



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



**MICROALGAS APLICADAS AO TRATAMENTO DE EFLUENTES
ORIUNDOS DE LATICÍNIOS**

Daniela Aparecida Santos

Uberlândia – MG

2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



**MICROALGAS APLICADAS AO TRATAMENTO DE EFLUENTES
ORIUNDOS DE LATICÍNIOS**

Daniela Aparecida Santos

Monografia de graduação apresentada à
Universidade Federal de Uberlândia como
parte dos requisitos necessários para a
aprovação na disciplina de Trabalho de
Conclusão de Curso do curso de Engenharia
Química.

Uberlândia – MG

2018

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA MONOGRAFIA DA DISCIPLINA
PROJETO DE GRADUAÇÃO DE DANIELA APARECIDA SANTOS APRESENTADA À
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, EM 06/12/2018.

BANCA EXAMINADORA:

Prof.^a Dra. Fabiana Regina Xavier Batista
Orientadora – FEQUI/UFU

Prof.^a Dra. Juliana de Souza Ferreira
FEQUI/UFU

Doutorando: Felipe Santos Moreira
PPGEQ/FEQUI/UFU

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus pela dádiva da vida, por todas as oportunidades que tive dentro e fora da universidade e pela força nos momentos difíceis durante todos esses anos.

À minha família, especialmente aos meus pais, Jésio e Valéria, pela motivação, criação, apoio e amor imensurável oferecido todos os dias.

À minha irmã Gabriela, na qual estive presente em todos os momentos na universidade, aprendendo junto comigo e sendo meu maior incentivo nas horas apertadas que passei durante o curso, pois sem ela tudo isso não teria a mesma graça.

À Prof. (a) Dra. Fabiana pela paciência, apoio e direcionamento tanto na Iniciação Científica, quanto na realização deste trabalho.

E por fim, a todos os amigos e professores que me ajudaram com tantos conhecimentos e alegrias durante esse período no curso de graduação em Engenharia Química.

“A imaginação é mais importante que o conhecimento. Conhecimento auxilia por fora, mas só o amor socorre por dentro”.

Albert Einstein

SUMÁRIO

Lista de figuras	i
Lista de tabelas	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
1 – INTRODUÇÃO	1
2 – OBJETIVOS	2
3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
3.1 – EFLUENTES INDUSTRIAIS	2
3.1.1 - Efluentes das indústrias de laticínios	5
3.2 – CIANOBACTÉRIAS	7
3.3 - UTILIZAÇÃO DA CIANOBACTÉRIA <i>Aphanotece microscopica Nægeli</i> NO TRATAMENTO DE EFLUENTES	10
3.4 – CONDIÇÕES DE CULTIVO DAS MICROALGAS	12
3.4.1 - Cultivo Autotrófico	13
3.4.2 – Cultivo heterotrófico	15
3.5 – ESTUDO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES COM O USO DA <i>Aphanotece microscopica Nægeli</i>	16
3.5.1 – Caracterização do Efluente de Laticínio	16
3.5.2 – Condições de cultivo e inóculo da cianobactéria	19
3.5.3 – Avaliação do crescimento e eficiência de tratamento do efluente pela cianobactéria	20
4 – CONCLUSÃO	23
5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

Lista de figuras

Figura 1 - Principais fontes de geração de efluentes nas indústrias de leite e iogurte -----	06
Figura 2 - Produção de microalgas em tanques abertos -----	13
Figura 3 - Fotobiorreatores tubulares para cultivo de microalgas -----	14

Lista de tabelas

Tabela 1 – Características dos tipos de tratamentos de efluentes industriais -----	04
Tabela 2 - Principais modos de nutrição das cianobactérias -----	12
Tabela 3 - Caracterização do efluente das indústrias de laticínios -----	17
Tabela 4 – Composição do meio BG11 -----	19
Tabela 5 - Eficiência de remoção após tratamento com <i>Aphanothece microscópica Nægeli</i> ----	21

RESUMO

O recente crescimento dos setores industriais no Brasil está associado a diversos fatores, sendo o aumento da concorrência entre as empresas um dos aspectos principais, gerando-se maiores investimentos, promovendo a inovação tecnológica e o aumento da produtividade. Contudo, esses setores estão diretamente associados a inúmeros impactos ambientais, sendo um destes a geração de águas residuais provenientes da elevada quantidade de água para a fabricação de seus produtos e higienização dos equipamentos presentes nos processos. Estes efluentes são caracterizados pelo alto conteúdo de matéria orgânica, constituída por compostos facilmente biodegradáveis (carbono, nitrogênio e fósforo). Nesse sentido, a utilização de microalgas para o tratamento de efluentes provenientes da indústria de laticínios tem ganhado espaço no meio científico, devido à capacidade das algas de remover os contaminantes supracitados, além de, a partir disso, a possibilidade de geração de produtos de valor agregado como proteínas, ácidos graxos, pigmentos e carboidratos. Neste contexto, o presente trabalho de conclusão de curso vislumbra a aplicação de cianobactérias como a *Aphanothece microscopica Nägeli* no tratamento de efluentes de laticínios, gerando biomassa e sintetizando subprodutos de valor agregado.

Palavras-chave: Efluentes, laticínio e *Aphanothece microscopica Nägeli*.

ABSTRACT

The recent growth of the industrial sectors in Brazil is associated with several factors, with the increase in competition among companies being one of the main aspects, generating greater investments, promoting technological innovation and increasing productivity. However, these sectors are directly associated with numerous environmental impacts, being one of this the generation of wastewater from the high amount of water for the manufacture of its products and the sanitation of the equipment present in the processes. These effluents are characterized by the high content of organic matter, composed of easily biodegradable compounds (carbon, nitrogen and phosphorus). In this sense, the use of microalgae for the treatment of effluents from the dairy industry has gained space in the scientific environment, due to algae's ability to remove contaminants mentioned above, and, from this, the possibility of generating valuable products such as proteins, fatty acids, pigments and carbohydrates. In this context, the current work on the conclusion of the course envisages the application of cyanobacteria such as *Aphanothece microscopica Ngeli* in the treatment of dairy effluents, generating biomass and synthesizing added value by-products.

Key words: Effluents, dairy and *Aphanothece microscopica Ngeli*.

1 – INTRODUÇÃO

Após a revolução industrial, a quantidade de grandes e pequenas indústrias de setores de diferentes bens de consumo surgiram e com o passar dos anos, além do aumento de suas unidades notou-se também vários problemas relacionados ao impacto ambiental, causados pelo mau funcionamento e descarte desordenado dos resíduos gerados.

No Brasil, as indústrias de laticínios possuem importante papel na economia do país, sendo ele um dos maiores produtores de leite no mundo, considerando-se assim um setor significativo no agronegócio brasileiro e empregando mais de 2 milhões de pessoas. Porém esse setor possui notável participação no impacto ambiental, devido ao elevado consumo de água para o processo de fabricação de seus produtos e limpeza de máquinas, gerando assim grande volume de efluentes. Estes efluentes possuem composição diversificada pela presença de ácidos graxos, carboidratos, lipídeos, nitrogênio, fósforo e compostos inorgânicos, sendo necessário o emprego de tratamentos adequados para remoção destes compostos garantindo o descarte apropriado no meio ambiente.

No intuito de diminuir os efeitos causados pelo descarte de águas residuárias no ambiente, inúmeras formas de tratamentos ganharam espaço no meio científico, sendo uma dessas a utilização de microrganismos na busca de modos sustentáveis e econômicos. Independente da biomassa gerada, pesquisas têm sido desenvolvida no sentido de aproveitamento de produtos celulares produzidos por estes micro-organismos, como carboidratos (HU et al., 2002).

O emprego de cianobactérias como tratamento de efluentes associado ao reuso de água é uma alternativa viável frente aos tratamentos convencionais. Com a vantagem da geração de uma biomassa, da qual podem ser extraídos importantes compostos de interesse comercial, como proteínas, ácidos graxos, pigmentos e carboidratos (QUEIROZ et al., 2007).

A cianobactéria *Aphanothece microscopica Nægeli* vem sendo estudada como elemento removedor de compostos dos efluentes de indústrias agroindustriais com importantes resultados em pesquisas gerenciadas a nível piloto (HORNES e QUEIROZ, 2004; QUEIROZ et al., 2004, 2006, 2007, 2011; SILVA et al., 2009; MANETTI et al., 2011).

Portanto, a aplicação e o estudo de sistemas biológicos no tratamento de efluentes para o futuro reaproveitamento de águas residuais tem se tornado um método atrativo para o ramo científico, visando a geração de biomassa e produção de subprodutos pela utilização das

microalgas, tornando-se interessante como solução para a escassez de água, alimentos e geração de insumos.

2 – OBJETIVOS

O trabalho teve por objetivo avaliar o uso da microalga *Aphanothece microscopica* Nägeli desenvolvida no efluente de laticínio visando a remoção de compostos orgânicos e inorgânicos com a geração de biomassa e subprodutos de valor agregado, atingindo assim valores adequados para o descarte destes efluentes de acordo com a legislação ambiental.

