

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Centro de Engenharias**  
**Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária**



Trabalho de Conclusão de Curso

**Avaliação do reúso do efluente oriundo da indústria de laticínios  
tratado por *Aphanothece microscopica* Nägeli**

**Matheus Weber Amaro**

Pelotas, 2017

**Matheus Weber Amaro**

**Avaliação do reúso do efluente oriundo da indústria de laticínios  
tratado por *Aphanothece microscopica* Nägeli**

Trabalho de conclusão de curso acadêmico apresentado ao Centro de Engenharias, da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adriana Gonçalves da Silva Manetti

Pelotas, 2017

Matheus Weber Amaro

Avaliação do reúso do efluente oriundo da indústria de laticínios tratado  
por *Aphanothece microscopica* Nägeli

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado, como requisito parcial, para  
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária, Centro de  
Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 07/08/2017

Banca examinadora:

.....  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adriana Gonçalves da Silva Manetti (Orientadora), Doutora em  
Engenharia e Ciência de Alimentos.

.....  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vanessa Sacramento Cerqueira, Doutora em Microbiologia Agrícola  
e do Ambiente.

.....  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cláudia Fernanda Lemons e Silva, Doutora em Fitotecnia.

## **Agradecimentos**

Agradeço a minha mãe, por toda ajuda e apoio durante o meu caminho na universidade.

Aos meus avós, por sentirem orgulho e me motivarem a seguir em frente.

A minha grande amiga e namorada Mayara, por ter me ajudado e durante o último ano do curso, incluindo o tcc.

Agradeço a minha orientadora Adriana, pela disposição para correção do meu tcc em todos os momentos.

## Resumo

AMARO, Matheus Weber. **Avaliação do reúso do efluente oriundo da indústria de laticínios tratado por *Aphanothece microscopica* Nägeli**. 2017. 47f. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

A indústria de laticínios produz uma grande quantidade de efluente em seu processo produtivo, que abre uma grande oportunidade para tratamento e reúso do mesmo. Dentro deste contexto, o trabalho teve por objetivo caracterizar o efluente após tratamento com a microalga *Aphanothece microscopica* Nägeli, bem como verificar seu possível reúso. As amostras foram coletadas diretamente do tanque de equalização da estação de tratamento de efluentes e transportados em garrafas de PET até o laboratório da Agência da Lagoa Mirim. O efluente foi caracterizado segundo os parâmetros de reúso em sistemas de refrigeração, segundo a resolução CONAMA 357/2005. As análises foram realizadas de acordo com o *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. Os parâmetros estudados foram: Sílica; Amônia; Sólidos totais; Sólidos suspensos; Turbidez; Cloretos; DQO; Dureza; Alcalinidade; pH; Sulfato; Fósforo; Alumínio; Cálcio; Magnésio; Manganês; Ferro e Coliformes. De acordo com os resultados obtidos, ficou evidenciado que o efluente analisado possui um grande potencial para reúso em sistemas de refrigeração, no entanto, há necessidade de maior estudo para adequar todos os parâmetros à legislação vigente.

Palavras-chave: Laticínios; Reúso de efluente; Microalga; *Aphanothece*.

## Abstract

AMARO, Matheus Weber. **Evaluation of the reuse of effluent from the dairy industry treated by *Aphanothece microscopica* Nägeli**. 47f. Course Conclusion Paper (TCC). Graduation in Environmental and Sanitary Engineering. Federal University of Pelotas, Pelotas.

The dairy industry produces a large amount of effluent in its production process, which opens a great opportunity for treatment and reuse of the same. Within this context, the objective of the work was to characterize the effluent after treatment with the microalga *Aphanothece microscopica* Nägeli, as well as verify its possible reuse. The samples were collected directly from the equalization tank of the treatment plant and transported in bottles of PET to the laboratory of the Agência da Lagoa Mirim. The effluent was characterized according to the reuse parameters in refrigeration systems, according to CONAMA Resolution 357/2005. The analyzes were performed according to the *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. The parameters studied were: Silica; Ammonia; Total solids; Suspended solids; Turbidity; Chlorides; COD; Toughness; Alkalinity; pH; Sulfate; Phosphor; Aluminum; Calcium; Magnesium; Manganese; Iron and Coliforms. According to the results, it was evidenced that the analyzed effluent has a great potential for reuse in refrigeration systems, however, there is a need for more study to fit all the parameters to the current legislation.

Keywords: Dairy, Effluent reuse, Microalgae, *Aphanothece*.

## **Lista de Figuras**

Figura 1	Representação esquemática das etapas de tratamento visando o reúso de água	29
----------	--	----

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1	Eficiências de remoção dos parâmetros indicados pelo CONAMA 357/2005	31
Tabela 2	Combinações de letras diferentes indicam diferença significativa após teste estatístico de Tukey	36



## Lista de Abreviaturas e Siglas

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
FAO	Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação
C/N	Razão carabono nitrogênio
SS	Sólidos suspensos
ST	Sólitos totais
DQO	Demanda química de oxigênio
pH	Potencial hidrogeniônico
EE	Efluente do tanque de equalização
EA	Efluente tratado com <i>Aphanothece</i>
EAC	Efluente tratado com a <i>Aphanothece</i> e coagulante
E <sub>1</sub>	Eficiência de remoção (primeira etapa)
E <sub>2</sub>	Eficiência de remoção do efluente EA em relação ao EAC
E <sub>T</sub>	Eficiência total

## Sumário

1 Introdução.....	11
1.1 Objetivos.....	14
1.1.1 Objetivo Geral.....	14
1.1.2 Objetivos Específicos.....	14
2 Revisão Bibliográfica .....	15
2.1 Indústria de laticínios.....	15
2.2 Efluente de laticínios.....	16
2.3 Cianobactéria.....	19
2.4 Cianobactéria no tratamento de efluentes .....	21
2.5 Aphanothece Microscopica Nageli .....	22
2.6 Reúso de águas residuárias.....	24
2.7 Processo de coagulação e floculação associado ao reúso .....	26
3 Metodologia .....	28
3.1 Obtenção do efluente .....	28
3.2 Preparo do inóculo.....	28
3.3 Reúso da água residuária.....	29
3.4 Desenvolvimento dos experimentos .....	30
4 Resultados e Discussão .....	31
5 Conclusão.....	38
Referências.....	39

## 1 Introdução

O leite bovino está entre os mais importantes produtos do complexo agroindustrial brasileiro, movimentando cerca de 64 bilhões de reais anualmente e produzindo, no ano de 2013, 33,9 bilhões de litros de leite (BANCO DO BRASIL, 2010; IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2014). Segundo o último censo agropecuário (IBGE, 2006), existem aproximadamente 5,2 milhões de propriedades rurais no país, sendo que 25% atuam na bovinocultura leiteira, envolvendo diretamente cerca de 5 milhões de pessoas. Existem diferentes sistemas de criação de bovinos leiteiros, merecendo destaque os sistemas extensivo, semiextensivo e intensivo. Cada um destes sistemas produtivos interagem de maneira peculiar com o meio ambiente e seus recursos naturais, exercendo influências distintas que irão determinar o nível de impacto causado (BRASIL, 1999).

A indústria de laticínios impacta o ambiente a partir dos resíduos sólidos, líquidos e emissões atmosféricas gerados durante ou após o processo de produção. Independentemente do tamanho e potencial poluidor da indústria, a legislação ambiental exige que todas as empresas tratem e disponham de forma adequada seus resíduos. A forma mais racional e viável de fazer o controle ambiental é minimizar a geração dos resíduos pelo controle dos processos e buscar alternativas de reciclagem e reúso para os resíduos gerados reduzindo ao máximo os custos com tratamento e disposição final (DA SILVA, 2011).

O controle e tratamento dos efluentes líquidos industriais devem contemplar uma sequência de operações unitárias e processos constituídos basicamente por três subsistemas. Um tratamento preliminar, para separação de sólidos grosseiros carregados nos despejos, um tratamento primário, removendo-se nessa etapa, sólidos em suspensão e gorduras, com a consequente redução na concentração de DBO e finalmente, um tratamento secundário, onde ocorrerá a redução da matéria orgânica, através de processos biológicos, propostos como última etapa do tratamento (FILHO, 2014), geralmente sendo utilizados lodos ativados.

No contexto do desenvolvimento sustentável, os processos de tratamento de efluentes líquidos devem ser encarados como fluxogramas para recuperação de insumos e energia, e não apenas adequação da qualidade da água. Esta visão favorece o investimento em tecnologias inovadoras, pois a água adquire valor econômico como alternativa de suprimento e diminuição de custos. Dentro deste contexto, técnicas avançadas de tratamento de efluentes líquidos exercem um papel fundamental no tratamento e gerenciamento de efluentes industriais, com o objetivo de atingir padrões de qualidade sustentável para o ambiente aquático, proteção da saúde pública e para reúso e recirculação da água (PEREIRA, 2014).

O uso de processos que possibilitem o reúso de efluentes é um assunto de grande importância. No Brasil, concentra-se de 13 a 15% da água de todo o planeta. No entanto, existe uma divisão irregular dos mananciais hídricos no país. Deste total, 80% estão concentradas na Amazônia, região que possui apenas 5% da população do país, e os restantes 20% concentram-se nas regiões onde vivem 95% da população. E é neste ponto que a questão da política do reúso da água se une à questão ambiental da proteção aos mananciais e ao saneamento básico, tornando-se necessários, projetos, mecanismos e tecnologias para a melhoria da qualidade dos corpos d'água (ANA, 2013).

Dentro deste contexto, a aplicação de microalgas e cianobactérias no tratamento de efluentes têm sido estudada, pelo fato de envolver baixos custos, quando este método de tratamento é comparado aos sistemas convencionais de tratamento de efluentes, tais como, lodo ativado e nitrificação-desnitrificação (QUEIROZ et al., 2007). Ao contrário de sistemas de tratamento biológico envolvendo o princípio de nitrificação-desnitrificação, sistemas utilizando microalgas ou cianobactérias são capazes de remover matéria orgânica e nutrientes do efluente em uma única etapa, onde estes são, muitas vezes, incorporados à biomassa, com potencial de reúso da água residuária tratada por esses microrganismos (ORTIZ et al., 1997; SILVA-MANETTI, 2013; SILVA MANETTI, 2008).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho será avaliar o potencial de reuso do efluente de uma indústria de laticínios tratado por *Aphanothece microscópica* Nägeli.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Avaliar o potencial de reuso do efluente de uma indústria de laticínios tratado por *Aphanothece microscópica* Nägeli.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar o efluente gerado pela indústria de laticínios;
- Avaliar o potencial de reuso do efluente gerado após tratamento com *Aphanothece microscópica* Nägeli.

