,7	67,5	26,1
12h00	7,8	7,2	1,5	0,7	26,1	26,5	82,8	46,8
14h00	7,7	7,1	0,3	0,8	25,4	25,7	52,2	45,0
16h00	7,9	7,3	0,3	0,7	25,9	26,2	55,8	50,4
<b>Média</b>	7,8	7,2	1,6	1,1	25,6	25,6	61,0	40,5
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,1	1,4	0,5	0,4	0,8	14,3	10,1

Tabela A2. 3. Dados obtidos no LC na escala horária durante o período monitorado (3/3).

Leito Cultivado Controle - LCC (5 de 5)								
Hora	pH		OD (mg/L)		Temperatura (°C)		Q (L/h)	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
<b>24/09/13 - Terça-feira</b>								
8h00	8,1	7,3	0,2	1,1	22,6	22,5	58,5	58,5
10h00	8,1	7,3	0,1	0,9	23,6	23,1	56,7	55,8
12h00	8,1	7,4	0,9	0,9	24,1	24,0	77,4	39,6
14h00	8,1	7,5	1,4	1,1	23,2	24,1	77,4	36,0
16h00	8,1	7,5	2,0	0,9	23,1	23,0	54,0	49,5
<b>Média</b>	8,1	7,4	0,9	1,0	23,3	23,3	64,8	47,9
<b>Desvio padrão</b>	0,0	0,1	0,8	0,1	0,6	0,7	11,6	9,8
<b>25/09/13 - Quarta-feira</b>								
8h00	8,0	7,3	2,3	1,3	22,3	21,9	45,9	45,0
10h00	8,0	7,3	1,4	1,1	21,7	22,1	45,0	44,1
12h00	8,1	7,5	2,5	1,0	23,5	24,7	42,3	36,9
14h00	8,1	7,5	1,8	1,0	26,1	25,5	26,1	26,1
16h00	7,8	7,5	0,2	0,8	25,6	24,5	43,2	29,7
<b>Média</b>	8,0	7,4	1,6	1,0	23,8	23,7	40,5	36,4
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,1	0,9	0,2	2,0	1,6	8,2	8,4
<b>26/09/13 - Quinta-feira</b>								
10h00	8,0	7,4	1,9	1,7	21,7	22,1	90,0	83,7
12h00	8,1	7,7	0,3	0,4	22,8	24,2	192,6	94,5
14h00	7,6	7,5	0,1	0,1	24,3	24,0	46,8	25,2
16h00	8,4	7,5	0,1	0,7	24,3	24,4	50,4	31,5
<b>Média</b>	8,0	7,5	0,6	0,7	23,3	23,7	95,0	58,7
<b>Desvio padrão</b>	0,4	0,1	0,9	0,7	1,3	1,1	68,0	35,4
<b>27/09/13 - Sexta-feira</b>								
8h00	8,3	7,4	1,2	1,7	19,3	18,5	39,6	36,0
10h00	8,1	7,4	0,7	1,0	23,6	23,2	46,8	45,0
12h00	8,0	7,5	0,1	0,4	25,2	24,2	39,6	38,7
14h00	8,3	7,4	0,1	1,1	27,4	27,3	48,6	32,4
16h00	8,3	7,4	0,1	0,3	26,4	26,5	30,6	30,6
<b>Média</b>	8,2	7,4	0,5	0,9	24,4	23,9	41,0	36,5
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,0	0,5	0,6	3,2	3,5	7,1	5,7

Tabela A2. 4. Dados obtidos no LCA1 na escala horária durante o período monitorado (1/3).

Leito Cultivado Aguapé 1 - LCA1 (1 de 5)								
Hora	pH		OD (mg/L)		Temperatura (°C)		Q (L/h)	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
<b>19/08/13 - Segunda-feira</b>								
11h00	8,0	7,4	2,3	2,3	20,0	19,0	82,8	58,5
12h00	8,0	7,3	1,6	1,8	21,1	20,7	44,1	36,0
13h00	8,2	7,4	1,3	1,8	22,1	19,0	50,4	46,8
14h00	8,2	7,4	1,6	1,3	21,8	19,7	53,1	45,9
15h00	8,2	7,4	1,1	1,7	22,8	21,1	53,1	47,7
16h00	8,4	7,4	1,3	1,5	22,1	20,7	46,8	45,0
<b>Média</b>	8,1	7,4	1,5	1,7	21,7	20,0	47,2	40,0
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,0	0,4	0,3	1,0	0,9	14,1	7,2
<b>20/08/13 - Terça-feira</b>								
8h00	8,5	7,4	0,9	1,6	21,0	20,6	30,6	29,7
10h00	8,5	7,4	1,5	1,8	21,5	21,4	52,2	48,6
12h00	8,5	7,4	1,0	1,6	22,3	21,2	47,7	45,0
14h00	8,5	7,4	0,4	1,4	23,4	22,3	52,2	49,5
16h00	8,6	7,4	1,3	1,3	21,6	21,9	103,5	97,2
<b>Média</b>	8,5	7,4	1,0	1,5	22,0	21,5	47,7	45,0
<b>Desvio padrão</b>	0,0	0,0	0,4	0,2	0,9	0,7	27,3	25,4
<b>21/08/13 - Quarta-feira</b>								
10h00	8,5	7,5	0,8	1,3	22,0	21,2	92,7	79,2
12h00	8,3	7,5	0,5	1,3	24,9	23,7	27,0	23,4
14h00	8,4	7,4	0,6	1,5	25,0	22,8	43,2	41,4
16h00	8,4	7,5	0,6	1,5	24,8	23,5	78,3	73,8
<b>Média</b>	8,4	7,5	0,6	1,4	24,0	22,8	60,3	54,5
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,1	0,1	0,1	1,5	1,1	30,4	26,6
<b>22/08/13 - Quinta-feira</b>								
8h00	8,1	7,5	2,1	1,9	22,1	21,5	46,8	35,1
10h00	8,0	7,4	0,6	2,0	24,6	23,3	44,1	43,2
12h00	8,0	7,2	1,1	1,8	23,7	22,9	62,1	51,3
14h00	8,3	7,4	1,2	2,4	24,2	23,4	58,5	57,6
16h00	8,3	7,5	2,0	2,9	24,3	23,4	54,9	54,0
<b>Média</b>	8,1	7,4	1,4	2,2	23,8	22,9	44,4	40,2
<b>Desvio padrão</b>	0,2	0,1	0,6	0,5	1,0	0,8	7,6	9,1
<b>23/08/13 - Sexta-feira</b>								
8h00	8,0	7,4	2,1	2,8	22,7	22,2	36,0	31,5
10h00	8,0	7,3	1,7	3,3	24,3	23,7	53,1	49,5
12h00	8,0	7,3	3,3	3,4	26,1	24,2	34,2	15,3
14h00	7,9	7,4	2,5	2,8	26,9	24,6	40,5	38,7
16h00	7,9	7,4	4,9	1,5	25,3	23,8	77,4	74,7
<b>Média</b>	7,9	7,3	2,9	2,8	25,1	23,7	40,2	35,0
<b>Desvio padrão</b>	0,0	0,0	1,3	0,7	1,6	0,9	17,9	22,1

