

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E
ENGENHARIA DE PESCA

DAIANY CRYSTINA MACAGNAN

Tecnologia no tratamento de águas residuárias

Toledo

2011

DAIANY CRYSTINA MACAGNAN

Tecnologia no tratamento de águas residuárias

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Nível de Mestrado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Área de concentração: Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Nyamien Yahaut Sebastien

Toledo

2011

Catálogo na Publicação elaborada pela Biblioteca Universitária
UNIOESTE/Campus de Toledo.
Bibliotecária: Marilene de Fátima Donadel - CRB – 9/924

M113t Macagnan, Daiany Crystina
Tecnologia no tratamento de águas residuárias / Daiany
Crystina Macagnan. -- Toledo, PR : [s. n.], 2011.
28 f. : il. (algumas color.), figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Nyamien Yahaut Sebastien
Dissertação (Mestrado em Recursos Pesqueiros e Engenharia
de Pesca) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Campus de
Toledo. Centro de Engenharias e Ciências Exatas.

1. Aquicultura 2. Indústria de cerveja - Tratamento de efluentes
3. Efluentes - Águas residuárias - Tratamento com microalgas
(*Scenedesmus sp.*) 4. Efluentes - Remoção de nutrientes 5. Proteína
de microalgas 6. Microalgas (*Scenedesmus sp.*) - Cultivo e
aproveitamento 7. Microalgas (*Scenedesmus sp.*) - Crescimento -
Taxas I. Sebastien, Nyamien Yahaut, Orient. II. T

CDD 20. ed. 639.8
589.3
628.162

FOLHA DE APROVAÇÃO

DAIANY CRYSTINA MACAGNAN

Tecnologia no tratamento de águas residuárias

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Nível de Mestrado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, pela Comissão Examinadora composta pelos membros:

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Nyamien Yahaut Sebastien
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Presidente)



Prof. Dr. Pitagoras Augusto Piana
Universidade Estadual do Oeste do Paraná



Prof. Dr. Luciano Caetano de Oliveira
Universidade Federal do Paraná/*Campus* de Palotina

Aprovada em: 25 de julho de 2011.

Local de defesa: Auditório do GERPEL - Unioeste/*Campus* de Toledo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por todas as bênçãos e luz derramadas nessa caminhada e por me permitir chegar até aqui.

À minha família pelo incentivo, amor, apoio e paciência, pela dedicação do meu pai e da minha mãe que sempre me deram forças para não desistir, mesmo diante das maiores dificuldades.

Ao meu orientador e amigo professor Nyamien Yahaut Sebastien que acreditou e confiou em mim e me acompanhou durante todo esse período de dificuldades e conquistas, estando sempre disponível a me ajudar e contribuir com meu conhecimento.

A todos os colegas do Laboratório de Limnologia do Gerpel – Grupo de Pesquisas em Recursos Pesqueiros e Limnologia - pela colaboração nas análises limnológicas.

A todos os colegas do CPAA – Centro de Pesquisas em Aquicultura Ambiental - e aos colegas de turma pelos momentos em sala de aula, no laboratório e também pelos momentos de diversão.

Aos professores que mediaram conhecimentos e experiências.

À colega Sílvia Negreiros por me fazer perder o medo do STATISTICA e ao professor Pitágoras A. Piana pelas dicas.

À CAPES e Fundação Araucária pelo apoio financeiro.

Ao Programa Universidade Sem Fronteiras e a Cervejaria Colônia.

E a todos que de alguma forma contribuíram com a realização desta dissertação.

Tecnologia no tratamento de águas residuárias

RESUMO

As águas residuárias são geradas diariamente em todas as atividades que necessitam de água em seu processo, sejam elas atividades sanitárias residenciais e comerciais ou pelos processos produtivos das empresas. Neste trabalho avaliou-se a eficiência do gênero de microalgas *Scenedesmus* na remoção de compostos nitrogenados e fosfatados de efluente de cervejaria. Foram realizados dois experimentos em períodos diferentes e cada um tratou-se de um delineamento inteiramente casualizado com três concentrações de efluente de cervejaria oriundos de coletas em horários diferentes e três repetições de cada tratamento acondicionados em caixas de fibra de vidro de 100L. Em cada unidade experimental foram adicionados 80L de efluente e inoculados cinco litros de cultura de microalga *Scenedesmus* sp. Avaliaram-se a curva de crescimento, a remoção dos compostos fosfatados e nitrogenados, a correlação entre a remoção dos compostos com o crescimento algal, o rendimento e a proteína da biomassa. A maior densidade algal observada foi no tratamento 6 (T6) com média 776×10^4 cél./mL e todos os tratamentos apresentaram altos coeficientes de determinação (R^2) variando de 0,87 em T4 a 0,99 em T6. A remoção dos compostos nos tratamentos do experimento 1 ocorreram em 17 dias. No experimento 2 houve remoção do nitrato em 17 dias em todos os tratamentos e as remoções do ortofosfato e do fósforo variaram de nove a 24 dias. De modo geral as correlações variaram de moderada a forte, com exceção do fósforo total em T4 que mostrou correlação fraca (-0,08). Os rendimentos da biomassa e proteína bruta no experimento 1 variaram de 0,15 a 0,19g/L e de 19 a 27% de proteína, enquanto no experimento 2 esses valores variaram de 0,12 a 0,19g/L e de 34 a 46% de proteína. Conclui-se que esse tratamento biológico a partir de microalgas é capaz de reduzir os teores de nitrato, fósforo e ortofosfato presentes no efluente de cervejaria, gerando biomassa com altos valores protéicos.

Palavras-chave: Efluente. Microalga. Remoção de nutrientes. Cultivo. Curva de crescimento.

Technology in the treatment of wastewater

ABSTRACT

The wastewater is generated daily in all the activities that need water in their process, whether health activities for residential and commercial or manufacturing processes of enterprises. This study evaluated the efficiency of the microalgae *Scenedesmus* in nitrogen and phosphorus removing from brewery wastewater. Two experiments were conducted at different times in three replicates of each one packaged in boxes of fiberglass 100L. Each treatment was made for a completely randomized design with three different concentrations of wastewater. The collect of wastewater was made at different times. The medium was constituted of 80L of wastewater and five liters of inoculated culture of microalgae *Scenedesmus* sp. We evaluated the growth curve, phosphate and nitrogen compounds removal, the correlation between the removal of compounds with algal growth, yield and protein biomass. Higher algal density was observed in the treatment 6 (T6) medium with 776×10^4 cells / mL and all treatments had high coefficients of determination (R^2) ranging from 0.87 to 0.99 in T4 at T6. In the experiment 1 the removal of the compounds in the treatments occurred in 17 days. In experiment 2 the nitrate removed in 17 days in all treatments and orthophosphate and phosphorus removal occurred between nine to 24 days. Generally, the correlations ranged from moderate to strong, with the exception of total phosphorus in T4 which showed a weak correlation (-0.08). The biomass and crude protein in experiment 1 ranged from 0.15 to 0.19 g / L and 19 to 27% respectively, while those in experiment 2 ranged from 0.12 to 0.19 g / L and 34 to 46% protein. It is concluded that biological treatment from microalgae is able to reduce the nitrate, phosphorus and orthophosphate present in the brewery wastewater, producing biomass with high protein values.