## 2 Revisão Bibliográfica

### 2.1 Indústria de laticínios

De acordo com a FAO (Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação) o mundo produziu aproximadamente 754 bilhões de litros de leite em 2012, sendo a Ásia o continente com maior produção, (37,1%) seguido da Europa (28,7%) e Américas (24,2%). O Brasil produziu aproximadamente 35 bilhões de litros de leite em 2013, ocupando a 3ª posição no ranking mundial, atrás apenas da Índia e dos Estados Unidos.

A produção brasileira, que em 2003 era de 22,2 bilhões de litros, cresceu 57% na última década. Os aumentos da produtividade e do rebanho ordenhado auxiliaram nesse crescimento. De acordo com o IBGE, em 1980 a produção média no Brasil era de 676 litros/vaca/ano passando para 1.381 litros/vaca/ano em 2011. Mesmo com o significativo aumento, a produtividade brasileira ainda é muito baixa em comparação a grandes produtores mundiais, como os Estados Unidos, que chegam a produzir em média 9.590 litros/vaca/ano (FAO).

O Brasil também se destaca na produção mundial de leite em pó e queijos. Minas Gerais é o maior produtor de leite do Brasil, com 27,6% da produção nacional (IBGE, 2012). O Estado também se destaca na produção de queijos regionais (FILHO, 2014).

A composição percentual média do leite de diferentes raças é de 87,5% de água e 12,5% de extrato seco total. Nesse extrato seco total encontram-se contidos a lactose com teor de 4,7%, as proteínas com 3,5%, as gorduras com 3,5% e 0,8% de sais minerais. A água é o componente do leite de maior volume e influi consideravelmente na densidade.

Nos processos de fabricação de produtos lácteos, a lactose tem papel essencial na fermentação láctica, onde ocorre a transformação desta em ácido láctico, base da fabricação de iogurtes e outros leites fermentados. Pode ser extraída do soro de queijo sob a forma de pó. A principal proteína do leite é a caseína, sendo encontrada na forma coloidal e corresponde a 78% da fração proteica total. O restante dessa fração é composto por albuminas e globulinas, representando 18% e 4%, respectivamente (FILHO, 2014).

## 2.2 Efluente de laticínios

Durante todas as etapas de produção do setor de laticínios, são gerados aspectos ambientais inerentes ao processo industrial. Estes aspectos são, em sua maioria, os efluentes líquidos industriais, resíduos sólidos e as emissões atmosféricas, que sem o devido controle e mitigação, possuem potencial de geração de impactos ambientais associados à atividade (FILHO, 2014).

O setor de laticínios constitui uma parcela importante da indústria alimentícia, e sua contribuição material em termos de poluição de águas receptoras é significativa, portanto, torna-se necessário e obrigatório o tratamento prévio de seus despejos (resíduos) líquidos antes do lançamento para disposição final em curso d'água.

Os resíduos líquidos da indústria de laticínios, mais conhecidos como efluentes industriais são despejos líquidos originários de diversas atividades desenvolvidas na indústria, que contém leite e produtos derivados do leite – segundo Da Silva (2011), podem ser considerados produtos como açúcar, pedaços de frutas, essências, condimentos, produtos químicos diversos utilizados nos procedimentos de higienização, areia e lubrificantes que são diluídos nas águas de higienização de equipamentos, tubulações, pisos e demais instalações da indústria - e demandam grandes quantidades de água, descarregando conseqüentemente grandes volumes de efluentes, podendo resultar para cada litro de leite processado a geração de até onze litros de efluente (BRIÃO, 2000; MARKOU & GEORGAKAKIS, 2011).

Considerando a natureza das águas residuárias originadas nas indústrias de laticínios, os efluentes líquidos gerados nos setores de produção são considerados os principais responsáveis pela poluição causada pela indústria de laticínios pois esse efluente é rico em amônia, sais minerais, fósforo e altos níveis de sólidos suspensos, tais como lactose, gordura e proteína (MARKOU & GEORGAKAKIS, 2011).

Em muitos laticínios, o soro – subproduto líquido da fabricação de queijo e caseína – é descartado junto com os demais efluentes, sendo considerado um forte agravante devido ao seu elevado potencial poluidor – aproximadamente cem vezes mais poluente que o esgoto doméstico.



Atualmente constitui prática incorreta descartar o soro, direta e indiretamente, nos cursos de água. Uma fábrica com produção média de 300.000 litros de soro por dia polui o equivalente a uma cidade com 150.000 habitantes (DA SILVA, 2011).

O soro, o leiteiro e o leite ácido, pelos seus valores nutritivos e pelas suas elevadas cargas orgânicas não devem ser misturados aos demais efluentes da indústria. Ao contrário, devem ser captados e conduzidos separadamente, de modo a viabilizar o seu aproveitamento na fabricação de outros produtos lácteos ou para utilização direta (com ou sem beneficiamento industrial) na alimentação de animais (DA SILVA, 2011).

Embora os efluentes líquidos decorrentes dos vários processos empregados pela indústria de laticínios tenham uma natureza geralmente similar entre si, refletindo o efeito das perdas de leite e de seus derivados e as operações de higienização, a sua composição detalhada é influenciada pelos seguintes fatores: Volume de leite processado; tipo de produto e escala de produção por linha; tecnologia e tipos de equipamentos utilizados; práticas de redução da carga poluidora e do volume de efluentes; atitudes de gerenciamento e da direção da indústria em relação às práticas de gestão ambiental; padronização dos procedimentos de higienização (DA SILVA, 2011).

As técnicas de tratamento para este efluente geralmente estão associadas aos processos tradicionais que combinam tratamento físico (ou físico-químico) com tratamento biológico. Entretanto, a moderada eficiência destes para remoção de compostos eutrofizantes, bem como as desvantagens específicas de cada tratamento biológico levam a busca de sistemas que atendam às necessidades crescentes referentes a qualidade do efluente tratado (SARKAR et al., 2006; VOURCH et al., 2008).

A aplicação de técnicas para o tratamento de efluentes tem sido valorizada no sentido de recuperação de compostos descartados nos corpos receptores para um possível reuso desses compostos, ocorrendo cada vez mais um maior número de pesquisas com vistas nesse objetivo (SARKAR et al., 2006; VOURCH et al., 2008; SILVA-MANETTI et al., 2010).

A função de um processo de tratamento biológico é remover a matéria orgânica do efluente industrial, através do metabolismo de oxidação e de

síntese de células. Este tipo de tratamento é normalmente utilizado em virtude da grande quantidade de matéria orgânica facilmente biodegradável, presente em sua composição (JANCZUKOWICZ et al., 2007; BANU et al., 2008; VOURCH et al., 2008; KUSHWAHA et al., 2010).

Assim, na maioria dos casos, efluente lácteos são tratados por métodos biológicos convencionais como lodo ativado, leitos percolados, lagoas de estabilização e reatores anaeróbios os quais o principal intuito é a remoção de matéria orgânica e da biomassa gerada (XU et al., 2006; ARVANITOYANNIS & KASSAVETI, 2008; BANU et al., 2008).

O processo de lodos ativados envolve uma alta concentração de microrganismos que são mantidos no tanque de aeração, através do retorno dos lodos, o que reduz o tamanho total do reator biológico. A massa microbiana produzida é então separada do efluente tratado no sedimentador secundário (BRANCO, 1971). Segundo Von Sperling (1996), as principais desvantagens do processo de lodos ativados são custos elevados de implantação e operação, consumo elevado de energia, índice elevado de mecanização, relativamente sensível a descargas tóxicas e necessidade do tratamento completo do lodo e da sua destinação final.

Semelhante a outros métodos biológicos, a técnica de valo de oxidação engloba períodos de aeração maiores do que os comumente adotados nos processos convencionais como o de lodos ativados, devido ao que a nitrificação se aproxima da estabilização total (HESS, 1971).

Segundo Além Sobrinho (1983), os leitos percoladores, indevidamente denominados filtros biológicos, consistem de um leito de percolação feito com material altamente permeável, por onde o esgoto a ser tratado percola no sentido vertical (de cima para baixo). No material de enchimento do leito, forma-se uma película gelatinosa (massa biológica), composta por microrganismos e na qual vai sendo retida a matéria orgânica a ser decomposta. A maior desvantagem destes sistemas relativamente aos sistemas de lodo ativado reside na sua menor eficiência de remoção, no custo de instalação superior, bem como na necessidade de maior área para implantação (GRAY, 2004).

As lagoas de estabilização são bastante utilizadas nos sistemas de tratamento biológico, nas quais a estabilização da matéria orgânica é realizada pela oxidação bacteriológica (oxidação aeróbia ou fermentação aeróbia) e/ou redução fotossintética das algas. De acordo com a forma predominante pela qual se dá a estabilização da matéria orgânica a ser tratada, as lagoas recebem nomenclaturas diversas na NBR 9800 (ABNT, 1987). Segundo Von Sperling (1996), as principais desvantagens das lagoas são, elevados requisitos de área, dificuldade em satisfazer padrões de lançamento bem restritivos, simplicidade operacional pode trazer o descaso da manutenção (crescimento de vegetação), possível necessidade de remoção de algas do efluente para o cumprimento de padrões rigorosos, performance variável com as condições climáticas (temperatura e insolação) e possibilidade do crescimento de insetos.