3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 – EFLUENTES INDUSTRIAIS

Conforme Hoag (2008) a classificação das águas residuárias se verifica das seguintes formas:

- Descartes de origem doméstica (as águas que provêm das cozinhas, as rejeições que resultam das atividades de lavanderia e para higiene dos pacientes e funcionários);
- Descartes industriais (incluindo as águas que provêm das garagens e locais de manutenção, que contêm geralmente um volume importante de óleos e de detergentes);
- Efluentes gerados pelas atividades hospitalares, de análise e de investigação, que são muito específicas aos hospitais. Estes descartes podem conter produtos químicos e radioativos, líquidos biológicos, excreções contagiosas de resíduos de medicamentos eliminados nos excrementos dos pacientes;

É essencialmente necessário o conhecimento das características do efluente, tanto para o projeto e análise de instalações de tratamento como para a tomada de decisão em relação a uma fonte considerada poluidora. Os parâmetros físico-químicos e biológicos analisados normalmente são: sólidos totais (ST), fixos, voláteis, em suspensão, dissolvidos e sedimentáveis; temperatura; cor; odor; turbidez; demanda bioquímica de oxigênio (DBO); demanda química de oxigênio (DQO); carbono orgânico total (COT); pH; oxigênio dissolvido (OD); metais pesados – chumbo, cromo, cádmio, zinco, ferro, mercúrio, etc.; gás sulfídrico; metano; nitrogênio; fósforo; óleos e graxas (O & G); cloretos; sulfatos; compostos tóxicos (cianetos e cromatos); fenóis; agentes tensoativos – ABS, LAS; microrganismos – coliformes

fecais e totais, em geral e vazão do efluente. Geralmente estes parâmetros são utilizados para caracterizar o efluente de determinada empresa ou setor. As análises necessárias para conhecer cada parâmetro são realizadas em laboratórios especializados, normalmente utilizando procedimentos padronizados segundo o *Standard Methods for the examination of water and wastewater* (ALPHA, 2005; BELTRAME et al, 2016).

Os efluentes liberados sem o tratamento adequado causam desequilíbrio ecológico de águas superficiais devido ao crescimento desordenado de microalgas e consequente diminuição dos níveis de oxigênio, resultando a morte de diversos seres vivos como peixes, entre outros. Esse fenômeno é conhecido como eutrofização (OBAJA et al., 2003; REYES-AVILA et al., 2004).

O planejamento adequado dos efluentes industriais possui valor significativo, pois é necessário avaliar de maneira eficaz as características do efluente por muitas razões, como verificar se este estará de acordo com a legislação ambiental, dimensionar unidades de pós-tratamento, prever impactos ambientais, entre outros. O tratamento que gera um efluente de alta qualidade acarreta um alto custo às empresas, o que as força a investigarem processos alternativos, os quais irão satisfazer os requerimentos da legislação e ao mesmo tempo requerer um menor investimento e custo operacional (RAMALHO, 1983; METCALF & EDDY, 1991).

Os principais tipos de tratamentos aplicados em indústrias são conhecidos como tratamento preliminar, primário, secundário e terciário, tendo cada um uma função específica desde a retirada de sólidos grosseiros até micro-organismos.

A fundamental característica do tratamento preliminar visa à remoção de sólidos grosseiros, como materiais de maiores dimensões e areia, uma vez que estes sólidos podem ocasionar graves problemas em equipamentos e tubulações instalados a jusante. O tratamento primário consiste na separação da água dos materiais poluentes a partir da sedimentação nos equipamentos, através de ação física. Ocasionalmente, este tipo de tratamento utiliza também alguns tipos de agentes químicos que através de coagulantes e floculantes objetivam a formação de uma massa de sólidos conhecida como lodo primário bruto que se deposita no fundo e os poluentes flutuantes sobem para superfície (SILVA, 2004).

O tratamento secundário ou biológico destina-se a retirada de matéria orgânica dissolvida ou em suspensão, utilizando um processo biológico para remoção deste tipo de poluente através de uma variedade de microrganismos tais como bactérias, cianobactérias, fungos e protozoários, na qual estes transformam a matéria orgânica e os nutrientes presentes

no meio em metabólitos, água e outros compostos. Para o desenvolvimento e crescimento das bactérias, ocorrem simultaneamente dois processos: o catabolismo e o anabolismo. No catabolismo, o material orgânico é utilizado como fonte de energia, sendo transformado em produtos estáveis, enquanto que, no anabolismo, o material orgânico é transformado e incorporado na massa celular (METCALF & EDDY, 1991).

Terminado o tratamento secundário, as águas residuais tratadas apresentam um reduzido nível de poluição por matéria orgânica, podendo na maioria dos casos, serem admitidas no meio ambiente receptor (NEVES, 1974).

O tratamento terciário visa remover os compostos contaminantes que não foram retirados pelos tratamentos anteriores, como compostos patogênicos, não biodegradáveis, metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos e em suspensão. A Tabela 1 apresenta as características principais dos tipos de tratamentos para efluentes citados acima:

Tabela 1 – Características dos tipos de tratamentos de efluentes industriais.

Preliminar	Primário	Secundário	Terciário
Gradeamento/ desarenação/ medidores de vazão	Coagulação/floculação/ sedimentação/flotação	Processos biológicos	Processos biológicos ou físico-químicos avançados
Remoção de sólidos grosseiros, areia, óleos e gorduras	Remoção de sólidos suspensos	Remoção de sólidos dissolvidos	Remoção de poluentes em concentrações residuais

Fonte: BELTRAME et. al., 2016.

Sendo assim, os efluentes industriais, em geral, são alvo de preocupação devido ao tipo de tratamento recebido e ao seu despejo em corpos d'água. Por apresentarem características diretamente relacionadas à matéria-prima que foi processada, bem como com o processo industrial empregado resultando em diferentes composições físicas, químicas e biológicas, recomendam-se que os efluentes sejam caracterizados, quantificados e tratados adequadamente antes da disposição final no meio ambiente (AZZOLINI & FABRO, 2013).

3.1.1 - Efluentes das indústrias de laticínios

Nas indústrias de laticínios, a fabricação de inúmeros produtos possui elevado valor quantitativo quando comparado a outros bens de consumo, estendendo-se desde o próprio leite (principal matéria-prima) até derivados como queijos, iogurtes, requeijões, sorvetes, cremes, etc. Estas indústrias são consideradas, dentre as indústrias alimentícias, as mais poluentes, devido ao seu elevado consumo de água e geração de efluentes líquidos (VOURCH et al., 2008).

De acordo com Machado et al. (2002) em Minas Gerais, cerca de 1250 indústrias de laticínios, formalmente constituídas, não possuem qualquer tipo de tratamento de seus efluentes líquidos, que acabam sendo descartados diretamente nos corpos receptores. Em 2002 foram produzidos 21×10^9 litros de leite no Brasil, que proporcionaram a geração de aproximadamente 84×10^9 litros de efluente durante seu processamento. Desse volume, apenas 10% recebeu algum tipo de tratamento (JUNG et al., 2002).

Operações como a lavagem de silos, tubulações, tanques, pasteurizadores e equipamentos necessitam de elevada quantidade de água e assim, conseqüentemente, acabam gerando consideráveis volumes de efluentes, podendo resultar para cada litro de leite processado a geração de até onze litros de efluente (BRIÃO, 2000; MARKOU & GEORGAKAKIS, 2011).

Os efluentes de laticínios são compostos por leite e seus subprodutos, detergentes, desinfetantes, areia, lubrificantes, açúcar, pedaços de frutas (devido à produção de iogurte entre outros), essências e condimentos diversos (no caso da produção de queijos e manteiga) que são diluídos nas águas de lavagem de equipamentos, tubulações, pisos e demais instalações da indústria (MACHADO et al., 2002). A Figura 1 exibe um exemplo dos principais pontos de geração de efluentes líquidos durante o processamento de leite, creme e iogurte (ANDRADE, 2011).

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 destes, ocorrendo cada vez mais um maior número de pesquisas com vistas nesse objetivo (VOURCH et al., 2008; MANETTI et al., 2011).

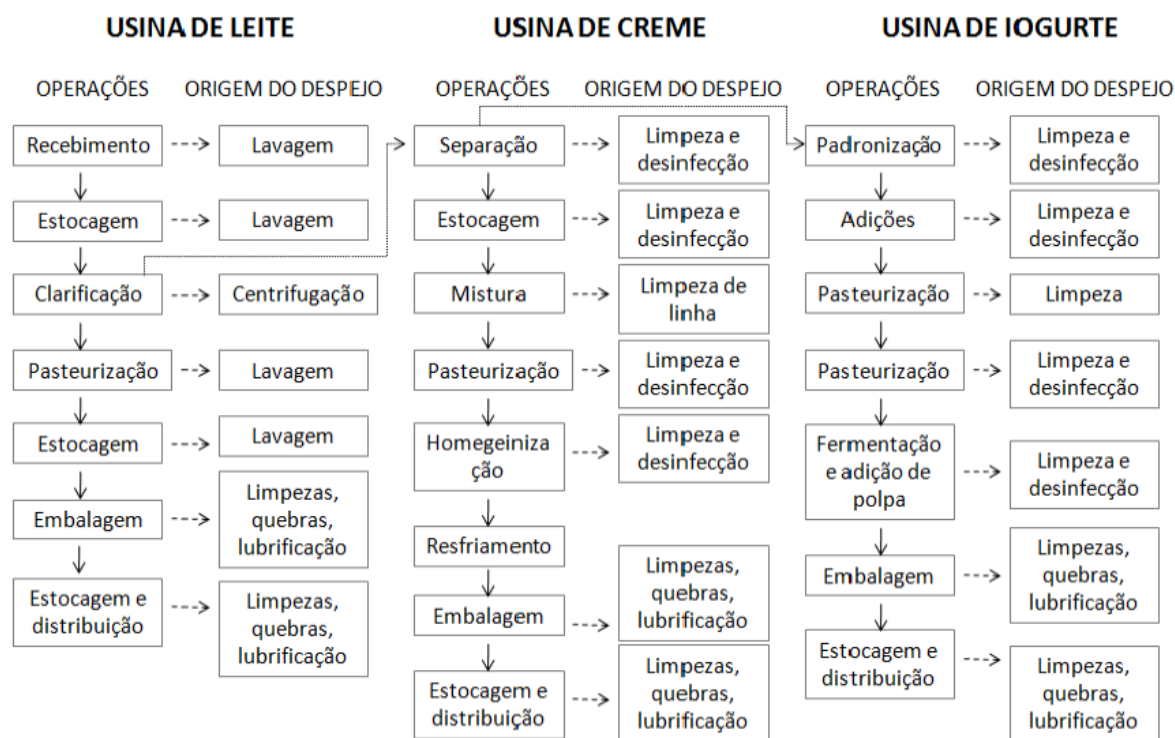


Figura 1 - Principais fontes de geração de efluentes nas usinas de leite, creme e iogurte.