Keywords: Wastewater. Microalgae. Removal of nutrients. Cultivation. Growth curve.

Dissertação elaborada e formatada conforme as normas da publicação científica Biotemas. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/biotemas>>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
2.1 Área de estudo	11
2.2 Sistema de tratamento do efluente.....	11
2.3 Análise do crescimento algal.....	12
2.4 Monitoramento dos parâmetros físicos e químicos dos tratamentos.....	12
2.5 Obtenção e análise da biomassa	13
2.6 Análise dos resultados	13
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
3.1 Análise do crescimento algal.....	14
3.2 Monitoramento dos parâmetros físicos e químicos dos tratamentos.....	16
3.3 Rendimento da biomassa e proteína bruta.....	21
4 CONCLUSÃO.....	24
5 REFERÊNCIAS	24

1 INTRODUÇÃO

As águas residuárias são geradas diariamente em todas as atividades que necessitam de água em seu processo, sejam elas atividades sanitárias residenciais e comerciais ou pelos processos produtivos das empresas.

Os esgotos sanitários, por sua vez, são compostos de matéria orgânica e inorgânica, já as características dos efluentes industriais são inerentes à composição das matérias primas, das águas de abastecimento e do processo industrial (GIORDANO, 2004).

Para que o lançamento desses resíduos possa ser realizado, a resolução CONAMA 357/2005 determina, para alguns parâmetros, padrões de lançamentos, os quais a empresa geradora do resíduo é responsável em tratá-lo até que este atenda às exigências recomendadas. Além de o tratamento ser voltado para atender a legislação, a água residual tratada pode, também, ser reutilizada na própria empresa, destinada conforme os resultados obtidos no processo de tratamento.

O setor produtivo cervejeiro utiliza grandes volumes de água em seus processos, gerando quantidades significativas de efluentes, de três a seis hectolitros de efluente/hl de cerveja (SANTOS, 2005).

O efluente de cervejaria é caracterizado como sendo de alto potencial poluidor, devido a sua carga orgânica, teor de sólidos em suspensão e presença de fósforo e nitrogênio, tendo o seu processo de tratamento, similaridade ao tratamento de esgotos domésticos (SILVINO et al., 2007).

A composição desses efluentes pode variar de acordo com o tipo de cerveja fabricada, tipo de levedura utilizada, qualidade dos processos de filtração, tipo de aditivos eventualmente acrescentados e eficiência dos processos de limpeza de equipamentos (SANTOS, 2005).

De acordo com Von Sperling (1996) e Giordano (2004), os processos de tratamento de efluentes líquidos podem ser classificados em físicos (gradeamento, peneiramento, separação de óleos e graxas, sedimentação, flotação, filtração), químicos (clarificação, eletrocoagulação, precipitação, adsorção, desinfecção) e biológicos (lagoas de estabilização, lodos ativados, filtros biológicos).

De modo geral, os processos de tratamento de efluentes nas empresas se tornam custos adicionais, que não apresentam retorno financeiro. Esses custos variam de acordo com o tipo de tratamento empregado e geralmente não são baratos. Por exemplo, um estudo americano

mostrou que uma cervejaria que trabalha com economia de recursos em seus processos usando 6 hl de água/hl de cerveja trata seu efluente com custo de U\$ 0,10/m³ (USAID, 1997).

Quando comparada com a alternativa físico-química para o tratamento de efluentes domésticos, a remoção biológica de nutrientes é particularmente atrativa, pois os custos geralmente são menores, não ocorre o aumento das concentrações de sais nos efluentes e evita-se a produção de lodos tóxicos, oriundos de processos com precipitação química, além do que, os processos biológicos de nitrificação, desnitrificação e remoção de fósforo têm-se mostrado promissores no controle da presença de nitrogênio e fósforo nos efluentes líquidos (PICKBRENNER, 2002).

Os estudos de tratamento biológico de efluentes do tipo sistemas “wetlands” são bastante difundidos. Eles utilizam espécies de macrófitas que possuem boa capacidade de absorção de nutrientes (N e P), como a Taboa (*Typha* sp.) (BRASIL et al., 2003; COLLAÇO, 2001; HUSSAR, 2001), o Junco (*Juncus sellovianus*) (SOUZA et al. 2000), o Aguapé (*Eichhornia crassipes*) e a Alface d’água (*Pistia stratiotes*) (HENRY-SILVA & CAMARGO, 2008). Entretanto, os estudos sobre tratamento de efluentes a partir de microalgas são mais escassos, porém, promissores. Alguns trabalhos mostram a aplicação das algas na remoção dos nutrientes e metais pesados, como também, na desinfecção das águas residuárias (DINIS et al., 2004), ressaltando vantagens do método na remoção de espécies metálicas, pelo baixo custo da operação e a elevada eficiência na remoção dos contaminantes de efluentes muito diluídos (VIDOTTI & ROLLEMBERG, 2004).

De acordo com Dinis et al (2004), no tratamento biológico, as lagoas fotossintéticas são importantes no processo de estabilização de águas residuais, pois a presença de microalgas fornece oxigênio às bactérias que removem nitrogênio e fósforo, além de promover a desinfecção desta água residual pelo aumento da taxa de mortalidade de bactérias patogênicas, que ocorre pela elevação da temperatura da água (conversão de luz em calor) e aumento do pH (através da atividade fotossintética).

De-Bashan et al. (2004), testaram a influencia da remoção de nutrientes de esgoto municipal com a combinação das microalgas *Chlorella vulgaris* e *C. sorokiniana* e bactérias (MGPB *Azospirillum brasilense*) e obtiveram melhores resultados na utilização conjunta de microalgas/bactérias do que apenas com as microalgas.

Desta forma, pode-se se dizer que a aplicação das microalgas no tratamento de efluentes é possível, porém, ainda faltam estudos que evidencie o quanto elas podem contribuir e melhorar os tratamentos.

A nutrição das microalgas é basicamente composta por nitrogênio e fósforo nas formas do íon amônio (NH_4^+) ou, na sua ausência, o nitrato (NO_3^-) e na forma de ortofosfato dissolvido (ESTEVES, 1988; TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008). Muitas espécies de microalgas, devido às suas propriedades nutricionais e químicas, são utilizadas para alimentação humana e animal, além de uma aplicação ampla nas indústrias de cosméticos, farmacêutica e bioquímica, como por exemplo, os gêneros *Chlorella*, *Spirulina*, *Scenedesmus*, *Isochrysis* e *Dunaliella*.

O gênero *Scenedesmus* é um dos gêneros de algas verdes mais comuns, sendo frequentemente encontrado em quase todo corpo de água, desde oligotróficos a eutróficos (BICUDO; MENEZES, 2005). Além da ampla distribuição, é de fácil isolamento e cultivo e apresenta um excelente conteúdo nutricional (BECKER, 1994). Assim, é um gênero interessante para pesquisas tanto na bioindicação e na biorremediação, quanto na biotecnologia de alimentos e biocombustíveis.

Neste trabalho, avaliou-se a eficiência do gênero de microalgas *Scenedesmus* na remoção de compostos nitrogenados e fosfatados de efluente de cervejaria, determinando as variações nas características iniciais do efluente e no decorrer do tratamento, o aumento da densidade populacional, as relações N:P, o rendimento e a proteína da biomassa de microalgas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

Foram realizados dois experimentos iguais, em períodos diferentes, no Laboratório de Limnologia, Ecotoxicologia e Biomanipulação (LEB), no Centro de Pesquisas em Aquicultura Ambiental (CPAA) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) no município de Toledo/PR.

