

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FERNANDA FERREIRA FLEMING

**O USO DE MICROALGAS COMO TECNOLOGIA DE BAIXO CUSTO
PARA REMOÇÃO DE NITROGÊNIO AMONÍACAL DE LIXIVIADOS DE
ATERROS SANITÁRIOS**

VOLTA REDONDA

2019

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**O USO DE MICROALGAS COMO TECNOLOGIA DE BAIXO CUSTO
PARA REMOÇÃO DE NITROGÊNIO AMONÍACAL DE LIXIVIADOS DE
ATERROS SANITÁRIOS**

Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Ambiental do UniFOA com requisito à obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Aluna:

Fernanda Ferreira Fleming

Orientador:

Prof. Dr. Amarildo de Oliveira Ferraz

Coorientadores:

Me. Luiz Carlos Busato

Dra. Cláudia Maria Luz Lapa Teixeira

VOLTA REDONDA

2019

**Anexo 10
FOLHA DE APROVAÇÃO**

Curso: **Engenharia Ambiental**

Trabalho de Conclusão de Curso intitulado:

“O Uso de Microalgas como Tecnologia de Baixo Curso para Remoção de Nitrogênio Amoniacal de Lixiviados de Aterros”

Elaborado por:

Acadêmico (s)

Fernanda Ferreira Fleming


Matrícula (s)

201310495


Apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Engenharia Ambiental.

Aprovada em 05 de novembro de 2019.

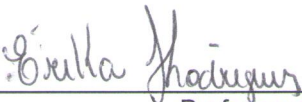
Banca Examinadora:



Professor Orientador
Amarildo Ferraz de Oliveira, Doutor (UniFOA)



Professora Avaliadora
Ana Carolina Callegario Pereira, Doutora (UniFOA)



Professora Avaliadora
Erika Fraga Rodrigues, Mestre (UniFOA)

Aos meus pais, Rosana e Paulo, meu irmão João Gabriel e a todos que me incentivaram e ajudaram a chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Rosana e Paulo, por todo o amor e dedicação que depositaram em mim e tornaram esse sonho possível. Ao meu irmão João Gabriel, que sempre me incentivou a buscar o meu melhor.

Agradeço imensamente ao corpo docente, por toda contribuição na minha formação, principalmente a meu orientador Amarildo Ferraz de Oliveira e a professora Joice Andrade de Araújo.

A toda equipe do Laboratório de Biotecnologia de Microalgas (LABIM) do Instituto Nacional de Tecnologia (INT) pela ajuda e paciência, a figura da Dra. Cláudia Teixeira pela receptividade, orientação e apoio ao projeto.

Ao Laboratório de Combustíveis e Lubrificantes (LACOL) e Laboratório de Tecnologia de Materiais Poliméricos (LAMAP) do INT pelo espaço cedido para desenvolvimento do experimento.

A meu coorientador Luiz Carlos Busato e Tatiana Miranda Murillo Busato por toda orientação e pela oportunidade de desenvolver este projeto.

A empresa Neomundi Sustentabilidade Eireli pelo Coquetel de Algas e toda contribuição, em especial a Renato Mattos da Silveira.

Ao Laboratório de Ficologia do Departamento de Botânica da Universidade Federal de São Carlos pelas microalgas.

Agradeço aos amigos que estiveram comigo durante essa jornada, em especial, Karina, Graciele e Pamela, que deixaram esses anos mais leves e divertidos.

Educação não transforma o mundo.
Educação muda pessoas. Pessoas
transformam o mundo.

Paulo Freire

RESUMO

Uma das grandes pautas sobre problemas ambientais é a questão do lixiviado (vulgarmente denominado chorume) proveniente dos resíduos sólidos urbanos (RSU). Sabe-se que o lixiviado quando não é corretamente tratado pode provocar graves danos ao meio ambiente, em decorrência da degradação dos resíduos sólidos tem-se a produção de um alto potencial poluidor. Alguns países vêm empregando microalgas no tratamento de efluente em busca de tratamentos de baixo custo operacional e baixo impacto ambiental, por serem organismos que se reproduzem facilmente em meios ricos de N, P e compostos orgânicos, além da capacidade para removerem compostos inorgânicos desses efluentes. Dentro deste cenário, o trabalho teve como finalidade quantificar a remoção de nitrogênio amoniacal de um efluente através do uso de microalgas. A metodologia se dividiu em três hipóteses: Na primeira etapa avaliou-se, se a microalga *Chlorella sp.* se desenvolve em um lixiviado com concentrações elevadas de carga orgânica, resultando na redução do nitrogênio amoniacal. Em uma segunda etapa avaliou-se se o enriquecimento do meio reacional com concentrações elevadas de carga orgânica para o cultivo de *Chlorella sp.* resultando em um maior desenvolvimento das microalgas, e conseqüentemente colaborar com maior redução do nitrogênio, no mesmo intervalo de tempo, em comparação com o meio não enriquecido. Em uma terceira etapa, comparou-se o desenvolvimento e o enriquecimento de nutrientes da *Chlorella sp.* com um coquetel de microalgas (espécies não identificadas). O experimento teve duração de 24 dias, com monitoramento de densidade óptica, pH, concentração de nitrogênio amoniacal e no último dia verificou-se a biomassa final obtida nos processos. O Coquetel de Algas se mostrou mais eficiente que a *Chlorella sp.* notando-se que a mesma não mostrou tolerância em altas concentrações de amônia, e a curva de crescimento se estabeleceu após 15 dias, não apresentando mais remoção significativa de amônia. O Coquetel de Algas apresentou uma redução significativa de 87% da amônia do efluente apesar do uso do nutriente KH_2PO_4 não mostrar diferença entre os tratamentos.

PALAVRAS-CHAVE: lixiviado; resíduos sólidos; microalgas; nitrogênio amoniacal.

ABSTRACT

One of the major guidelines on environmental problems is the issue of leachate (commonly called slurry) from urban solid waste (MSW). It is known that leachate when not properly treated can cause serious damage to the environment, due to the degradation of solid waste has the production of a high polluting potential. Some countries have been employing microalgae in wastewater treatment in search of low operating cost and low environmental impact treatments, as they are organisms that easily reproduce in rich media of N, P and organic compounds, and the ability to remove inorganic compounds from these effluents. Within this scenario, the work aimed to quantify the removal of ammonia nitrogen from an effluent through the use of microalgae. The methodology was divided into three hypotheses: In the first stage it was evaluated if the microalgae *Chlorella* sp. It develops in a leachate with high concentrations of organic load, resulting in the reduction of ammonia nitrogen. In a second stage, the enrichment of the reaction medium with high concentrations of organic load was evaluated for the cultivation of *Chlorella* sp. resulting in a higher development of microalgae, and consequently collaborate with greater nitrogen reduction, in the same time interval, compared to the non-enriched medium. In a third step, the development and nutrient enrichment of *Chlorella* sp. with a microalgae cocktail (unidentified species). The experiment lasted 24 days, with monitoring of optical density, pH, ammonia nitrogen concentration and on the last day the final biomass obtained in the processes was verified. microalgae cocktail was more efficient than *Chlorella* sp. Noting that it showed no tolerance at high ammonia concentrations, and the growth curve was established after 15 days, no longer showing significant ammonia removal. The microalgae cocktail showed a significant reduction of 87% in effluent ammonia although the use of nutrient KH_2PO_4 showed no difference between treatments.

Keyword(s): leachate; solid waste; microalgae; ammoniacal nitrogen.

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Propriedades geral da amônia (NH ₃).....	25
Tabela 2 - Composição do meio de cultura WC.....	32
Tabela 3 - Quantificação da biomassa	54

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Representação de um aterro sanitário – Setor em preparação	18
Figura 2 - Representação de um aterro sanitário – Setor em execução (Início)	19
Figura 3 - Representação de um aterro sanitário – Setor em execução (Meio)	19
Figura 4 - Representação de um aterro sanitário – Aterro Finalizado	20
Figura 5 - Mercado para produtos derivados de algas	28
Figura 6 - Estante com Plafons de Led.	33
Figura 7 - Fitas de pH MCOLORPHAST™	35
Figura 8 - Espectrofotômetro da marca Spectrum SP modelo 1105	36
Figura 9 - Coloração azul indicando presença de amônia.	37
Figura 10 - Centrifuga refrigerada – NT 825 – NOVA TECNICA.....	38
Figura 11 - Resultado da concentração das microalgas pós centrifugação	38
Figura 12 - Beckers com as microalgas para secagem.....	39
Figura 13 - Estufa de Secagem e Esterilização da marca NOVA TÉCNICA, modelo 512.	39
Figura 14 - Precipitado nas amostras com KH ₂ PO ₄	40
Figura 15 - Acompanhamento visual do crescimento da Chlorella + WC.....	47
Figura 16 - Acompanhamento visual do crescimento da Chlorella + WC + efluente.	47
Figura 17 - Acompanhamento visual do crescimento da Chlorella + WC + efluente + KH ₂ PO ₄	48
Figura 18 - Acompanhamento visual do crescimento da Coquetel de Algas + WC ..	48
Figura 19 - Acompanhamento visual do crescimento da Coquetel de Algas + WC + efluente	49
Figura 20 - Acompanhamento visual do crescimento da Coquetel de Algas + WC + efluente + KH ₂ PO ₄	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Caracterização de lixiviado de aterros brasileiros	21
Quadro 2 - Tratamentos convencionais para lixiviado.....	23
Quadro 3 - Fases de crescimento das culturas	29
Quadro 4 - Montagem dos Erlenmeyers	34
Quadro 5 - Variações observadas no pH.	40

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição da amônia (NH_3) e íon amônio (NH_4^+) em função do pH.	24
Gráfico 2 - Curva de crescimento de cultivo estacionário (batelada ou “batch”) de uma cultura de microalga.	30
Gráfico 3 - Curva de crescimento Chlorella + WC (Controle).....	41
Gráfico 4 - Curva de crescimento Chlorella + WC + efluente.....	42
Gráfico 5 - Curva de crescimento Chlorella + WC + efluente + KH_2PO_4	43
Gráfico 6 - Curva de crescimento Coquetel de Algas + WC.....	44
Gráfico 7 - Curva de crescimento Coquetel de Algas + WC + efluente.....	45
Gráfico 8 - Curva de crescimento Coquetel de Algas + WC + efluente + KH_2PO_4	45
Gráfico 9 - Curva de crescimento WC + efluente.....	46
Gráfico 10 - Curva de calibração do Kit de amônia.....	50
Gráfico 11 - Determinação de amônia Chlorella + WC + efluente.....	51
Gráfico 12 - Determinação de Amônia Chlorella + WC + Efluente + KH_2PO_4	51
Gráfico 13 - Determinação de amônia Coquetel de Algas + WC + efluente.....	52
Gráfico 14 - Determinação de amônia coquetel de algas + WC + efluente + KH_2PO_4	53
Gráfico 15 - Determinação de amônia WC + efluente.....	53
Gráfico 16 – Redução observada no período de 15 dias.	54

LISTA DE SIGLAS

ABELPRE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

CO₂ - Dióxido de Carbono

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO₅ - Demanda Biológica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

INT - Instituto Nacional de Tecnologia

LABIM - Laboratório de Biotecnologia de Microalgas

KH₂PO₄ - Fosfato Mono Potássico

NBR - Norma Brasileira

N-NH₃ – Nitrogênio amoniacal (Amônia)

NH₄⁺ - Íon Amônio

NKT - Nitrogênio de Kjeldahl Total

N-NO₂⁻ - Nitrogênio de Nitrito

NO₃⁻ - Nitrogênio de Nitrato

NT - Norma Técnica

pH - Potencial hidrogeniônico

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

WC - *Water Culture Medium*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Delimitação da Problemática	16
1.2	Justificativa	16
1.3	Objetivo Geral	16
1.3.1	Objetivos específicos.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	Aterro sanitário.....	17
2.2	Lixiviado.....	20
2.2.1	Tratamentos de lixiviado	22
2.3	Nitrogênio amoniacal	23
2.4	Microalgas.....	26
2.4.1	Sistemas de cultivo de microalgas	29
2.4.2	Microalgas no tratamento de efluentes	30
3	MATERIAIS E METODOS	32
3.1	Estratégias de pesquisa.....	32
3.2	Meio de cultura	32
3.3	Montagem e Condições de Cultivo	33
3.4	Determinação do pH	35
3.5	Densidade Óptica	35
3.6	Determinação de Amônia.....	36
3.7	Obtenção de Biomassa	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
4.1	Determinação do pH	40
4.2	Densidade óptica.....	41
4.3	Determinação de amônia	50

4.4 Determinação de Biomassa	54
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	55
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

O lixiviado proveniente dos resíduos sólidos urbanos (RSU) tem sido uma das grandes pautas sobre questões ambientais. Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a melhor saída para o revés da disposição final dos resíduos sólidos são os aterros sanitários. Existem inúmeros aterros sanitários no Brasil recebendo toneladas de resíduos diariamente, além dos resíduos que ainda são dispostos em lixões a céu aberto sem nenhuma tratativa existente a seus subprodutos ou dispostos em aterros controlados. De acordo com o panorama da (ABRELPE, 2017), os números referentes à geração de RSU revelam um total anual de 78,4 milhões de toneladas no país, sendo que cerca de 59,1% foram coletados, dispostos em aterros sanitários. O restante, correspondendo a 40,9% dos resíduos coletados, foi despejado em locais inadequados, totalizando mais 29 milhões de toneladas de resíduos em lixões ou aterros controlados, que não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente contra degradações e danos diretos à saúde de milhões de pessoas.