Fonte: ANDRADE, 2011.

Neste contexto, é de salientar o tratamento e reuso do soro de leite. Este subproduto é proveniente da fabricação de queijo, o qual apresenta elevado poder poluente devido à presença de proteínas, gordura, lactose e sais minerais, resultando em uma demanda biológica de oxigênio de **30.000 a 50.000** mg.L⁻¹ por litro de soro (SARKAR et al., 2006; FRAPPART et al., 2006; FARIZOGLU & UZUNER, 2011; MARKOU & GEORGAKAKIS, 2011) de **60.000 a 100.000** mg.L⁻¹ de demanda química de oxigênio (MARKOU & GEORGAKAKIS, 2011).

Segundo Boschi, (2006) o soro de leite é considerado 100 vezes mais poluente que o esgoto doméstico, pois a contribuição da carga orgânica adotada por 470 pessoas é equivalente a eliminação de 1000 litros de soro não tratado. A carga orgânica desse tipo de efluente influencia diretamente no tratamento e destino final em rios e lagos de acordo com a fiscalização ambiental.

Portanto, a composição destes efluentes engloba elementos químicos como por exemplo, sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), cobalto (Co), níquel (Ni) e manganês (Mn). Os níveis elevados de cálcio são resultantes de produtos higiênicos sanitários alcalinos (DANALEWICH et al, 1998; DEMIREL et al, 2005).

Sendo assim, estes constituintes podem ser eficientemente reciclados a partir de cianobactérias, uma vez que, o tratamento de águas residuárias é normalmente um procedimento que apresenta custos envolvendo a remediação e a disposição da biomassa gerada. Novos processos de remoção de nutrientes e matéria orgânica vêm sendo estudados de modo a combinar estratégias de despoluição, retirada de substâncias orgânicas e inorgânicas e obtenção de produtos biotecnológicos com maior valor agregado (QUEIROZ et al., 2001; SILVA, et al., 2009; GUERRA et al., 2011; SANCHO et al., 1999).

Em estudos empregados por Lincoln et al. (1996) utilizou-se 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*. Foi apurado a importante capacidade de remoção de nitrogênio amoniacal com reduções de 100 mg. L⁻¹ a menos de 1 mg. L⁻¹ em sete dias, sendo a taxa máxima de remoção de 24 mg. L⁻¹ por dia. Os autores constataram a remoção de 41% de fósforo total.

3.2 – CIANOBACTÉRIAS

Nos últimos anos as microalgas têm ganhado espaço no meio científico, sendo alvo de estudos visando sua grande aplicabilidade na indústria de alimentos e farmacêutica, nas áreas da biomedicina e ambiental. Estas estão presentes em variadas aplicações como a biofixação de CO₂, remoção de matéria orgânica e metais tóxicos de efluentes, produção de biocombustíveis como biodiesel e bioetanol e na produção de moléculas de origem lipídica com capacidade surfactante entre outros (SCHMITZ et al., 2012).

Conhecidas como algas verdes azuis, as cianobactérias são seres procariontes, gram-negativos, formados apenas por uma única célula, fotossintetizantes e possuem respiração aeróbica como as plantas. Estes seres são os únicos organismos conhecidos até o momento, com capacidade de realizar fotossíntese e produzir hidrogênio, sendo formados principalmente por ácidos graxos com moléculas de insaturados, vitaminas, carboidratos, possibilitando o uso na complementação da dieta (MOLINA et al., 2002).

Diversas pesquisas apontam que estes microrganismos são importantes componentes do fitoplâncton tanto em águas doces quanto marinhas, podendo ocasionalmente formar florações em corpos d'água eutrofizados, ou seja, com quantidade excessiva de nutrientes. Estão presentes na maioria dos solos e em associações simbióticas com diatomáceas, samambaias, líquens e esponjas e apresentam clorofila-a como pigmento principal, além de β-

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, onde estes encontram-se livres no citoplasma. A parede celular é composta por peptidoglicano e a reprodução estritamente assexuada, ocorre por divisão celular simples. (FOGG, 1977; SCHMETTERER, 1994; RAVEN et al., 1992; BARSANTI; GUALTIERI, 2006; MANETTI, 2012).

Inúmeros nutrientes são utilizados no cultivo e desenvolvimento das microalgas, sendo o **carbono** e o **nitrogênio** compostos imprescindíveis para seu funcionamento metabólico.

Conforme Shi et al. (2000) as fontes carbonadas presentes no meio heterotrófico, quando aplicado esta forma de cultivo, são rapidamente extinguidas, sendo necessário então determinar a concentração máxima que possa ser utilizada de forma a não causar inibição e que estenda o período de crescimento nos cultivos em batelada. No que se refere ao nitrogênio, este é um elemento essencial para a síntese de aminoácidos primários e secundários, proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas, clorofila e outros pigmentos fotossintéticos acessórios. A sua disponibilidade é o fator chave na regulamentação da produtividade, desta forma influenciando a composição das espécies de uma determinada área e a sua sobrevivência e manutenção em *habitats* marinhos (ZEHR & WARD, 2002; SAHA, UMA & SUBRAMANIAN, 2003; HORNES, 2008).

Efluentes contendo concentrações variáveis de nutrientes orgânicos e inorgânicos, na presença ou ausência de luz e diferentes condições de temperatura, pH, oxigênio dissolvido, luminosidade entre outras condições de cultivo são necessários para promover o crescimento destes microrganismos (GUERRA, 2011).

Os processos de biofixação vem sendo implementados como possível solução para diminuição das emissões de CO₂, advindas com a ação do ser humano na natureza, a partir do cultivo da microalga *Spirulina sp.* LEB 18 em fotobiorreator tubular horizontal equipado com *air-lift*. Além de contribuir para redução de poluentes na atmosfera, outra função da *Spirulinas* se verifica aplicada a nutrição, uma vez que é excelente fonte de cálcio em comparação aos produtos lácteos (HABIB et al., 2008).

Dentro desse cenário, outras cianobactérias têm tido aplicação no intuito de remover matéria orgânica e nutrientes do efluente como a *Aphanothece microscopica Nægeli* no efluente da parboilização do arroz (QUEIROZ et al., 2001), *Chlorella minutissima* e *Spirulina*

sp. no soro de leite (TORRES, 2014), dentre outras, como, *Anabaena*, *Nostoc*, *Tolypotrix*, *Anacystisnidulans* e cepas de *Microcystis* e *Oscillatoria* (PINOTTI & SEGATO, 1991).

O tratamento de águas residuais por cianobactérias, instigados pelo metabolismo heterotrófico destes seres vivos vem sendo avaliado, com o consumo de moléculas orgânicas e nutrientes inorgânicos na ausência de luz (TAM, 2000). A abordagem de crescimento heterotrófico elimina as duas principais deficiências do cultivo autotrófico: permitir a utilização de praticamente qualquer biorreator, como as utilizadas para a produção industrial de medicamentos, bebidas, aditivos alimentares e de energia e rendimento, bem como uma redução significativa nos custos para a maioria dos processos (ZEPKA et al., 2010; PEREZ-GARCIA et al., 2011; QUEIROZ et al., 2011).

Em suas pesquisas, Bhatnagar et al. (2011) comprovaram crescimento mixotrófico de *Chlamydomonas globosa*, *Chlorella minutissima* e *Scenedesmus bijuga* em meio suplementado com diferentes fontes de carbono (glicose, sacarose, acetato de sódio, metanol, glicerol) e em efluentes urbanos e agroindustrial (frigorífico de aves).

O cultivo de *Chlamydomonas sp.* e *Desmodesmus sp.* foi avaliado por Wu et al (2012) em fotobiorreator usando efluente do parque industrial de Taichung, Taiwan. Foram obtidos resultados indicando remoções de 100% NH_4^+ e NO_3^- e 33% de PO_4^{3-} para *Chlamydomonas*, obtendo 18,4% em lipídios na biomassa, um promissor resultado visando a subsequente produção de biodiesel.

Prathima Devi et al. (2012) examinaram o cultivo heterotrófico misto de microalgas em efluente doméstico suplementado com diferentes nutrientes e glicose, apresentando alta produção de biomassa e remoção de nutrientes. Os autores sugeriram a produção de microalgas dos gêneros *Chlorella* e *Scenedesmus* (*Desmodesmus*) a partir de águas residuárias visando o aproveitamento da biomassa para obtenção de biodiesel.

Análises empregadas por Chaves et al. (2012) demonstraram que o efluente da indústria de laticínios proveniente da água de lavagem das máquinas e equipamentos de produção, possuíam cerca de 80.000 mg.L^{-1} de DQO. Após tratamento utilizando a microalga *Spirulina platensis*, obteve-se uma redução de até 93,6% para a concentração inicial de DQO em frascos de Erlenmeyer. Houve uma progressiva diminuição da DQO e a microalga demonstrou ser eficiente na redução da Demanda Química de Oxigênio do efluente da indústria de laticínios, sendo uma alternativa viável para o tratamento do efluente gerado e para produção da microalga *Spirulina platensis* e seus produtos derivados.