Os reatores anaeróbios de fluxo ascendente, UASB, descrevem outra técnica de tratamento de águas residuais. Estes reatores são semelhantes a outros processos anaeróbios, com as mesmas limitações (baixa eficiência, controle operacional difícil em alguns casos, etc.), porém resultam em áreas bastante reduzidas, tornando-se atrativos quando comparados com lagoas anaeróbias, por exemplo, em especial tratando efluentes de alta carga orgânica (FIGUEIREDO, 1992). Segundo Chernicharo (1997, p.17), as principais desvantagens são geração de maus odores, Baixa remoção de nutrientes e patógenos, Necessidade de pós-tratamento e Partida Lenta, ou seja, muito tempo para o sistema entrar em regime na primeira vez.

No entanto, apesar das diferentes técnicas de tratamento de efluentes citadas, existe outra utilizando microalgas/cianobactérias para remoção de matéria orgânica. Para Aslan e Kapdan (2006) as vantagens de se utilizar essa técnica na remoção de fosforo e nitrogênio incluem o baixo custo de operação e a possibilidade de aproveitamento dos nutrientes assimilados na biomassa das algas, evitando o problema de tratamento do lodo e descarga dos efluentes em corpos d'água.

### **2.3 Cianobactéria**

Cianobactérias são microrganismos de origem extremamente remota, com registros fósseis de cerca de 3,5 bilhões de anos (CARMICHAEL, 1994). São geralmente aquáticas e realizam fotossíntese, por esse motivo e por possuírem pigmento azulado (ficocianina), as cianobactérias eram conhecidas por algas azuis. No entanto, depois do advento da microscopia eletrônica, verificou-se que esses organismos não eram algas, já que não eram eucariontes (membrana nuclear definida e presença de mitocôndrias) e sim, bactérias que são organismos mais simples do grupo procarionte, sem membrana envolvendo o material nuclear (CARMICHAEL, 1994).

Esses organismos são os principais contribuintes da fixação de nitrogênio nos habitats aquáticos (MATEO, 2006). Da mesma forma, possuem grande importância ecológica, pois são responsáveis pela fertilidade dos corpos aquáticos e dos solos indutores da produção primária dos ecossistemas.

As cianobactérias são importantes componentes do fitoplâncton tanto em águas doces quanto marinhas, podendo, ocasionalmente, formar florações em corpos d'água eutrofizados. Também estão presentes em associações simbióticas com diatomáceas, samambaias, líquens e esponjas. Apresentam clorofila *a* como pigmento principal, além de *s*-caroteno e pigmentos acessórios conhecidos como ficobilinas, que podem ser azuis ou vermelhos. Os pigmentos acessórios encontram-se em estruturas conhecidas como ficobilissomas, as quais se localizam na superfície externa dos tilacóides. Os tilacóides se encontram livres no citoplasma e não são organizados em pilhas. A parede celular é composta por peptidoglicano e a reprodução estritamente assexuada, por divisão celular simples. (FOGG, 1977; SCHMETTERER, 1994; RAVEN et al., 1992; BARSANTI; GUALTIERI, 2006; JACOB-LOPES et al., 2008; MAGER & THOMAS, 2011).

As cianobactérias possuem mecanismos para tolerar a incidência de raios ultravioletas, concentrações elevadas de metais pesados, baixas concentrações de oxigênio, baixas e altas temperaturas e podem ser encontradas em desertos (WHITTON & POTTS 2000).

Além disso, algumas espécies podem fixar, em estruturas denominadas heterocitos, o nitrogênio atmosférico na forma metabolizável de amônio,

formar acinetos, que são células diferenciadas que funcionam como esporos de resistência e controlar sua posição na coluna d'água através de estruturas denominadas aerótopos (WHITTON & POTTS 2000).

## **2.4 Cianobactéria no tratamento de efluentes**

As cianobactérias têm se mostrado agentes potencialmente úteis no tratamento de águas residuárias, uma vez que possuem a habilidade de remover matéria orgânica e nutrientes dos efluentes incorporando-os a biomassa (BASTOS et al., 2004, QUEIROZ et al., 2007; DE-BASHAN & BASHAN, 2010; ABDEL-RAOUF et al., 2012).

O uso de cianobactéria no biotratamento de águas residuárias é uma alternativa técnico-científica potencial em relação aos sistemas convencionais de tratamento secundário e terciário de efluentes. Esses processos são baseados nas rotas metabólicas respiratórias que algumas espécies de cianobactérias apresentam no qual fontes exógenas de carbono orgânico e nutrientes inorgânicos são bioconvertidos em produtos do metabolismo heterotrófico, particularmente em uma biomassa com elevados teores de proteínas, carboidratos, lipídeos e pigmentos (ZEPKA et al., 2010; PEREZ-GARCIA et al., 2011; ABDEL-RAOUF et al., 2012).

Estudos iniciados na década de 60, refere-se à utilização de microalgas como agentes importantes na mitigação de problemas ambientais. Neste contexto existem trabalhos relativos ao sequestro de carbono por cianobactérias e ao tratamento de águas residuárias (JACOB-LOPES et al., 2008).

Em virtude das características dessa biomassa, processos baseados em cianobactérias têm sido considerados potenciais tecnologias para converter resíduos industriais em insumos passíveis de serem utilizados, seja na fertilização dos solos, na forma de proteínas unicelulares ou na obtenção de biocombustíveis (JACOB-LOPES, et al., 2010).

A mistura completa do meio contendo os microrganismos garante condições homogêneas de modo a evitar sedimentação das células e aumentar a eficiência da utilização de luz na cultura, além de prevenir a estratificação

térmica e a ocorrência de gradientes de pH e nutrientes, supersaturação de oxigênio e o esgotamento do dióxido de carbono na superfície do reator e condições anaeróbias na parte inferior (CRAGGS et al., 1997; MARTINEZ et al., 2000).

Entretanto, um dos maiores problemas na utilização de microalgas para a remoção de nutrientes é a sua recuperação do efluente tratado. As cianobactérias possuem um diâmetro pequeno (menor que 20  $\mu\text{m}$ ). Esta característica, junto com o fato que a maioria das espécies possui a densidade específica ligeiramente maior do que a água, torna a sua separação difícil e onerosa (LALIBERTE et al., 1997; TAM & WONG, 2000; MORENO-GARRIDO, 2008; CASTAING et al., 2010; CHISTENSON & SIMS, 2011).

Além disso, muitas têm uma carga elétrica fortemente negativa na superfície, o que as mantém dispersas. Uma maneira de resolver isto é o uso de coagulantes/floculantes, podendo ser separados por sedimentação ou floculação, ou então a utilização de tecnologia de imobilização, na qual os microrganismos são fixados em uma matriz, o que impede o arraste da biomassa nos biorreatores e facilita a separação (CRAGGS et al., 1997; BASHAN et al., 2002; TAM & WONG, 2000; KUSHWAHA et al., 2010; KIM et al., 2011; CHISTENSON & SIMS, 2011; PEREZ-GARCIA et al., 2011a; ABDEL-RAOUF et al., 2012).

## **2.5 *Aphanothece Microscopica* Nägeli**

A *Aphanothece microscopica* Nägeli é uma cianobactéria caracterizada por apresentar células cilíndricas, formar colônias macroscópicas amorfas, com mucilagem abundante, firme e rígida. A coloração é verde azulada escura, células adultas são elípticas e cilíndricas, conteúdo celular finamente granulado, medindo 9,0 – 9,5  $\mu\text{m}$  x 4,2  $\mu\text{m}$ , cerca de 2,1 vezes mais comprida que larga, dividindo-se por fissão binária (HALPERIN et al., 1974). E, taxonomicamente, classificada na divisão *Cyanophyta*, classe *Cyanophyceae*, ordem *Chroococales*, família *Synechococaceae* e subfamília *Aphanothecoideae* (ANAGNOSITIDIS & KOMARE, 1988; BARSANTI; GUALTIERI, 2006).

A cianobactéria *Aphanothece microscopica* Nägeli ocorre em altas concentrações no estuário da Lagoa dos Patos, com florações constantes durante todo ano (SILVA-MANETTI, 2012).

Segundo Queiroz et al. (2002) esta cianobactéria é capaz de desenvolver-se no escuro a partir da matéria orgânica presente no efluente. Estes autores avaliaram a remoção de nutrientes do efluente da parboilização do arroz por estes microrganismos na ausência de luz, registrando remoções de 97,67% de matéria orgânica e 90,37% de nitrogênio em tempo de detenção celular de 15 h, inóculo de 300 mg.L<sup>-1</sup> e temperatura de 25°C.

A avaliação da eficiência de remoção de nutrientes por esta cianobactéria em condições heterotróficas tem sido enfatizada também quanto a remoção de fósforo (QUEIROZ et al., 2007; ZEPKA et al., 2008; HORNES et al., 2010; GUERRA-VIEIRA et al., 2012).

Guerra-Vieira et al. (2012), demonstraram a habilidade da *Aphanothece microscópica* Nägeli, cultivada heterotroficamente em assimilar, não só formas simples de fósforo, como também frações complexas como fósforo hidrolisável em meio ácido e fósforo orgânico, com taxas de remoção similares ou superior ao registrado para fósforo reativo.

Além do nutriente citado, a temperatura e razão C/N influenciam significativamente, com destaque para a razão C/N, no que se refere a remoção de DQO e diferença significativa quanto a produção de proteína unicelular (SILVA-MANETTI, 2012).

Um problema gerado junto ao duplo propósito de tratar efluentes mediante a aplicação do potencial removedor de nutrientes e obtenção de constituintes da biomassa de interesse industrial é a questão da separação desta biomassa da água residuária. Neste sentido, Silva-Manetti et al. (2011), estudou a separação da biomassa do efluente da indústria de laticínios, quando este foi tratado por *Aphanothece microscopica* Nägeli, mediante o uso dos coagulantes cloreto de ferro e sulfato de alumínio – a diferentes pH do efluente e concentrações de coagulantes. Neste trabalho, foi constatado que a melhor condição registrada ocorreu quando foi utilizado o cloreto de ferro na concentração de 300 mg.L<sup>-1</sup> a pH 7.

Silva-Manetti et al. (2011) avaliou, também, a possibilidade de reúso da água residuária resultante, ficando demonstrada a aplicabilidade da associação do tratamento de efluente – da indústria de laticínios, por *Aphanothece microscopica* Nägeli – e utilização de coagulantes para o reúso da água tratada. Assim, neste cenário, estudos promissores com *Aphanothece microscopica* Nägeli têm sido realizados, não somente no que se refere ao tratamento de águas residuais, mas como também em relação ao aproveitamento dos biocompostos de sua biomassa.