Alguns países vêm empregando microalgas no tratamento de efluente em busca de tratamentos de baixo custo operacional e baixo impacto ambiental, por serem organismos que se reproduzem facilmente em meios ricos de N, P e compostos orgânicos, além da capacidade para removerem compostos inorgânicos.

Conforme a EMBRAPA (2009) as microalgas são excelentes para atuarem como remediadoras de efluente, permitindo a remoção e reciclagem de nutrientes, sendo uma alternativa sustentável de biorremediação, além da vantagem de produção de biomassa e outros produtos.

As microalgas possuem alto potencial biotecnológico devido à identificação de diferentes substâncias sintetizadas por estes organismos. A partir da produção de biomassa, pode ser utilizada na indústria alimentícia, de fertilizantes, produção de biodiesel, na obtenção de compostos naturais dentre outros fins.

1.1 Delimitação da Problemática

O crescimento aritmético dos resíduos é um grande problema para o meio ambiente. O grande acúmulo de passivos ambientais encontrados nos aterros sanitários pode ocasionar contaminação dos corpos d'água próximos, solos, dentre outros problemas ambientais. A amônia presente no lixiviado pode apresentar toxicidade a organismos aquáticos em determinadas concentrações, comprometendo a qualidade das águas, o ecossistema e a saúde pública. Visto isso, a problemática deste estudo constitui-se em avaliar se existe viabilidade técnica na remoção de nitrogênio amoniacal com uso de microalgas no tratamento de lixiviados de aterros sanitários.

1.2 Justificativa

A presente pesquisa justifica-se diante da necessidade de se desenvolver alternativas de baixo custo operacional no tratamento de lixiviados de aterros sanitários para atendimento das legislações vigentes, redução de passivos ambientais.

1.3 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a eficácia e comparar o uso de microalgas, como proposta de remover o nitrogênio amoniacal existente nos lixiviados de aterros.

1.3.1 Objetivos específicos

- Comprovar eficiência da *Chlorella sp.* na remoção de nitrogênio amoniacal do lixiviado;
- Indicar o efeito do acréscimo de KH_2PO_4 como substância auxiliar no crescimento das microalgas;
- Comparar a eficiência da *Chlorella sp.* e um material biológico, comunidade microalgas não identificadas, denominadas de Coquetel de Algas;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aterro sanitário

A partir do surgimento da Lei federal de saneamento básico (Lei 11.445, 2007) foi estabelecida a obrigatoriedade da destinação final adequada do lixo doméstico e tratamento do mesmo, assim como tratamento do seu lixiviado. De acordo com o artigo terceiro, inciso primeiro, alínea c da Lei Federal de Saneamento Básico:

Limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas;

A necessidade de se alcançar uma política exata no gerenciamento vem da aplicabilidade da série de problemas que envolvem os resíduos sólidos, a Lei 12.305/2010 de Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010), artigo terceiro do oitavo inciso determina o seguinte:

Disposição final ambientalmente adequada:
Distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

Os aterros sanitários começaram a ser implantados na década de 1970, e se caracterizam por ter sua área base impermeabilizada. Antes da implantação, não se tinha um tratamento dos resíduos, sendo dispostos diretamente no solo, com o líquido gerado pelo mesmo infiltrando no solo, sendo um grande problema de contaminação de águas subterrâneas e solo (PROSAB, 2009).

Os resíduos sólidos urbanos quando são dispostos em aterros sanitários, ocorre à preocupação com os impactos gerados e controle, pois há toda atenção para que os resíduos e seus subprodutos, como o metano e o lixiviado, não gerem impactos ao meio ambiente (BARROS, 2013), além de ser a solução mais viável atualmente, tanto do ponto de vista econômico como técnico. De acordo com

ZGAJNAR-GOTVANJ *et al.*, (2009), este método propicia uma opção de baixo custo de operação e manutenção em relação a outros métodos, como a incineração, por exemplo, que vem sendo utilizada em países com menor disponibilidade de áreas.

De acordo com a Norma Técnica para apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos (NBR 8419, 1992) em seu item 3.2, aterro sanitário é denominado como:

Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário.

Para que a disposição final e tratamento dos resíduos sejam adequados devem ser calculadas as medidas de coleta e tratamento dos efluentes líquidos e gasosos produzidos, do mesmo modo que sejam realizados planos de monitoramento ambiental e geotécnico (SANTOS, 2010). As Figuras 1 a 4, estão retratando o esquema da preparação e a evolução de um aterro sanitário.

Figura 1 - Representação de um aterro sanitário – Setor em preparação



Fonte: Adaptado de SANTOS, 2010.

Figura 2 - Representação de um aterro sanitário – Setor em execução (Início)



Fonte: Adaptado de SANTOS, 2010.

Figura 3 - Representação de um aterro sanitário – Setor em execução (Meio)



Fonte: Adaptado de SANTOS, 2010.

Figura 4 - Representação de um aterro sanitário – Aterro Finalizado



Fonte: Adaptado de SANTOS, 2010.

2.2 Lixiviado

O lixiviado, também chamado de líquido percolado, sumeiro ou chorume, é um líquido poluente, escuro, com odor forte, e com altas concentrações de compostos inorgânicos e orgânicos, gerados pela degradação dos RSU em aterros sanitários, devido ao processo de decomposição (BERTAZZOLI & PELEGRINI, 2002). Essas ações agrupadas a chuva, se incumbem de lixiviar os compostos presentes nos resíduos para o meio ambiente.

Segundo a Norma Técnica para apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos (NBR 8419, 1992) no item 3.13 lixiviado é:

Líquido, produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos, que tem como características a cor escura, o mau cheiro e a elevada DBO₅ (demanda bioquímica de oxigênio).

A sua composição varia dependendo do tempo de disposição, idade do aterro e das características do lixo e fatores pluviométricos locais, além de conter metais pesados, fenol, sais inorgânicos e sólidos suspensos em altas concentrações, dentre

outras variáveis, como exposto no Quadro 1. As elevadas concentrações de DQO e nitrogênio amoniacal presentes no lixiviado são fatores que contribuem a definir a sua biodegradabilidade e toxicidade ambiental e dificultam o tratamento em sistemas convencionais (WOJCIECHOWSKA *et al.*, 2010).

Quadro 1 - Caracterização de lixiviado de aterros brasileiros

Variável	Faixa máxima	Faixa mais provável	FVMP*
pH	5,7 - 8,6	7,2 - 8,6	78
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	750 - 11400	750 - 7100	69
Dureza (mg/L CaCO ₃)	95-3100	95 - 2100	81
Condutividade (µS/cm)	2050 - 25000	2950 - 17660	77
DBO ₅ (mg/L O ₂)	<20 - 30000	<20 - 8600	75
DQO (mg/L O ₂)	190 - 80000	190 - 22300	83
Óleos e graxas (mg/L)	10 - 480	10 - 170	63
Fenóis (mg/L C ₆ H ₅ OH)	0,9 - 9,9	0,9 - 4,0	58
NTK (mg/L N)	80 - 3100	Não há	-
N- amoniacal (mg/L N)	0,4 - 3000	0,4 - 1800	72
N- orgânico (mg/L N)	5 - 1200	400 - 1200	80
N- nitrito (mg/L N)	0 - 50	0 - 15	69
N- nitrato (mg/L N)	0 - 11	0 - 3,5	69
P-total (mg/L)	0,1 - 40	0,1 - 15	63
Sulfeto (mg/L)	0 - 35	0 - 10	78
Sulfato (mg/L)	0 - 5400	0 - 1800	77
Cloreto (mg/L)	500 - 5200	500 - 3000	72
Sólidos totais (mg/L)	3200 - 21900	3200 - 14400	79
Sólidos totais fixos (mg/L)	630 - 20000	630 - 5000	60
Sólidos totais voláteis (mg/L)	2100 - 14500	2100 - 8300	60
Sólidos suspensos totais (mg/L)	5 - 2800	5 - 700	74
Sólidos suspensos voláteis (mg/L)	5 - 530	5 - 200	62
Zinco (mg/L)	0,01 - 260	0,01 - 65	67
Manganês (mg/L)	0,04 - 2,6	0,04 - 2,0	79
Cobre (mg/L)	0,005 - 0,6	0,05 - 0,15	61
Níquel (mg/L)	0,03 - 1,1	0,03 - 0,5	71
Cromo (mg/L)	0,003 - 0,8	0,003 - 0,5	89
Chumbo (mg/L)	0,01 - 2,8	0,01 - 0,5	64
Zinco (mg/L)	0,01 - 8,0	0,01 - 1,5	70

NOTA: FVMP = Frequência de ocorrência dos valores mais prováveis

Fonte: Adaptado de SOUTO & POVINELLI (2007) *apud* BARROS (2013).

2.2.1 Tratamentos de lixiviado

O lixiviado abrange diversas substâncias perigosas, deste modo, podendo comprometer gravemente a qualidade das águas subterrâneas e superficiais. Logo, esse efluente precisa ser tratado antes do seu lançamento no meio ambiente.

Segundo (POVINELLI & SOUTO, 2007) o lixiviado é apontado hoje em dia como o principal problema correlacionado aos aterros sanitários. A maior parte dos aterros no Brasil operam com lagoas de estabilização contendendo um efluente com condições fora dos padrões de lançamento de acordo com as legislações pertinentes.

Os fatores atribuídos ao tratamento de lixiviado de aterros sanitários segundo (QASIM & CHIANG, 1994), são:

1. A alta recalcitrância do lixiviado, seu alto potencial poluidor e sua alta toxicidade definem a necessidade de se selecionar uma tecnologia de tratamento compatível, sendo esta uma tarefa complexa;
2. As diferenças encontradas de aterro para aterro e conseqüentemente de lixiviado para lixiviado, são tais que tecnologias aplicáveis a uma determinada situação podem não ser diretamente transferíveis para outra.
3. As flutuações na qualidade e quantidade do lixiviado produzido, que ocorrem tanto em curtos como em grandes intervalos de tempo, devem ser consideradas no projeto da estação de tratamento. O processo concebido, que garante bom desempenho para o lixiviado de um aterro jovem deve ser modificado no futuro para atender adequadamente as suas mudanças de características em função da contínua estabilização do aterro e ainda para atender eventuais mudanças nos padrões de lançamento de efluentes.