3.3 - UTILIZAÇÃO DA CIANOBACTÉRIA *Aphanothece microscopica* Nägeli NO TRATAMENTO DE EFLUENTES

A cianobactéria *Aphanothece microscopica* Nägeli, um microrganismo de ocorrência natural nos corpos hídricos adjacentes à cidade do Rio Grande, tem se destacado entre as inúmeras espécies existentes como uma alternativa viável para a remoção de matéria orgânica e nitrogênio de efluentes e na produção de proteínas unicelulares (QUEIROZ et al., 2001; QUEIROZ et al., 2002; QUEIROZ et al., 2007; JACOB-LOPES et al., 2006; ZEPKA et al., 2008).

Suas principais características morfológicas se classificam em células cilíndricas, formação de colônias macroscópicas amorfas, com mucilagem abundante, firme e rígida, coloração verde azulada escura, células adultas elípticas cilíndricas, conteúdo celular finamente granuloso, medindo 9,0 – 9,5 µm x 4,2 µm, cerca de 2,1 vezes mais comprida que larga, dividindo-se por fissão binária (HALPERIN et al., 1974). É taxonomicamente classificada na divisão *Cyanophyta*, classe *Cyanophyceae*, ordem *Chroococales*, família *Synechococaceae* e subfamília *Aphanotheceoidae* (ANAGNOSTIDIS e KOMÁREK, 1988; BARSANTI e GUALTIERI, 2006).

Os principais fatores para o cultivo desta cianobactéria se destacam como temperatura, nutrientes, pH e, dependendo da forma de cultivo, luminosidade. (Própria Autora, 2018)

Segundo Jacob-Lopes et al. (2007), foram empregadas diversas temperaturas, na secagem da *Aphanothece*, sendo estas na faixa de 40°C, 50°C e 60°C e espessuras de amostra de 3 mm, 5 mm e 7 mm, demonstrando assim um forte efeito da temperatura sobre a cor instrumental e clorofila-a. As espessuras avaliadas apresentaram um efeito significativamente menor no final.

Em outros estudos, Jacob-Lopes et al. (2008) relataram a remoção de dióxido de carbono dissolvido na fase aquosa de um fotobiorreator tubular por *Aphanothece microscopica* Nägeli em diferentes intensidades luminosas (960, 3000, 6000, 9000 e 11.000 lux) e temperatura (21,5°C, 25°C, 30°C, 35°C e 38,5°C), consideradas através de um planejamento composto central, visando determinar as condições do sistema mais eficiente. Demonstraram assim que a metodologia de superfície de resposta dispôs de consideráveis parâmetros operacionais do fotobiorreator sobre a cinética de remoção de dióxido de carbono.

Queiroz et al. (2001), avaliaram o potencial de produção de proteína unicelular a partir da água de maceração do arroz parabolizado por *Aphanothece microscopica* Nägeli, quando

esta é inoculada a 28°C, por um período de 96 h. Foram registrados máximos de remoção de DQO (89,47%) e nitrogênio (70,41%) em 24 h de cultivo e o valor médio em teor de proteína de 38,80% neste período. Demonstrou-se a partir desses resultados a viabilidade da utilização de *Aphanothece microscopica Nægeli* no tratamento de efluentes e na produção de proteína unicelular. Além disso, Queiroz et al. (2004) caracterizaram o concentrado protéico obtido a partir da biomassa desidratada da cianobactéria *Aphanothece microscopica Nægeli*. O concentrado proteico apresentou uma concentração de 60% de proteína, com máximas solubilidade e capacidade emulsificante de 80% e 302 mL.g⁻¹ de proteína, respectivamente.

Silva et al. (2005) também avaliaram a eficiência de remoção de nutrientes do efluente utilizando *Aphanothece microscopica Nægeli*. O tratamento do efluente do processamento de milho removeu 42,1 % de DQO e 58,5 % de N-NTK. Para o efluente do processamento de pêssego e figo, as eficiências de remoção foram de 53,7 % para DQO e de 73,2 % para N-NTK.

Vieira (2012) analisou a eficiência da cianobactéria *Aphanothece microscopica Nægeli* em remover, heterotroficamente, fosfato total dissolvido do efluente do processamento de laticínios. Os resultados mostraram que a remoção de fosfato é fortemente dependente da temperatura do processo. A cianobactéria foi efetiva na remoção de fosfato, alcançando taxas de remoção de 3,77 mg. L⁻¹.h⁻¹, que refletiram em conversões de 98,4% em tempos de detenção hidráulica de 24 horas.

Hornes (2010) fez um comparativo da cianobactéria *Aphanothece microscopica Nægeli* no efluente de pescado, em meios de cultivo diferentes. A cianobactéria foi cultivada na ausência de luminosidade, com meio BG11, e ciclos claro-escuro de 12 horas, tendo a glicose como a fonte de carbono e o cloreto de amônio como fonte de nitrogênio. A ausência de luminosidade promoveu maior crescimento para as cianobactérias (QUEIROZ et al., 2004; QUEIROZ et al., 2007; ZEPKA et al., 2008).

Manetti et al. (2011), estudaram a separação da biomassa do efluente da indústria da pesca, quando este foi tratado por *Aphanothece microscopica Nægeli*, mediante o uso dos coagulantes, cloreto férrico e sulfato de alumínio, à diferentes pH do efluente e concentrações de coagulantes. De acordo com Manetti (2012) foi constatado que a melhor condição registrada ocorreu quando foi utilizado o cloreto de ferro na concentração de 300 mg. L⁻¹, a pH 7. Paralelamente, foi avaliada a possibilidade de reuso da água residuária resultante, ficando demonstrada a aplicabilidade da associação do tratamento de efluente da indústria da

pesca por *Aphanothece microscopica Nägeli* e utilização de coagulantes para o reuso da água tratada.

Neste cenário, diversos estudos utilizando a cianobactéria *Aphanothece microscopica Nägeli* têm sido realizados, visando o tratamento de efluentes, aproveitamento de biocompostos e geração de subprodutos.

3.4 – CONDIÇÕES DE CULTIVO DAS MICROALGAS

As microalgas estão presentes tanto na natureza quanto em ambientes considerados artificiais onde, em ambos, encontram-se características que afetam a taxa de crescimento e composição celular destes seres vivos. O metabolismo das microalgas é extremamente dinâmico, devido a isso elas são capazes de alterar sua composição celular sob diferentes condições de crescimento.

Stebegg (2011) descreveu a existência de três modos de crescimento existentes na natureza, em que os organismos podem ser distinguidos por seus metabolismos, que são: as fontes de energia (quimiotrófico e fototrófico), fontes de elétrons (litotróficos e organotróficos) e fontes de carbono (autotrófico, heterotrófico, mixotrófico e combinações).

Em relação aos recursos nutricionais de carbono, as cianobactérias recorrem a três vias importantes para a manutenção dos níveis energéticos intracelulares: autotrófica, mixotrófica e heterotrófica, como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Principais modos de nutrição das cianobactérias.

Modo nutricional	Características
Heterotrófico	Organismos que conseguem energia por meio de alimentos capturados do ambiente.
Autotrófico	Organismos capazes de produzir seu próprio alimento.
Mixotrófico	Heterotrofia + Autotrofia

Fonte: LUÍSA e MEDEIROS (2013).

3.4.1 - Cultivo Autotrófico

As cianobactérias, quando presentes na condição autotrófica, utilizam a energia luminosa, água e gás carbônico para produção de carboidrato, processo conhecido como fotossíntese e para isto, necessitam de condições ambientais propícias à realização deste processo (intensidade luminosa, posição na coluna d'água, etc.). Como todas as microalgas são fotossintetizantes, e muitas são eficientes conversoras de energia solar, estas são normalmente cultivadas na iluminação de ambientes naturais ou artificialmente. Portanto, tal como é praticada com outras espécies microbianas, tanques abertos (lagoas) que imitam ambientes naturais de microalgas são os mais utilizados para cultivo em massa (VIDOTTI, 2012). Esses tipos de tanques são constituídos de vidro, plástico, concreto, tijolo ou até mesmo terra compactada em uma variedade de formas e tamanhos. O tanque mais comumente empregado é em “forma de pista”, uma forma oval que se assemelha a um circuito de corrida de carros (BECKER, 1994; CHISTI, 2007).

Esse sistema de tanques abertos também possui vantagens relacionadas à localização de produção, pois podem ser construídos em áreas degradadas e de terras não férteis (CHEN, 1996). A Figura 2 exibe este tipo de tanque, na qual é empregado a forma de cultivo autotrófico para crescimento das microalgas.



Figura 2 – Produção de microalgas em tanques abertos.

Fonte: “O promissor negócio das microalgas” - BLOG DA ESTELA BENETTI, 2012.

Embora esse sistema seja vantajoso em muitas questões, existem porém algumas desvantagens como: a diminuição da luminosidade com o aumento de profundidade necessitando que o tanque seja raso o suficiente para que haja distribuição uniforme de luz no sistema tendo como consequência a perda de volume em relação à área projetada, a contaminação biológica devido ao contato direto com o ambiente, as condições climáticas locais que influenciam na qualidade dos parâmetros de crescimento desses seres e, por fim, o elevado custo de separação da biomassa gerada (CHEN, 2006).