Leito Cultivado Aguapé 1 - LCA1 (2 de 5)								
Hora	pH		OD (mg/L)		Temperatura (°C)		Q (L/h)	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
<b>26/08/13 - Segunda-feira</b>								
10h00	7,7	7,4	2,7	2,9	23,6	22,5	36,0	35,1
12h00	7,6	7,3	2,5	3,5	24,1	22,7	36,9	36,0
14h00	7,6	7,4	2,6	2,2	23,9	22,9	54,9	54,0
16h00	7,6	7,4	2,7	2,2	24,2	23,6	52,2	51,3
<b>Média</b>	7,6	7,4	2,7	2,7	24,0	22,9	45,0	44,1
<b>Desvio padrão</b>	0,0	0,0	0,1	0,6	0,3	0,5	9,9	9,9
<b>27/08/13 - Terça-feira</b>								
8h00	7,8	7,5	4,0	5,9	18,6	18,6	40,5	37,8
10h00	7,9	7,5	8,3	11,3	18,3	18,2	71,1	63,9
12h00	8,0	7,4	14,8	13,7	18,2	18,2	69,3	69,3
<b>Média</b>	7,9	7,5	9,0	10,3	18,4	18,3	60,3	57,0
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,0	5,5	4,0	0,2	0,2	17,2	16,8
<b>29/08/13 - Quinta-feira</b>								
8h00	8,1	7,3	3,3	4,2	17,3	17,5	50,4	42,3
10h00	8,2	7,5	11,8	3,1	18,9	20,0	46,8	46,8
12h00	8,2	7,5	0,4	1,8	20,0	19,8	46,8	45,0
14h00	8,2	7,5	0,4	1,8	20,2	20,2	46,8	45,0
16h00	8,3	7,5	0,2	0,7	22,9	20,4	48,6	45,9
<b>Média</b>	8,2	7,4	3,2	2,3	19,9	19,6	39,9	37,5
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,1	5,0	1,4	2,1	1,2	1,6	1,7
<b>30/08/13 - Sexta-feira</b>								
8h00	8,2	7,4	0,6	1,3	20,3	20,2	60,3	56,7
10h00	8,2	7,5	0,7	1,3	21,4	20,2	27,9	26,1
12h00	8,1	7,5	0,4	1,3	23,1	20,6	50,4	49,5
14h00	8,1	7,4	0,2	0,9	24,8	21,4	44,1	40,5
16h00	8,1	7,5	0,2	1,4	25,0	22,6	34,2	34,2
<b>Média</b>	8,1	7,4	0,4	1,2	22,9	21,0	36,2	34,5
<b>Desvio padrão</b>	0,0	0,0	0,2	0,2	2,1	1,0	12,8	12,1
<b>09/09/13 - Segunda-feira</b>								
10h00	7,9	7,4	1,8	1,3	25,7	24,0	44,1	33,3
12h00	7,7	7,4	2,1	1,4	26,8	24,5	28,8	27,0
14h00	7,8	7,4	0,1	1,6	28,2	25,8	94,5	83,7
16h00	8,0	7,5	0,1	1,4	26,9	24,4	51,3	48,6
<b>Média</b>	7,9	7,4	1,0	1,4	26,9	24,7	36,5	32,1
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,0	1,1	0,1	1,0	0,8	28,2	25,4

Tabela A2. 5. Dados obtidos no LCA1 na escala horária durante o período monitorado (2/3).

Leito Cultivado Aguapé 1 - LCA1 (3 de 5)								
Hora	pH		OD (mg/L)		Temperatura (°C)		Q (L/h)	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
<b>10/09/13 - Terça-feira</b>								
8h00	8,3	7,6	0,4	1,5	23,3	22,8	46,8	37,8
10h00	8,3	7,6	0,1	0,6	24,8	23,0	40,5	36,0
12h00	8,3	7,6	0,1	0,9	27,0	23,6	36,0	32,4
14h00	8,4	7,6	0,1	0,4	27,0	24,5	55,8	52,2
16h00	8,5	7,5	0,1	0,4	27,0	24,8	54,0	52,2
<b>Média</b>	8,4	7,6	0,2	0,8	25,8	23,7	38,9	35,1
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,0	0,1	0,5	1,7	0,9	8,5	9,4
<b>11/09/13 - Quarta-feira</b>								
8h00	8,2	7,4	0,6	0,6	23,4	22,9	49,5	45,9
10h00	8,3	7,5	0,4	0,5	26,0	23,9	45,9	43,2
12h00	8,2	7,4	0,1	0,7	27,5	24,4	36,9	31,5
14h00	8,3	7,4	0,1	0,6	27,1	24,1	39,6	38,7
16h00	8,4	7,4	0,1	0,6	26,1	24,0	108,9	53,1
<b>Média</b>	8,3	7,4	0,3	0,6	26,0	23,9	46,8	35,4
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,0	0,2	0,1	1,6	0,6	29,9	8,1
<b>12/09/13 - Quinta-feira</b>								
8h00	8,1	7,3	0,9	1,3	24,4	23,3	42,3	40,5
10h00	8,1	7,4	0,1	1,4	24,9	23,7	39,6	36,9
12h00	8,0	7,4	0,1	0,9	26,6	24,1	27,9	27,0
14h00	8,1	7,4	0,1	0,5	27,4	25,7	69,3	63,9
16h00	8,2	7,3	0,4	0,9	27,7	25,2	53,1	48,6
<b>Média</b>	8,1	7,3	0,3	1,0	26,2	24,4	38,7	36,2
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,0	0,3	0,4	1,5	1,0	15,6	13,8
<b>13/09/13 - Sexta-feira</b>								
10h00	8,3	7,4	0,1	0,6	26,0	24,1	40,5	34,2
12h00	8,2	7,4	0,1	1,0	27,2	24,9	54,0	48,6
14h00	8,3	7,5	0,1	0,5	28,1	25,9	45,9	43,2
16h00	8,4	7,4	0,1	0,7	28,9	25,7	28,8	24,3
<b>Média</b>	8,3	7,4	0,1	0,7	27,6	25,2	42,3	37,6
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,0	0,0	0,2	1,2	0,8	10,6	10,7
<b>16/9/13 - Segunda-feira</b>								
10h00	7,8	7,4	2,7	1,8	28,0	25,8	50,4	21,6
12h00	7,9	7,4	2,1	1,6	28,8	25,8	56,7	51,3
14h00	7,9	7,4	1,3	1,1	27,0	24,7	73,8	70,2
16h00	7,9	7,6	1,0	0,9	26,4	24,8	41,4	38,7
<b>Média</b>	7,9	7,5	1,8	1,4	27,6	25,3	55,6	45,5
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,1	0,8	0,4	1,1	0,6	13,7	20,5