PACHECO (2004) *apud* PREUSSLER (2014) relata que não há método que atue isoladamente no seu tratamento, uma vez que este possui compostos inorgânicos e elevada carga orgânica. Os principais métodos de tratamento são os processos convencionais, ou seja, biológicos, físicos, químicos e novos tratamentos com uso de membranas e métodos alternativos, como mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 - Tratamentos convencionais para lixiviado.

Tratamento para o lixiviado	
Tratamento	Descrição
Transferência do lixiviado	O tratamento do lixiviado com o esgoto doméstico em uma estação de tratamento de esgoto municipal é de fácil manutenção e de custos operacionais baixos. Esta opção, entretanto, tem sido questionada devido à presença, no lixiviado, de compostos inibidores orgânicos de baixa biodegradabilidade, como os metais pesados que podem reduzir a eficiência do tratamento e o aumento da concentração no efluente (RENOU <i>et al.</i> , 2008).
Biodegradação	Dentre os tipos de tratamento, os biológicos são os mais utilizados, não apenas para o tratamento do lixiviado como para os demais tipos de efluentes. Tratam grandes volumes, transformando compostos tóxicos em gás carbônico, metano e água, e com custos relativamente baixos. Podem ser divididos em processos aeróbios, anaeróbios e facultativos. Esse processo é aplicado principalmente para a remoção da matéria orgânica presente dos efluentes, usualmente medida na forma de DBO, DQO ou carbono orgânico total (PACHECO, 2004).
Métodos físicos e químicos	Processos físicos e químicos incluem a redução de sólidos suspensos, partículas coloidais, material flotante, cor e compostos tóxicos por flotação, coagulação/floculação, adsorção e oxidação química. Estes processos utilizados no tratamento de lixiviado são usados em adição a linha de tratamento (pré-tratamento ou purificação final) ou para tratar um poluente específico (RENOU <i>et al.</i> , 2008).
"Métodos alternativos"	Entre os processos alternativos para o tratamento do lixiviado pode ser citada a fitorremediação, um processo que ocorre em wetlands naturais ou construídos (CUNNINGHAM <i>et al.</i> , 1996; BRIX, 1997; JONES <i>et al.</i> , 2006) e os sistemas de recirculação do lixiviado (PACHECO, 2004; VYZAMAL, 2007). Esses processos se destacam por serem de simples implantação e por não necessitarem de uma tecnologia complexa de tratamento (CUNNINGHAM <i>et al.</i> , 1996; PACHECO, 2004; JONES <i>et al.</i> , 2006).

Fonte: Adaptado de PREUSSLER, 2014.

2.3 Nitrogênio amoniacal

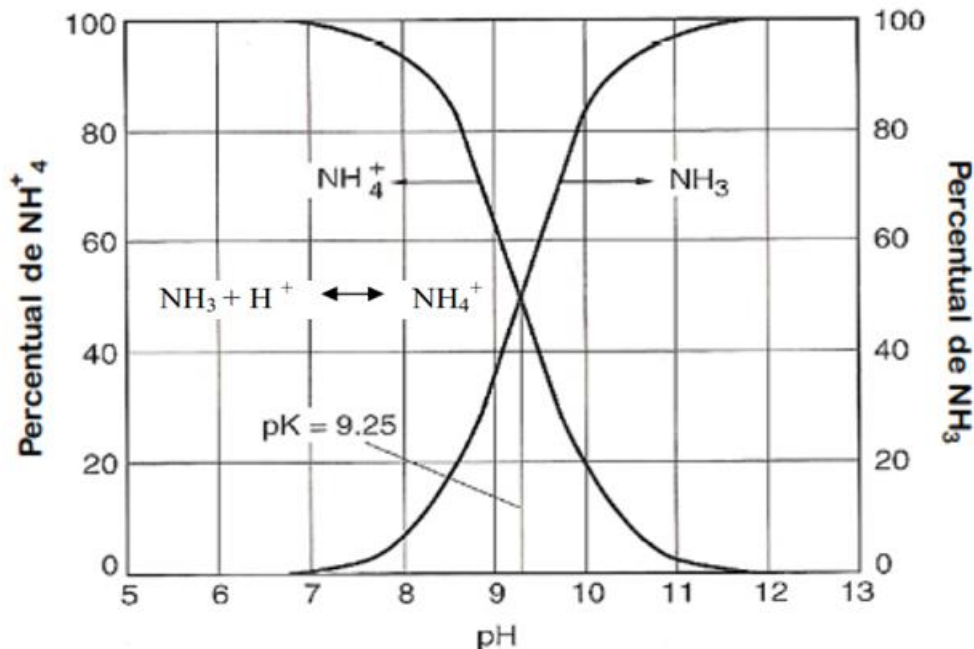
O nitrogênio é de grande importância para os seres vivos, pois ele faz parte de moléculas importantes como proteínas, enzimas e ácidos nucléico, entretanto, quando o ecossistema recebe quantidades altas de nitrogênio, pode acarretar uma serie de danos (BOSCHILIA, 2014). As variadas formas de nitrogênio têm a capacidade de diminuir a quantidade de oxigênio dissolvido na massa líquida, proporcionar o desequilíbrio da matéria orgânica e como, por exemplo, o nitrogênio

amoniacoal pode apresentar toxicidade a organismos aquáticos em determinadas concentrações. Esses efeitos comprometem a qualidade das águas, o ecossistema e a saúde pública (SANTOS, 2009).

Um dos grandes problemas pertencentes ao tratamento de efluente é o nitrogênio amoniacoal. Ele auxilia diretamente na poluição dos corpos hídricos. O nitrogênio pode ser encontrado na natureza de diversas formas resultante de um processo bioquímico. Pode ser encontrado como nitrato (N-NO_3^-), nitrito (N-NO_2^-), amônia (NH_3)_{gás} e com íons de amônio (NH_4^+) e nitrogênio orgânico (METCALF & EDDY, 2003 *apud* SILVA, 2008).

O nitrogênio amoniacoal é uma representação para denominar as espécies designadas amônia livre ou amônia não ionizada (NH_3) e amônio ou amônia ionizada (NH_4^+) de acordo com o pH, como apresentado na equação de equilíbrio no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Distribuição da amônia (NH_3) e íon amônio (NH_4^+) em função do pH.



Fonte: Adaptado de METCALF & EDDY, 2003.

De acordo com VON SPERLING (1996) e METCALF & EDDY (2003), o pH superior a 11 torna praticamente todo o nitrogênio amoniacoal na forma livre.

A amônia livre, diferente da amônia ionizada, pode ser removida por volatilização dependendo o pH adotado. Com a elevação do pH, o equilíbrio da reação se desloca para a esquerda, favorecendo a maior presença de NH_3 . No pH em torno da neutralidade, praticamente todo o nitrogênio amoniacal encontra-se na forma de NH_4^+ , enquanto que no pH próximo a 9,5, aproximadamente 50% do nitrogênio amoniacal está na forma de NH_3 , e 50% na forma de NH_4^+ .

Segundo ESKICIOGLU *et al.*, (2018), *stripping* de amônia é um processo descrito como a seguir:

O gás de amônia reage com a água para formar íons hidróxido de amônio e existe em equilíbrio com base em o pH e a temperatura da solução. Com base nessa química, uma abordagem à amônia A remoção consiste em mudar o equilíbrio em direção à fase gasosa e, em seguida, remover a amônia da solução. Em pH e temperatura altas, o equilíbrio se aproxima de 100% de amônia na solução.

A amônia é um gás mais leve do que o oxigênio e incolor. É facilmente difundido devido à formação de ligações de hidrogênio entre as suas moléculas (MARTINEZ RODRIGUEZ, 2007). Na Tabela 1 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** são sintetizadas algumas propriedades da amônia.

Tabela 1 - Propriedades geral da amônia (NH_3)

Propriedades Gerais	
Fórmula molecular	NH_3
Massa molecular	17,03 g/mol
Característica	Gás incolor com forte odor
Densidade e fase	0,694 g/L, na fase gasosa
Solubilidade em água	89,9 g/100 ml at 0 °C
Ponto de fusão	- 77,73 °C (195,42 K)
Ponto de ebulição	- 33,34 °C (239,81 K)
Acidez (pKa)	9,25
Basicidade (pKb)	4,75

Fonte: Adaptado de MARTINEZ RODRIGUEZ, 2007.

A amônia é capaz de se acumular nos tecidos dos peixes, causando efeitos secundários a ponto de alterar o metabolismo do animal, estando relacionados com problemas respiratórios, bloqueios das funções vitais, perda de equilíbrio e aumentos de batimentos cardíacos. Nos seres humanos a amônia pode provocar disfunções respiratórias, necrose dos tecidos e queimaduras na mucosa nasal (BELLIDO, 2003 *apud* LEYTÓN CERNA, 2008).

Os métodos apresentados acima no Quadro 1 apresentam grande fragilidade na remoção de amônia, seja por viabilidade técnica e/ou econômica. A Norma Técnica do INEA: Critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos de criada 1986, (NT 202-R10, 1986), apresenta o padrão de lançamento de efluentes em corpos de água o valor limite de amônia de $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$. Já na norma federal que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes (CONAMA 430, 2011), a amônia é apresentada como nitrogênio amoniacal total, do qual o limite de lançamento é de $20,0 \text{ mg.L}^{-1}$.

O lixiviado de aterros sanitários antigos são ricos em nitrogênio amoniacal devido à biodegradação anaeróbia e a hidrólise das frações nitrogenadas de substratos biodegradáveis. Com o aumento da idade do aterro sanitário, aumenta a concentração do nitrogênio amoniacal no lixiviado (KULIKOWSKA & KLIMIUK, 2008).

2.4 Microalgas

De acordo com LUCIO (2013), as microalgas têm sido empregadas como fonte de proteínas e vitaminas desde a época primitiva do planeta. As civilizações do oriente e ocidente usavam as microalgas como alimento essencial de suas dietas devido sua alta propriedade nutricional.

As microalgas são microrganismos unicelulares fotossintetizados eucarióticos ou procarióticos, sendo constituídas de ácido nucléicos, carboidratos, lipídios e proteínas. São competentes para viver em condições diversas e crescem rápido, deste modo, existindo uma grande diversidade de espécies podendo-se encontrá-las em diversos habitats (PEQUENO *et al.*, 2012; TINOCO & TEIXEIRA, 2015).

Dentre as diversas características que instituem as microalgas a serem organismos de grande relevância atualmente, evidencia-se pela capacidade de alterarem o seu metabolismo em resposta as alterações ambientais. A maneira que se ajustam com desenvoltura através da alimentação fisiológica e bioquímica, originando uma diversidade de substâncias produzidas (TINOCO & TEIXEIRA, 2015).

Segundo (TEIXEIRA, 2006), a biomassa obtida através do cultivo das microalgas pode ser empregada na produção de biocombustíveis, fertilizantes e no aproveitamento das proteínas.

No momento atual, alguns países como a China, Japão e Estados Unidos, já vêm empregando o uso de microalgas nos mercados de cosméticos, nutrição humana e animal, higiene pessoal, indústria alimentícia, dentre outras aplicações conforme ilustrado na Figura 5. Além de pesquisas realizadas pela Fiocruz em busca de novos agentes contra o vírus causador da gripe, influenza A (EMBRAPA, 2009).

Figura 5 - Mercado para produtos derivados de algas



Fonte: Adaptado de EMBRAPA, 2009.

Dentre as vantagens em relação ao cultivo das microalgas estão: custos baixos no que tange a colheita e transporte, menor consumo de água contrapondo aos outros cultivos de plantas, pode-se realizar a produção de culturas em condições não convencionais, apresentam efetividade em comparação a outros vegetais com relação à taxa fotossintética e são excelentes fixadoras de CO₂ (TINOCO & TEIXEIRA, 2015).

2.4.1 Sistemas de cultivo de microalgas

De acordo com DERNER (2018), as fases de crescimento das culturas são divididas em cinco etapas, sendo elas: Fase de aclimação (Indução ou Lag), fase exponencial (Log), fase de redução do crescimento relativo, fase estacionária, fase de morte, como descrito no Quadro 3.