Os fotobiorreatores fechados (Figura 3) permitem resolver alguns dos inconvenientes apresentados pelos tanques abertos (LEE, 2001). Eles podem reduzir os custos de produção de biomassa através da modelagem do fotobiorreator, maior controle dos parâmetros durante o cultivo, controle operacional para superar limitações de velocidade de crescimento, tais como pH, temperatura e difusão de gás, eles ainda evitam evaporação, permitem atingir concentrações celulares e produtividades volumétricas mais elevadas e ainda evitam possíveis contaminações (SUALI, 2012).



Figura 3 – Fotobiorreatores tubulares para cultivo de microalgas.

Fonte: ECOMUNDO, 2017

Contudo, os fotobiorreatores que se assemelham aos tanques de sistema aberto em questões conceituais ainda possuem certas desvantagens se construídos em grande escala, na qual dentre os principais problemas estão a dispersão de luz, o desenvolvimento de biofilme de algas na superfície limitando a penetração de luz no fotobiorreator e altos custos de construção e operação (PEREZ-GARCIA et al., 2010)

Neste cenário, o cultivo autotrófico é a estratégia mais comum para o cultivo de microalgas. No entanto, esse modo de cultivo tem mostrado certas limitações com o aumento

na produção de biomassa celular, principalmente pelo problema do auto sombreamento que impossibilita o aumento na disponibilidade de luz. Logo, o crescimento heterotrófico pode ser uma alternativa viável para o crescimento fotoautotrófico (PEREZ-GARCIA et al., 2011).

3.4.2 – Cultivo heterotrófico

No campo de vista metabólico natural das cianobactérias, estas possuem como mecanismo preferencial a fotossíntese, por meio de compostos presentes no ambiente autotrófico produzindo biomassa e subprodutos. Porém estes seres apresentam outros sistemas para obtenção e execução de suas necessidades metabólicas, usufruindo de condições heterotróficas sem a presença de luminosidade, afim de consumir moléculas inorgânicas e orgânicas tais como glicose, ácidos orgânicos e acetato.

A heterotrofia, pode ser definida como a utilização de compostos orgânicos como fonte de carbono e energia. A aplicação do metabolismo heterotrófico de microalgas tem sido utilizada visando o aumento de sua produtividade em biomassa (PEREZ-GARCIA et al., 2011; VIDOTTI, 2012).

Excluindo-se a presença de luz, o modelo de cultivo heterotrófico pode aumentar significativamente a densidade celular e a produtividade da cultura (CHEN & JOHNS, 1994). A configuração heterotrófica ainda permite: a utilização de fermentadores de configuração mais simples, como os biorreatores já utilizados para a produção industrial de medicamentos, bebidas, aditivos alimentares etc., e permitir a utilização de efluentes ou fontes de carbono industriais residuais (CHIU et al., 2015; GLADUE & MAXEY, 1994).

Conforme estudos realizados por Perez-Garcia et al. (2011), com a utilização de sistemas heterotróficos para o cultivo de microalgas, é possível eliminar as duas principais deficiências dos fotobiorreatores, uma vez que permite o uso de praticamente qualquer fermentador convencional como biorreator e reduz os custos de produção da biomassa, por ser independente da luminosidade e passível de utilização de águas residuárias com carga orgânica.

A produção de biomassa a partir de microrganismos fotossintéticos e/ou heterotróficos, do ponto de vista de bioprocessos, devem possuir algumas características em comum. O processo deve ser contínuo para manter a produtividade durante todo o tempo, devem ser utilizados biorreatores homogêneos para prover as mesmas condições de crescimento a todas as células. Além disso, os reatores devem estar conectados a uma unidade

de recuperação na qual a biomassa pode ser concentrada e separada do resto do meio, principalmente em relação aos sais e compostos carbonados e nitrogenados presentes em solução. O tratamento físico da biomassa deve ser realizado de acordo com o produto final desejado (alimento sólido ou líquido) e promover a eliminação de qualquer patógeno com potencial de introdução durante o cultivo ou na estocagem (MORIST et al., 2001).

Inúmeras espécies de microalgas têm demonstrado a capacidade de utilizar açúcares ou outros compostos orgânicos no escuro (CHEN & JOHNS, 1994).

Gladue e Maxey (1994) testaram 121 diferentes cepas de microalgas e constataram que 57 dessas foram capazes de crescer em regime heterotrófico, dentre essas 57 estava a *Chlorella vulgaris*.

Contudo, verificou-se dentre alguns estudos, duas limitações importantes para microalgas no cultivo heterotrófico: o aumento significativo de problemas de contaminação, pela concorrência com outros microrganismos, bactérias, fungos e leveduras, cujo crescimento é reforçado em culturas heterotróficas justamente pela presença do substrato orgânico no meio de cultivo; e o fato de que algumas espécies podem não ser capazes de consumir certos compostos orgânicos ou sofrerem inibição do crescimento pelo excesso deste, que é condição similar das cianobactérias (CHEN& JOHNS, 1994; CHEN& JOHNS, 1996).

3.5 – ESTUDO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES COM O USO DA *APHANOTHECE MICROSCOPICA NÄGELI*

Atualmente vários estudos experimentais têm sido empregados para o tratamento de efluentes de laticínios com a utilização da microalga *Aphanothece microscopica Nägeli*, verificando assim resultados significativos e de grande valor tanto para remoção de carga orgânica e inorgânica destes efluentes quanto para a produção de biomassa e subprodutos. A seguir serão discutidos sobre diferentes pesquisas utilizando a cianobactéria, visando a comparação de valores e metodologias realizadas em cada uma.

3.5.1 – Caracterização do Efluente de Laticínio

Segundo pesquisas feitas por Manetti (2012) a água residuária do processamento de laticínios foi utilizada como meio de cultivo. O efluente foi obtido em uma indústria de

processamento de produtos lácteos (Pelotas, RS), coletado na saída do tanque de equalização da estação de tratamento de efluentes por um período de 36 meses.

Foram realizadas análises baseadas no *Standard Methods para análise de águas e efluentes* (APHA, 2005). O efluente foi caracterizado quanto ao carboidrato total pelo método fenol-sulfúrico usando glicose como padrão (DUBOIS et al., 1956). As razões C/N e N/P foram determinadas em função das concentrações de DQO, NNTK e $P-PO_4^{-3}$ presentes no efluente, segundo Hornes & Queiroz (2004).

Em estudos realizados com um efluente de uma indústria de laticínios da mesma cidade e de características próximas ao analisado por Manetti (2012), verificou-se que as frações de fósforo predominantes no efluente se encontravam nas formas orgânicas dissolvidas (11,72 mg. L⁻¹), seguida do fósforo reativo dissolvido (5,33 mg. L⁻¹), resultando em valores médios absolutos de fósforo total dissolvido de 20,57 mg. L⁻¹ pelo período de 12 meses de monitoramento (GUERRA, 2011).

A seguir, a Tabela 3 exibe os resultados obtidos pela caracterização do efluente coletado.

Tabela 3 - Caracterização do efluente da indústria de laticínios.

Parâmetros	Máximos	Mínimos	Médio	CV (%)
pH	9,75	6,5	9,05	0,18
NTK (mg. L ⁻¹)	57,27	26,05	42,60	35,13
DQO (mg. L ⁻¹)	2186	677,9	1230	40,30
N-NH ₄ ⁺ (mg. L ⁻¹)	8,0	3,63	5,25	2,36
P-PO ₄ ⁻³ (mg. L ⁻¹)	5,97	2,26	4,98	22,10
Alcalinidade (mg. L ⁻¹)	336	287,5	619,30	32,70
AVT (mg. L ⁻¹)	252	180	253	14,30
Cálcio (mg. L ⁻¹)	103,04	28,43	83,83	26,41
Dureza (CaCO ₃) (mg. L ⁻¹)	54,70	31	37,65	27,30
SS (mg L ⁻¹)	540	332	437,1	20,12
ST (mg. L ⁻¹)	2725	1810	2187	27,73

SF (mg. L ⁻¹)	2402	580	580	35,68
SV (mg. L ⁻¹)	1650	675	930	43,12
Carb. Totais (mg. L ⁻¹)	635,5	358,3	601,7	28,75
Glicose (mg. L ⁻¹)	54,75	23,78	47,51	19,70
Lactose (mg. L ⁻¹)	72,78	30,75	60,50	30,15
Sacarose (mg. L ⁻¹)	70,91	29,18	51,54	29,45
Maltose (mg. L ⁻¹)	48,73	16,30	34,54	30,10
Frutose (mg. L ⁻¹)	66,80	25,87	47,50	29,50
C/N	25	17,3	22,09	36,42
N/P	14,2	6,3	9,7	33,60

Ph: potencial hidrogeniônico NTK: nitrogênio total Kjeldahl; DQO: demanda química de oxigênio; NH₄⁺: nitrogênio amoniacal; P-PO₄-3: fósforo; AVT: ácidos voláteis totais; SS: sólidos suspensos; ST: sólidos totais; SF: sólidos fixos; SV: sólidos voláteis; Carboidratos. Dados amostrais referentes há 36 meses. Dados obtidos a partir de 20 repetições; CV: Coeficiente de variação (%). Fonte: MANETTI, 2012.

Segundo Manetti (2012), as razões C/N e N/P calculadas a partir dos valores médios de DQO, N-NTK, e fósforo como P-PO₄⁻³ foram, respectivamente, 22,09 e 9,7. Estes valores fazem deste efluente uma fonte em potencial de nitrogênio e fósforo para produção de compostos celulares a partir do cultivo de cianobactérias (QUEIROZ et al. 2004; QUEIROZ et al. 2007).