2.2 Sistema de tratamento do efluente

O sistema foi montado “in door”, composto de nove caixas de fibra de vidro com capacidade para 100 litros. Em cada caixa instalou-se uma bomba submersa (650L/h) para agitação da água e uma lâmpada de 250W mista com intensidade média de 1500 Lux

(medidos através de luxímetro digital Homis mod. 120) posicionada centralizada 1m acima do nível da água.

O primeiro experimento foi realizado em setembro de 2010 e o segundo no período de novembro e dezembro de 2010. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com três tratamentos, cada um com três repetições. Foram realizadas três coletas de efluente bruto (sem tratamento prévio, além do gradeamento de sólidos grosseiros) de uma indústria cervejeira em horários diferentes do mesmo dia, sendo a primeira no início da manhã e as outras em intervalos de aproximadamente duas horas. Cada coleta apresentou concentrações diferentes de nutrientes e foi denominada como um tratamento seguindo a sequência do horário de coleta: 1ª coleta = T1, 2ª coleta = T2 e 3ª coleta = T3, para o experimento 1 e para o experimento 2 foram denominados T4, T5 e T6. Em cada unidade experimental foram adicionados 80L de efluente e inoculados cinco litros de cultura de microalga *Scenedesmus* sp. proveniente do LEB, onde foi isolada e é cultivada (SEBASTIEN; GRANJA, 2005) obtendo-se um volume total de 85L. A caracterização inicial dos tratamentos é apresentada na tabela 1.

Tabela 1: Caracterização inicial dos tratamentos. Médias das três repetições.

	Dia/hora	pH	OD (mg/L)	T (°C)	Nitrato (mg/L)	Ortofosfato (mg/L)	Fosfóro total (mg/L)
1ª coleta -T1	4-set/ 7:00	10,07	6,98	21	5,025	1,922	2,457
2ª coleta -T2	4-set/ 9:00	10,01	6,4	21	4,463	2,162	2,468
3ª coleta -T3	4-set/ 11:00	10,13	6,07	21	4,463	2,087	2,937
4ª coleta -T4	12-nov/ 7:00	7,81	6,0	24	3,983	0,917	1,337
5ª coleta -T5	12-nov/ 9:00	7,48	4,9	24,4	7,233	1,089	1,998
6ª coleta -T6	12-nov/ 11:00	7,45	3,0	27	6,629	1,728	3,307

2.3 Análise do crescimento algal

A análise do crescimento algal foi realizada através da contagem das células algais em câmara de Neubauer, com microscópio óptico Olympus (aumento 400X), de acordo com Sipaúba-Tavares & Rocha, (2001). Foram realizadas 11 contagens celulares (nos dias 0, 2, 4, 6, 8, 11, 13, 16, 18, 20, 24) e a partir dos dados foram elaboradas as curvas de crescimento de *Scenedesmus* sp. de cada um dos tratamentos.

2.4 Monitoramento dos parâmetros físicos e químicos dos tratamentos

Os experimentos se estenderam por 24 dias sendo realizadas quatro coletas para análise dos parâmetros: pH (Potenciômetro Adwa AD111), OD e Temperatura (oxímetro Adwa AD 610), Nitrato, Ortofosfato e Fósforo total dissolvido (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - APHA, 2005). As amostras foram coletadas em frascos de polietileno e armazenadas em geladeira, sendo posteriormente analisadas no Laboratório de Limnologia GERPEL/UNIOESTE.

2.5 Obtenção e análise da biomassa

Ao final dos experimentos, foram realizadas as coletas da biomassa de microalgas de cada tratamento através da floculação, utilizando-se o coagulante/floculante de origem vegetal Tanfloc (Tanato quaternário de amônio) (TANAC S.A., 2009) na proporção de 2×10^{-4} mL/L de cultura. Após a decantação da biomassa, realizou-se a filtração, com o auxílio de uma bomba de sucção e filtro de malha $20\mu\text{m}$. A biomassa extraída foi submetida à prensagem manual e posteriormente à pré-secagem em estufa a 60°C durante 72h para obtenção da biomassa seca (A.O.A.C., 1990), sendo posteriormente triturada, através de um moedor de café, e submetida à análise da proteína bruta (PB) (método de Kjeldahl, A.O.A.C., 1990).

2.6 Análise dos resultados

As curvas de crescimento de *Scenedesmus* foram submetidas à análise de regressão em função do tempo, obtendo-se o coeficiente de determinação R^2 para verificar a influência do meio de cultura a base de efluente de cervejaria no crescimento das microalgas. Os resultados dos parâmetros químicos foram submetidos à análise de regressão e foi calculada a porcentagem de remoção dos compostos pela seguinte fórmula:

$$R = (C_i - C_f / C_i) * 100$$

Onde:

R = remoção (%)

C_i = concentração inicial do composto (mg/L)

C_f = concentração final do composto (mg/L)

Para comparar os tratamentos, os resultados foram submetidos à análise de variância através do programa Statistica 7.0, sendo ANOVA unifatorial para análise do rendimento e proteína e ANOVA de medidas repetidas para a análise da remoção dos compostos. Quando constatada diferença entre as médias, estas foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Avaliou-se a correlação existente entre os parâmetros químicos e a densidade algal. Para obter o rendimento da biomassa final seca de cada tratamento em g/L, dividiu-se o peso seco da biomassa pelo volume do cultivo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise do crescimento algal

No experimento 1, o crescimento celular em todos os tratamentos iniciou com divisão celular acelerada, caracterizando a fase exponencial de crescimento. Em T1 o pico de crescimento ocorreu no 16º dia com $117,7 \times 10^4$ cél./mL, enquanto T2 e T3 tiveram seu pico no 24º dia com 181×10^4 cél./mL e 195×10^4 cél./mL, respectivamente. O ajuste das curvas de crescimento de *Scenedesmus* sp. mostrou os seguintes coeficientes R^2 : T1= 0,96; T2: 0,97 e T3: 0,96 (figura 1).

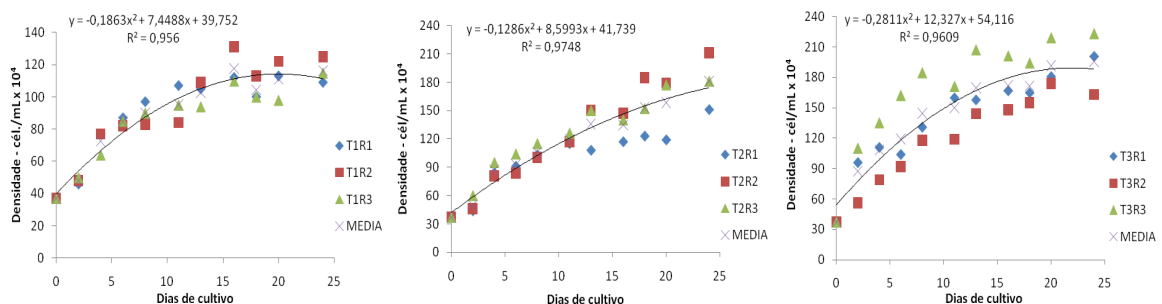


Figura 1: Curvas de crescimento de *Scenedesmus* sp. Repetições e médias dos tratamentos T1, T2 e T3.