## **2.6 Reúso de águas residuárias**

A água é um recurso valioso que não deve ser desperdiçado. Cerca de 1% de toda a água tratada usada de forma residencial serve para beber, e o restante é empregado para lavagem em máquinas, banheiros, chuveiros, regar gramados, etc. O reúso ou a reciclagem da água não é um conceito novo (FIRJAN, 2006).

O reúso da água é um processo pelo qual ela passa, para que possa ser utilizada novamente. Neste processo pode haver ou não um tratamento da água, dependendo da finalidade para a qual vai ser reutilizada. Por se tratar de um bem natural que está cada vez mais raro e caro, reutilizar a água é de fundamental importância para o meio ambiente e também para a economia das empresas, cidadãos e governos.

A intensa preocupação com a escassez de água leva ao aumento considerável de demanda pelo tratamento de águas residuais (GARRIDO-BARSEBA et al., 2012). Porém, nem sempre as empresas incorporam ações sustentáveis de forma espontânea. Em muitos casos os padrões de qualidade são exigidos por meio de transações comerciais (BEZERRA e MONTEIRO, 2009) e pela legislação vigente, que, no caso do Brasil, se encontra escassa.

Atualmente, no Brasil, seja em nível Federal ou Estadual, não existem marcos regulatórios suficientes para que seja possível a ampla disseminação e controle do reúso de águas residuárias, sendo necessário que as empresas de saneamento e o setor privado em geral, criem seus próprios padrões embasados nas legislações ambientais e sanitárias vigentes, de forma que estes acabam tendo margens e limites tão, ou mais restritivos, que os das leis



tidas como referência, dependendo de seu uso, podendo inviabilizar tais práticas, ou então, abrindo possibilidade de aumento da poluição hídrica no caso da redução dos padrões de tratamento sob o pretexto da utilização para fins de reúso em atividades com padrões supostamente menos restritivos, como no caso do uso direto não potável (BONTUS e BOLONHESE, 2014).

As indústrias de alimentos são exemplos de atividades que sofrerem consequências econômicas com o conceito do usuário pagador, pois há um grande consumo de água para o processamento de seus produtos e limpeza de seus equipamentos. As indústrias de laticínios encontram-se nesse grupo de indústrias, pois as diferentes linhas de processamento e higienização de equipamentos, geram grandes volumes de água (BRIAO & TAVARES, 2007; MAPA, 2007; VOUCH et al., 2008; CHEN & LIU, 2012). Segundo MAPA (2007), o consumo de água de limpeza na indústria de processamento de leite, representa mais de 80 % da demanda de água do setor agroindustrial.

O cenário demonstrado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2012) aponta que o setor urbano é responsável por 26% do consumo de toda água bruta do país e a construção civil responsável por 16% de toda a água potável. O uso deste recurso não se restringe ao período de construção do empreendimento; em um edifício residencial convencional os sanitários consomem aproximadamente 70% de toda a água utilizada, encarecendo os custos do condomínio.

O setor industrial brasileiro conta com uma série de empresas que visam o reúso de água (MARCO, 2006; SANTOS, 2006). Santos (2006), avaliou a questão custo-benefício em relação ao reúso de águas industriais, para lavagem de fábrica e resfriamento de caldeiras de um frigorífico, indicando uma economia de até 60 % dos gastos com água.

A associação de microalgas a processos físicos e químicos com intuito do reúso da água residuária tratada é destacado em uma gama de trabalhos, com importantes resultados, destacando principalmente a aplicação de processos que envolvem a coagulação/floculação, na fase de separação da biomassa, seguido da separação de compostos residuais do efluente submetido ao tratamento biológico (KIM et al., 2005; SARKAR et al., 2005;

HAMDANI et al., 2005; CHEN et al., 2006; SILVA et al., 2009; SILVA-MANETTI et al., 2011; BELTRAN-HEREDIA., 2010; LUO et al., 2012).

## **2.7 Processo de coagulação e floculação associado ao reúso**

O termo coagular provém do latim *coagulare* e significa juntar (CAMPOS e POVINELLI, 1979). A coagulação é considerada um processo já que envolve fenômenos químicos e físicos e surgiu da necessidade do homem em melhorar o aspecto visual da água previamente ao consumo. Existem registros do século XVIII descrevendo a adição de sais de alumínio no tratamento de águas minerais na Inglaterra. A partir de 1827, em Londres, era empregado sulfato férrico associado ao aquecimento da água coagulada para remoção de cor e turbidez (LIBÂNIO, 2005).

A coagulação consiste na desestabilização das partículas coloidais e suspensas presentes na água, por meio da ação do coagulante, usualmente um sal de ferro ou alumínio, em contato com a água e suas impurezas. Essas ações físicas e químicas duram poucos segundos, os íons metálicos de ferro e de alumínio, quando em solução aquosa, carregados positivamente, formam ligações com os átomos de oxigênio liberando os átomos de hidrogênio e reduzindo o pH da suspensão. Este processo denomina-se hidrólise e seu produto são as espécies hidrolisadas. Durante a etapa de coagulação deve haver agitação da massa líquida de forma a proporcionar o contato dessas espécies com as impurezas presentes causando sua desestabilização. Essa agitação é chamada de mistura rápida (LIBÂNIO, 2005).

Na floculação, participam apenas fenômenos físicos de aglutinação das partículas, nos quais o principal objetivo é a redução de partículas coloidais e suspensas presentes na massa líquida. Para tanto, fornecem-se condições em termos de agitação e tempo de detenção, para que ocorram choques entre as partículas que foram previamente desestabilizadas na etapa de coagulação, objetivando a formação dos flocos a serem removidos na etapa de sedimentação (LIBÂNIO, 2005).

De acordo com Molina-Grima et al. (2003), a coagulação/floculação é um eficiente processo de pré-tratamento de efluentes, bem como de separação da biomassa gerada de efluentes tratados por microalgas. Tem como base a

adição de compostos químicos inorgânicos ou de polímeros de natureza orgânica no efluente a ser tratados, ou após tratamento, neste caso com o propósito de separar a biomassa.

Os coagulantes orgânicos tem sido utilizados como alternativa aos inorgânicos para produção de água potável visando a melhoria dos processos de tratamento, resultando a redução do lodo gerado e ausência de metais, aumentando a perspectiva do aproveitamento da biomassa e da água tratada (CHO et al., 2011; RIAÑO et al., 2012).

No que se refere ao uso de polímeros no tratamento de águas residuárias objetivando seu posterior reúso, os taninos, designados como moléculas fenólicas biodegradáveis, vem sendo notadamente indicados na literatura, em função da sua afinidade com proteínas, íons metálicos e corantes dispersos nos efluentes industriais. Afinidades estas atribuídas a seus grupos funcionais, como carboxílicos, álcoois éteres e anéis aromáticos (PARK & YOON, 2009; BELTRAN-HEREDIA, 2010; FARIZOGLU & UZUNER, 2011; DOLPHEN et al., 2011; LUO et al., 2012).

### 3 Materiais e métodos

#### 3.1 Obtenção do efluente

O efluente utilizado foi coletado após o tanque de equalização do sistema de tratamento de uma empresa de laticínios da cidade de Pelotas – RS.

Os parâmetros analisados seguiram as determinações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005) com base nos componentes indicados por Guidelines for Water Reuse, US Environmental Protection Agency Report para reúso de águas em sistemas de refrigeração (EPA, 1992), sendo eles: sílica, amônia, ST, SS, turbidez, DQO, dureza, alcalinidade, pH, sulfato, fósforo e coliformes totais. Os coliformes totais foram determinados através do método dos tubos múltiplos (SILVA, 1997). A turbidez foi medida em turbidímetro da marca Termo Orion, modelo Aquafast II. Os parâmetros alumínio, cálcio, magnésio, manganês, ferro foram analisadas no Laboratório de Análises Químicas Industriais e Ambientais (LAQIA)/Depto. de Química/CCNE – Universidade Federal de Santa Maria.

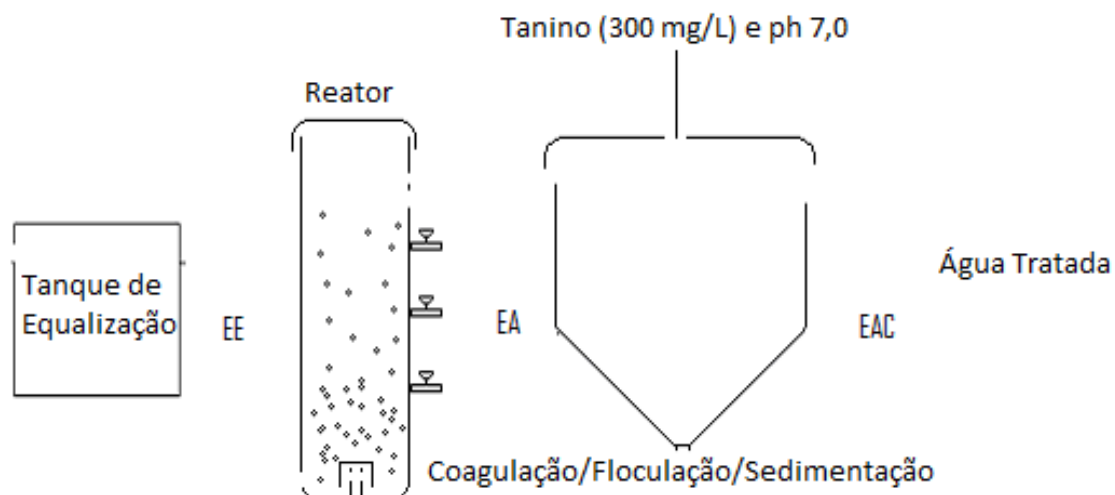
#### 3.2 Preparo do inóculo

Suspensões de *Aphanothece microscopica* Nägeli foram mantidas em meio BG-11 (Braun – Grunow Medium), (RIPPKA et al., 1979), à 25°C, pH 7,8, fotoperíodo de 12 h e 2000 lux de luminosidade (QUEIROZ, 1998). A concentração celular foi determinada gravimetricamente, através da filtração de volume conhecido de meio de cultura, na fase exponencial de crescimento, em filtro de diâmetro 0,45µm, seco a 60°C por 24 horas.