Os valores de DQO, NTK e P-PO₄⁻³, de 1230, 42,60 e 4,98, respectivamente, estão de acordo com os encontrados na literatura, na qual, estes mostram a importância do tratamento do efluente da indústria de processamento de leite utilizando cianobactérias (ZHU et al., 2013), tendo como ênfase, a remoção de nitrogênio e fósforo (BASTOS et al., 2010; PITTMAN et al., 2011; VIEIRA et al., 2012).

Segundo a literatura, os efluentes de laticínios são caracterizados pelo elevado conteúdo de compostos ricos em carbono, nitrogênio e fósforo (WANG et al. 2005), variando na faixa de 5000 mg. L⁻¹ de DQO, N-NTK entre 16,5 – 118 mg. L⁻¹ e fósforo total na ordem de 2,4 a 38,6 mg.L⁻¹ e pH de 6,3 a 10,6. (KUSHWAHA et al., 2010; BEEVI, 2014), resultando em relações C/N e N/P ideais para o cultivo de microalgas.

3.5.2 – Condições de cultivo e inóculo da cianobactéria

Segundo Guerra (2011), a microalga *Aphanothece microscopica Nāgeli* foi obtida e isolada da Laguna dos Patos, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. As culturas foram propagadas e mantidas a 25°C, com intensidade luminosa de 15 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e fotoperíodo de 12 h na fase exponencial para tomada do inóculo. A concentração celular foi determinada por gravimetria, mediante filtração de volume conhecido de meio de cultura **BG11** (Braun-Grunow medium) (RIPPKA et al., 1979), contendo células do microrganismo. Utilizou-se filtro Millipore de porosidade 0,45 μm previamente seco a 60°C por 24 h (QUEIROZ et al., 2004).

Manetti (2012) também utilizou a *Aphanothece microscopica Nāgeli* em condições similares ao de Guerra (2011), porém em reator de vidro com câmara otimizada quanto à luz e temperatura. De acordo com a autora, foram utilizadas lâmpadas incandescentes e fluorescentes com intensidade luminosa regulada em relação a quantidade de lâmpadas em uso e temperatura controlada.

Na Tabela 4 a seguir, são demonstrados os reagentes e suas respectivas composições utilizados no meio BG11.

Tabela 4 – Composição do meio BG11.

Reagentes	Concentração (g. L ⁻¹)
K ₂ HPO ₄ . 3H ₂ O	0,04
MgSO ₄ .7H ₂ O	0,075
Na ₂ CO ₃	2
NaNO ₃	1,5
EDTA	0,001
H ₃ BO ₃	2,86
MnCl ₂ .4H ₂ O	1,81
ZnSO ₄ .7H ₂ O	0,222
Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0,39
CuSO ₄ .5H ₂ O	0,079
CoCl ₂ .6H ₂ O	0,040
C ₆ H ₈ O ₇	0,006
FeC ₆ H ₅ O ₇ (NH ₄) ₂ HC ₆ H ₅ O ₇	0,006

Fonte: RIPPKA et al., 1979

As condições de cultivo dos artigos relacionados ao tratamento destes efluentes pela cianobactéria *Aphanothece microscopica Nægeli*, tiveram como principais características a utilização de biorreatores, na ausência de luz e com cultivo heterotrófico das culturas, pH na faixa de 7,6, aeração contínua de 1 VVM, temperaturas na faixa de 10°C, 20°C e 30°C, faixa de inóculo de 100 mg. L⁻¹, 200 mg. L⁻¹ e 300 mg. L⁻¹ (conforme Manetti (2012)) e 200 mg.L⁻¹ de acordo com Guerra (2011). Em ambos os artigos, a concentração celular foi monitorada de 4 h em 4h.

3.5.3 – Avaliação do crescimento e eficiência de tratamento do efluente pela cianobactéria

Em muitos trabalhos foram avaliados os dados cinéticos de crescimento da microalga utilizando-se algumas variáveis, de acordo com Levenspiel (2000), sendo estas:

- Velocidade específica de crescimento máxima ($\mu_{\text{máx}}$);
- Tempo de geração (tg);
- Taxa específica de remoção de substrato (q_S);
- Fator de conversão de substrato em célula ($Y_{X/S}$);

Com relação a experimentos relacionados com as variáveis descritas acima, verificou-se a importância de classificar o crescimento das cianobactérias, sendo que, de acordo com Pelczar et al. (2007), existem três fases que caracterizam uma curva para este crescimento, na qual estas são conhecidas como:

- **Fase lag**, não se verifica acréscimo da concentração celular;
- **Fase log**, se identifica a maior taxa de crescimento celular;
- **Fase estacionária**, a taxa de crescimento celular se encontra praticamente constante;

Em experimentos realizados por Manetti (2012), observou-se o crescimento da microalga *Aphanothece microscopica Nægeli* cultivada em efluentes de laticínio sobre diferentes condições de inóculo, variando-se temperatura e concentração, no qual presenciou-se as fases anteriormente citadas, com duração máxima da fase log de 8 h e fase de declínio após um tempo de residência de aproximadamente 20 h. Os dados cinéticos obtidos pela autora demonstraram o potencial deste tipo de água residuária como meio de cultura para a produção de biomassa e compostos celulares, tendo ênfase os resultados de cultivo do inóculo com concentração de 200 mg. L⁻¹ a 30 °C, verificando-se importante produção em carboidrato extracelular (**17 mg. L⁻¹**) em um tempo de residência de apenas 6 h.

Hornes (2008) relatou que, para culturas da *Aphanothece microscopica Negeli* em águas residuárias de indústrias de processamento de pescado, verificou-se o comportamento das curvas de crescimento, no qual a fase log teve duração de 27 h a 30 C, com concentração celular máxima de 670 mg. L⁻¹ neste período. Segundo o autor, o microrganismo em questão teve como fonte de crescimento o substrato presente na matéria orgânica do efluente a ser tratado revelando assim a possibilidade e a capacidade do uso da cianobactéria para remoção de carga orgânica, sendo que as concentrações iniciais de DQO se encontravam acima de 1700 mg. L⁻¹.

Manetti (2012), demonstrou que a cianobactéria obteve maior potencial de cultivo quando se utilizou a condição (C/N 20, N/P 10), potencial este expresso por uma concentração celular máxima de 1045 mg. L⁻¹, velocidade máxima específica de crescimento de 0,250 h⁻¹ e tempo de geração de 2,77 h. Com relação aos carboidratos extracelulares, foram registrados produção com máximos de 24,87 mg. L⁻¹ e produtividades de 0,96 mg L⁻¹.h⁻¹. Foram constatadas velocidades máximas de crescimento de 0,22 h, tempo de geração 3,10 h⁻¹.

Na Tabela 5, demonstram-se as eficiências da remoção de compostos pela *Aphanothece microscopica Negeli* em função de DQO, N-NTK e P-PO₄⁻³.

Tabela 5 - Eficiência de remoção após tratamento com *Aphanothece microscópica Negeli*.

Exp.	E DQO(%)	E N-NTK (%)	E P-PO ₄ ⁻³ (%)
1 (C/N 20; N/P 5)	90,50	63,8	66,66
2 (C/N 20; N/P 10)	90	89,3	66,66
3 (C/N 20; N/P 15)	77,77	69,2	50
4 (C/N 40; N/P 5)	36,85	63,15	55,55
5 (C/N 40; N/P 10)	45	81,8	66,66
6 (C/N 40; N/P 15)	35,13	68,42	20
7 (C/N 60; N/P 5)	78,12	63,33	33,33
8 (C/N 60; N/P 10)	82,75	76,92	33,33
9 (C/N 60; N/P 15)	73,91	57,89	75

E (%): eficiência de remoção. Fonte: Possa, 2016.

De acordo com os valores obtidos por Possa (2016), mostrados na Tabela 5, foi possível notar elevada eficácia na remoção de carga orgânica quando comparado os valores de eficiência de DQO, obtendo-se assim mais de 90% de remoção com condições de C/N 20 e N/P 10, confirmando-se a habilidade da cianobactéria de se desenvolverem culturas heterotróficas assimilando compostos orgânicos na ausência de luminosidade, conforme apontado nos estudos de QUEIROZ (1998) e SCHEMETTERER (1994).

Em pesquisas realizadas por Guerra (2011) no objetivo de avaliar a remoção de fósforo em cultivos heterotróficos da cianobactéria, conclui-se que a remoção deste componente, de nitrogênio total Kjeldahl e de DQO foi afirmada como rota em potencial para tratamento de efluentes de laticínios. Foi observado que a *Aphanothece microscopica Nægeli* teve capacidade de remover frações simples de fósforo, hidrolisável e orgânico, principalmente na fase dissolvida. A condição de cultivo preferível estava a 20°C e foram registradas taxas de remoção de 0,14, 0,13, 0,41, 0,75, 0,09 mg. L⁻¹ e 0,05 mg.L⁻¹ para PRD, PHAD, POD, PDT, PRS e PHAS, respectivamente. Foram verificadas remoção de **96,9 % de DQO e 59,3 % de N-NTK e produtividade em biomassa de 3,85 g. L⁻¹.**

SILVA et al. (2005) mostraram que no tratamento de compostos do efluente de milho, foram obtidos resultados com cerca de 42,1% para DQO (em 24 horas); e 58,5% para nitrogênio total (em 14 horas), enquanto para o efluente de pêssego e figo, as eficiências de remoção foram de 53,7% para DQO (em 24 horas) e 73,2% para nitrogênio total (em 9 horas), constatando que os índices relacionados à eficiência de remoção de componentes pela microalga no tratamento de efluentes de laticínios obtiveram bons resultados.