Quadro 3 - Fases de crescimento das culturas

1. **Fase de Aclimação (Indução ou Lag)**, na qual as células microalgais recém inoculadas podem sofrer temporariamente alguma forma de estresse por conta das novas condições ambientais (irradiância, concentração de nutrientes, pH, temperatura etc.), e até ocorrer a morte de parte das células em casos de estresse extremo – na prática, isto ocorre por falta de atenção ou de conhecimento do microalgaicultor;

2. **Fase Exponencial (Log)**, na qual a multiplicação celular é intensa e constante. Ao final desta fase (Fase Exponencial Tardia) as culturas alcançam elevada densidade celular e as células têm significativos teores de proteínas e de ácidos graxos poliinsaturados, assim apresentam a melhor qualidade nutricional para uso na alimentação em aquicultura. Além disso, em geral a contaminação microbiana – sempre presente em culturas em maior escala – ainda permanece em baixo nível. Cabe apontar que o crescimento das culturas decorre da assimilação (ou consumo) dos nutrientes do meio de cultura e, recomendamos o desenvolvimento de estudos da nutrição das microalgas visando que os nutrientes sejam integralmente consumidos até o final desta fase;

3. **Fase de Redução do Crescimento Relativo**, onde, por conta da diminuição da passagem da luz para o interior da cultura causado pelo autossombreamento – e não necessariamente pela falta de nutrientes – ocorre redução na taxa de divisão celular;

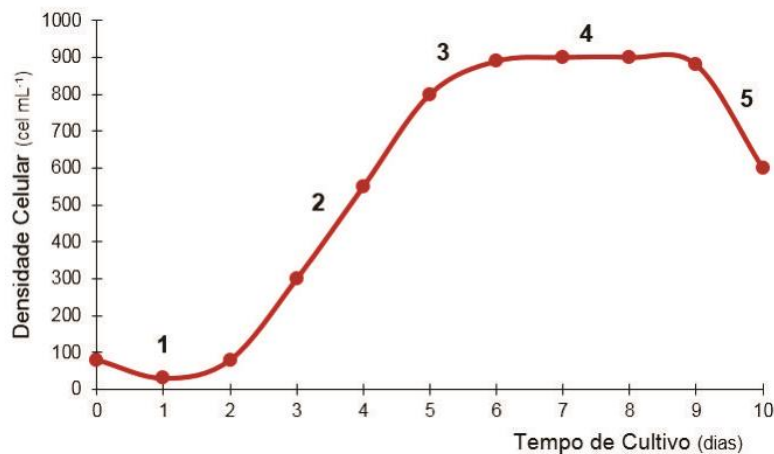
4. **Fase Estacionária**, na qual, devido ao agravamento do autossombreamento e da depleção dos nutrientes, a taxa de divisão celular é contrabalançada pela taxa de morte, assim, a densidade celular permanece constante por algum tempo. A limitação do crescimento da cultura causa intensas alterações metabólicas que refletem na composição bioquímica da biomassa, e que podem levar à perda do valor nutricional, mas isto pode ser interessante se o objetivo é a extração de alguns pigmentos, ácidos graxos saturados e outros produtos de valor comercial;

5. **Fase de Morte**, quando as condições de cultivo já não mais permitem o desenvolvimento da cultura.

Fonte: Adaptado de DERNER, 2018.

Essa metodologia de crescimento no cultivo das culturas é representada por uma curva de crescimento que apresenta as diferentes fases englobando a forma de crescimento típica desse tipo de microrganismos. A fase de crescimento é a mais importante, pois o crescimento fase exponencial é o momento em que a produção das microalgas chega ao seu máximo potencial. O Gráfico 2 ilustra as fases em questão.

Gráfico 2 - Curva de crescimento de cultivo estacionário (batelada ou “batch”) de uma cultura de microalga.



Fonte: Adaptado de DERNER, 2018.

2.4.2 Microalgas no tratamento de efluentes

De acordo com a EMBRAPA (2009), as microalgas possuem a capacidade de se alimentarem das elevadas concentrações de nutrientes presentes nos efluentes, principalmente compostos fosfatados e nitrogenados, como também metais pesados e íons metálicos dos meios que são inseridas, podendo controlar seu crescimento enquanto promovem a remoção desses nutrientes. Em estudo realizado com a *Chlorella Vulgaris* com o propósito de remover níquel, obteve-se 70% de remoção deste metal (TAM *et al.*, 2001).

As microalgas crescem capturando o CO₂, absorvendo a luz solar e utilizando de compostos como fósforo e nitrogênio existentes em meio líquido. Contudo, nesse processo de crescimento, algumas espécies são mais robustas e eficientes para resistirem à altas de contaminação do que outras.

A EMBRAPA (2009) desenvolve trabalhos nessa área de tratamento de efluente com algumas espécies de clorófitas (*Chlorella* sp. e *Scenedesmus* sp.) e cianobactérias (*Spirulina* sp.). Entretanto, existe uma enorme biodiversidade de espécies das microalgas presentes nos corpos hídricos ainda a serem estudadas.

Se tratando de remoção de amônia em lixiviado, a aplicação das microalgas mostrou-se eficiente. Sendo uma tecnologia economicamente viável em regiões tropicais e com grande áreas pertinentes ao cultivo (ZHANG *et al.*, 2015; ESKICIOGLU *et al.*, 2018).

As microalgas quando são cultivadas diretamente no lixiviado é fundamental estudar métodos a fim de evitar os efeitos tóxicos as suas células. Para um crescimento ideal de microalgas, é essencial considerar a melhor razão N:P. A desvantagem desse uso é a necessidade de diluição do lixiviado devido ao efeito tóxico de altas concentrações de amônio (RICHARDS & MULLINS, 2013; CHO *et al.*, 2013; CHANG, 2018).

A remoção da amônia utilizando as microalgas chega a 100% de eficiência em alguns estudos. ZAREEN (2017) obteve 100% de remoção, TIGHIR & ERKURT, (2019) obtiveram remoção de 99,4%, e GARCIA *et al.*, (2019) alcançou a 80% de remoção da amônia.

3 MATERIAIS E METODOS

3.1 Estratégias de pesquisa

A abordagem metodológica deste estudo possui caráter de origem básica, de cunho exploratório e objetivo explicativo, classificando-se como pesquisa qualitativa e quantitativa com procedimentos experimentais realizados em laboratório, dos quais os resultados obtidos foram comparados e discutidos com outras bibliografias.

A presente pesquisa teve por objetivo comparar e avaliar a eficiência da remoção de amônia do lixiviado oriundo do aterro sanitário da região sul fluminense, por meio de processo biológico. A pesquisa foi realizada em escala laboratorial no Instituto Nacional de Tecnologia (INT), no Laboratório de Biotecnologia de Microalgas (LABIM).

3.2 Meio de cultura

O meio de cultura utilizado no experimento foi o WC, utilizado para algas verde-amarelas (GUILLARD & LORENZEN, 1972, *apud* DERNER, 2006). O meio WC foi autoclavado em temperatura constante de 120°C. Na Tabela 2 é apresentada a composição do meio WC.

Tabela 2 - Composição do meio de cultura WC.

Reagentes	Solução-estoque (g 100mL ⁻¹)	Meio de cultura
CaCl ₂ .2H ₂ O	36,8	1mL
MgSO ₄ .7H ₂ O	37,0	1mL
Na ₂ HCO ₃	12,6	1mL
K ₂ HPO ₄ .3H ₂ O	11,4	1mL
NaNO ₃	85,0	1mL
Na ₂ SiO ₃ .5H ₂ O	21,2	1mL
Solução de Ferro	(g 1000mL ⁻¹ de água destilada) Na ₂ EDTA = 4,36 FeCl ₃ .H ₂ O = 3,15	1mL
Solução micronutrientes MnCl ₂ .4H ₂ O = 0,18 Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O = 0,006 H ₃ BO ₃ = 1,0	(g 1000mL ⁻¹ de água destilada) CuSO ₄ .5H ₂ O = 0,01 ZnSO ₄ .7H ₂ O = 0,022 CoCl ₂ .H ₂ O = 0,01	1mL
Solução vitaminas	(g 1000mL ⁻¹ de água destilada) Tiamina HCl = 0,1 Biotina = 0,0005	1mL
Água destilada		1000mL

Fonte: Adaptado de GUILLARD & LORENZEN, 1972.

3.3 Montagem e Condições de Cultivo

Os cultivos da *Chlorella sp.* e do Coquetel de Algas foram efetuados em ambiente climatizado com temperatura de $22 \pm 2^\circ\text{C}$, sistema de iluminação fornecido por plafons de led (Figura 6) de 4.000 lumens, tipo luz-do-dia, fotoperíodo de 24 horas e rodízio diário dos lugares. Agitação realizada manualmente três vezes por dia.

Figura 6 - Estante com Plafons de Led.



A cepa da *Chlorella sp.* foi obtida do banco de microalgas do Laboratório de Ficologia do Departamento de Botânica da Universidade Federal de São Carlos e o Coquetel de Algas foi cedido pela empresa NEOMUNDI SUSTENTABILIDADE EIRELI de Volta Redonda.

Foram preparados 19 Erlenmeyers com um volume total de 220 mL cada um, como como descrito no Quadro 4

. Avaliando quatro condições diferentes em triplicatas e um branco apenas com o meio WC e o efluente.

Quadro 4 - Montagem dos Erlenmeyers

Nº	Descrição
1	20 ml <i>Chlorella sp.</i> + 200 ml de meio WC
2	20 ml <i>Chlorella sp.</i> + 200 ml de meio WC
3	20 ml <i>Chlorella sp.</i> + 200 ml de meio WC
4	20 ml <i>Chlorella sp.</i> + 125 ml de meio WC + 75 ml de efluente
5	20 ml <i>Chlorella sp.</i> + 125 ml de meio WC + 75 ml de efluente
6	20 ml <i>Chlorella sp.</i> + 125 ml de meio WC + 75 ml de efluente
7	20 ml <i>Chlorella sp.</i> + 125 ml de meio WC + 75 ml de efluente + 200 µl de KH ₂ PO ₄
8	20 ml <i>Chlorella sp.</i> + 125 ml de meio WC + 75 ml de efluente + 200 µl de KH ₂ PO ₄
9	20 ml <i>Chlorella sp.</i> + 125 ml de meio WC + 75 ml de efluente + 200 µl de KH ₂ PO ₄
10	20 ml Coquetel de Algas + 200 ml de meio WC
11	20 ml Coquetel de Algas + 200 ml de meio WC
12	20 ml Coquetel de Algas + 200 ml de meio WC
13	20 ml Coquetel de Algas + 125 ml de meio WC + 75 ml de efluente
14	20 ml Coquetel de Algas + 125 ml de meio WC + 75 ml de efluente
15	20 ml Coquetel de Algas + 125 ml de meio WC + 75 ml de efluente
16	20 ml Coquetel de Algas + 125 ml de meio WC + 75 ml de efluente + 200 µl de KH ₂ PO ₄
17	20 ml Coquetel de Algas + 125 ml de meio WC + 75 ml de efluente + 200 µl de KH ₂ PO ₄
18	20 ml Coquetel de Algas + 125 ml de meio WC + 75 ml de efluente + 200 µl de KH ₂ PO ₄
19	175 ml de meio WC + 75ml de efluente

NOTA: KH₂PO₄ com concentração de 11,4 g/100 mL.