O meio BG-11 é composto por K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>.3H<sub>2</sub>O (0,04 g/L), MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (0,075 g/L), Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (0,15 g/L), NaNO<sub>3</sub> (0,15 g/L), EDTA (0,001 g/L), H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> (2,86 g/L), MnCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O (1,81 g/L), ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (0,222 g/L), Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O (0,39 g/L), CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O (0,079 g/L), CoCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O (0,040 g/L), ácido cítrico (0,006 g/L) e citrato de amônio férrico (0,006 g/L).

### 3.3 Reúso da água residuária

O procedimento de reuso da água residuária foi estabelecido segundo esquema expresso na Figura 1.



**Figura 1:** Representação esquemática das etapas de tratamento visando o reúso de água. EE (efluente do tanque de Equalização); EA (efluente do tratamento por *Aphanothece*); EAC (efluente tratamento com coagulante).

A cada etapa do processo a água residuária gerada foi caracterizado, segundo os parâmetros descritos em *Guidelines for Water Reuse, US Environmental Protection Agency Report* para reúso de águas em sistemas de refrigeração (EPA, 1992), visando sua reutilização em sistemas de refrigeração.

A eficiência de remoção de cada parâmetro a cada etapa foi calculada segundo a Equação 1.

$$\text{Eficiência:} \left[ \frac{(ET - EPT)}{EB} \right] \times 100$$

Onde:

ET: Efluente tanque equalização

EPT: Efluente após tratamentos

EB : Efluente bruto

### 3.4 Desenvolvimento dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos em reator em sistema descontínuo de mistura completa com capacidade de 5L com inóculo em torno de 200mg/L de células de *Aphanothece*, em fase exponencial de crescimento. Um volume de cultura equivalente ao requerido foi sedimentado, separado do sobrenadante, e transferido para o reator sob aeração constante (1VVM), pH 7,8, 25°C, ausência de luminosidade, e tempo de detenção hidráulico 8 horas (HORNES & QUEIROZ, 2004).

A separação da biomassa foi realizada em Jar-Test (Jar-Test Milan – Modelo JT 101) com jarros de 2000mL de capacidade, 19cm de altura e 12,5cm de largura. Foi utilizado o agente coagulante Tanino na concentração de 300mg.L<sup>-1</sup> e pH 7,0. Utilizou-se agitação rápida de 110 rpm durante 30 segundos, seguida de etapa lenta com velocidade de 50 rpm durante 10 segundos e tempo de sedimentação de 15 minutos.

Os resultados foram avaliados por análise de variância (ANOVA) e a diferença das médias pelo teste de Tukey.

#### 4 Resultados e Discussão

Na Tabela 1 estão expressos a caracterização do efluente da indústria de laticínios, com base nos componentes indicados na Resolução CONAMA nº 357/2005 para reúso de águas em sistemas de refrigeração bem como os limites sugeridos por esta resolução e eficiências de remoção a cada etapa do processo, quando são utilizados o tratamento com *Aphanothece* e coagulante.

**Tabela 1. Eficiências de remoção dos parâmetros indicados pelo CONAMA 357/2005.**

Parâmetros	CONAMA (2005)	EE	EA	E <sub>1</sub>	EAC	E <sub>2</sub>	E <sub>T</sub>
Sílica	50	2,15	2,11	1,86	0,66	68,72	69,30
Amônia	1	49,44	10,81	78,14	8,31	23,13	83,19
ST	1000	1436	1253,33	12,72	950,00	24,20	33,84
SS	-	89,33	168,00	88,07	19,33	88,49	78,36
Turbidez	50	117	165,00	41,03	4,00	97,58	96,58
Cloretos	250	298,90	276,27	7,5	395,18	43,04	32,21
DQO	75	1824,60	195,30	89,30	0,00	100,00	100,00
Dureza	650	156,67	141,33	9,79	139,67	1,17	10,85
Alcalinidade	350	6,04	4,63	23,34	1,64	64,58	72,85
pH	6,9 a 9	9,2	7,7	-	7,0	-	-
Sulfato	200	0,07	0,05	28,57	0,05	0,00	28,57
Fósforo	4	8,83	0,09	98,98	0,07	22,22	99,20
Alumínio	0,1	0,16	0,11	26,67	0,16	-	26,67
Cálcio	50	44,23	43,15	8,35	42,02	2,61	5,00
Magnésio	0,5	23,29	20,33	12,71	18,49	9,05	20,60
Manganês	0,5	0,08	0,04	50,00	0,13	-	-
Ferro	0,5	0,27	0,095	64,81	14,62	-	64,81
Coliformes Totais	2,2	< 2	< 2		< 2		

**Fonte: Autor (2016). Número de repetições por parâmetros: 3. Parâmetros expressos em mg/L; exceto turbidez (UNT - Unidade Nefelométrica), alcalinidade e dureza em mg/L CaCO<sub>3</sub>; sílica: mg/LSiO<sub>2</sub>. Coliformes totais: NMP/100mL.**

Avaliando os dados de caracterização obtidos (EE), observa-se principalmente quanto aos teores de DQO,  $\text{N-NH}_4^{+1}$ ,  $\text{P-PO}_4^{-3}$  e sólidos, que o efluente utilizado nos experimentos encontra-se dentro do perfil característico de efluente da indústria de laticínios. A água residuária do leite é caracterizada pelo alto conteúdo de compostos ricos em carbono, nitrogênio e fósforo (WANG et al. 2005), variando na faixa de 1195 a 5000  $\text{mg.L}^{-1}$  de DQO,  $\text{N-NH}_4^{+1}$  entre 16,5 – 118  $\text{mg.L}^{-1}$ , fósforo total na ordem de 2,4 a 38,6  $\text{mg.L}^{-1}$  e pH de 6,3 a 10,6. (KUSHWAHA et al., 2010; CHEN; LIU et al., 2012; BEEVI; SUKUMARAN, 2014). Intervalos estes, nos quais estão situados os dados registrados na Tabela 1. Os valores de sólidos totais (ST) e sólidos suspensos (SS), também encontram-se em concordância com a bibliografia (LUCAS, 1999; SARAIVA, 2003, QUEIROZ et al., 2007).

É importante salientar que comparando os resultados obtidos para caracterização do efluente do tanque de equalização, com os limites indicados pela Resolução CONAMA nº 357/2005, observa-se que os parâmetros inerentes a metais - com exceção do manganês,  $\text{SO}_4^{-2}$ , alcalinidade e dureza - são inferiores aos limites exigidos. LUCAS, (1999) encontrou para o efluente oriundo do processamento do leite, teores de sulfato e alcalinidade que variaram de 183 – 326,8 e 300 – 345  $\text{mg/L CaCO}_3$  para os parâmetros cloretos, sulfato e alcalinidade, respectivamente. As concentrações em sulfatos e alcalinidade registrados neste trabalho, são inferiores as comumente encontradas no efluente em análise. No entanto, estes valores são menores que os fornecidos pela legislação. Isso faz desta água residuária importante potencial para reúso em sistemas de refrigeração.

Avaliando-se comparativamente os dados registrados após tratamento com a cianobactéria *Aphanothece microscopica* Nägeli (EA) com os resultados do efluente oriundo do tanque de equalização da indústria de leite (EE), observa-se importantes remoções dos componentes da água residuária, salientando principalmente DQO e  $\text{P-PO}_4^{-3}$  com eficiências de remoção de 89,3% e 99%, respectivamente, e atingindo concentrações de fósforo inferiores ao indicado para reúso em sistemas de refrigeração de acordo com a resolução 357/2005 do CONAMA.



As cianobactérias são procariontes, cujo principal modelo metabólico é a fotossíntese. No entanto, algumas linhagens apresentam a capacidade de utilizarem compostos orgânicos heterotroficamente (ARDELEAN e ZARNEA et al., 1998). A alta eficiência de remoção de DQO pode ser explicada pela habilidade da *Aphanothece microscopica* Nägeli crescer em condições heterotróficas na ausência de luz (BASTOS et al., 2004; QUEIROZ et al., 2011; ZEPKA et al., 2010; SILVA-MANETTI et al., 2011). Foram registradas taxas de remoção de DQO na ordem de 87%, valor este bastante próximo, quando comparado, aos valores registrados para os efluentes da parboilização do arroz e do processamento de pescado com este microrganismo (BASTOS et al., 2004; QUEIROZ et al., 2004; ZEPKA et al., 2008; SILVA-MANETTI et al., 2011).

Os processos utilizando cultivo de microalgas também são largamente estudados para remoção de substâncias orgânicas e inorgânicas, oriundos de efluentes de estações de tratamento, pois atuam como agentes purificadores de alta eficiência, uma vez que utilizam os nutrientes presentes na composição do efluente para o seu desenvolvimento (SANCHO et al., 1999). O alto índice de remoção de fósforo constatado neste trabalho está de acordo com o reportado por HORNES & QUEIROZ (2004) que obtiveram 100% de remoção de  $P-PO_4^{3-}$  utilizando o microrganismo em estudo no tratamento do efluente da indústria de laticínios.

Lincoln et al. (1996) utilizaram o efluente de laticínios oriundo de um tratamento de um segundo estágio de uma lagoa anaeróbia como meio de cultivo para a cianobactéria *Arthrospira platensis*. Os autores reportam importante capacidade de remoção de 41% de fósforo total.

As cianobactérias têm sido indicadas como importantes agentes removedores de nitrogênio amoniacal (QUEIROZ et al., 2001; QUEIROZ et al., 2002; HORNES & QUEIROZ, 2004; SYLVESTRE et al., 1996), sendo registradas eficiências de remoção de até 100% por estes microrganismos inclusive para a cianobactéria *Aphanothece microscopica* Nägeli. Nos estudos de Lincoln et al. (1996), houve reduções de nitrogênio amoniacal de 100 mg.L<sup>-1</sup> a menos de 1 mg.L<sup>-1</sup> em sete dias, sendo a taxa máxima de remoção de 24 mg.L<sup>-1</sup> por dia. No que se refere à amônia, apesar do importante índice de

remoção (78%), se manteve inadequado para finalidade em questão, uma vez que este contaminante ocasiona problemas de corrosão severa em trocadores de calor quando em concentrações acima do permitido na Resolução 357/2005 do CONAMA.