Bastos et al. (2014), apontou em estudos relacionados à produção de biomassa pelo cultivo da microalga *Aphanothece microscopica Nægeli* em efluentes domésticos, rendimento global médio de 0,66 mg de biomassa por mg de DQO, indicando uma elevada conversão da matéria orgânica do efluente em células, com remoção máxima de DQO de 54%. Percebeu-se que o consumo de nitrogênio seguiu uma cinética de primeira ordem com constante cinética de 0,04 h⁻¹, indicando-se que o nitrogênio foi o substrato limitante para o cultivo desta cianobactéria neste efluente. Apesar disto, quanto aos nutrientes, obteve-se remoções máximas de 67 e 92% de nitrogênio e fósforo, respectivamente.

4 – CONCLUSÃO

As microalgas em geral, tem mostrado inúmeras utilidades em indústrias farmacêuticas, alimentícias, de biocombustíveis, etc. e com isso, logo suas capacidades e habilidades metabólicas foram atraídas por diversos meios de pesquisa, visando o tratamento de efluentes industriais, com o propósito de remover compostos orgânicos e inorgânicos através da utilização e aproveitamento do metabolismo destes microrganismos.

Inúmeros estudos revisados neste trabalho tiveram como objetivo apontar como as microalgas são classificadas, os meios de cultura que podem ser empregados para seu desenvolvimento e como estas vêm obtendo êxitos quando relacionadas ao tratamento de efluentes de variadas composições e condições.

De acordo com os resultados obtidos por recentes estudos sobre o tratamento de efluentes de laticínios, as microalgas, mais exclusivamente se tratando da *Aphanothece microscopica* Nägeli, foram produtivas, com valores importantes de carboidratos, biomassa e demais produtos gerados.

Além disso, sua utilização se mostrou eficiente em relação à remoção de parâmetros como DQO, N-NTK e $P-PO_4^{3-}$, obtendo valores de até 95% de remoção de carga orgânica, confirmando o potencial das cianobactérias em relação à utilização de fontes de carbono no processo metabólico, reduzindo-se assim características relevantes para os efluentes de laticínios empregados.

Portanto, está cada vez mais claro que a utilização destes microrganismos para o tratamento de efluentes de laticínios tem se mostrado eficaz, trazendo benefícios para o meio ambiente e gerando cada vez mais espaço para tratamentos com diferentes processos biológicos.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALPHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20 ed. Washington, 2005.

ANAGNOSTIDIS, K.; KOMÁREK, J. Modern Approach to the classification system of cyanophytes. **Archiv für Hydrobiologie Algological Studies**, v. 80, p. 327-472, 1988.

ANDRADE, L.H. **Tratamento de efluente de indústria de laticínios por duas configurações de biorreator com membranas e nanofiltração visando reuso**. 2011. 231 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2011.

AZZOLINI, J.C.; FABRO, L.F. Monitoramento da eficiência do sistema de tratamento de efluentes de um laticínio da região Meio Oeste de Santa Catarina. **Unoesc & Ciência - ACET**, Joaçaba, v.4, n.1, p.43-60, 2013.

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

BASTOS, R. G.; PULSHEN, A.; SOUZA, C. F.; SILVA, D.; QUEIROZ, M. I. Produção de biomassa por cultivo heterotrófico da cianobactéria *Aphanothece microscopica* Nägeli em esgoto doméstico, **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, Florianópolis, p 3-6, 2014.

BASTOS, R.G.; SEVERO, M.; VOLPATO, G; JACOB-LOPES, E.; ZEPKA, L.Q.; QUEIROZ, M.I. Bioconversão do nitrogênio do efluente da parboilização do arroz por incorporação em biomassa da cianobactéria *Aphanothece microscopica* Nägeli. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.5, n.3, p.258 - 264, 2010.

BECKER, E. W. Microalgae: biotechnology and microbiology. Cambridge studies in biotechnology, v. 10, **Cambridge university press**, Cambridge, 1994.

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.

BELTRAME, T. F.; LHAMBY, A. R.; BELTRAME, A. Efluentes, resíduos sólidos e educação ambiental. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental - REGET**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p.351-362, jan. /abr, 2016.

BHATNAGAR, A.; CHINNASAMY, S.; SINGH, M.; DAS, K.C. Renewable biomass production by mixotrophic algae in the presence of various carbon sources and wastewaters. **Applied Energy**, v. 88, n. 10, p. 3425-3431, 2011

BOSCHI, J. R. **Concentração e Purificação das Proteínas do Soro de Queijo por Ultrafiltração**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

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

CHAVES, A.J.; DEL BIANCHI, V.L.; RIBEIRO, E.R.; BUENO, G.F. Tratamento de efluente da indústria de laticínios utilizando a microalga *Spirulina platensis*. In: congresso de Iniciação Científica, 24., 2012, São Paulo. **Anais eletrônicos**. São Paulo: UNESP, 2012.

CHEN, F. High cell density culture of microalgae in heterotrophic growth. **Trends Biotechnology**, v.14, p.421-6, 1996.

CHEN, F.; JOHNS, M. R. Substrate inhibition of *Chlamydomonas reinhardtii* by acetate in heterotrophic culture. **Process Biochemistry**, v. 29, p. 245-252, 1994.

CHEN, G.; CHEN, F. Growing phototrophic cells without light. **Biotechnology Letters**, v.28, p.607-616, 2006.

CHISTI, Y. Biodiesel from microalgae. **Biotechnol. Adv**, v.25, p.294-306, 2007.

CHIU, S.; KAOA C.Y.; CHENA, T.Y. Cultivation of microalgal *Chlorella* for biomass and lipid production using wastewater as nutrient resource. **Bioresource Technology**, 2015.

DANALEWICH J.R; PAPAGIANNIS T.G.; BELYEA R. L.; TUMBLESON M.E.; RASKIN, L. Characterization of dairy waste streams, current treatment practices, and potential for biological nutrient removal. **Water Research**, Vol. 32, n. 12, p. 3555–3568. 1998.

DEMIREL, B.; YENIGÜN, O.; ONAY, T.T. Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review. **Process Biochemistry**, v. 40, p. 2583-2595, 2005.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugar and related substances. **Analytical Chemistry**, v. 28, p. 352-356, 1956.

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.

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.

FRAPPART, M.; OMAR AKOUM, O.; DING, L.H.; JAFFRIN, M.Y. Treatment of dairy process waters modelled by diluted milk using dynamic nanofiltration with a rotating disk module. **Journal of Membrane Science**, v. 282, p. 465 – 472, 2006.

GARCÍA, M. C. C.; SÁNCHEZ M. A.; FERNÁNDEZ S., J. M.; MOLINA G. E.; GARCÍA C. F. Mixotrophic growth of the microalga *Phaeodactylum tricornutum*: Influence of different nitrogen and organic carbon sources on productivity and biomass composition. **Process Biochemistry**. v. 40, p. 297-305, 2005.

GLADUE, R. M.; MAXEY, J. E. Microalgal feeds for aquaculture. **Journal of Applied Phycology**, v. 6, p. 131-141, 1994.

GUERRA, J. V. **Remoção de Fósforo Pela Cianobactéria *Aphanothece microscopia Nägeli* Cultivos Heterotróficos**. 2011, 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2011.

HABIB, M. A. B.; PARVIN, M.; HUNTINGTON, T. C.; M.R., H. **A review on culture, production and use of Spirulina as food humans and feeds for domestic animals and fish**. food and Agriculture organization of the United nations, p. 1034:1-33, 2008.

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.

HOAG, L. S. A. **Reuso de água em hospitais: o caso do hospital Santa Casa de Misericórdia de Itajubá**. 2008. 217 f. Dissertação. (Programa de Pós-graduação em Engenharia da Energia) - Universidade Federal de Engenharia de Itajubá. Itajubá. 2008.

HORNES, M. O. **Valoração do Efluente da Indústria Processadora de Pescado por Incorporação de Nutrientes em *Aphanothece Microscopica Nägeli***. 2008. 221 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2008.

HORNES, M.; QUEIROZ, M.I. Evaluation of the growth of cyanobacterium *Aphanothece microscopica* Nägeli in effluent of fishing industry. In: **CHISA – International Congress of Chemical and Process Engineering**, 16., 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.371, 2010.

HU, W. C.; THAYANITHY, K.; FORSTER, C. F. A kinetic study of the anaerobic digestion of ice-cream wastewater. **Process Biochemistry**, v. 37, p. 965 - 971, 2002.

JACOB-LOPES, E.; SCOPARO, C. H. G.; FRANCO, T. T. Rates of CO₂ removal by *Aphanothece microscopica* Nägeli in tubular photobio reactors. **Chemical Engineering and Processing**, v.47 p.1365–1373, 2008.

JACOB-LOPES, E.; ZEPKA, L.Q.; PINTO, L.A.A.; QUEIROZ, M.I. Characteristics of thin-layer drying of the cyanobacterium Nägeli. **Chemical Engineering and Processing**, v. 46, p. 63 - 69, 2007.

JACOB-LOPES, E.; ZEPKA, L.Q.; QUEIROZ, M.I.; NETTO, F.M. Caracterização da fração protéica da cianobactéria *Aphanothece microscopica* Nägeli cultivada no efluente da parboilização do arroz. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, p. 482-488, 2006.

JUNG, F.; CAMMAROTA, M. C.; FREIRE, D. M. G. Impact of enzymatic pré-hydrolysis on batch activated sludge systems dealing with oily wastewaters. **Biotechnology Letters**, v. 24, p. 1797-1802, 2002.

KONG W.; SONG H.; CAO Y. The characteristics of biomass production, lipid accumulation and chlorophyll biosynthesis of *Chlorella vulgaris* under mixotrophic cultivation. **Afr. J. Biotechnol.**, 2011.