Nos tratamentos do experimento 2, o crescimento celular apresentou comportamento semelhante, porém com maior densidade populacional. O tratamento T4 atingiu média de 367×10^4 cél./mL, já T5, apresentou média de 524×10^4 cél./mL e T6, superou o crescimento, alcançando 776×10^4 cél./mL, no 24º dia. O ajuste das curvas (R^2) foram: T4= 0,87; T5: 0,96 e T6: 0,99 (figura 2).

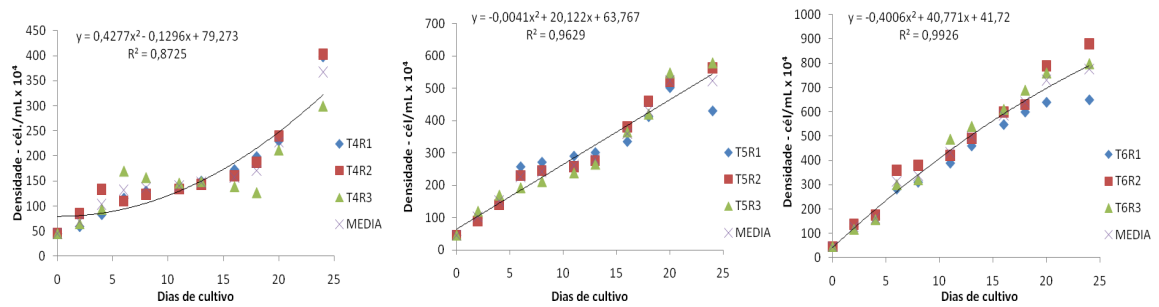


Figura 2: Curvas de crescimento de *Scenedesmus* sp. Repetições e médias dos tratamentos T4, T5 e T6.

Nota-se que o gênero de microalgas *Scenedesmus* não necessita de um período de adaptação ao meio de cultivo, por ser comum e cosmopolita. Esse gênero já inicia seu crescimento de forma exponencial. Esse comportamento também foi observado em outro cultivo de *Scenedesmus* usando uma concentração de 10% de efluente de cervejaria. No experimento, as células se dividiram de forma constante atingindo $109,2 \times 10^4$ cél./mL, em um período de nove dias (MACAGNAN & SEBASTIEN, 2011 em preparação). Vendrúsculo (2009) cultivou *Scenedesmus quadricauda* em meio CHU, meio biodigerido de suínos e aves e obteve comportamento semelhante da curva, sem fase de adaptação, porém, apresentando picos menores de crescimento variando de 103 a 133×10^4 cél./mL. do sétimo ao décimo primeiro dia.

A figura 3 apresenta as médias da densidade final algal de cada tratamento, onde se verificou que, estatisticamente os tratamentos T2 e T3 não apresentaram diferenças entre si e apresentaram maior densidade em relação ao T1. Já no experimento 2, os tratamentos T4 e T5 não foram distintos, sendo diferentes de T6, que apresentou maior densidade celular final. As variações no crescimento algal ocorrem porque este é influenciado por diversos fatores, como luminosidade, temperatura, disponibilidade de nutrientes, estágio fisiológico das células, entre outros.

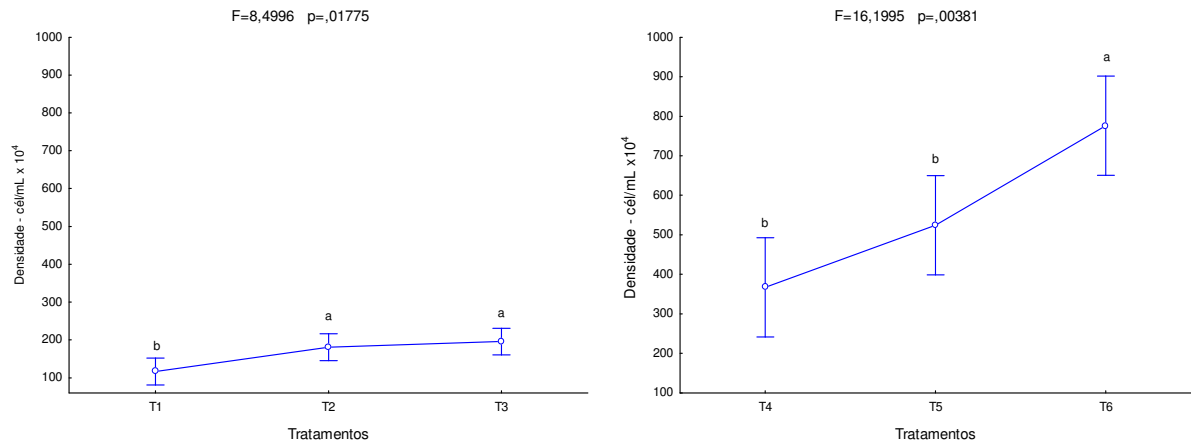
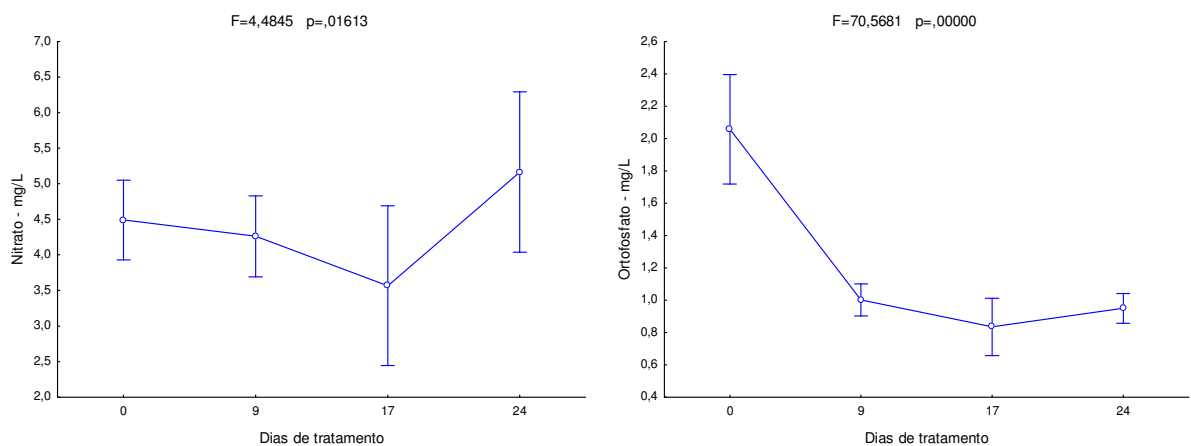


Figura 3: Médias \pm 95% de intervalo de confiança para a densidade algal final de todos os tratamentos. Letras iguais representam tratamentos iguais.

3.2 Monitoramento dos parâmetros físicos e químicos dos tratamentos

As concentrações iniciais dos compostos químicos variaram em cada tratamento, em decorrência da própria variação do processo produtivo da indústria cervejeira. No experimento 1, a ANOVA de medidas mostrou que todos os tratamentos apresentaram comportamentos similares, havendo diferença de remoção dos compostos no decorrer do tempo de tratamento, sendo as maiores médias de remoções obtidas em 17 dias de tratamento tanto para nitrato quanto para ortofosfato e fósforo total. Cabe ressaltar que houve retroalimentação do sistema quando o nitrato é disponibilizado no meio (figura 4).