No que se refere aos parâmetros ST, SS e turbidez, é notório o aumento substancial destes constituintes pós-tratamento com a cianobactéria, o que é atribuído ao crescimento celular. No entanto, estes microrganismos são carregados negativamente, o que impede a auto agregação no material suspenso, dificultando a separação do efluente tratado (LALIBERTÉ et al., 1997; HENDERSON et al., 2008).

Águas de reúso em sistemas de refrigeração devem ser tratadas para remover a dureza e a alcalinidade, evitando a corrosão e a formação de incrustações de sais insolúveis de cálcio e magnésio. Analisando os dados da Tabela 1, observa-se que a água residuária do processamento de leite possui grande potencial para a reutilização neste tipo de sistema, pois apresenta concentração de dureza e alcalinidade inferiores ao limite recomendado na legislação para este tipo de reúso, sendo registradas concentrações de 156,67 e 6,04 mg/L  $\text{CaCO}_3$ , respectivamente. De acordo com HILAL et al. (2005) a dureza de uma água é proporcional ao conteúdo de sais de cálcio e magnésio. A quantidade de cálcio é, normalmente, duas vezes maior do que a de magnésio. Os resultados obtidos neste trabalho estão de acordo com a literatura uma vez que, a concentração de cálcio foi de 44,2 e de magnésio 23,2 mg/L.

As cianobactérias agem como agentes de purificação altamente eficientes não somente pela oxigenação da água como também por sua eficiência de remoção de nutrientes e metais (SANCHO et al., 1999; QUEIROZ et al., 2001). Porém, no experimento realizado, não foram encontradas altas capacidades de remoção de metais no experimento com *Aphanothece*. As maiores eficiências de remoção foram registradas para o ferro, sendo removido 64,8%, e a remoção de silício (sílica) com um percentual de 68,72%.

Avaliando os dados expressos na Tabela 1, observa-se importante efeito da ação do coagulante tanino nas eficiências de remoção para os parâmetros considerados. Os taninos destacam-se por apresentarem habilidade de

desestabilizar coloides aniônicos e resultarem em elevadas remoções de matéria orgânica (BELTRÁN-HEREDIA et al., 2010; SÁNCHEZ-MARTÍN & BELTRÁN-HEREDIA, 2012; BELTRÁN-HEREDIA et al., 2010). A água residuária tratada por *Aphanothece*, submetida a ação desse coagulante, apresentou 99% de remoção de fósforo satisfazendo plenamente os limites indicados na Resolução 357/2005 do CONAMA. É relatado que os polieletrólitos de alto peso molecular são geralmente melhores agentes para a neutralização das cargas elétricas e a alta concentração de biomassa na suspensão também ajuda a coagulação/floculação devido aos encontros frequentes entre células (BILANOVIC et al., 1988). O tratamento com coagulante resultou em um acréscimo de 13,84% na eficiência de remoção de DQO obtida quando o efluente foi tratado com *Aphanothece*. Estes resultados são bastante promissores, considerando que a literatura relata que os coagulantes naturais apresentam varias vantagens em relação aos coagulantes químicos por serem biodegradáveis e não tóxicos, e ainda produzirem lodo em menor quantidade e com menores teores de metais (KAWAMURA, 1991; BELTRANHEREDIA et al., 2010; SANCHEZ-MARTIN & BELTRAN-HEREDIA, 2012). Segundo Silva-Manetti (2012), o coagulante tanino é notoriamente superior em desempenho comparado ao cloreto férrico e ao sulfato de alumínio, para qualquer parâmetro avaliado. Então, o uso do tanino pode justificar eficiências elevadas de remoção de DQO, turbidez e sólidos suspensos de até 100%, 96,5% e 78,3%, respectivamente, conforme podemos avaliar na Tabela 2, que expressa a eficiência por *Aphanothece* em relação a eficiência total do processo para os parâmetros mais significativos.

A Tabela 2 expressa as médias bem como os coeficientes de variação para os parâmetros analisados nas diferentes etapas de tratamentos propostos.

**Tabela 2. Diferença das médias segundo teste de Tukey e coeficientes de variação para os parâmetros em estudo.**

Parâmetros	EE		EA		EAC	
	*Média	**CV	*Média	**CV	*Média	**CV
Sílica	2,15 <sub>a</sub>	0,27	2,11 <sub>a</sub>	0,55	0,66 <sub>b</sub>	2,30
Amônia	49,44 <sub>a</sub>	0,16	10,81 <sub>b</sub>	0,16	8,31 <sub>c</sub>	0,07
ST	1436 <sub>a</sub>	2,17	1253,33 <sub>b</sub>	1,89	950,00 <sub>c</sub>	0,91
SS	89,33 <sub>a</sub>	0,65	168,00 <sub>b</sub>	12,30	19,33 <sub>c</sub>	5,97
Turbidez	117 <sub>a</sub>	4,95	165,00 <sub>b</sub>	6,39	4,00 <sub>c</sub>	25,00
DQO	1824,60 <sub>a</sub>	3,53	195,30 <sub>b</sub>	0,00	0,00 <sub>c</sub>	0
Cloretos	298,90 <sub>a</sub>	0,03	276,27 <sub>a</sub>	1,15	395,18 <sub>b</sub>	0,14
Dureza	156,67 <sub>a</sub>	3,69	141,33 <sub>b</sub>	1,63	139,67 <sub>b</sub>	0,41
Alcalinidade	6,04 <sub>a</sub>	1,20	4,63 <sub>b</sub>	1,19	1,64 <sub>c</sub>	1,41
pH	9,2	5,48	7,7	1,87	7,0	0
Sulfato	0,07 <sub>a</sub>	1,68	0,05 <sub>b</sub>	4,22	0,05 <sub>b</sub>	4,22
Alumínio	8,83 <sub>a</sub>	18,70	0,09 <sub>b</sub>	33,54	0,07 <sub>b</sub>	19,60
Fósforo	0,15 <sub>a</sub>	1,28	0,11 <sub>b</sub>	6,12	0,20 <sub>c</sub>	
Cálcio	47,08 <sub>a</sub>	6,54	43,15 <sub>b</sub>	2,59	44,02 <sub>b</sub>	2,97
Magnésio	25,02 <sub>a</sub>	18,27	20,55 <sub>b</sub>	3,65	19,52 <sub>b</sub>	2,89
Manganês	0,08 <sub>a</sub>	12,03	0,04 <sub>a</sub>	21,63	0,13 <sub>b</sub>	2,69
Ferro	0,22 <sub>a</sub>	27,95	0,08 <sub>b</sub>	18,86	14,62 <sub>b</sub>	2,96

**Fonte: Autor (2016). Combinações de letras diferentes indicam diferença significativa após teste estatístico de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).**

Na análise da Tabela 2, foi constatado, após teste Tukey, que para a maioria dos parâmetros em estudo houve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre as diferentes etapas do tratamento proposto, deixando clara a possível aplicabilidade do reúso da água residuária de laticínios quando se utiliza estes dois processos em conjunto. Segundo Pelegrino (2011), os resultados encontrados no tratamento de esgoto sanitário mostraram que a qualidade dos efluentes com emprego de sulfato de alumínio e tanino foram semelhantes quanto aos parâmetros físico-químicos analisados.

Quanto às exigências microbiológicas, no que se refere a parâmetros, a resolução CONAMA 357/2005, indica 2,2 NMP/100mL para uso de água

classe 4, com a possibilidade de ser reutilizada em sistemas de refrigeração. Foram obtidos índices inferiores a 2 NMP/100mL. Sendo assim, os resultados microbiológicos obtidos neste trabalho atendem a exigência da legislação.

Considerando os experimentos feitos, é evidente que o uso da cianobactéria *Aphanothece microscopica* Nägeli como tratamento biológico do efluente da indústria de laticínios objetivando seu reúso em sistemas de refrigeração é bastante eficiente, considerando que grande parte dos parâmetros estudados ficaram dentro dos limites exigidos na legislação.

## 5 Conclusão

Os parâmetros DQO, P-PO<sub>4</sub> e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> do efluente utilizado para obtenção dos dados experimentais apresentaram perfil característico do efluente da indústria de leite.

O efluente da indústria de leite demonstrou ser potencialmente importante para reúso em sistemas de refrigeração.

Os consideráveis índices de remoção dos parâmetros em estudo são bastante satisfatórios, comprovando a eficiência do processo que visa a coagulação/floculação da biomassa da cianobactéria *Aphanothece*.

A cianobactéria *Aphanothece microscopica* Nägeli quando usada no tratamento do efluente da indústria de leite demonstrou eficiência na remoção de DQO, amônia e fósforo.

Comparando-se a qualidade do efluente final com os parâmetros requeridos para água de reúso em sistemas de refrigeração conclui-se que a qualidade atingida está próxima daquela requerida para este tipo de reúso.

Os resultados demonstram a possibilidade de reúso do efluente da indústria de leite em sistema de refrigeração após tratamento com cianobactéria associada ao uso de coagulantes.

## Referências

ABDEL-RAOUF N.; AL-HOMIDAN A. A.; IBRAHEEM I. B. M. **Agricultural importance of algae. African Journal of Biotechnology**, v. 11, p. 11648 - 11658, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. 432p. Brasília, ANA, 2013.

ALÉM SOBRINHO, P. **Tratamento de esgotos domésticos através de filtros biológicos de alta taxa**. Comparação experimental de meios de suporte de biomassa. In: Ver. DAE nº 135 – dez. 1983, 58-78 p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington, 2005.

ANA - **Agência Nacional de Águas**. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/default.aspx>

ARDELEAN, I.; ZARNEA, G. **Photosynthesis respiration interplay in cianobactéria: Fundamentals and Aplication**. In: Subramanian, G.; Kaushik, B.D.; Venkataraman, G.S. *Cyanobacterial Biotechnology*. Science Publishers, Inc., USA. p.103-107, 1998.