Leito Cultivado Aguapé 1 - LCA1 (4 de 5)								
Hora	pH		OD (mg/L)		Temperatura (°C)		Q (L/h)	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
<b>17/09/13 - Terça-feira</b>								
8h00	8,2	7,6	0,1	0,8	22,8	22,9	61,2	44,1
10h00	7,9	7,6	0,8	1,0	22,2	22,2	56,7	49,5
14h00	8,3	7,6	1,2	0,3	23,5	23,0	58,5	21,6
16h00	8,5	7,5	2,2	0,5	21,9	22,1	64,8	54,9
<b>Média</b>	8,2	7,6	1,1	0,6	22,6	22,6	60,3	42,5
<b>Desvio padrão</b>	0,2	0,0	0,9	0,3	0,7	0,5	3,5	14,6
<b>18/09/13 - Quarta-feira</b>								
8h00	8,2	7,4	1,5	0,8	22,3	22,6	79,2	66,6
10h00	8,2	7,4	0,5	0,6	24,4	23,6	31,5	29,7
12h00	8,4	7,5	0,6	0,7	25,0	24,0	62,1	60,3
14h00	8,6	7,4	0,2	0,6	24,1	24,0	61,2	58,5
16h00	8,6	7,4	0,2	0,5	23,8	23,5	50,4	49,5
<b>Média</b>	8,4	7,4	0,6	0,6	23,9	23,5	47,4	44,1
<b>Desvio padrão</b>	0,2	0,0	0,6	0,1	1,0	0,6	17,5	14,3
<b>19/09/13 - Quinta-feira</b>								
10h00	8,1	7,3	0,1	0,3	24,1	23,0	61,2	55,8
12h00	8,4	7,4	0,2	0,5	26,1	23,9	54,9	50,4
14h00	7,5	8,7	0,3	0,2	23,9	26,0	37,8	40,5
16h00	8,8	7,6	0,3	0,4	26,5	24,8	36,9	32,4
<b>Média</b>	8,2	7,8	0,2	0,4	25,2	24,4	47,7	44,8
<b>Desvio padrão</b>	0,6	0,6	0,1	0,1	1,3	1,3	12,2	10,4
<b>20/09/13 - Sexta-feira</b>								
8h00	8,2	7,3	0,2	1,0	24,5	24,5	46,8	44,1
10h00	8,3	7,3	0,1	0,6	24,4	24,4	47,7	41,4
12h00	8,3	7,3	0,1	0,8	27,0	25,5	43,2	42,3
14h00	8,5	7,3	0,1	0,4	27,3	25,2	33,3	27,0
16h00	8,4	7,4	0,2	0,4	26,5	25,4	43,2	39,6
<b>Média</b>	8,3	7,3	0,1	0,7	25,9	25,0	35,7	32,4
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,0	0,0	0,3	1,4	0,5	5,7	6,8
<b>23/09/13 - Segunda-feira</b>								
8h00	7,8	7,2	2,1	0,8	25,2	25,0	54,9	46,8
10h00	8,0	7,3	3,5	1,0	25,1	24,8	62,1	36,0
12h00	7,8	7,4	1,0	0,9	26,0	25,0	68,4	67,5
14h00	7,7	7,4	0,3	0,6	25,5	25,3	72,0	63,0
16h00	7,9	7,5	0,3	0,8	25,8	24,9	69,3	62,1
<b>Média</b>	7,8	7,3	1,4	0,8	25,5	25,0	54,5	45,9
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,1	1,3	0,2	0,4	0,2	6,9	13,2

Tabela A2. 6. Dados obtidos no LCA1 na escala horária durante o período monitorado (3/3).

Leito Cultivado Aguapé 1 - LCA1 (5 de 5)								
Hora	pH		OD (mg/L)		Temperatura (°C)		Q (L/h)	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
<b>24/09/13 - Terça-feira</b>								
8h00	8,1	7,4	0,4	0,5	22,7	22,7	76,5	69,3
10h00	8,1	7,4	0,2	0,6	22,8	22,8	148,5	81,9
12h00	8,1	7,4	0,7	0,6	23,6	23,1	39,6	38,7
14h00	8,1	7,4	0,1	0,8	23,4	22,9	81,0	35,1
16h00	8,1	7,4	1,1	0,6	22,7	22,9	49,5	46,8
<b>Média</b>	8,1	7,4	0,5	0,6	23,0	22,9	65,9	45,3
<b>Desvio padrão</b>	0,0	0,0	0,4	0,1	0,4	0,1	42,6	20,3
<b>25/09/13 - Quarta-feira</b>								
8h00	8,0	7,4	1,4	1,0	22,2	22,0	48,6	45,0
10h00	8,0	7,3	0,5	1,5	22,2	21,6	48,6	42,3
12h00	8,1	7,4	1,4	0,6	24,3	22,5	40,5	36,9
14h00	8,1	7,4	0,5	0,7	25,2	23,4	27,0	22,5
16h00	7,9	7,4	0,5	0,4	24,8	23,1	40,5	28,8
<b>Média</b>	8,0	7,4	0,9	0,8	23,7	22,5	34,2	29,3
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,0	0,5	0,4	1,4	0,7	8,8	9,4
<b>26/09/13 - Quinta-feira</b>								
10h00	8,0	7,4	1,7	0,8	21,9	21,1	55,8	49,5
12h00	7,4	8,1	0,5	0,5	22,3	22,5	89,1	82,8
14h00	8,4	7,4	0,1	0,5	24,9	23,3	67,5	36,9
16h00	8,5	7,4	0,1	0,7	23,8	23,4	59,4	52,2
<b>Média</b>	8,1	7,6	0,6	0,6	23,2	22,6	68,0	55,4
<b>Desvio padrão</b>	0,5	0,3	0,8	0,2	1,4	1,1	14,9	19,5
<b>27/09/13 - Sexta-feira</b>								
8h00	8,3	7,4	1,2	0,6	18,6	18,6	31,5	29,7
10h00	8,1	7,4	0,5	0,1	21,9	21,3	59,4	44,1
12h00	8,0	7,4	0,1	0,3	23,6	22,2	32,4	25,2
14h00	8,3	7,3	0,2	1,8	25,1	22,7	54,0	37,8
16h00	8,4	7,3	0,2	1,5	25,8	24,9	45,9	31,5
<b>Média</b>	8,2	7,4	0,4	0,9	23,0	21,9	37,2	28,1
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,1	0,5	0,8	2,9	2,3	12,5	7,4

Tabela A2. 7. Dados obtidos no LCA2 na escala horária durante o período monitorado (1/2).