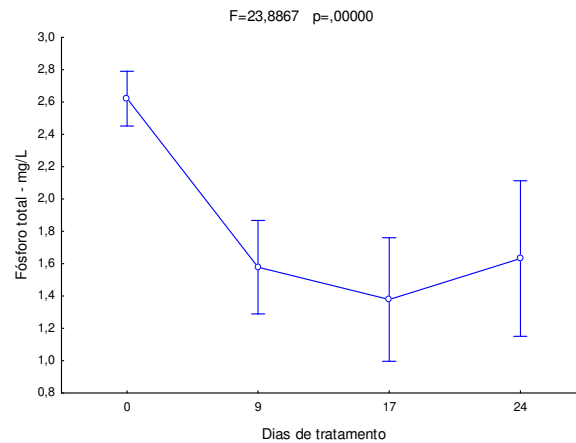
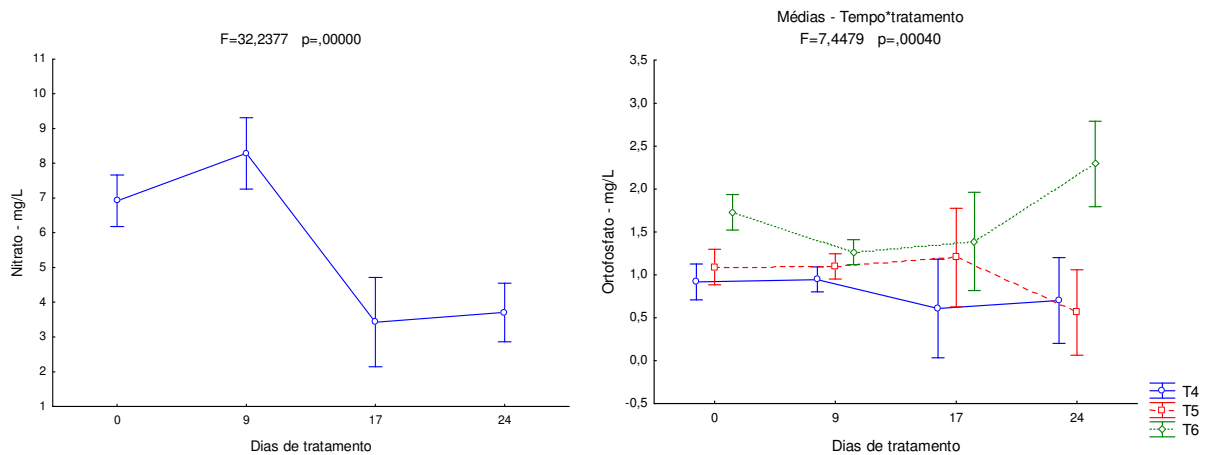


Figura 4: Médias \pm 95% de intervalo de confiança para nitrato, ortofosfato e fósforo total no decorrer do experimento 1.

No experimento 2, a remoção do nitrato também foi maior em 17 dias para todos os tratamentos, já a remoção do ortofosfato e do fósforo diferiram entre os tratamentos e no tempo. T4 apresentou maior remoção de ortofosfato e fósforo em 17 dias, enquanto em T5, a remoção de ambos os compostos foi maior em 24 dias. No tratamento T6, a remoção do ortofosfato ocorreu em nove dias e o fósforo, em 17 dias de tratamento, ocorrendo redistribuição desses compostos após este período (figura 5).



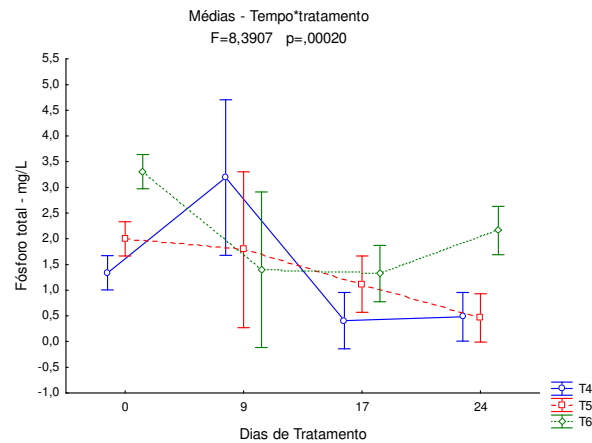


Figura 5: Médias \pm 95% de intervalo de confiança para nitrato, ortofosfato e fósforo total no decorrer do experimento 2.

O monitoramento do pH, OD e temperatura no experimento 1, em todos os tratamentos mostrou que houve queda do pH inicial em torno de 10 para 7. Esse comportamento de queda do pH aconteceu pelo consumo de CO_2 pelo processo de fotossíntese, com a formação de ácido fosfórico (H_3PO_4) que contribui na síntese de proteína (LOURENÇO, 2006). Já o OD se manteve entre 7mg/L, e a temperatura variou de 21 a 25°C. No experimento 2, o pH teve comportamento contrário, iniciando neutro e chegando em torno de 9. A temperatura nesse experimento variou de 24 a 27°C. Esse aumento do pH é ocasionado pela ação das bactérias contidas no meio durante a decomposição da matéria orgânica.

De modo geral, a remoção dos compostos fosfatados foi mais eficiente em relação ao nitrato, pois o ortofosfato é um fator limitante para o fitoplâncton, é o causador da eutrofização. As porcentagens de remoção variaram de 8 a 60% de nitrato, de 27 a 66% de ortofosfato e de 40 a 77% de fósforo total (figura 6).

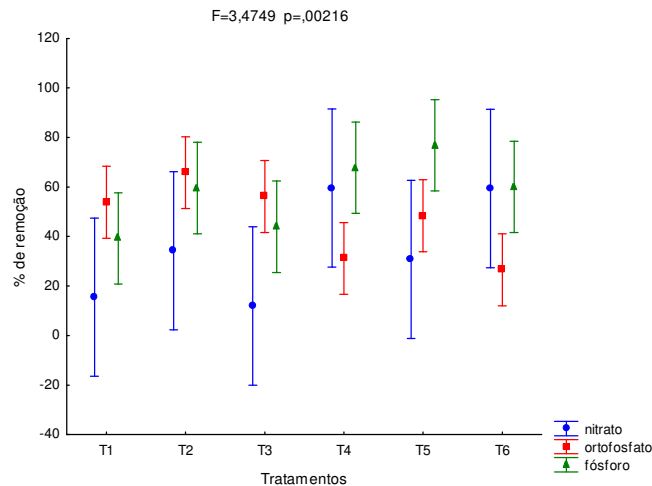


Figura 6: Médias \pm 95% de intervalo de confiança das porcentagens de remoção do nitrato, ortofosfato e fósforo total dos tratamentos.

As taxas de remoções diárias dos compostos são apresentadas na tabela 2, onde se pode visualizar o período de remoção máxima e os períodos de disponibilização destes compostos. A maior taxa de remoção do nitrato foi de 0,25 mg/dia no T4 em 17 dias, e as maiores taxas de remoção do ortofosfato e do fósforo foram, respectivamente, de 0,084 mg/dia no T2 e 0,12 mg/dia no T6 em 17 dias.