Figura 8 - Espectrofotômetro da marca Spectrum SP modelo 1105

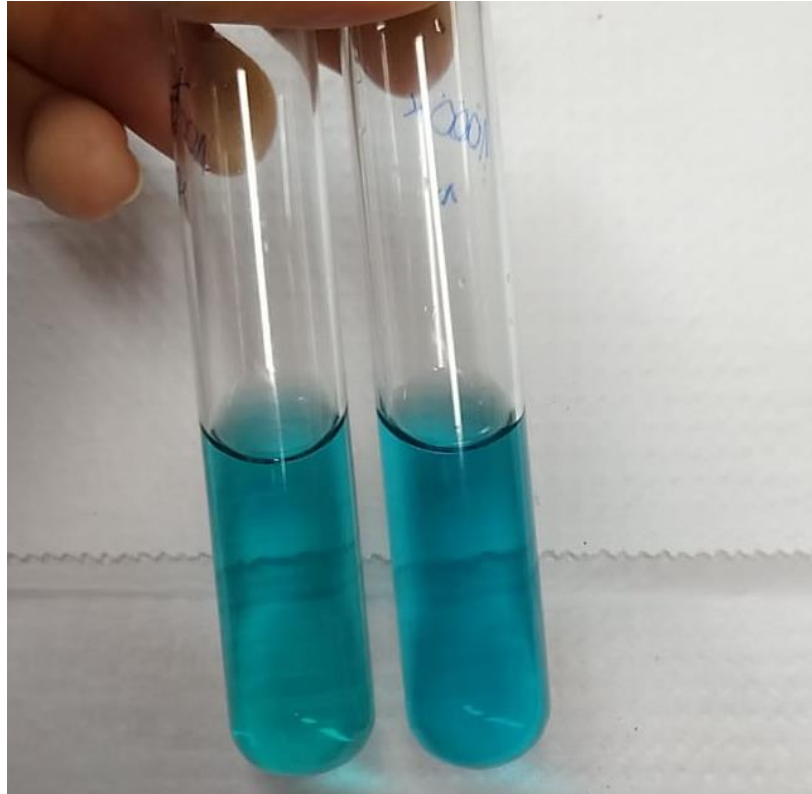


3.6 Determinação de Amônia

A determinação da amônia foi realizada em seis leituras dentro dos 24 dias de cultivo no Espectrofotômetro da marca SPECTRUM SP modelo 1105 (Figura 8), com o comprimento de onda de 630 nm, com diluições de 1:1000 a partir das alíquotas tiradas para a densidade óptica. As análises colorimétricas foram de acordo com o método do 4500 F do STANDARD METHODS (2012), utilizando o SPECTRO KIT Nitrogênio total amônia da ALFAKIT, sendo a coloração em tons de azul proporcional à concentração de amônia (Figura 9).

De acordo com a metodologia analítica da ALFAKIT LTDA, o kit é composto por fenol, hipoclorito e nitroprussiato de sódio, além de outras substâncias não informadas.

Figura 9 - Coloração azul indicando presença de amônia.



3.7 Obtenção de Biomassa

Após os 24 dias de cultivo, para finalizar o experimento, foi realizado a centrifugação das amostras na centrífuga refrigerada – NT 825 – NOVA TECNICA (Figura 10) por 5 minutos a 10°C para concentração das microalgas (Figura 11).

Figura 10 - Centrifuga refrigerada – NT 825 – NOVA TECNICA



Figura 11 - Resultado da concentração das microalgas pós centrifugação



Posteriormente à centrifugação e retirada dos sobrenadantes, houve a junção das triplicatas em Beckers (Figura 12) para procederem a esterilização com o uso da estufa de secagem e esterilização da marca NOVA TÉCNICA, modelo 512 (Figura 13) a 100°C, de forma a garantir eliminar todos os patógenos.

Figura 12 - Beckers com as microalgas para secagem.



Figura 13 - Estufa de Secagem e Esterilização da marca NOVA TÉCNICA, modelo 512.



4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Determinação do pH

As variações do pH foram observadas, como demonstrado no Quadro 5, e foi identificada a influência da *Chlorella sp.* para um pH alcalino, variando de 7,0 a 10,0. Já o Coquetel de Algas, teve menor variação no pH em comparação com a *Chlorella sp.*

Quadro 5 - Variações observadas no pH.

Nº	Tratamento	Determinação de pH									
		17-Jul	19-Jul	22-Jul	24-Jul	26-Jul	29-Jul	31-Jul	2-Aug	5-Aug	6-Aug
1 e 2	Chl + WC	7	9	10	10	11	10	10	10	10	10
4 e 5	Chl + WC + EF	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9
7 e 8	Chl + WC + EF + KH ₂ PO ₄	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9
10 e 11	Coq + WC	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
13 e 14	Coq + WC + EF	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9
16 e 17	Coq + WC + EF + KH ₂ PO ₄	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9

O pH alcalino resulta em dois fatores neste experimento, primeiramente, o pH ≥ 11 é usado para o *stripping* de NH₃, sendo um ponto positivo a contribuir com a remoção da amônia. E com segundo fator foi notado a presença de um precipitado igual a uma nata nas amostras em que foi adicionado o nutriente KH₂PO₄, (Figura 14) devido a solubilidade do fósforo em pH alcalino.

Figura 14 - Precipitado nas amostras com KH₂PO₄.



4.2 Densidade óptica

Seguindo a primeira hipótese avaliada neste estudo, em que o objetivo era analisar se a *Chlorella sp.* se desenvolveria em um meio com concentrações elevadas de lixiviado, foi observado que a *Chlorella sp.* não apresentou crescimento significativo quando colocada no efluente, como demonstra os Gráfico 3 e Gráfico 4.

Gráfico 3 - Curva de crescimento *Chlorella* + WC (Controle).

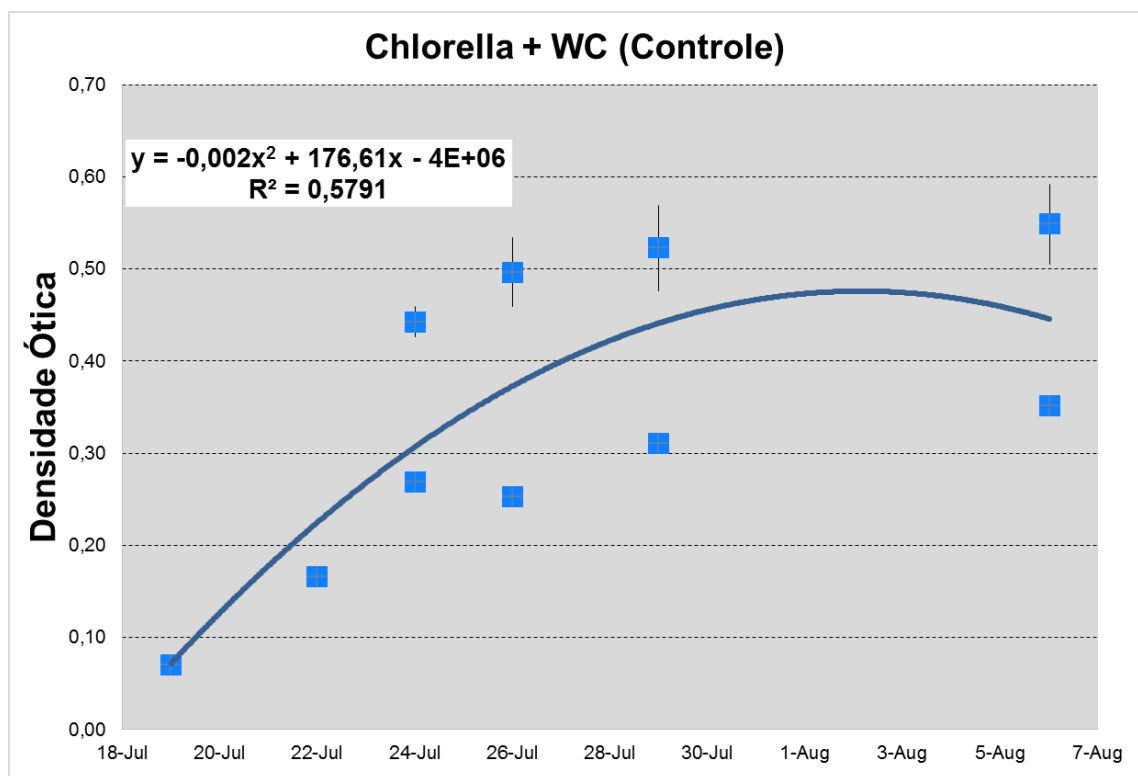
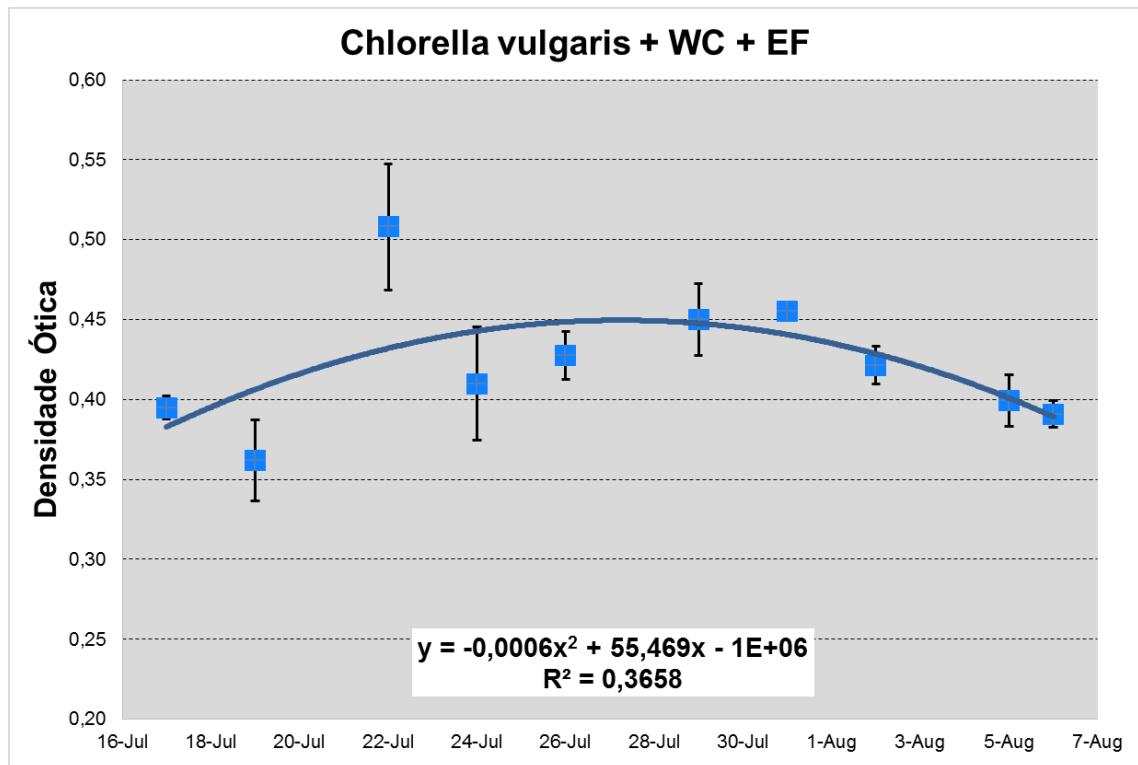
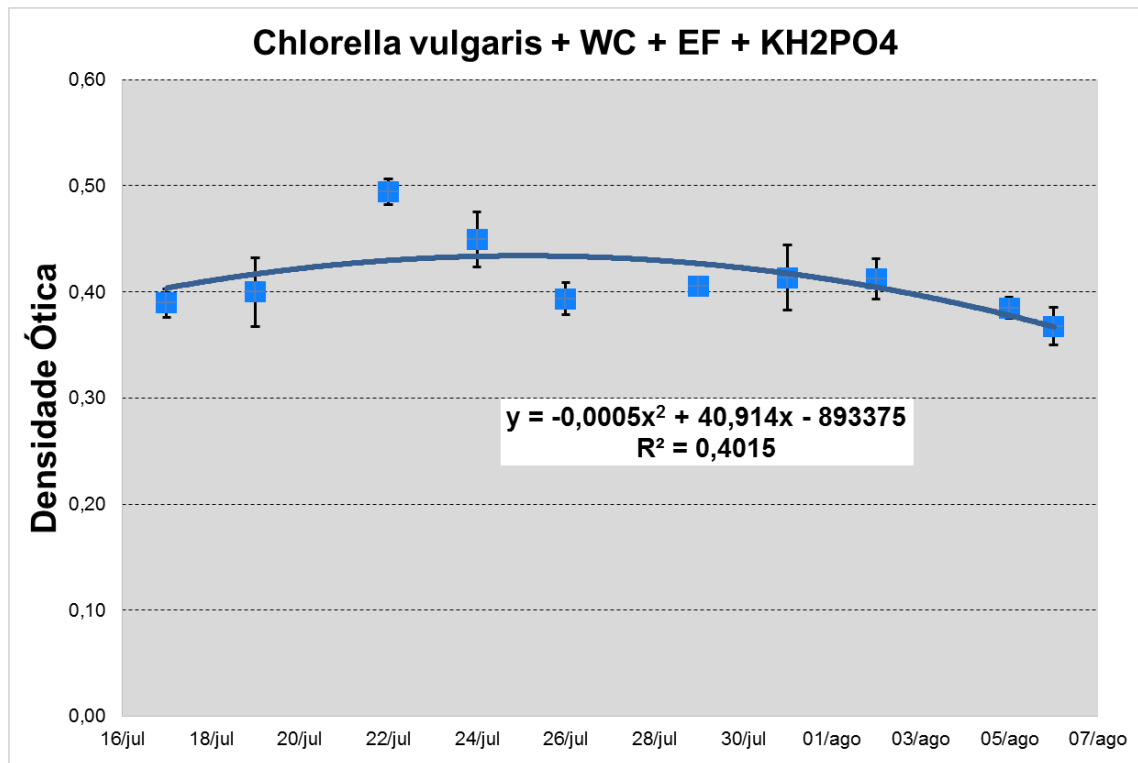