Leito Cultivado Aguapé 2 - LCA2 (1 de 3)								
Hora	pH		OD (mg/L)		Temperatura (°C)		Q (L/h)	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
<b>09/09/13 - Segunda-feira</b>								
12h00	7,7	6,9	1,7	1,9	26,3	23,5	354,6	176,4
14h00	7,8	7,1	0,1	1,1	29,6	24,6	71,1	47,7
16h00	7,9	7,0	0,1	0,9	28,8	24,7	56,7	48,6
<b>Média</b>	4,7	4,2	0,4	0,8	16,9	14,6	80,4	45,5
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,1	0,9	0,5	1,7	0,7	168,0	74,0
<b>10/09/13 - Terça-feira</b>								
8h00	8,3	7,1	0,1	1,3	24,1	22,8	32,4	17,1
10h00	8,3	7,1	0,1	1,0	26,5	23,2	47,7	45,0
12h00	8,3	7,1	0,1	1,2	26,6	23,6	45,0	36,9
14h00	8,4	7,1	0,1	0,9	27,1	23,7	33,3	32,4
16h00	8,4	7,1	0,1	0,6	28,5	24,0	62,1	58,5
<b>Média</b>	8,3	7,1	0,1	1,0	26,6	23,5	36,8	31,7
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,0	0,0	0,3	1,6	0,5	12,2	15,3
<b>11/09/13 - Quarta-feira</b>								
8h00	8,2	6,9	0,2	1,1	24,5	23,1	52,2	44,1
10h00	8,2	7,0	0,2	0,8	27,9	23,4	51,3	46,8
12h00	8,2	7,0	0,1	0,9	28,2	23,7	62,1	55,8
14h00	8,3	7,0	0,2	1,5	27,0	23,6	69,3	63,9
16h00	8,3	7,1	0,1	0,7	27,0	24,2	48,6	46,8
<b>Média</b>	8,2	7,0	0,2	1,0	26,9	23,6	47,3	42,9
<b>Desvio padrão</b>	0,0	0,1	0,1	0,3	1,5	0,4	8,7	8,2
<b>12/09/13 - Quinta-feira</b>								
8h00	8,1	6,9	0,1	0,9	25,2	23,6	43,2	38,7
10h00	8,0	6,9	0,1	0,9	26,0	23,3	54,9	45,0
12h00	8,0	7,1	0,1	1,0	27,4	23,7	69,3	61,2
14h00	8,1	7,1	0,1	0,3	28,3	25,0	79,2	69,3
16h00	8,2	7,1	0,2	0,4	27,2	24,8	91,8	39,6
<b>Média</b>	8,1	7,0	0,1	0,7	26,8	24,1	56,4	42,3
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,1	0,0	0,3	1,2	0,8	19,2	13,7
<b>13/09/13 - Sexta-feira</b>								
10h00	8,3	7,1	0,1	1,0	28,1	25,2	26,1	18,0
12h00	8,2	7,1	0,1	1,3	28,2	24,1	67,5	64,8
14h00	8,3	7,2	0,1	0,5	28,2	24,6	34,2	32,4
16h00	8,4	7,2	0,1	0,5	28,3	24,9	45,9	41,4
<b>Média</b>	8,3	7,1	0,1	0,8	28,2	24,7	43,4	39,2
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,1	0,0	0,4	0,1	0,5	18,0	19,6

Leito Cultivado Aguapé 2 - LCA2 (2 de 3)								
Hora	pH		OD (mg/L)		Temperatura (°C)		Q (L/h)	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
<b>16/09/13 - Segunda-feira</b>								
10h00	7,8	7,1	2,2	2,2	27,9	24,7	40,5	28,8
12h00	7,9	7,1	0,7	1,8	29,3	25,2	76,5	70,2
14h00	7,9	7,5	0,8	2,5	27,8	24,2	45,0	36,0
16h00	7,9	7,5	0,3	2,0	25,1	24,1	29,7	16,2
<b>Média</b>	7,9	7,3	1,0	2,1	27,5	24,6	47,9	37,8
<b>Desvio padrão</b>	0,0	0,2	0,8	0,3	1,8	0,5	20,1	23,1
<b>17/09/13 - Terça-feira</b>								
8h00	8,1	7,1	0,1	1,8	22,7	22,6	45,0	28,8
10h00	7,9	7,1	0,1	1,2	22,7	22,7	44,1	37,8
14h00	8,0	7,2	0,1	1,7	23,5	23,3	47,7	14,4
16h00	8,4	7,2	0,4	0,8	21,8	22,3	81,9	56,7
<b>Média</b>	8,1	7,2	0,2	1,4	22,7	22,7	54,7	34,4
<b>Desvio padrão</b>	0,2	0,0	0,2	0,5	0,7	0,4	18,2	17,7
<b>18/09/13 - Quarta-feira</b>								
8h00	8,2	7,1	0,5	1,0	21,7	22,0	57,6	54,0
10h00	8,1	7,1	0,1	1,3	25,2	23,4	70,2	63,0
12h00	8,2	7,1	0,2	1,1	26,4	23,6	56,7	54,0
14h00	8,6	7,1	0,1	0,6	24,2	23,7	59,4	54,0
16h00	8,6	7,1	0,3	0,4	23,7	23,5	66,6	58,5
<b>Média</b>	8,3	7,1	0,2	0,9	24,2	23,2	51,8	47,3
<b>Desvio padrão</b>	0,2	0,0	0,2	0,4	1,8	0,7	6,0	4,0
<b>19/09/13 - Quinta-feira</b>								
10h00	8,0	7,1	0,1	1,4	26,1	22,8	95,4	55,8
12h00	8,2	7,2	0,1	0,7	28,3	23,0	61,2	59,4
14h00	8,6	7,3	0,1	0,1	28,7	24,5	62,1	62,1
16h00	8,8	7,4	0,1	0,1	28,8	24,4	81,0	46,8
<b>Média</b>	8,4	7,2	0,1	0,6	28,0	23,7	74,9	56,0
<b>Desvio padrão</b>	0,3	0,1	0,0	0,6	1,3	0,9	16,4	6,7
<b>20/09/13 - Sexta-feira</b>								
8h00	8,3	7,0	0,1	0,6	24,9	24,3	81,0	50,4
10h00	8,3	7,0	0,1	0,9	24,8	23,9	46,8	46,8
12h00	8,2	7,1	0,1	0,6	28,5	24,7	52,2	38,7
14h00	8,5	7,1	0,1	0,2	26,5	25,1	65,7	58,5
16h00	8,4	7,2	0,1	0,4	27,6	25,3	54,0	49,5
<b>Média</b>	8,3	7,1	0,1	0,5	26,5	24,7	50,0	40,7
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,1	0,0	0,2	1,6	0,6	13,6	7,1

Tabela A2. 8. Dados obtidos no LCA2 na escala horária durante o período monitorado (2/2).

Leito Cultivado Aguapé 2 - LCA2 (3 de 3)								
Hora	pH		OD (mg/L)		Temperatura (°C)		Q (L/h)	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
<b>23/09/13 - Segunda-feira</b>								
8h00	7,9	7,0	2,0	1,5	25,5	24,9	62,1	30,6
10h00	7,9	7,0	4,1	1,7	25,2	24,7	36,9	34,2
12h00	7,8	7,2	1,1	1,4	27,4	24,7	65,7	62,1
14h00	7,8	7,3	0,3	1,3	25,8	25,0	54,0	54,0
16h00	7,9	7,3	0,5	1,2	26,6	24,7	219,6	58,5
<b>Média</b>	7,8	7,2	1,6	1,4	26,1	24,8	73,1	39,9
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,1	1,6	0,2	0,9	0,1	74,6	14,5
<b>24/09/13 - Terça-feira</b>								
8h00	8,1	7,2	0,1	1,0	23,2	22,8	54,9	37,8
10h00	8,1	7,2	0,1	1,3	23,5	23,9	54,0	44,1
12h00	8,1	7,2	0,6	1,7	23,8	23,3	82,8	44,1
14h00	8,1	7,2	0,1	0,6	23,6	23,0	81,0	75,6
16h00	8,1	7,3	1,5	1,3	22,5	22,7	49,5	40,5
<b>Média</b>	8,1	7,2	0,5	1,2	23,3	23,1	53,7	40,4
<b>Desvio padrão</b>	0,0	0,0	0,6	0,4	0,5	0,5	16,1	15,4
<b>25/09/13 - Quarta-feira</b>								
8h00	8,0	7,2	8,8	1,6	24,1	22,0	40,5	40,5
10h00	8,0	7,1	8,4	1,8	23,6	21,4	51,3	44,1
12h00	8,0	7,2	1,2	1,1	26,9	22,1	54,0	54,0
14h00	8,0	7,3	0,4	1,6	27,1	23,0	40,5	39,6
16h00	8,1	7,3	1,0	1,3	26,8	22,4	50,4	50,4
<b>Média</b>	8,0	7,2	4,0	1,5	25,7	22,2	39,5	38,1
<b>Desvio padrão</b>	0,0	0,1	4,3	0,3	1,7	0,6	6,4	6,3
<b>26/09/13 - Quinta-feira</b>								
10h00	8,0	7,2	0,8	1,4	23,9	21,7	63,9	53,1
12h00	8,1	7,3	0,1	2,1	23,5	22,1	48,6	35,1
14h00	8,4	7,3	0,1	1,7	24,4	22,9	52,2	35,1
16h00	8,4	7,2	0,1	1,7	24,3	22,2	59,4	48,6
<b>Média</b>	8,2	7,2	0,3	1,7	24,0	22,2	56,0	43,0
<b>Desvio padrão</b>	0,2	0,1	0,4	0,3	0,4	0,5	6,9	9,3
<b>27/09/13 - Sexta-feira</b>								
8h00	8,3	7,1	0,4	2,1	19,5	18,3	79,2	17,1
10h00	8,2	7,1	0,1	1,8	24,6	20,2	51,3	41,4
12h00	8,0	7,2	0,1	1,7	23,4	20,7	48,6	40,5
14h00	8,3	7,2	0,1	2,1	25,4	22,1	43,2	26,1
16h00	8,3	7,2	0,1	2,2	26,5	23,5	45,0	37,8
<b>Média</b>	8,2	7,2	0,2	2,0	23,9	21,0	44,6	27,2
<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,0	0,2	0,2	2,7	2,0	14,7	10,6