As proporções de remoção de $\text{NO}_3^-:\text{H}_3\text{PO}$ variaram de 1:0,5 em T6 a 1:6,7 em T3, sugerindo o requerimento maior de fósforo para o gênero *Scenedesmus*. Overbeck (1988), afirma que a proporção requerida pelo fitoplâncton de nitrogênio é maior do que fósforo, em média 7,2:1 e em um sistema de tratamento de esgoto municipal esta proporção é reduzida para 3:1.

Tabela 2: Taxas de remoções dos compostos em mg/dia.

Nitrato	17 dias	24 dias	Ortofosfato	9 dias	17 dias	24 dias	Fósforo total	17 dias	24 dias
T1	*0.054	0.009	T1		*0.062	0.043	T1	*0.057	0.031
T2	*0.089	-0.078	T2		*0.084	0.049	T2	*0.087	0.026
T3	*0.020	-0.015	T3		*0.069	0.047	T3	*0.075	0.066
T4	*0.25	0.16	T4		*0.02	0.01	T4	*0.05	0.04
T5	0.12	*0.14	T5		-0.01	*0.02	T5	0.05	*0.06
T6	*0.24	0.10	T6	*0.05	0.02	-0.02	T6	*0.12	0.05

* Maiores valores de remoção observados

Os resultados obtidos de remoção dos compostos foram satisfatórios quando comparados a estudos de outros autores, como Kebede-Westhead et al. (2003), que também utilizaram alga no tratamento de efluentes. Esses pesquisadores conseguiram obter remoções

de 52% de N e 59% de P, como também, ressaltaram várias vantagens no método de tratamento a partir das algas, como: a remoção de nutrientes; a oxigenação dos sistemas de tratamento; a redução do odor e a coleta de biomassa.

Lau et al (1995), obtiveram remoções de mais de 90% do íon amônio e 80% do íon fosfato presentes em esgoto primário municipal, com *Chlorella vulgaris* com densidades de 1×10^6 , 5×10^6 e 1×10^7 células.ml⁻¹, enquanto que no presente estudo, utilizando *Scenedesmus*, altos valores de remoção dos compostos foram obtidos com densidades celulares menores. Henry-Silva & Camargo (2008) registraram 72,5% de remoção do fósforo total de efluente de carcinicultura com a associação das macrófitas *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes* no tratamento, porém, a concentração do fósforo presente no efluente era em média de 12 vezes menor do que no presente estudo.

De acordo com Vitousek et al. (1997), o nutriente mineral que limita o crescimento de algas de água doce oligotróficas é a forma de íon fosfato (H₂PO₄). Nessa água, a concentração desse íon é baixa, pois é complexado por Al³⁺, Fe³⁺ e Ca²⁺, formas estas altamente insolúveis nos sedimentos de lagos e solos. Quando o fósforo torna-se abundante, em águas eutróficas, não é mais limitante ao crescimento das algas, então outros nutrientes (geralmente N, e às vezes Fe) tornam-se limitantes (GRAHAM & WILCOX, 2009).

A tabela 3 mostra as correlações entre o crescimento algal e a concentração dos compostos. Nota-se que todos os tratamentos apresentaram correlações negativas entre as variáveis, nutriente e crescimento celular, mostrando que quando o crescimento celular aumenta o nutriente diminui. De modo geral as correlações variaram de moderada a forte, com exceção do fósforo total em T4 que mostrou correlação fraca (-0,08). Esses resultados sugerem que o tratamento proposto foi eficiente na remoção dos compostos, uma vez que houve a utilização dos compostos nos processos fisiológicos das células algais, proporcionando o crescimento populacional.

Tabela 3: Correlações entre a concentração dos compostos e o crescimento algal.

Composto	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Nitrato	-0,84	-0,82	-0,33	-0,72	-0,52	-0,63
Ortofosfato	-0,95	-0,97	-0,95	-0,66	-0,54	-1
Fósforo total	-0,93	-0,99	-0,85	-0,08	-0,95	-0,88

Nota: p = - 1 Significa uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis, isto é, se uma variável aumenta, a outra diminui.

Apenas no tratamento T4 a correlação foi mais significativa entre o nitrato e o crescimento algal. Nos outros cinco tratamentos, prevaleceram correlações mais fortes entre os compostos fosfatados e o crescimento das microalgas.

3.3 Rendimento da biomassa e proteína bruta

No experimento 1 o rendimento da biomassa variou de 0,15g/L em T1 a 0,19g/L em T3 e a proteína bruta de 19% em T1 a 27% em T3. Os valores de rendimento obtidos foram maiores e estatisticamente iguais em T2 e T3, no entanto T2 também foi igual ao T1. Os resultados de T2 e T3 para proteína foram estatisticamente iguais e maiores que T1 (figura 7).

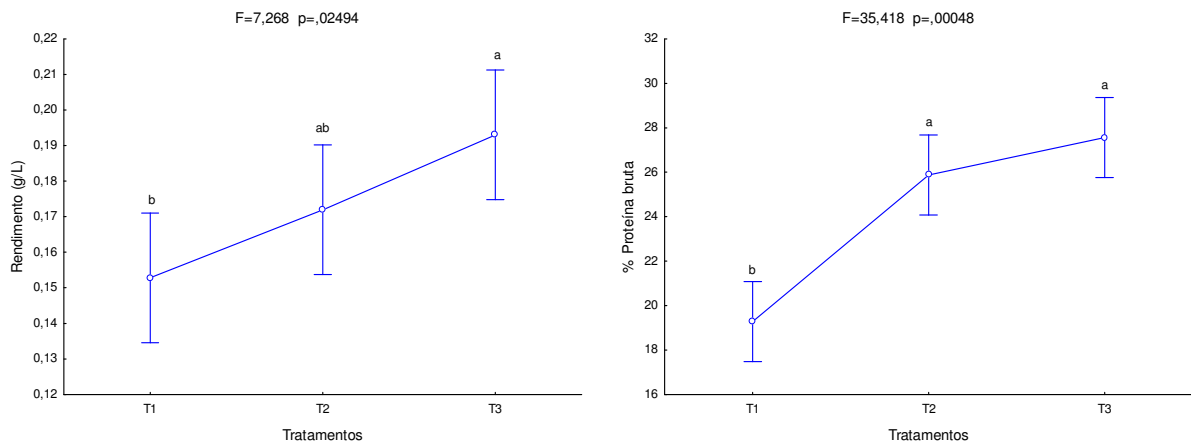


Figura 7: Médias de rendimento da biomassa algal e proteína dos tratamentos do experimento 1. Letras iguais representam tratamentos iguais.

No experimento 2, o rendimento foi de 0,13g/L em T4, 0,13g/L em T5 e 0,19g/L em T6, sendo esses resultados iguais estatisticamente. A proteína bruta apresentou maiores valores em T5 com média de 46%, seguido de T6 com 40% e T4 com 34% (figura 8).