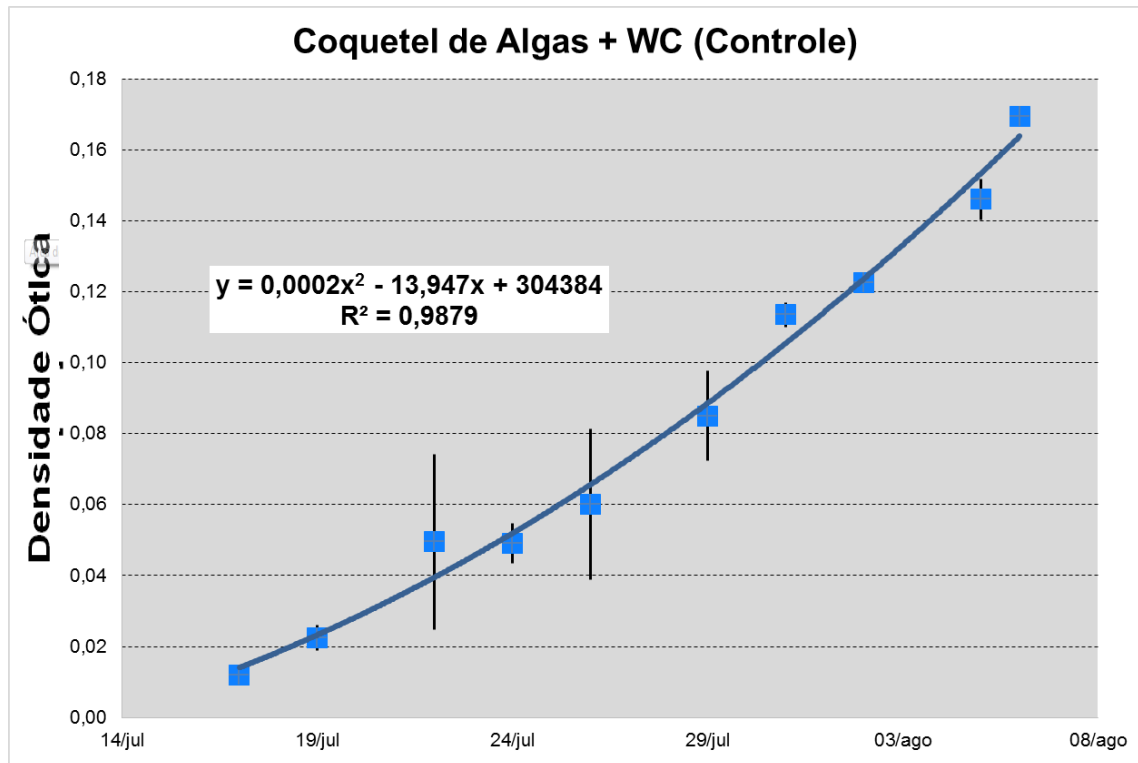
Gráfico 4 - Curva de crescimento *Chlorella* + WC + efluente.

Também foi analisado se o meio enriquecido com KH_2PO_4 teria maior crescimento em relação ao outro meio não enriquecido, e foi verificado que não houve crescimento considerável em relação aos outros meios de *Chlorella sp.*, pelo ao contrário, pelo Gráfico 5 pode-se observar a dificuldade de crescimento das microalgas.

Gráfico 5 - Curva de crescimento *Chlorella* + WC + efluente + KH₂PO₄

A segunda hipótese analisada foi se o Coquetel de Algas se desenvolveria melhor que a *Chlorella sp.* em um meio com concentrações elevadas de lixiviado. Comparando o Gráfico 3 e o Gráfico 6, o Coquetel teve um crescimento considerável em relação a *Chlorella sp.* e conseguiu se desenvolver bem ao meio com concentrações elevadas de lixiviado.

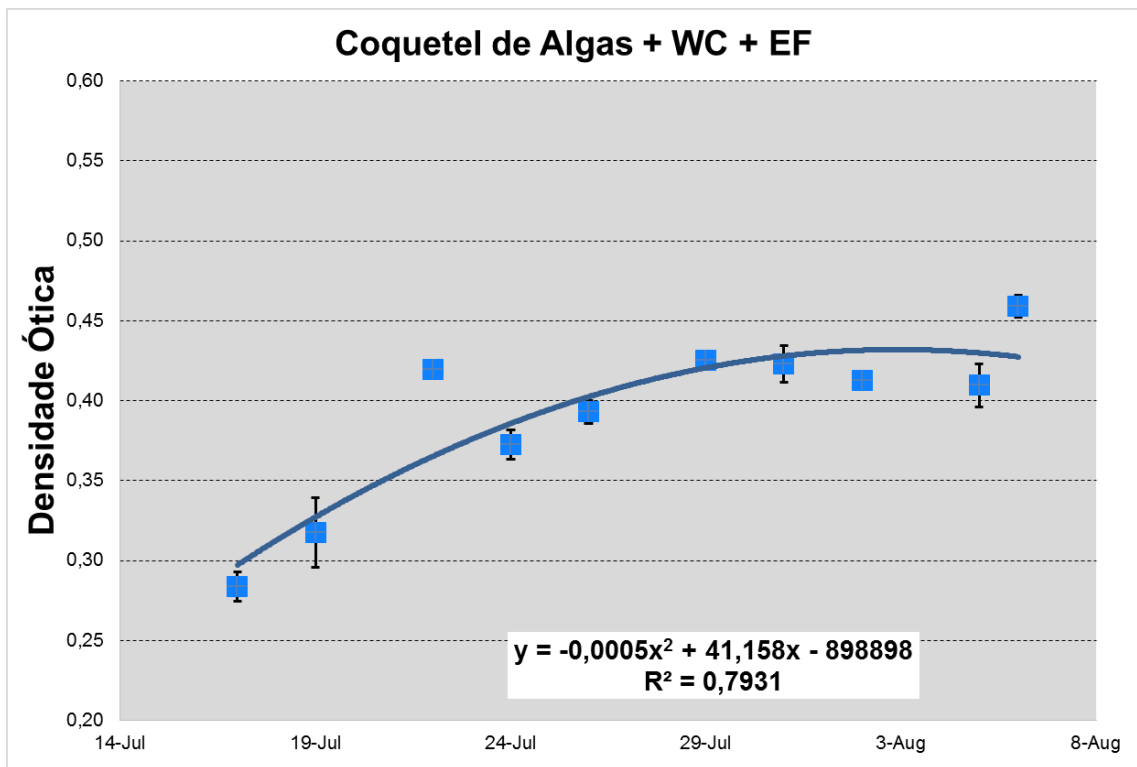
Gráfico 6 - Curva de crescimento Coquetel de Algas + WC



Foi investigado também se o Coquetel de Algas em meio enriquecido com KH_2PO_4 teria maior crescimento em relação ao outro meio não enriquecido. Observou-se que não houve um crescimento expressivo em relação ao outro meio do Coquetel de Algas, como mostrado no Gráfico 7 e o Gráfico 8.

No Gráfico 9 observou-se que apesar de não conter microalgas em seu meio, apenas lixiviado e meio de cultura, também houve crescimento. Possivelmente de outros micro-organismos que vieram junto ao lixiviado, devido provavelmente a problemas na esterilização.