## **ANEXO III**

Tabela A3. 1. Dados obtidos no LC na escala diária durante o período monitorado (1/2).

Leito Cultivado Controle - LCC (1 de 2)																			
Data	Volume (L/dia)		NTK (mg/L)		NTK (g/dia)		N amoniacal (mg/L)		N amoniacal (g/dia)		Nitrito (mg/L)		Nitrito (g/dia)		Nitrato (mg/L)		Nittrato (g/dia)		
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	
19/8/2013	340,2	208,0	89,6	77,8	30,5	16,2	80,6	73,9	27,4	15,4	3,0	5,0	1,0	1,0	0,2	0,8	0,1	0,2	
20/8/2013	691,5	430,1	104,7	76,7	72,4	33,0	101,9	79,5	70,5	34,2	2,0	4,0	1,4	1,7	0,1	0,3	0,1	0,1	
21/8/2013	692,1	467,1	100,2	87,9	69,4	41,1	86,2	80,6	59,7	37,7	3,0	3,0	2,1	1,4	0,3	0,2	0,2	0,1	
22/8/2013	758,0	388,1	74,5	78,4	56,5	30,4	72,2	69,4	54,8	26,9	3,0	3,0	2,3	1,2	0,2	0,3	0,2	0,1	
23/8/2013	647,2	394,7	74,5	71,7	48,2	28,3	75,0	69,4	48,6	27,4	4,0	3,0	2,6	1,2	0,3	0,1	0,2	0,0	
26/8/2013	467,6	264,8	52,1	68,9	24,4	18,2	58,2	69,4	27,2	18,4	1,0	3,0	0,5	0,8	0,2	0,2	0,1	0,1	
27/8/2013	378,1	182,9	71,7	60,5	27,1	11,1	72,2	58,2	27,3	10,6	3,0	4,0	1,1	0,7	0,2	0,2	0,1	0,0	
29/8/2013	583,1	335,9	94,1	63,3	54,9	21,3	97,4	63,8	56,8	21,4	2,0	4,0	1,2	1,3	0,6	0,2	0,3	0,1	
30/8/2013	476,8	307,7	91,3	71,7	43,5	22,1	105,8	75,0	50,5	23,1	3,0	3,0	1,4	0,9	0,3	0,1	0,1	0,0	
9/9/2013	474,8	418,1	115,9	76,2	55,0	31,8	105,8	72,2	50,2	30,2	2,0	2,0	0,9	0,8	0,5	0,9	0,2	0,4	
10/9/2013	507,2	482,3	120,4	82,9	61,1	40,0	110,9	54,3	56,2	26,2	1,0	3,0	0,5	1,4	0,0	0,3	0,0	0,1	
11/9/2013	460,5	452,0	123,2	89,0	56,7	40,2	113,1	79,5	52,1	35,9	3,0	2,0	1,4	0,9	0,2	0,4	0,1	0,2	
12/9/2013	346,1	305,6	110,9	91,8	38,4	28,1	100,8	89,6	34,9	27,4	2,0	2,0	0,7	0,6	1,0	0,2	0,3	0,1	
13/9/2013	350,8	329,0	122,6	90,7	43,0	29,8	114,2	88,5	40,1	29,1	3,0	3,0	1,1	1,0	0,8	0,2	0,3	0,1	
16/9/2013	421,4	335,7	108,6	84,0	45,8	28,2	109,8	91,3	46,3	30,6	3,0	3,0	1,3	1,0	1,1	3,9	0,5	1,3	
17/9/2013	376,7	252,5	76,2	82,3	28,7	20,8	78,4	86,2	29,5	21,8	9,0	9,0	3,4	2,3	3,2	4,4	1,2	1,1	
18/9/2013	470,2	429,3	81,8	82,9	38,4	35,6	81,2	80,1	38,2	34,4	3,0	4,0	1,4	1,7	0,2	1,0	0,1	0,4	
19/9/2013	362,3	341,8	116,5	82,9	42,2	28,3	101,9	82,9	36,9	28,3	3,0	3,0	1,1	1,0	1,0	0,3	0,4	0,1	
20/9/2013	495,9	371,4	117,0	88,5	58,0	32,9	113,7	86,2	56,4	32,0	7,0	5,0	3,5	1,9	1,1	1,5	0,5	0,6	
23/9/2013	650,1	432,5	118,2	84,0	76,8	36,3	112,0	84,0	72,8	36,3	3,0	6,0	2,0	2,6	0,1	2,6	0,1	1,1	
24/9/2013	682,4	495,2	100,2	88,5	68,4	43,8	97,4	88,5	66,5	43,8	2,0	3,0	1,4	1,5	0,2	0,9	0,1	0,4	
25/9/2013	421,9	373,6	105,3	91,3	44,4	34,1	101,9	94,6	43,0	35,4	2,0	5,0	0,8	1,9	0,2	0,9	0,1	0,3	
26/9/2013	799,7	473,6	88,5	91,3	70,8	43,2	86,8	85,1	69,4	40,3	2,0	2,0	1,6	0,9	0,7	1,0	0,6	0,5	
27/9/2013	429,4	382,6	96,8	86,7	41,6	33,2	91,3	57,7	39,2	22,1	5,0	9,0	2,1	3,4	0,7	0,8	0,3	0,3	

Tabela A3. 2. Dados obtidos no LC na escala diária durante o período monitorado (2/2).