ARSANTI, L.; GUALTIER I, P. **Algae: Anatomy. Biochemistry and Bioengineering**. p. 1 - 34, 2006.

ASLAN, S.; KAPDAN, I. K. **Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae**. *Ecological Engineering*, Amsterdam, v. 28, p. 64- 70, 2006.

BANCO DO BRASIL – Fundação Banco do Brasil. **Bovinocultura de leite, Desenvolvimento Regional Sustentável: Série cadernos de propostas para atuação em cadeias produtivas**, v. 1, Brasília, 2010.

BANU, R.; ANANDAN, S.; KALIAPPAN, S.; YEOM, I.-T. **Treatment of dairy wastewater using anaerobic and solar photocatalytic methods**. *Solar Energy*, v. 82, p. 812 – 819, 2008.

BASTOS, R. G. et al. **Remoção de nitrogênio e matéria orgânica do efluente da parboilização do arroz por *Aphanothece microscopica* Nägeli na ausência de luminosidade**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 9, p. 112 - 116, 2004.

BASTOS, R.G.; QUEIROZ, M.I.; ALMEIDA, T.L.; BENERI, R.L.; ALMEIDA, R.V.; PADILHA, M. **Remoção de nitrogênio e matéria orgânica do efluente da parboilização do arroz por *Aphanothece microscopica***

**Nägeli na ausência de luminosidade.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.9, n.2, p.112 - 116, 2004.

BEEVI, U. S.; SUKUMARAN, R. K. **Cultivation of microalgae in dairy effluent for oil production and removal of organic pollution load.** Bioresource Technology, v. 165, p. 295–301, 2014.

BELTRAN-HEREDIA, J.; SANCHEZ-MARTIN , J.; GOMEZ-MUNOZ, M.C. **New coagulant agents from tannin extracts: Preliminary optimisation studies.** Chemical Engineering Journal, v. 162, p. 1019 – 1025, 2010.

BELTRÁN-HEREDIA, J.; SÁNCHEZ-MARTÍN , J.; GÓMEZ-MUÑOZ, M.C. **New coagulant agents from tannin extracts: Preliminary optimisation studies.** Chemical Engineering Journal, v. 162, p. 1019 – 1025, 2010.

BEZERRA, F.F.N.; MONTEIRO, M.S.L.. **Sistema de Gestão Ambiental ou Produção maislimpa? Estudo de caso nas Indústrias de Confecções com lavanderia, em Teresina/Piauí.** REDE-Revista Eletrônica do Prodena, v. 3, n.1, p. 42-61, 2009.

BEZERRA, F. F. N.; MONTEIRO, M.S.L.. **Sistema de Gestão Ambiental ou Produção mais limpa? Estudo de caso nas Indústrias de Confecções com lavanderia, em Teresina/Piauí.** REDE- Revista Eletrônica do Prodena, v. 3, n.1, p. 42-61, 2009.

BGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário,** Rio de Janeiro, 777 p., 2006.

BILANOVIC, G.D. Shelef, A. Sukenik. **Flocculation of microalgae with cationic polymers— effects of medium salinity.** Biomass, 17 (1988), pp. 65–76.

BONTUS, S.R.S; BOLONHESE. E.H. **PADRÕES PARA ÁGUA DE REUSO PARA FINS NÃO POTÁVEIS EM INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA E POSSIBILIDADE DE UTILIZAÇÃO EM OUTROS SEGMENTOS.** Centro Universitário Padre Anchieta, Jundiaí, SP, Brasil. Revista Engenho, vol.10 – Dezembro de 2014.

BONTUS, Stefan Richard Schölzel; BOLONHESE, Erivelto Heliton. **PADRÕES PARA ÁGUA DE REUSO PARA FINS NÃO POTÁVEIS EM INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA E POSSIBILIDADE DE UTILIZAÇÃO EM OUTROS SEGMENTOS.** Revista Engenho, vol.10 –Dezembro de 2014. SP.

BRANCO,. S. M. **Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária.** CETESB, São Paulo, 1971.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Manual de Impactos Ambientais – Orientações Básicas sobre Aspectos Ambientais de Atividades Produtivas.** DIAS, M. C. O. (Coord.). Fortaleza: Banco do Nordeste, 1999.



BRIÃO, V. B. **Estudo de prevenção à poluição em uma indústria de laticínios**. Maringá, 2000, 71 p. (Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá).

BRIÃO, V.B; TAVARES. C.R.G. **EFFLUENT GENERATION BY THE DAIRY INDUSTRY: PREVENTIVE ATTITUDES AND OPPORTUNITIES**. Brazilian Journal of Chemical Engineering. Vol. 24, No. 04, pp. 487 - 497, October - December, 2007.

CAMPOS, J. R.; POVINELLI, J. Coagulação e floculação. In: NETTO, J. M. A. **Técnica de abastecimento e tratamento de água**. São Paulo. Cetesb, 1979. p. 91-129.

CARMICHAEL, W.W. **The toxins of cyanobacteria**. Scientific American 270(1):78-86. 1994.

CASTAING, J.-B.; MASSÉ, A. PONTIÉ, M; SÉCHET, V.; HAURE, J.; JAOUEN, P. **Investigating submerged ultrafiltration (UF) and microfiltration (MF) membranes for seawater pre-treatment dedicated to total removal of undesirable micro-algae**. Desalination, v. 253, p. 71 – 77, 2010.

CHEN, W.; LIU, J. **The possibility and applicability of coagulation-MBR hybrid system in reclamation of dairy wastewater**. Desalination, v. 285, p. 226– 231, 2012.

CHERNICHARO, C. A. de L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: DESA; Universidade Federal de Minas Gerais, 1997. 483 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.5)

CHO, S.; LUONG, T. T.; LEE, D.; OH, Y.; LEE, T. **Reuse of effluent water from a municipal wastewater treatment plant in microalgae cultivation for biofuel production**. Bioresource Technology, v. 102, p. 8639–8645, 2011.

CONAMA. Resolução No. 357, de 17 de Março de 2005. Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>.

CRAGGS, R. J.; McAULEY, P. J.; SMITH, V. J. **Wastewater nutrient removal by marine microalgae grown on a corrugated raceway**. Water Research, v. 31, p. 1701 - 1707, 1997.

DE GODOS, I.; VARGAS, V.A.; BLANCO, S.; GARCÍA, M.C.; SOTO, R.; GARCÍA-ENCINA, P.A.; BECARES, E.; MUÑOZ, R. **A comparative evaluation of microalgae for the degradation of piggery wastewater under photosynthetic oxygenation**. Bioresource Technology, v.101, n.14, p.5150 - 5158, 2010.

DE-BASHAN, L. E.; BASHAN, Y. **Immobilized microalgae for removing pollutants: review of practical aspects**. Bioresource Technology, v. 101, p. 1611 - 1627, 2010.

DOLPHEN, R; THIRAVETYAN, P. **Adsorption of melanoidins by chitin nanofibers**. Chemical Engineering Journal, 166, 890 – 895, 2011.

EPA, **Guidelines for water reuse**, US Environmental Protection Agency Report, EPA/625/R-92/004, US Agency for International Development, Washington, DC, 1992.

FARIZOGLU, B.; UZUNER, S. **The investigation of dairy industry wastewater treatment in a biological high performance membrane system**. Biochemical Engineering Journal, v. 57, p. 46 – 54, 2011.

FIGUEIREDO, R. F. **Notas de aula da disciplina Processos de tratamento de esgotos**. FEC-UNICAMP, 1992.

FILHO. A. T. **Guia técnico ambiental da indústria de laticínios**. Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais – FIEMG e Fundação Estadual de Meio Ambiente – FEAM. 70p.

FIRJAN. **Manual de conservação e reúso da água na indústria**. Rio de Janeiro: DIM, 2006.

FOGG, G. E. Blue- green algae. In: LASKIN, A. I.; LECHEVALIER, H. A Handbook of Microbiology: Fungi, Algae, Protozoa, and Viruses, v. 2. Cleveland: CRC Press, p.347 - 363, 1977.

GARRIDO-BARSEBA, M. REIF, R. HERNANDEZ, F. PONCH,M. **Implementation of a knowledge-based methodology in a decision support system for the design of suitable wastewater treatment process flow diagrams**. Journal of Environmental Management, v. 112,p.384-391. 2012.

GARRIDO-BARSEBA, M. REIF, R. HERNANDEZ, F. PONCH, M. **Implementation of a knowledgebased methodology in a decision support system for the design of suitable wastewater treatment process flow diagrams**. Journal of Environmental Management, v. 112, p. 384-391. 2012.

GRAY, N. **Biology of Wastewater Treatment**. 2ª Edição. Irlanda: Imperial College Press, 2004.

GRIMA, E.M.; BELARBI, E.H.; FERNÁNDEZ, F.G.A. **Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics**. Biotechnology Advances, v.20, p.491 - 515, 2003.

GUERRA-VIEIRA, J.; SILVA-MANETTI, A. G.; JACOB-LOPES, E.; QUEIROZ, M. I. **Uptake of phosphorus from dairy wastewater by heterotrophic cultures of cyanobacteria.** Desalination and Water Treatment, v. 00, p. 1 - 7, 2012.

HALPERIN, DELLA R.; ZULPA DE CAIRE, G.; ZACCARO DE MULLE, M. C. **Contenido Proteico de Aphanothece stagnina (Sprengel). A. Braun (Cyanophyta, Chorococcaceae).** Physis sección B, v. 33, p. 159 - 164, 1974.

HAMDANI, A.; MOUNTADAR, M.; ASSOBBHEI, O. **Comparative study of the efficacy of three coagulants in treating dairy factory waste water.** International Journal of Dairy Technology, v. 58, p. 83 - 88, 2005.

HENDERSON, R.; PARSONS, S.A.; JEFFERSON, B. **The impact of algal properties and pre-oxidation on solide liquid separation of algae.** Water Research, v.42, p.1827 - 1845, 2008.

HESS, M. L. **Histórico, conceito e aplicação – Curso sobre valos de oxidação.** CETESB, São Paulo, 1971.