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.

LEE, Y. Microalgal mass culture systems and methods: Their limitation and potential. **Journal of Applied Phycology**, v.13, p.307-315, 2001.

LEVENSPIEL, O. Engenharia das Reações Químicas. 3. ed. São Paulo: **Edgard Blücher**, p. 34 - 120, 2000.

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.

LI, T.; ZHENG, Y.; YU, L.; CHEN, S. Mixotrophic cultivation of a *Chlorella sorokiniana* strain for enhanced biomass and lipid production. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 66, n. 1, p. 204-213, 2014.

MACHADO, R. M. G.; FREIRE, V. H.; SILVA, P. C.; FIGUERÊDO, D. V.; FERREIRA, P. E. Controle ambiental nas pequenas e médias indústrias de laticínios. 1 ed., Belo Horizonte: Segrac, p. 223, 2002.

MANETTI, A. G. S.; 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.

MANETTI, A. G. S. **Produção de Carboidratos a Partir do Efluente de Laticínios Tratados por Cianobactérias**. 2012. 248 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2012.

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

METCALF & EDDY. Wastewater Engineering: Treatment, disposal, reuse. 3. ed. **New York: McGraw-Hill**, 920p, 1991.

MOLINA-GRIMA, E.; BELARBI, E. H.; ACIÉN-FERNANDEZ, F. G.; ROBLES, M. A.; CHISTI, Y. Recovery of microalgal biomass and metabolites: process option and economics. **Biotechnology Advances**, v. 20, p. 491 - 515, 2002.

MORIST, A.; MONTESINOS, J. L.; CUSIDÓ, J. A.; GÒDIA, F. Recovery and treatment of *Spirulina platensis* cells cultured in a continuous photobioreactor to be used as food. **Process Biochemistry**. v. 37, p. 535-547, 2001.

NEVES, E.T. **Curso de Hidráulica**. Editora Globo, Porto Alegre, 4. ed., 1974.

OBAJA, D.; MACÉ, S.; COSTA, J.; SANS, C.; MATA-ALVAREZ, J. Nitrification, denitrification and biological phosphorus removal in piggery wastewater using a sequencing batch reactor. **Bioresource Technology**, v. 87, p. 103-111, 2003.

PELCZAR JR., M. J.; CHAN, E. C. S.; KRIEG, N. R. **Microbiologia; conceitos e aplicações...** ed. São Paulo: Pearson Makron Books, v. 1, 2, 1997.

PEREZ-GARCIA, O., BASHAN, Y., PUENTE, M. E., Organic carbon supplementation of sterilized municipal wastewater is essential for heterotrophic Growth and removing ammonium by the microalga *Chlorella vulgaris*, **Journal of Phycology**, v. 47, 190-199, 2011.

PEREZ-GARCIA, O.; ESCALANTE, F.M.E.; DE-BASHAN, L.E.; BASHAN, Y. Heterotrophic cultures of microalgae: Metabolism and potential products. **Water Research**. v.45 p.11-36, 2010.

PINOTTI, M. H. P.; SEGATO, R. **Cianobactérias: importância econômica**. Seminário: Ciências exatas e tecnológicas, v. 12, n. 4, p. 275-280, 1991.

PITTMAN, J. K.; DEAN, A. P.; OSUNDEKO, O. The potential of sustainable algae biofuel production using wastewater resource. **Bioresource Technology**, v.102, n. 1, p. 17-25, 2011.

POSSA, T. M. *Aphanothece microscopica Nägeli e a Influência das Razões C/N e N/P Quando Cultivada no Efluente da Indústria de Laticínios*. 2016, 82 f. Dissertação (Bacharel em Engenheiro Sanitarista e Ambiental) - Universidade Federal de Pelotas Centro de Engenharias Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Pelotas, 2016.

PRATHIMA DEVI, M.; VENKATA SUBHASH, G.; VENKATA MOHAN, S. Heterotrophic cultivation of mixed microalgae for lipid accumulation and wastewater

treatment during sequential growth and starvation phases: Effect of nutrient supplementation. **Renewable Energy**, v. 43, p. 276-283, 2012.

QUEIROZ, M.I.; et al. Avaliação do teor de proteína da *Aphanothece* sp. Caracterização em aminoácidos. IN: Anais do **XVI Congresso Brasileiro de Ciências e Tecnologia de Alimentos**, V2, n 1, p. 1089-1091, 100p. 1998.

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.; BENERI, R.; BASTOS, R.; ALMEIDA, R. Single-cell protein production by *Aphanothece microscopica* Nägeli in rice parboiled effluent. **Food Science and Biotechnology**, v. 13, n.1, p.142-150, 2004.

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.

QUEIROZ, M. I.; JACOB, E.; ZEPKA, L. Q.; BASTOS, R. The kinetics of the removal of nitrogen and organic matter from parboiled rice effluent by cyanobacteria in a stirred batch reactor. **Bioresource Technology**, v.98, p. 2163-2169, 2007.

QUEIROZ, M. I.; KOETZ, P. R.; TREPTOW, R. O. The Nagele microscocal *Aphanothece* potential in the production of the single-cell protein from the remaining water. In: CHAMES, S.W., CÁNOVAS-BARBOSA, G.V. and AGUILERA, J.M. (Ed.) **Proceedings if the eighth International Congress on Engineering and Food (ICEF 8)**, Pennsylvania, USA, 2027-2031, 2001.

QUEIROZ, M. I.; LOPES, E. J.; ZEPKA, L. Q.; NETTO, F. M. Caracterização da Fração Protéica da Cianobactéria *Aphanothece microscopica* Nägeli Cultivada no Efluente da Parboilização do Arroz. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, p. 482 - 488, 2006.

RAMALHO, R.S. Introduction to wastewater treatment processes. 2. ed. **San Diego: Academic Press**, 580p, 1983.

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

REYES-AVILA, J.; RAZO-FLORES, E.; GOMEZ, J. Simultaneous biological removal of nitrogen, carbon and sulfur by denitrification. **Water Research**, v. 38, p. 3313-3321, 2004.

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**, n.111, p.01-61, 1979.

SAHA, S.K.; UMA, L.; SUBRAMANIAN, G. Nitrogen stress induced changes in the marine cyanobacterium *Oscillatoria willei* BDU 130511. **FEMS, Microbiology Ecology**, v. 45, p. 263-272, 2003.

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.

SCHMITZ, R.; DAL MAGRO, C.; COLLA, L.M. Aplicações ambientais de microalgas. **Revista CIATEC - UPF**, v.4, n.1, p.48-60, 2012.

SHI, XIAN-MING; ZHANG, XUE-WU; CHEN, F. Heterotrophic production of biomass and lutein by *Chlorella protothecoides* on various nitrogen sources. **Enzyme and Microbial Technology**. v. 27, p. 312-318, 2000.

SILVA, A. G.; HORNES, M.L.; MITTERER, M.L.; QUEIROZ, M.I. Application of coagulants in pretreatment of fish wastewater using factorial design. **Desalination**, Amsterdam, v.1, p. 208-214, 2009.

SILVA, E. B.; ISOLDI, L. A.; QUEIROZ, M. I.; KOETZ, P. R.; PIEDRAS, S. R. N. Remoção de nutrientes em águas residuárias da indústria de conservas utilizando *Aphanothece microscopica* Nägeli. **Vetor**. v.15, p.19-23, 2005.

SILVA, G. H. **Sistema de alta eficiência para tratamento de esgoto residencial: estudo de caso na lagoa da conceição**. Monografia (Programa de graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

STEBEGG, R. Heterotrophic growth of the cyanobacterium *Anabaena* (Nostoc) sp . strain PCC7120 and its dependence on a functional *cox1* locus encoding cytochrome c oxidase, 2011.

SUALI, E., SABARTLY, R., Conversion of microalgae to biofuel, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, 4316-4342, 2012.

TAM, N.F.Y.; WONG, Y.S. (2000). Effect of immobilized microalgal bead concentrations on wastewater nutrient removal. **Environmental Pollution**. v. 107, p. 145–151, 2000.

TORRES, H.S.J. **Cultivo de microalgas em efluente de tratamento anaeróbio de esgoto**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, 2014.

VIDOTTI, A. D. S. **Cultivo heterotrófico axênico de *Chorella vulgaris*: inibição por substrato**. 2012, 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas), Campinas, 2012.

VIEIRA, J.G.; JACOB-LOPES, E.; SILVA-MANETTI, A.G.; QUEIROZ, M.I. Influência da temperatura na remoção de fosfato por microalgas em biorreatores heterotróficos. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.7, n.2, p.101-109, 2012.

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, p. 1733-1739, 2005.

WU, L.F.; CHEN, P.C.; HUANG, A.P.; LEE, C.M. The feasibility of biodiesel production by microalgae using industrial wastewater. **Bioresource Technology**, v. 113, p. 14–18. 2012.

ZEHR, J.P.; WARD, B.B. (2002). Nitrogen cycling in the ocean: New perspectives on processes and paradigms. **Applied Environmental Microbiology**, v. 68, p. 1015-1024.

ZEPKA, L.Q.; JACOB-LOPES, E.; GOLDBECK, R.; QUEIROZ, M.I. Production and biochemical profile of the microalgae *Aphanothece microscopica* Nägeli submitted to different drying conditions. **Chemical Engineering and Processing**, v. 47, p. 1311-1316, 2008

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.

ZHU, J.; RONG, J.; ZONG, B. Factors in mass cultivation of microalgae for biodiesel. **Chinese Journal of Catalysis**, v. 34, p. 80-100, 2013.