Data	Volume (L/dia)		Cor (mg/L)		Cor (g/dia)		Turbidez (NTU)		DQO (mg/L)		DQO (g/dia)		Fósforo (mg/L)		Fósforo (g/dia)	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
19/8/2013	340,2	208,0	535,0	85,0	182,0	17,7	58,7	3,3	160,0	35,0	54,4	7,3	3,9	2,1	1,3	0,4
20/8/2013	691,5	430,1	405,0	144,0	280,1	61,9	68,2	7,9	227,5	55,0	157,3	23,7	4,3	2,9	2,9	1,2
21/8/2013	692,1	467,1	325,0	181,0	224,9	84,5	90,6	21,9	180,0	60,0	124,6	28,0	4,2	3,6	2,9	1,7
22/8/2013	758,0	388,1	340,0	140,0	257,7	54,3	43,7	6,7	170,0	47,5	128,9	18,4	3,6	3,2	2,7	1,2
23/8/2013	647,2	394,7	189,0	151,0	122,3	59,6	14,6	6,0	127,5	57,5	82,5	22,7	3,2	3,8	2,1	1,5
26/8/2013	467,6	264,8	140,0	131,0	65,5	34,7	8,3	4,8	45,0	30,0	21,0	7,9	2,4	3,9	1,1	1,0
27/8/2013	378,1	182,9	324,0	198,0	122,5	36,2	21,3	30,5	70,0	15,0	26,5	2,7	3,2	3,3	1,2	0,6
29/8/2013	583,1	335,9	449,0	147,0	261,8	49,4	34,4	7,6	212,5	47,5	123,9	16,0	4,2	3,3	2,4	1,1
30/8/2013	476,8	307,7	543,0	255,0	258,9	78,5	44,4	30,1	280,0	65,0	133,5	20,0	3,9	3,9	1,8	1,2
9/9/2013	474,8	418,1	840,0	249,0	398,8	104,1	84,6	14,4	249,0	84,0	118,2	35,1	5,8	4,6	2,7	1,9
10/9/2013	507,2	482,3	870,0	257,0	441,2	123,9	79,6	15,7	296,5	69,0	150,4	33,3	5,6	4,3	2,8	2,0
11/9/2013	460,5	452,0	645,0	146,0	297,0	66,0	43,7	8,1	297,5	72,5	137,0	32,8	5,2	4,9	2,4	2,2
12/9/2013	346,1	305,6	820,0	158,0	283,8	48,3	44,8	8,7	327,5	47,5	113,3	14,5	5,2	4,8	1,8	1,5
13/9/2013	350,8	329,0	523,0	164,0	183,5	53,9	52,9	5,2	350,0	82,5	122,8	27,1	6,0	5,0	2,1	1,6
16/9/2013	421,4	335,7	397,0	120,0	167,3	40,3	59,9	4,4	215,0	0,0	90,6	0,0	5,4	4,9	2,3	1,6
17/9/2013	376,7	252,5	483,0	118,0	181,9	29,8	56,8	7,2	392,5	45,0	147,8	11,4	3,8	4,4	1,4	1,1
18/9/2013	470,2	429,3	375,0	126,0	176,3	54,1	83,8	14,6	167,5	22,5	78,8	9,7	4,1	2,2	1,9	0,9
19/9/2013	362,3	341,8	537,0	131,0	194,5	44,8	67,4	5,5	247,5	30,0	89,7	10,3	5,3	4,9	1,9	1,7
20/9/2013	495,9	371,4	472,0	133,0	234,0	49,4	80,5	10,7	217,5	30,0	107,8	11,1	4,9	5,3	2,4	2,0
23/9/2013	650,1	432,5	258,0	129,0	167,7	55,8	26,0	4,6	107,5	122,5	69,9	53,0	5,6	4,9	3,6	2,1
24/9/2013	682,4	495,2	216,0	138,0	147,4	68,3	15,1	4,0	62,5	20,0	42,7	9,9	4,6	4,7	3,1	2,3
25/9/2013	421,9	373,6	519,0	120,0	219,0	44,8	67,6	3,3	165,0	47,5	69,6	17,7	5,4	5,2	2,3	1,9
26/9/2013	799,7	473,6	630,0	195,0	503,8	92,4	68,0	13,0	242,5	82,5	193,9	39,1	5,3	4,9	4,2	2,3
27/9/2013	429,4	382,6	502,0	137,0	215,6	52,4	42,0	6,1	205,0	45,0	88,0	17,2	5,0	4,9	2,1	1,9

Tabela A3. 3. Dados obtidos no LCA1 na escala diária durante o período monitorado (1/2).

Leito Cultivado Agupé 1 - LCA1 (1 de 2)																		
Data	Volume (L/dia)		NTK (mg/L)		NTK (g/dia)		N amoniacal (mg/L)		N amoniacal (g/dia)		Nitrito (mg/L)		Nitrito (g/dia)		Nitrito (mg/L)		Nitrito (g/dia)	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
19/8/2013	312,5	270,6	94,1	93,0	29,4	25,2	87,9	85,1	27,5	23,0	3,0	5,0	0,9	1,4	0,2	0,3	0,1	0,1
20/8/2013	623,0	587,0	99,7	92,4	62,1	54,2	96,3	79,5	60,0	46,7	2,0	5,0	1,2	2,9	0,2	0,5	0,1	0,3
21/8/2013	492,8	449,1	94,1	83,4	46,4	37,5	34,7	83,4	17,1	37,5	2,0	4,0	1,0	1,8	0,3	0,2	0,1	0,1
22/8/2013	555,8	509,8	78,4	88,5	43,6	45,1	72,2	86,2	40,2	44,0	4,0	3,0	2,2	1,5	0,2	0,4	0,1	0,2
23/8/2013	515,0	449,4	77,3	82,9	39,8	37,2	77,8	80,6	40,1	36,2	3,0	4,0	1,5	1,8	0,3	0,1	0,2	0,0
26/8/2013	391,1	383,4	52,1	57,7	20,4	22,1	52,6	72,2	20,6	27,7	4,0	7,0	1,6	2,7	0,3	0,7	0,1	0,3
27/8/2013	409,1	388,0	57,7	21,3	23,6	8,3	55,4	44,2	22,7	17,2	2,0	2,0	0,8	0,8	0,3	0,1	0,1	0,0
29/8/2013	493,1	467,3	104,2	66,1	51,4	30,9	103,0	69,4	50,8	32,4	3,0	2,0	1,5	0,9	0,7	0,0	0,3	0,0
30/8/2013	433,3	414,5	91,3	74,5	39,5	30,9	99,1	77,8	42,9	32,3	3,0	3,0	1,3	1,2	0,3	0,1	0,1	0,0
9/9/2013	486,7	429,5	101,4	89,6	49,3	38,5	103,6	82,9	50,4	35,6	2,0	3,0	1,0	1,3	0,4	0,2	0,2	0,1
10/9/2013	483,5	441,0	117,0	97,4	56,6	43,0	112,0	90,2	54,1	39,8	4,0	6,0	1,9	2,6	0,2	1,1	0,1	0,5
11/9/2013	598,5	439,1	124,3	80,6	74,4	35,4	121,0	88,5	72,4	38,8	2,0	2,0	1,2	0,9	0,3	0,0	0,2	0,0
12/9/2013	484,7	451,7	122,6	90,2	59,4	40,7	103,0	96,3	49,9	43,5	3,0	2,0	1,5	0,9	0,6	0,0	0,3	0,0
13/9/2013	357,5	318,6	121,0	93,0	43,2	29,6	116,5	90,7	41,6	28,9	3,0	2,0	1,1	0,6	0,6	0,2	0,2	0,1
16/9/2013	472,7	402,5	108,1	107,0	51,1	43,1	96,3	104,7	45,5	42,2	5,0	5,0	2,4	2,0	1,0	1,3	0,5	0,5
17/9/2013	513,0	363,4	68,9	95,8	35,3	34,8	75,0	86,8	38,5	31,5	7,0	6,0	3,6	2,2	3,0	1,4	1,5	0,5
18/9/2013	569,4	535,7	85,1	86,2	48,5	46,2	85,1	75,6	48,5	40,5	2,0	0,0	1,1	0,0	0,9	0,3	0,5	0,2
19/9/2013	392,6	369,2	93,0	86,8	36,5	32,0	93,0	64,4	36,5	23,8	4,0	3,0	1,6	1,1	0,5	0,0	0,2	0,0
20/9/2013	439,8	398,0	112,6	84,0	49,5	33,4	117,6	84,0	51,7	33,4	4,0	3,0	1,8	1,2	0,5	0,0	0,2	0,0
23/9/2013	684,0	577,1	114,8	98,0	78,5	56,6	86,2	95,2	59,0	54,9	4,0	4,0	2,7	2,3	0,2	0,4	0,1	0,2
24/9/2013	811,1	548,6	100,2	100,2	81,3	55,0	104,2	95,2	84,5	52,2	4,0	3,0	3,2	1,6	0,9	0,2	0,7	0,1
25/9/2013	418,3	353,7	102,5	96,9	42,9	34,3	103,0	95,2	43,1	33,7	1,0	2,0	0,4	0,7	0,1	0,4	0,0	0,1
26/9/2013	584,6	474,1	95,2	91,8	55,6	43,5	89,0	85,7	52,0	40,6	0,0	1,0	0,0	0,5	0,7	0,3	0,4	0,1
27/9/2013	471,5	350,3	86,7	91,2	40,9	32,0	84,6	81,2	39,9	28,4	3,0	2,0	1,4	0,7	0,3	0,1	0,1	0,0