Gráfico 7 - Curva de crescimento Coquetel de Algas + WC + efluente

Gráfico 8 - Curva de crescimento Coquetel de Algas + WC + efluente + KH_2PO_4

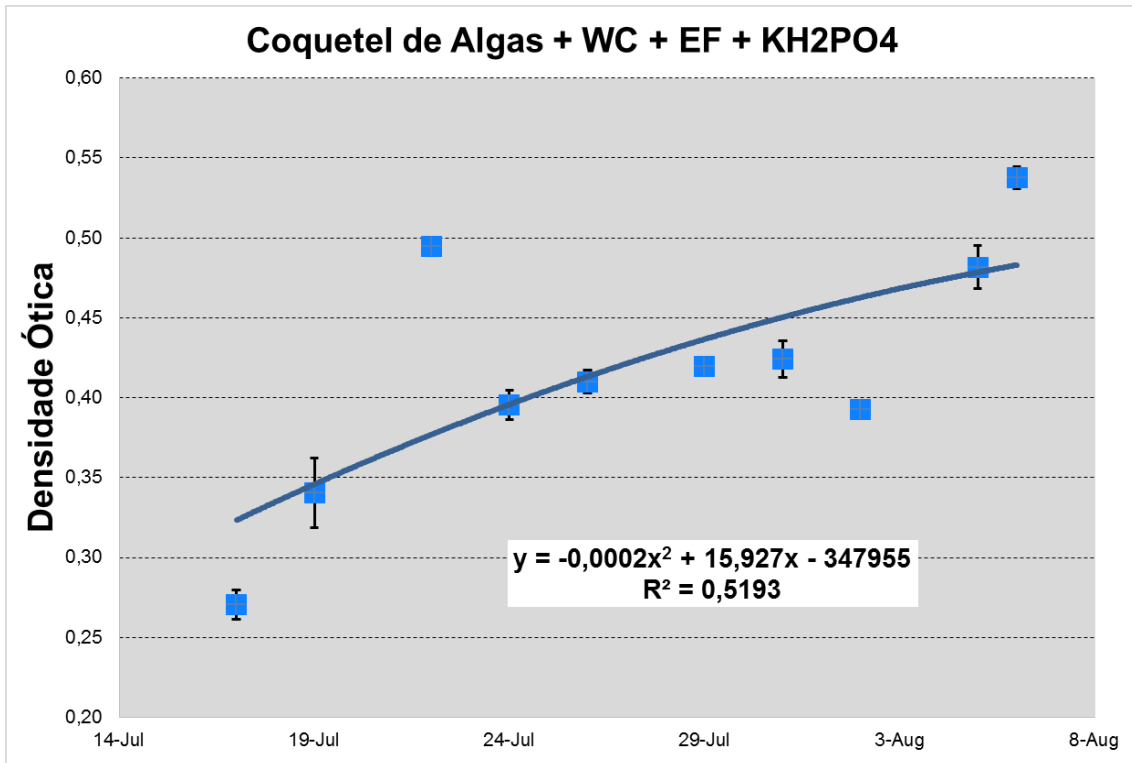
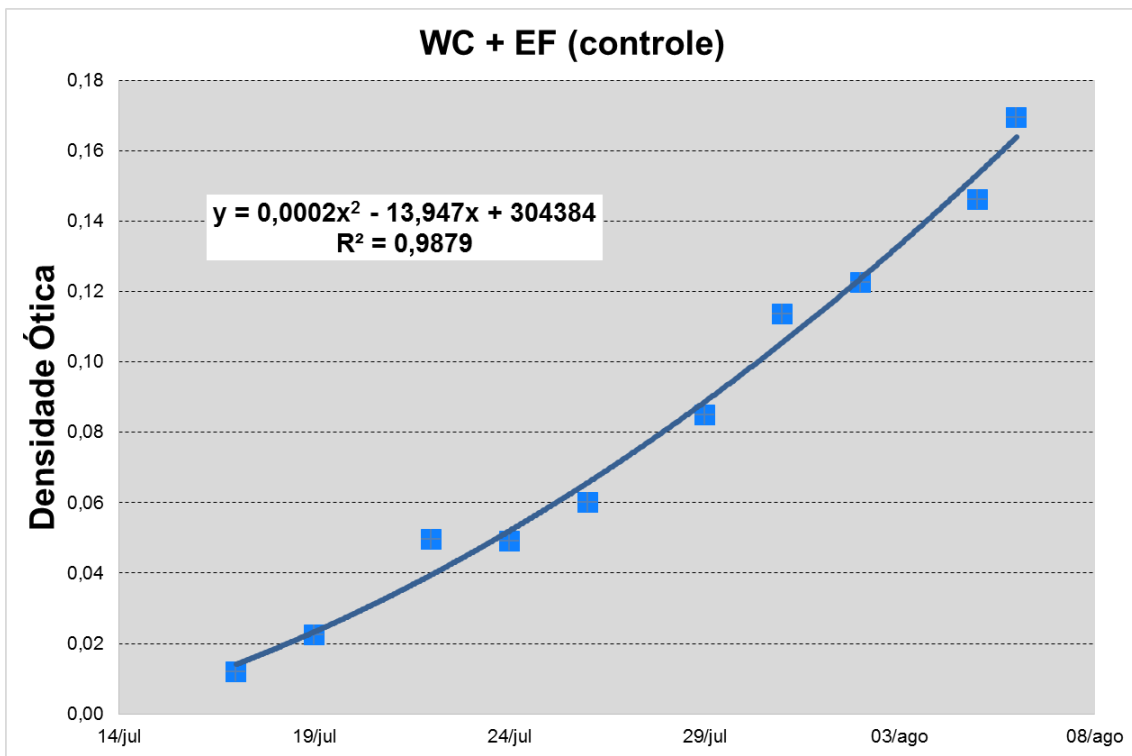


Gráfico 9 - Curva de crescimento WC + efluente



Nas figuras a seguir, é possível acompanhar o crescimento das microalgas visualmente pela mudança da (Figura 15, Figura 16, Figura 17, Figura 18, Figura 19 e Figura 20).

Figura 15 - Acompanhamento visual do crescimento da Chlorella + WC



Figura 16 - Acompanhamento visual do crescimento da Chlorella + WC + efluente

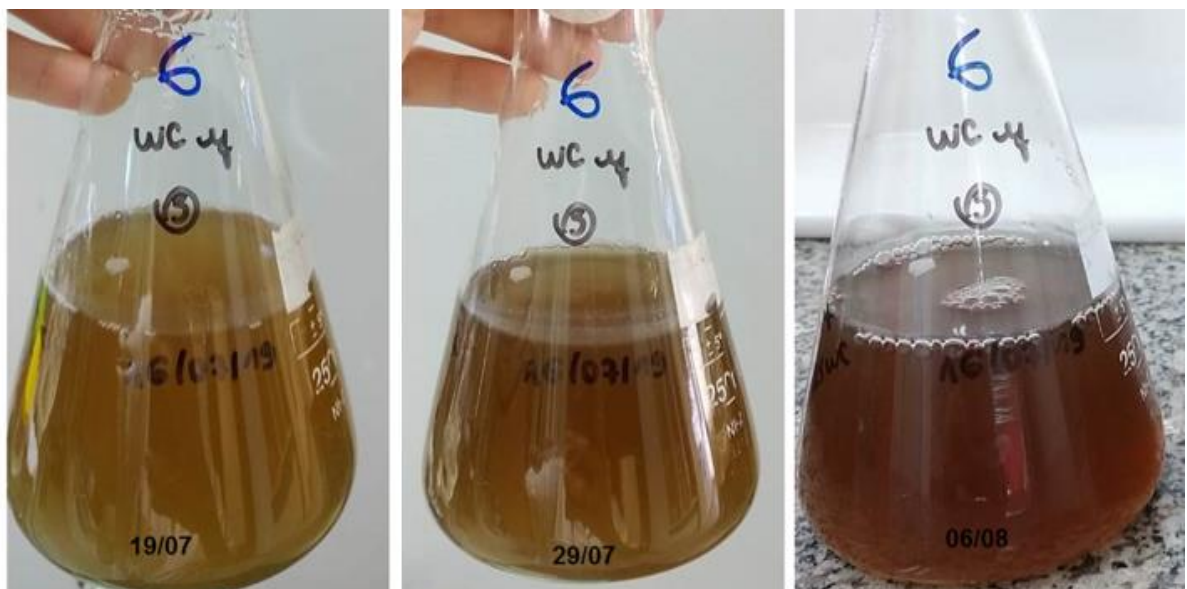


Figura 17 - Acompanhamento visual do crescimento da Chlorella + WC + efluente + KH_2PO_4



Figura 18 - Acompanhamento visual do crescimento da Coquetel de Algas + WC

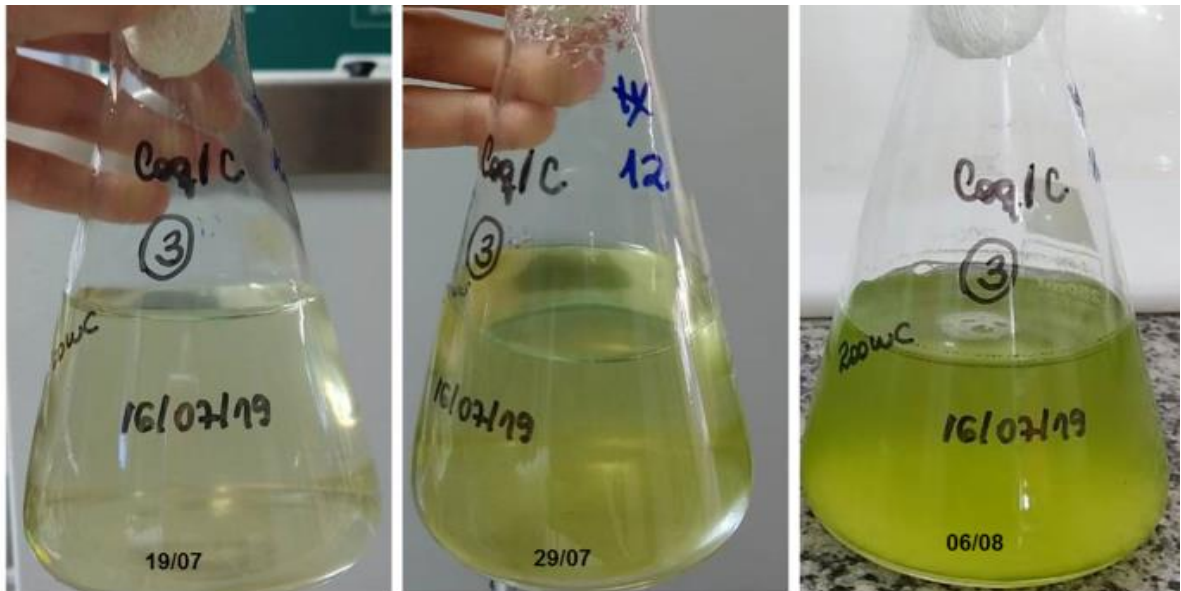
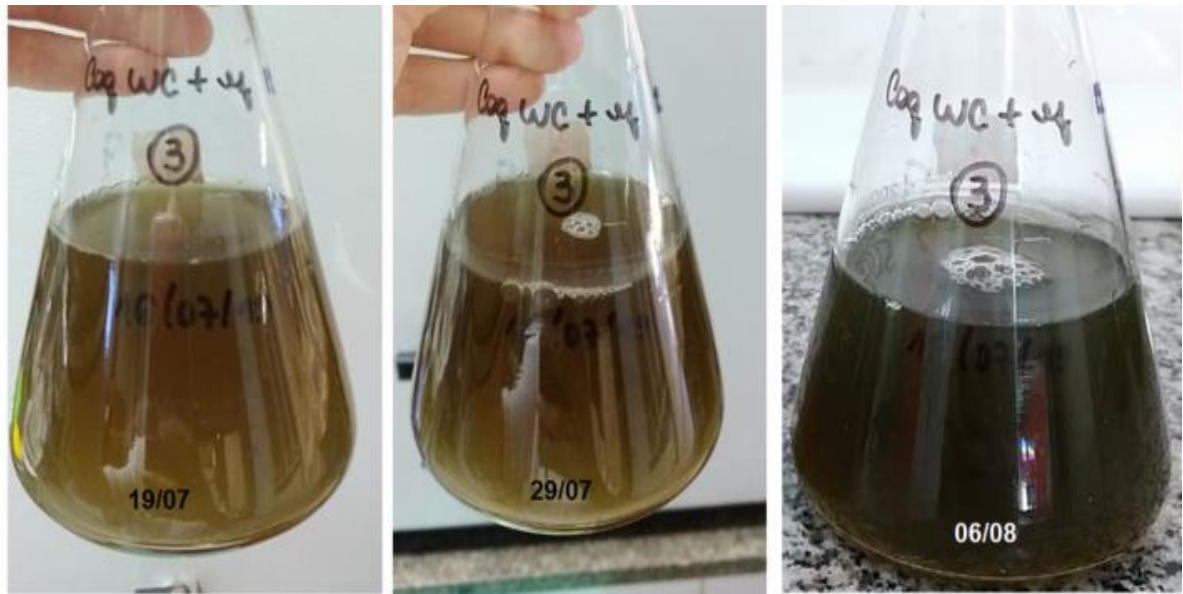
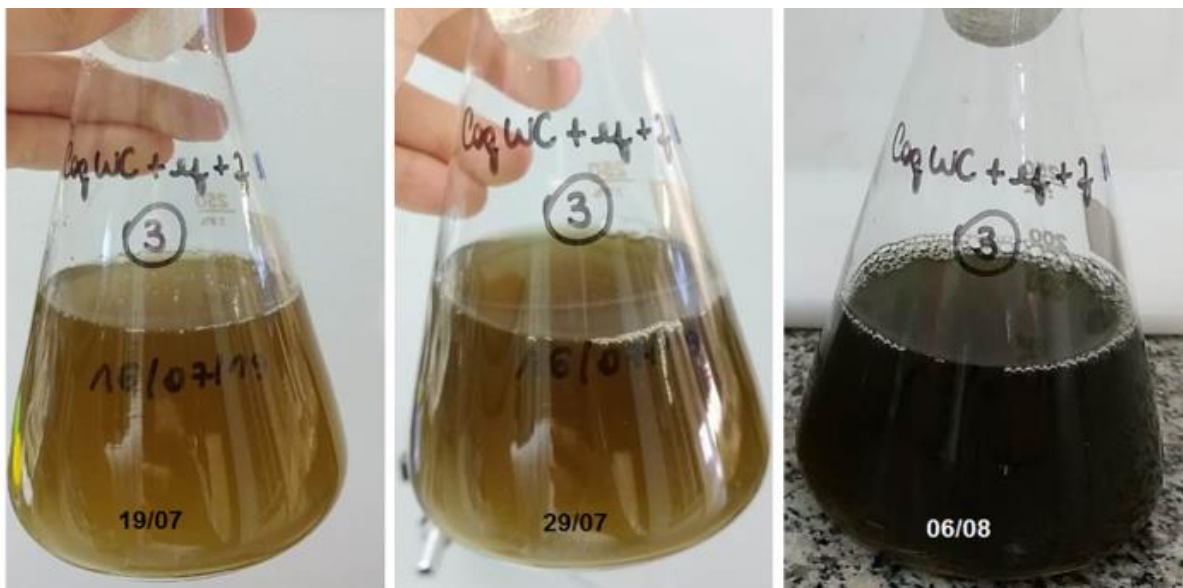