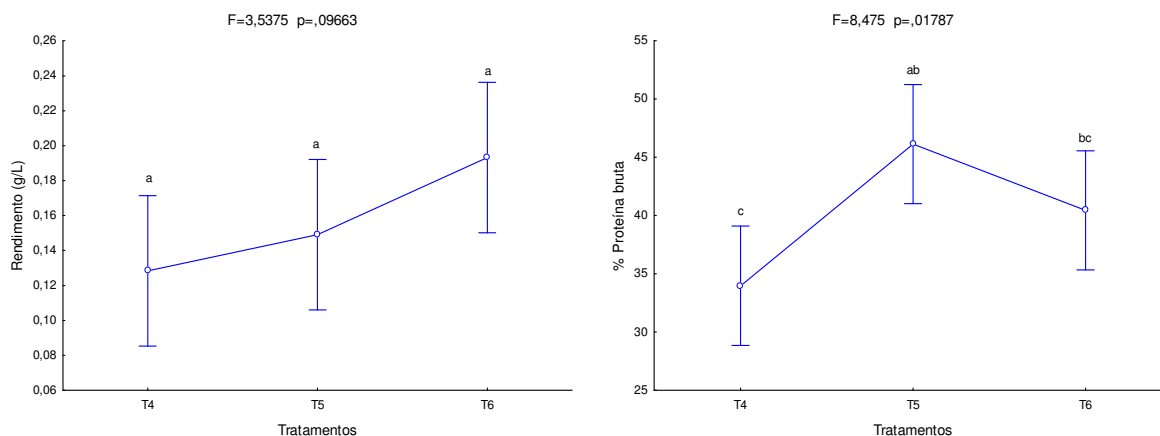


Figura 8: Médias de rendimento da biomassa algal e proteína dos tratamentos do experimento 2. Letras iguais representam tratamentos iguais.

As porcentagens de proteína bruta foram consideravelmente maiores nos tratamentos do experimento 2 que no experimento 1. Isso pode estar relacionado às maiores taxas de remoção do nitrato e do fósforo no experimento 2 sendo então convertidos em proteínas, pois segundo GRAHM & WILCOX (2009) para o crescimento das algas, elas necessitam da combinação de nitrogênio para sintetizar aminoácidos, ácidos nucleicos, clorofila e outros nitrogênios convertidos a compostos orgânicos, retirando o íon amônio ou nitrato diretamente da água. Esses valores de proteína são satisfatórios quando comparados com Fioresi & Sipaúba-Tavares (2008), que obtiveram até 36% de PB para a microalga *Ankistrodesmus gracilis* cultivada em meio à base de esterco suíno. Sebastien (1999) cultivou *Dunaliella salina* e *Isochrysis galbana* em meio composto de fertilizante agrícola e água de matadouro, obtendo 27,91% e 20,30%, respectivamente.

Estudos mostram que a concentração de fosfato e nitrogênio no meio de cultura reflete no rendimento da proteína e do óleo. Um cultivo de *Chlorella* rendeu 15,7% de proteína em um meio contendo $0,25 \text{ mg.L}^{-1}$ de fosfato e dobrando-se esta concentração de fosfato o valor da proteína alcançou 37% (MAHASNEH, 1997). A redução na quantidade de nitrogênio no meio de cultura possibilita a síntese de lipídios e carboidratos (RIGANO et al., 1998) e a carência de fosfato no meio de cultivo aumenta o teor de lipídios da biomassa seca (SIPAÚBA-TAVARES, 1995).

A proteína obtida na biomassa de microalgas do tratamento 5 supera as porcentagens encontradas em alguns alimentos rotineiros da dieta humana, como o leite (26%), a soja (37%) e a carne (43%) (BECKER, 1994).

Cabe ressaltar que após o tratamento realizado com as microalgas ocorreram mudanças significativas nas características do efluente de cervejaria, sendo eliminados praticamente todo o odor e a turbidez.

Os resultados mostram que pequenas variações na composição do efluente refletem em resultados diferenciados, podendo ser em termos de crescimento populacional das microalgas, em eficiência de remoção, ou em composição protéica da biomassa.

Diante dos resultados obtidos pode-se sugerir um sistema de tratamento biológico que apresenta resultados significativos de remoção de nitrato, ortofosfato e fósforo, conforme o esquema apresentado na figura 9, quando após o período de retenção de 17 dias deverá ser realizada a manutenção do sistema de tratamento com a colheita das algas e a inoculação de uma nova cultura de microalgas, para que haja novamente o processo de remoção dos nutrientes até o esgotamento máximo. Assim, a água tratada poderá ser lançada diretamente no corpo receptor, se atendidos os limites permitidos pela legislação, ou poderá ser reutilizada dentro da própria empresa.

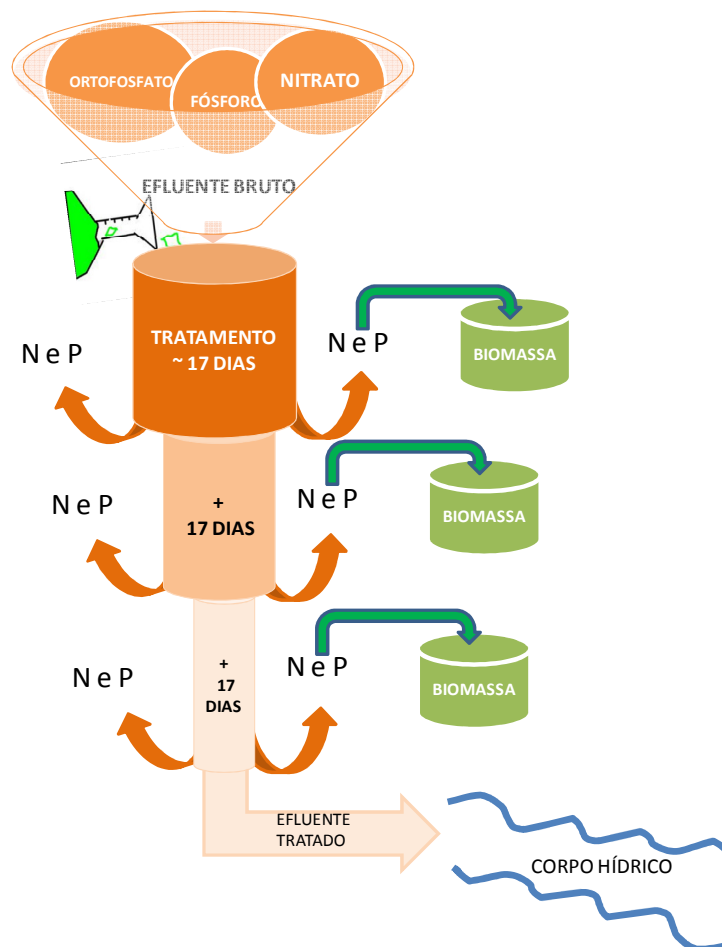


Figura 9: Esquema de tratamento de efluente a partir de microalgas.

4 CONCLUSÃO

Conforme os resultados conclui-se que é possível realizar a remoção de nitrato, fósforo e ortofosfato do efluente de cervejaria através de microalgas do gênero *Scenedesmus*, caracterizando um tratamento biológico do efluente. Esse tratamento deve apresentar tempo de retenção de no máximo 17 dias para que não haja a retroalimentação do sistema. Além disso, a biomassa de microalgas obtida no tratamento do efluente apresentou altas porcentagens de proteína para ser reaproveitada.

5 REFERÊNCIAS

APHA (American Public Health Association); AWWA (American Water Works Association); WEF (Water Environment Federation). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21ª Ed. Washington – DC: APHA, 2005.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - A.O.A.C. **Official methods of analysis**. 15th. ed., Washington, 1990.