HORNES, M.; QUEIROZ, M.I. **Evaluation of the growth of cianobacterium Aphanothece microscopica Nägeli in effluent of fishing industry.** In: CHISA – 16th International Congress of Chemical and Process Engineering. Prague, 2004.

HORNES, M.; SILVA, A. G; MITTERER, M. L; QUEIROZ, M. I. **Influência dos compostos nitrogenados na concentração de proteína da cianobactéria Aphanothece microscopica Nägeli.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 30, p. 1 - 371, 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores IBGE,** Estatística da Produção Pecuária, 2014.

JACOB-LOPES, E.; SCOPARO, C. H.; QUEIROZ, M. I.; FRANCO, T. T. **Biotransformations of carbon dioxide in photobioreactors.** Energy Conversion and Management, v. 51, p. 894 - 900, 2010.

JANCZUKOWICZ, W.; ZIELIN, M.; DE BOWSKI, M. **Biodegradability evaluation of dairy effluents originated in selected sections of dairy production.** Bioresource Technology, v. 99, p. 4199 - 4205, 2007.

KAWAMURA, S. **Effectiveness of natural polyelectrolytes in water treatment.** Journal American Water Works Association, v. 83, p. 88 - 91, 1991.

KIM, S-H; MOON, S-Y; YOON, C-H. **Role of coagulation in membrane filtration of wastewater for reuse.** Desalination, v.173, p.301-307, 2005.

KUSHWAHA, J.P.; SRIVASTAVA, V.; MALL, I.D. **Treatment of dairy wastewater by commercial activated carbon and bagasse fly ash: arametric, kinetic and equilibrium modelling, disposal studies.** Bioresource Technology, v.101, p.3474-3483, 2010.

LALIBERTÉ, G.; LESSARD, P.; DE LA NOÛE, J.; SYLVESTRE, S. **Effect of phosphorus addition on nutrient removal from wastewater with the cyanobacterium Phormidium bohneri.** Bioresource Technology, v.59, p.227- 233, 1997.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água.** Campinas, SP:Editora Átomo. 2005

LINCOLN, E.P.; WILKIE, A.C.; FRENCH, B.T. **Cyanobacterial process for renovating dairy wastewater.** Biomass and Bioenergy, v.10, n.1, p.63-68,1996.

LUO, J.; CAO, W.; DING, L.; ZHU, Z.; WAN, Y.; JAFFRIN, M.Y. **Treatment of dairy effluent by shear-enhanced membrane filtration: The role of foulants.** Separation and Purification Technology, v. 96, p. 194 – 203, 2012.

MAGER, D.M.; THOMAS, A.D. **Extracellular polysaccharides from cyanobacterial soil crusts: A review of their role in dryland soil processes.** Journal of Arid Environments, v. 75, p. 91 - 97, 2011.

MARKOU G, GEORGAKAKIS. **Cultivation of filamentous cyanobacteria (bluegreen algae) in agro-industrial wastes and wastewaters: A review.** Apple Energy, v. 88 p. 3389 - 3401, 2011.

MARTÍNEZ, M. E.; SÁNCHEZ, S.; JIMÉNEZ, J. M.; YOUSFI, F. EI.; MUÑOZ, L. **Nitrogen and phosphorus removal from urban wastewater by the microalga Scenedesmus obliquus.** Bioresource Technology, v. 73, p. 263 - 272, 2000.

MATEO, P.; DOUTERELO, I; BERRENDERO, E.; PERONA, E. **Physiological differences between two species of cyanobacteria in relation to phosphorus limitation** J. Phycol. Madrid, Spain. 42, 61- 66p, 2006.

MOLINA GRIMA, E.; BELARBI, E.; ACIÉN FERNANDEZ, F. G.; MEDINA, A. R.; CHISTI, Y. **Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics.** Biotechnology Advances, v. 20, p. 491-515, 2003.

MORENO-GARRIDO, I.. **Microalgae immobilization: Current techniques and uses** Bioresource Technology, v. 99, p. 3949 - 3964, 2008.

Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação. Disponível em: <http://www.fao.org/brasil/pt/>. Acesso em: 2017.

ORTIZ, C.P; STEYER, J.P; BORIES, A. **Carbon and nitrogen removal from wastewater by *Candida utilis*: kinetic aspects and mathematical modeling**. Process Biochemistry (32), 179–189, 1997.

PARK, S.; YOON.T. **Effects of iron species and inert minerals on coagulation and direct filtration for humic acid removal**. Desalination, v. 239, p. 146–158, 2009.

PELEGRINO, E. C. F. (2011). **Emprego de coagulante à base de tanino em sistema de pós-tratamento de efluente de reator UASB por flotação**. 2011. p. Dissertação (Mestrado), Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 115 p. São Carlos, SP.

PEREIRA, Heron da Silva. **Estudo da caracterização do efluente do Campus Universitário Capão do Leão e possibilidade de reúso**. 2013. 64f. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

PEREZ-GARCIA, O.; ESCALANTE, F. M. E.; DE-BASHAN, L. E.; BASHAN, E. Y. **Heterotrophic cultures of microalgae: Metabolism and potential products**. Water Research, v. 45, p. 11 - 36, 2011a.

QUEIROZ, M. I.; BASTOS, R. G.; BENERI, R. L.; ALMEIDA, R. G. **Evaluación del crecimiento de la *Aphanothece microscopica* Nägeli en las aguas residuales de la parbolización del arroz**. Revista Información Tecnológica, v. 13, p. 61 - 66, 2002.

QUEIROZ, M. I; ZEPKA, L. Q.; LOPES, E. J.; GOLDBECK, R. **Production and biochemical profile of the microalgae *Aphanothece microscopica* Nageli submitted to different drying condition**. Chemical Engineering and Processing, v. 50, p. 1 - 6, 2007.

QUEIROZ, M. I; ZEPKA, L. Q.; LOPES, E. J.; GOLDBECK, R. **Production and biochemical profile of the microalgae *Aphanothece microscopica* Nägeli submitted to different drying condition**. Chemical Engineering and Processing, v. 50, p. 1 - 6, 2007b.

QUEIROZ, M.I.; HORNES M.O.; SILVA-MANETTI, A.G.; JACOB-LOPES, E. **Single-cell oil production by cyanobacterium *Aphanothece microscopica* Nägeli cultivated heterotrophically in fish processing wastewater**. Applied Energy, v. 88, p.3438-3443, 2011.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A., p. 728, 1992.

RIAÑO, B; MOLINUEVO, B; GARCÍA-GONZÁLEZ, M.C. **Optimization of chitosan flocculation for microalgal-bacterial biomass harvesting via response surface methodology**. Ecological Engineering, v. 38, p. 110 – 113, 2012.

RIPPKA, R.; DERUELLES, J.; WATERBURY, J. B.; HERDMAN, M.; STANIER, R. Y. **Generic assignments strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria**. Journal of General Microbiology, v. 111. p. 01 - 61, 1979.

SANCHEZ-MARTIN, J.; BELTRAN-HEREDIA, J. **Nature Is the Answer: Water and Wastewater Treatment by New Natural-Based Agents**. Advances in Water Treatment and Pollution Prevention, p. 337 - 375, 2012.

SANCHO, M.E.M.; CASTILLO, J.M.J.; YOUSFI, F. **Photoautotrophic consumption of phosphorus by Scenedesmus obliquus in a continuous culture**. Influence of light intensity. Process Biochemistry, v.34, p.811-818, 1999.

SARKAR, B; CHAKRABARTI, P. P; VIJAYKUMAR, A.; KALE, V. **Wastewater treatment in dairy industries—possibility of reuse**. Desalination, v. 195, p. 1 – 3, 2006.

SCHMETTERER, G. Cyanobacterial Respiration. In: BRYANT, D. A. **The Molecular Biology of Cyanobacteria**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 409 - 435, 1994.

SILVA, D. J. P. da. **Resíduo na indústria de laticínios**. 21p, 2011

SILVA, N. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos**. Valéria Christina Amstalden - São Paulo : Livraria Varela, 1997, p. 31.

SILVA-MANETTI, A.G. **PRODUÇÃO DE CARBOIDRATOS A PARTIR DO EFLUENTE DE LATICÍNIOS TRATADO POR CIANOBACTÉRIA**. Tese apresentada como requisito para a obtenção do título de Doutor em Engenharia e Ciência de Alimentos. Rio Grande, RS. 2012.

SILVA-MANETTI, A.G.; HORNES, M.O.; MITTERER, M.L.; QUEIROZ, M.I. **Fish processing wastewater treatment by combined biological and chemical processes aiming at water reuse**. Desalination and Water Treatment, v.29, p.196-212, 2011.

VON SPERLING, M. **Princípio do tratamento biológico de águas residuárias**. 2ed. 243p. Belo Horizonte. SEGRAC. 1996.

VOURCH, M.; BALANNEC, B.; CHAUFER, B.; DORANGE, G. **Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse**. Desalination, v. 219, p. 190 – 202, 2008.

WANG, Y.; HUANG, X.; YUAN, Q. **Nitrogen and carbon removals from food processing wastewater by an anoxic/aerobic membrane bioreactor**. Process Biochemistry, v. 40, (2005) p. 1733-1739.

WHITTON, B.A. & POTTS, M. 2000. **The ecology of cyanobacteria: their diversity in time and space**. Dordrecht, Kluwer, 669p.

XU, H., MIAO, X. & WU, Q. **High quality biodiesel production from a microalga *Chlorella protothecoides* by heterotrophic growth in fermenters**. Journal of Biotechnology, v. 126: 499 - 507, 2006.

ZEPKA, L.Q.; JACOB-LOPES, E.; GOLDBECK, R.; SOUZA-SOARES, L.A.; QUEIROZ, M.I.. **Nutritional evaluation of single-cell protein produced by *Aphanothece microscopica* Nägeli**. Bioresource Technology, v.101, p.7107- 7111, 2010.

ZEPKA, L.Q.; LOPES, E.J. ; GOLDBECK, R.; QUEIROZ, M.I. **Production and biochemical profile of the microalgae *Aphanothece microscopica* Nägeli submitted to different drying condition**. Chemical Engineering and Processing, v.47, p.1313-1316, 2008.