Tabela A3. 4. Dados obtidos no LCA1 na escala diária durante o período monitorado (2/2).

Leito Cultivado Agupé 1 - LCA1 (2 de 2)																
Data	Volume (L/dia)		Cor (mg/L)		Cor (g/dia)		Turbidez (NTU)		DQO (mg/L)		DQO (g/dia)		Fósforo (mg/L)		Fósforo (g/dia)	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
19/8/2013	312,5	270,6	600,0	124,0	187,5	33,6	57,7	3,4	162,5	50,0	50,8	13,5	4,2	4,5	1,3	1,2
20/8/2013	623,0	587,0	365,0	152,0	227,4	89,2	67,9	6,7	227,5	40,0	141,7	23,5	4,5	4,3	2,8	2,5
21/8/2013	492,8	449,1	305,0	130,0	150,3	58,4	87,9	5,2	182,5	62,5	89,9	28,1	3,9	4,3	1,9	1,9
22/8/2013	555,8	509,8	355,0	154,0	197,3	78,5	45,5	7,1	185,0	72,5	102,8	37,0	3,2	4,2	1,8	2,1
23/8/2013	515,0	449,4	294,0	159,0	151,4	71,5	31,4	6,7	140,0	15,0	72,1	6,7	3,1	4,0	1,6	1,8
26/8/2013	391,1	383,4	135,0	155,0	52,8	59,4	8,1	4,7	45,0	80,0	17,6	30,7	2,5	3,8	1,0	1,4
27/8/2013	409,1	388,0	327,0	175,0	133,8	67,9	22,1	15,3	80,0	20,0	32,7	7,8	2,5	2,2	1,0	0,9
29/8/2013	493,1	467,3	460,0	141,0	226,8	65,9	35,8	5,2	212,5	30,0	104,8	14,0	4,4	3,5	2,1	1,6
30/8/2013	433,3	414,5	531,0	157,0	230,1	65,1	44,3	9,1	220,0	70,0	95,3	29,0	4,1	3,7	1,8	1,5
9/9/2013	486,7	429,5	800,0	162,0	389,3	69,6	86,6	6,6	264,0	26,5	128,5	11,4	5,6	4,6	2,7	2,0
10/9/2013	483,5	441,0	805,0	188,0	389,2	82,9	78,5	9,8	296,5	74,0	143,3	32,6	5,5	3,5	2,7	1,5
11/9/2013	598,5	439,1	660,0	135,0	395,0	59,3	42,1	5,0	317,5	57,5	190,0	25,2	5,4	4,3	3,2	1,9
12/9/2013	484,7	451,7	830,0	162,0	402,3	73,2	52,7	5,1	307,5	67,5	149,0	30,5	5,6	4,6	2,7	2,1
13/9/2013	357,5	318,6	477,0	158,0	170,5	50,3	53,3	4,6	322,5	60,0	115,3	19,1	5,8	5,2	2,1	1,6
16/9/2013	472,7	402,5	398,0	142,0	188,1	57,2	57,6	4,8	197,5	7,5	93,4	3,0	5,6	5,3	2,6	2,1
17/9/2013	513,0	363,4	451,0	134,0	231,4	48,7	58,5	6,7	302,5	50,0	155,2	18,2	3,7	3,8	1,9	1,4
18/9/2013	569,4	535,7	384,0	150,0	218,6	80,4	74,3	16,1	162,5	107,5	92,5	57,6	4,1	4,9	2,3	2,6
19/9/2013	392,6	369,2	444,0	206,0	174,3	76,1	49,3	30,6	187,5	52,5	73,6	19,4	4,9	5,1	1,9	1,9
20/9/2013	439,8	398,0	396,0	147,0	174,2	58,5	86,4	12,8	240,0	37,5	105,6	14,9	5,1	5,0	2,2	2,0
23/9/2013	684,0	577,1	221,0	152,0	151,2	87,7	16,9	15,3	130,0	15,0	88,9	8,7	5,5	5,1	3,7	2,9
24/9/2013	811,1	548,6	227,0	161,0	184,1	88,3	15,2	5,0	60,0	72,5	48,7	39,8	5,0	4,6	4,0	2,5
25/9/2013	418,3	353,7	277,0	144,0	115,9	50,9	18,2	4,2	67,5	22,5	28,2	8,0	5,4	5,2	2,2	1,8
26/9/2013	584,6	474,1	488,0	307,0	285,3	145,5	44,5	29,0	185,0	145,0	108,1	68,7	4,8	5,3	2,8	2,5
27/9/2013	471,5	350,3	475,0	140,0	223,9	49,0	40,0	5,3	252,5	45,0	119,0	15,8	5,5	4,9	2,6	1,7

Tabela A3. 5. Dados obtidos no LCA2 na escala diária durante o período monitorado (1/2).