BECKER, E.W. **Microalgae: biotechnology and microbiology**. Cambridge studies in biotechnology: New York, USA. 293p, 1994.

BICUDO, C.E.de M.; MENEZES, M. **Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições**. São Carlos: Rima, 2005

BORGES, L.; FARIA, B. M de; ODEBRECHT, C.; ABREU, P. C. Potencial de absorção de carbono por espécies de microalgas usadas na aquicultura: primeiros passos para o desenvolvimento de um “mecanismo de desenvolvimento limpo”. **Atlântica**, Rio Grande, 29(1): 35-46, 2007.

BRASIL, M. da S.; MATOS, A. T. de; FIA, R. Eficiência e impactos ambientais do tratamento de águas residuárias da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro em áreas alagadas naturais. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.11, n.1-4, Jan./Dez., 2003.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA **resolução nº 357, de 17 de março de 2005**: dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005.

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**. 2001. 77 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola /Água e Solo)- Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

DE VRIES, P. J.R. & HOTTING, E. J. 1985. Bioassays with *Stigeoclonium tenue* Kutz on wathers receiving sewage effluents. **Water research** 19: 1405 – 1410.

DE-BASHAN, L. E., HERNANDEZ, J. P. MOREY, T. BASHAN, Y. (2004). Microalgae Growth- Promoting Bacteria as “Helpers” for Microalgae: a Novel approach for Removing for Ammonium and Phosphorus from Municipal Wastewater. **Water Research**, 38, pp. 466-474.

DINIS, M. A.; MONTEIRO, A.; BOAVENTURA, R. Tratamento de águas residuais: o papel das microalgas. **Revista da Faculdade de Ciência e Tecnologia**, n.1. Disponível em:< <http://hdl.handle.net/10284/557>>. Acesso em: 05 de abril de 2011.

ESTEVES, Francisco de Assis. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 1988.

FIORESI, T. B.; SIPAÚBA-TAVARES, L. H. CULTIVO DE *Ankistrodesmus gracilis* (Chloropyta) em laboratório à base de esterco suíno. **Biotemas**, v. 21, p.7-16, 2008.

GIORDANO, G. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. UFMT: Cuiabá, 2004.

GRAHAM, L. E.; WILCOX, L. W. **Algae**. Upper Saddle River- NJ, USA: Prentice Hall, 2009.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Tratamento de efluentes de carcinicultura por macrófitas aquáticas flutuantes. **R. Bras. Zootec.**, v.37, n.2, p.181-188, 2008

HUSSAR, G. J. **Avaliação do desempenho de leitos cultivados no tratamento de águas residuárias de suinocultura**. 2001. 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola / Água e Solo)- Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

KEBEDE-WESTHEAD, E.; PIZARRO, C.; MULBRY, W.W., 2003. Production and nutrient removal by periphyton grown under different loading rates of anaerobically digested flushed dairy manure. **J. Phycol.** 39, 1275–1282.

LAU, P. S.; TAM, N. F. Y.; WONG, Y. S. Effect of algal density on nutrient removal from primary settled wastewater. **Environmental Pollution** 89 (1995) 59-66.

LOURENÇO, S. O. **Cultivo de microalgas marinhas – princípios e aplicações**. São Carlos: Rima, 2006. 606p.

MAHASNEH, I. A. Production of single cell protein from five strains of the microalga *Chlorella sp* (Chlorophyta). **Cytobios**, v.90, p.153-161, 1997.

OVERBECK, J., 1988. Ecosystem concepts. In: JORGENSEN, S. E. and VOLLENWEIDER, R. A. (eds) **Guidelines of lake management**. Vol. 1 **principles of lake management**, ILEC: 19-34.

PEREIRA, J. L. & BRANCO, L. H. Influencia do nitrato e fosfato no crescimento de *Schizomeris leibleinii* Kutzing (Chaetophorales, Chlorophyta). **Acta bot. Bras.** 21 (1): 155 – 162. 2007.

PICKBRENNER, K. **Uso de reator seqüencial em batelada (rsb) para pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio**. Dissertação (mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 2002.

RIGANO, V. D. M.; VONA, V.; ESPORITO, S.; CARILLO, P.; CARFAGNA, S.; RIGANO, C. The physiological significance of light and dark NH₄⁺ metabolism in *Chlorella sorokiniana*. **Phytochemistry**, v.47, p.177-181, 1998.

SANTOS, M.S. **Cervejas e refrigerantes**. Série P+L. CETESB Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo, 2005. 58 p. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 10 agosto de 2009.

SEBASTIEN, N.Y. **Biotechnologia de cultivo de microalga: pré-requisito para um desenvolvimento sustentável**. Fortaleza, 1999. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará. 1999.

SEBASTIEN, N.Y; GRANJA, R. P. Cultivo de *Scenedesmus*: alimento vivo para a manutenção de organismos planctônicos e implementação na dieta humana. **Revista Varia Scientia**. v. 05, n. 10, p. 113-121, 2005.

SILVINO et al., **Estudo do pós-tratamento de efluentes de reatores UASB utilizando lagoas de estabilização, no tratamento de despejos de indústria cervejeira**. 2007. Disponível em: www.saneamento.poli.ufrj.br/documentos/24CBES/II-116.pdf. Acesso em: 05 de junho de 2009.

SIPAÚBA-TAVARES, L. H. **Limnologia aplicada à aquicultura**. Jaboticabal: FUNEP, 1995. (Boletim Técnico, 1).

SIPAÚBA-TAVARES, L. H. ROCHA, O. **Produção de Plâncton (Fitoplâncton e zooplâncton) para alimentação de organismos aquáticos**. São Carlos: RIMA, 2001.

SOUZA, J. T.; VAN HANANDEL, A. C.; GUIMARÃES, A. V. A. Pós-tratamento de efluente de reator UASB utilizando sistemas “Wetlands” construídos. **Revista Brasileira de**

Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 87-91, 2000. ..\..\wetlands em esgoto domestico. SALARO JUNIOR.pdf

TANAC S.A. **Ficha de informações de segurança de produtos químicos – Tanfloc SG**. Montenegro/RS: TANAC, 2009. Disponível em: http://www.tanac.com.br/PT/upload/produtos/FISPQ_TANFLOC_SG_PO_PT.pdf. Acesso em 01 de setembro de 2009.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Texto, 2008.

UNITED STATES AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT, **Pollution prevention diagnostic assessment- Brewery- Final Report**, USAID, Washigton, 1997.- 42p.

VENDRÚSCOLO, J. B. G. **Cultivo da microalga Scenedesmus quadricauda em efluentes de biodigestão de aves e suínos**. 2009. Dissertação (Mestrado Profissional – Tecnologia em Aqüicultura Continental) – Universidade Católica de Goiás. 2009.

VIDOTTI, E. C. & ROLLEMBERG, M. do C. E. Algas: da economia nos ambientes aquáticos à bioremediação e à química analítica. **Quim. Nova**, Vol. 27, N. 1, 139-145, 2004.

VITOUSEK, P. M.; ABER, J. D.; HOWARTH, R. W.; LIKENS, G. E.; MATSON, P. A.; SCHINDLER, D. W.; SCHLESINGER, W. H.; TILMAN, D. G. Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. **Ecological Applications**, 7(3), 1997, p. 737–750.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos – 2. ed.** Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1996.