Leito Cultivado Agupé 2 - LCA2 (1 de 2)																		
Data	Volume (L/dia)		NTK (mg/L)		NTK (g/dia)		N amoniacal (mg/L)		N amoniacal (g/dia)		Nitrito (mg/L)		Nitrito (g/dia)		Nitrito (mg/L)		Nitrito (g/dia)	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
9/9/2013	1059,4	603,0	109,8	49,3	116,3	29,7	100,2	49,8	106,2	30,1	2,0	2,0	2,1	1,2	0,4	1,1	0,4	0,7
10/9/2013	469,0	413,3	123,2	57,1	57,8	23,6	111,4	56,6	52,3	23,4	2,0	10,0	0,9	4,1	0,1	3,7	0,0	1,5
11/9/2013	587,3	536,3	122,6	61,6	72,0	33,0	111,4	63,8	65,4	34,2	2,0	2,0	1,2	1,1	0,5	0,1	0,3	0,1
12/9/2013	723,8	530,8	116,5	84,0	84,3	44,6	110,9	75,0	80,2	39,8	2,0	2,0	1,4	1,1	1,1	0,1	0,8	0,1
13/9/2013	382,7	349,2	120,4	87,9	46,1	30,7	105,3	80,6	40,3	28,2	4,0	5,0	1,5	1,7	0,6	0,1	0,2	0,0
16/9/2013	408,4	322,7	109,8	84,0	44,8	27,1	110,3	87,9	45,1	28,4	4,0	3,0	1,6	1,0	0,4	1,3	0,2	0,4
17/9/2013	478,8	302,4	73,9	85,7	35,4	25,9	73,9	84,0	35,4	25,4	6,0	2,0	2,9	0,6	2,2	0,6	1,1	0,2
18/9/2013	646,2	588,4	80,6	76,7	52,1	45,1	77,8	63,8	50,3	37,6	2,0	3,0	1,3	1,8	0,7	0,2	0,5	0,1
19/9/2013	623,0	474,1	99,1	71,1	61,8	33,7	99,7	62,7	62,1	29,7	3,0	3,0	1,9	1,4	0,1	0,1	0,1	0,0
20/9/2013	602,1	503,0	118,2	76,7	71,1	38,6	115,9	77,3	69,8	38,9	5,0	4,0	3,0	2,0	0,5	0,2	0,3	0,1
23/9/2013	958,0	510,4	115,4	86,8	110,5	44,3	112,0	82,9	107,3	42,3	1,0	3,0	1,0	1,5	0,3	0,7	0,3	0,4
24/9/2013	669,3	506,3	100,2	90,7	67,1	45,9	99,7	86,2	66,7	43,7	3,0	3,0	2,0	1,5	0,3	0,2	0,2	0,1
25/9/2013	495,1	477,5	101,9	84,0	50,5	40,1	96,3	85,7	47,7	40,9	2,0	3,0	1,0	1,4	0,8	0,5	0,4	0,2
26/9/2013	471,2	359,1	87,3	83,4	41,1	29,9	84,6	81,2	39,8	29,2	4,0	1,0	1,9	0,4	0,9	0,4	0,4	0,1
27/9/2013	531,0	349,6	91,2	83,4	48,4	29,1	87,4	80,6	46,4	28,2	2,0	2,0	1,1	0,7	0,3	0,2	0,2	0,1

Tabela A3. 6. Dados obtidos no LCA2 na escala diária durante o período monitorado (2/2).

Leito Cultivado Aguapé 2 - LCA2 (2 de 2)																
Data	Volume (L/dia)		Cor (mg/L)		Cor (g/dia)		Turbidez (NTU)		DQO (mg/L)		DQO (g/dia)		Fósforo (mg/L)		Fósforo (g/dia)	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
9/9/2013	1059,4	603,0	705,0	177,0	746,9	106,7	70,0	13,7	226,5	36,5	239,9	22,0	5,5	1,9	5,8	1,1
10/9/2013	469,0	413,3	715,0	206,0	335,3	85,1	72,3	14,4	286,5	60,0	134,4	24,8	5,4	2,2	2,5	0,9
11/9/2013	587,3	536,3	590,0	117,0	346,5	62,8	38,5	6,1	280,0	52,5	164,4	28,2	5,5	2,1	3,2	1,1
12/9/2013	723,8	530,8	520,0	159,0	376,4	84,4	45,4	8,7	312,5	80,0	226,2	42,5	5,7	3,9	4,1	2,0
13/9/2013	382,7	349,2	635,0	185,0	243,0	64,6	61,2	9,7	377,5	60,0	144,5	21,0	5,9	3,9	2,3	1,3
16/9/2013	408,4	322,7	418,0	96,0	170,7	31,0	53,6	3,8	177,5	5,0	72,5	1,6	5,5	2,6	2,2	0,8
17/9/2013	478,8	302,4	382,0	103,0	182,9	31,1	47,5	5,4	262,5	5,0	125,7	1,5	4,0	2,6	1,9	0,8
18/9/2013	646,2	588,4	368,0	133,0	237,8	78,3	54,3	8,1	165,0	15,0	106,6	8,8	4,1	3,1	2,6	1,8
19/9/2013	623,0	474,1	472,0	134,0	294,1	63,5	56,9	7,3	255,0	15,0	158,9	7,1	4,8	2,7	3,0	1,3
20/9/2013	602,1	503,0	500,0	163,0	301,1	82,0	82,7	16,8	205,0	22,5	123,4	11,3	5,2	4,2	3,1	2,1
23/9/2013	958,0	510,4	269,0	149,0	257,7	76,0	31,1	5,6	80,0	2,5	76,6	1,3	5,6	3,5	5,3	1,8
24/9/2013	669,3	506,3	229,0	160,0	153,3	81,0	17,6	7,5	110,0	2,5	73,6	1,3	4,8	3,6	3,2	1,8
25/9/2013	495,1	477,5	199,0	126,0	98,5	60,2	14,7	5,8	70,0	0,0	34,7	0,0	4,9	3,9	2,4	1,8
26/9/2013	471,2	359,1	535,0	125,0	252,1	44,9	57,0	7,5	242,5	35,0	114,3	12,6	5,1	4,0	2,4	1,4
27/9/2013	531,0	349,6	474,0	120,0	251,7	41,9	43,1	6,9	193,0	17,5	102,5	6,1	5,4	3,8	2,8	1,3

## ANEXO IV

Tabela A4.1. Cálculo da massa adicionada de 17- $\alpha$ -etinilestradiol na entrada dos leitos cultivados.

Data	Amostra	Massa adicionada diariamente		70 $\mu\text{g}$ (2 comprimidos)	
		Volume diário total (L)	Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )	Concentração ( $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ )
19/set	LCC	362,3	0,19	0,0002	193
19/set	LCA1	392,6	0,18	0,0002	178
19/set	LCA2	623,0	0,11	0,0001	112
20/set	LCC	495,9	0,14	0,0001	141
20/set	LCA1	439,8	0,16	0,0002	159
20/set	LCA2	602,1	0,12	0,0001	116
23/set	LCC	650,1	0,11	0,0001	108
23/set	LCA1	684,0	0,10	0,0001	102
23/set	LCA2	958,0	0,07	0,0001	73
24/set	LCC	682,4	0,10	0,0001	103
24/set	LCA1	811,1	0,09	0,0001	86
24/set	LCA2	669,3	0,10	0,0001	105
25/set	LCC	421,9	0,17	0,0002	166
25/set	LCA1	418,3	0,17	0,0002	167
25/set	LCA2	495,1	0,14	0,0001	141
26/set	LCC	799,7	0,09	0,0001	88
26/set	LCA1	584,6	0,12	0,0001	120
26/set	LCA2	471,2	0,15	0,0001	149
27/set	LCC	429,4	0,16	0,0002	163
27/set	LCA1	471,5	0,15	0,0001	148
27/set	LCA2	531,0	0,13	0,0001	132