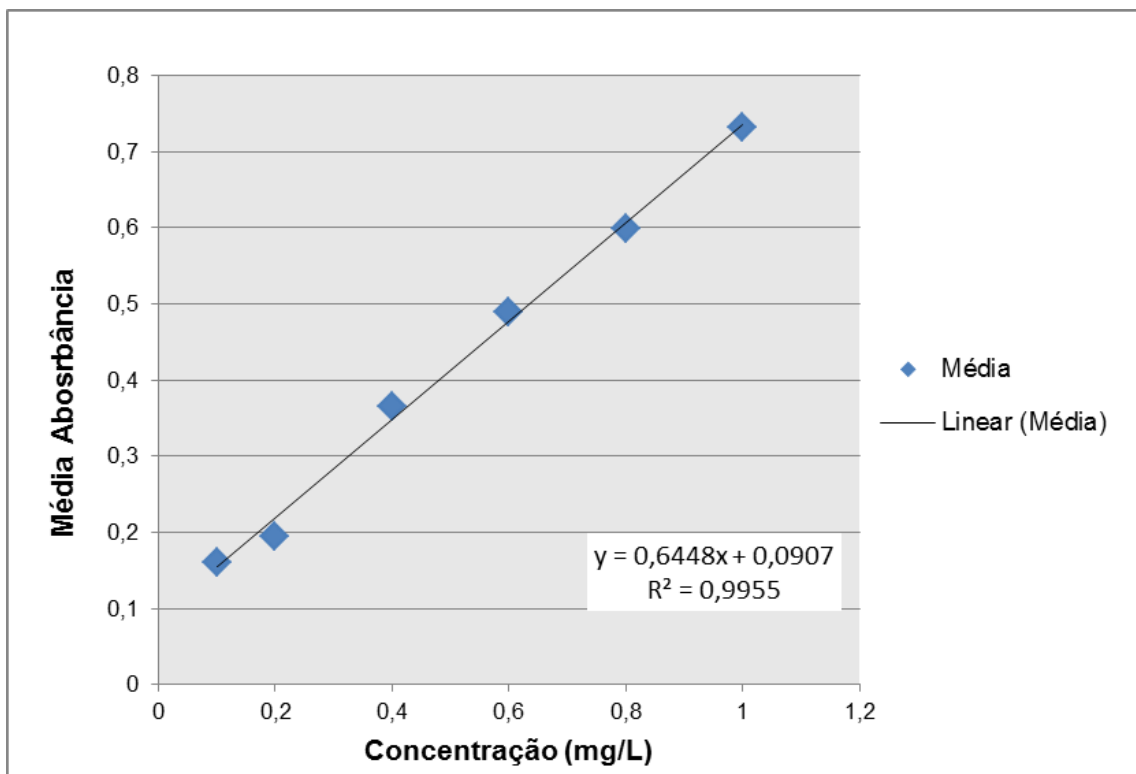
Figura 19 - Acompanhamento visual do crescimento da Coquetel de Algas + WC + efluente

Figura 20 - Acompanhamento visual do crescimento da Coquetel de Algas + WC + efluente + KH_2PO_4 

4.3 Determinação de amônia

Para a determinação da amônia, foi realizada a curva de calibração (Gráfico 10) do SPECTRO KIT Nitrogênio total amônia da ALFAKIT, para relacionar a absorbância lida no Espectrofotômetro com os valores de concentração encontrado.

Gráfico 10 - Curva de calibração do Kit de amônia



Avançando nas hipóteses a serem testadas, foi avaliado se a *Chlorella sp.* reduzia o N-NH₄ a 20 mg.L⁻¹, no mínimo, a fim de atender a legislação e se com o enriquecimento do meio com KH₂PO₄ apresentava maior redução de N-NH₄. Conforme o Gráfico 11 e o Gráfico 12 mostram, pode-se observar uma redução de 75% (±12 d.p) de amônia do meio não enriquecido e 65% (±8 d.p) de redução do meio enriquecido respectivamente. Não atendendo o objetivo de chegar a 20 mg.L⁻¹ e não foi notado diferença significativa na redução de amônia do meio enriquecido.

Gráfico 11 - Determinação de amônia *Chlorella* + WC + efluente.

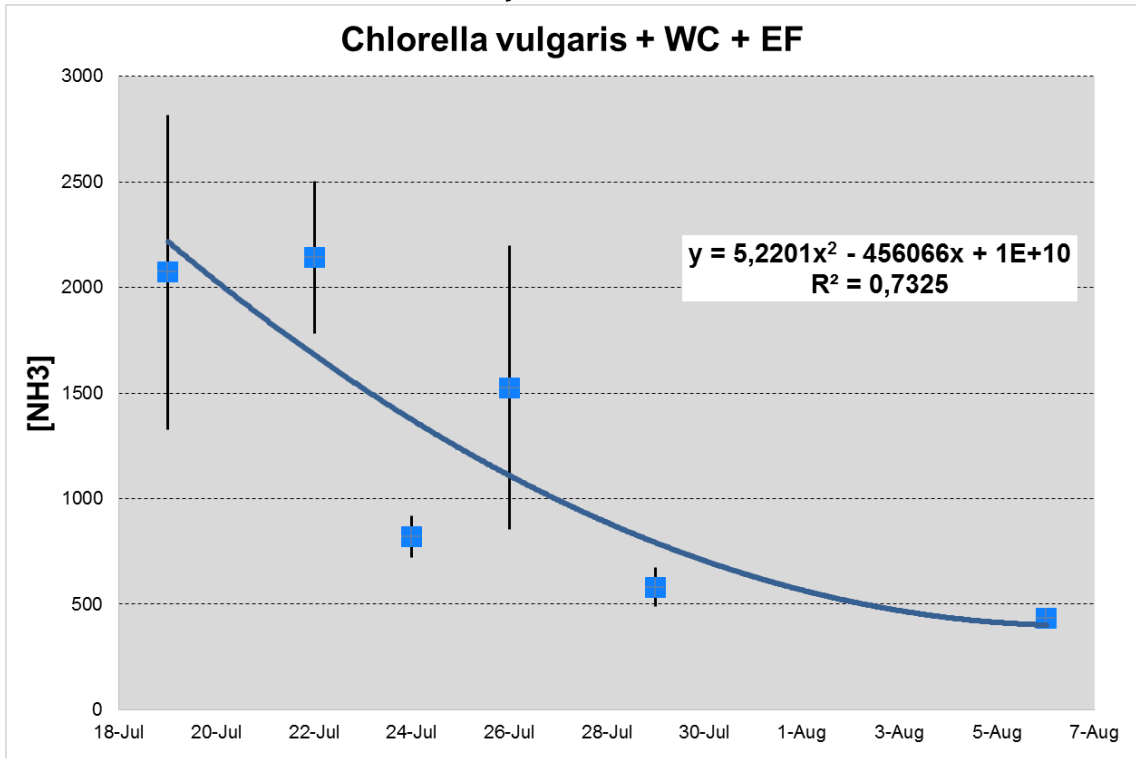
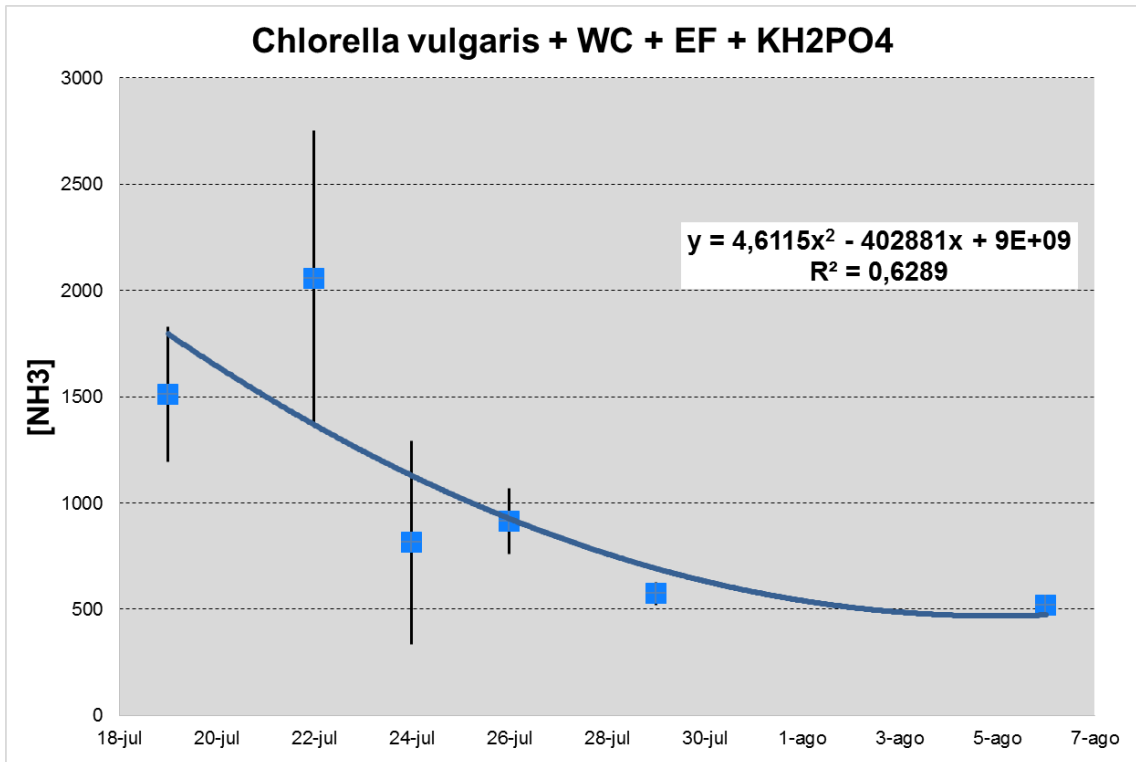


Gráfico 12 - Determinação de Amônia *Chlorella* + WC + Efluente + KH₂PO₄.



Outra hipótese deste experimento que se testou, foi avaliar se com o enriquecimento do meio com KH_2PO_4 o Coquetel de Algas tem maior redução de N-NH_4 em comparação ao meio não enriquecido e comparar a eficiência do Coquetel de Algas em relação à eficiência da *Chlorella sp.* De acordo com o Gráfico 13 e o Gráfico 14, observou-se uma redução de amônia de 87% (± 5 d.p) do meio sem ser enriquecido, e respectivamente uma redução de 81% (± 5 d.p) no meio enriquecido.

Curiosamente, controle sem microalgas (Gráfico 15), também mostrou eficiência na redução da amônia, apresentando uma redução de 80%. Presumivelmente podendo existir outros micro-organismos que também consomem a amônia do lixiviado, devido provavelmente a problemas na esterilização. No Gráfico 16 é possível verificar as fases de crescimento das microalgas, onde depois de 15 dias aproximadamente a concentração de amônia se estabiliza.

Avaliando estes dados, constatou-se um desvio padrão elevado entre as triplicatas, podendo indicar a inconstância e inexatidão em lidar com meios vivos e a última hipótese a ser afirmada, que o Coquetel de Algas se mostrou mais eficiente do que a *Chlorella sp.* dentre os estudos realizados.

Gráfico 13 - Determinação de amônia Coquetel de Algas + WC + efluente

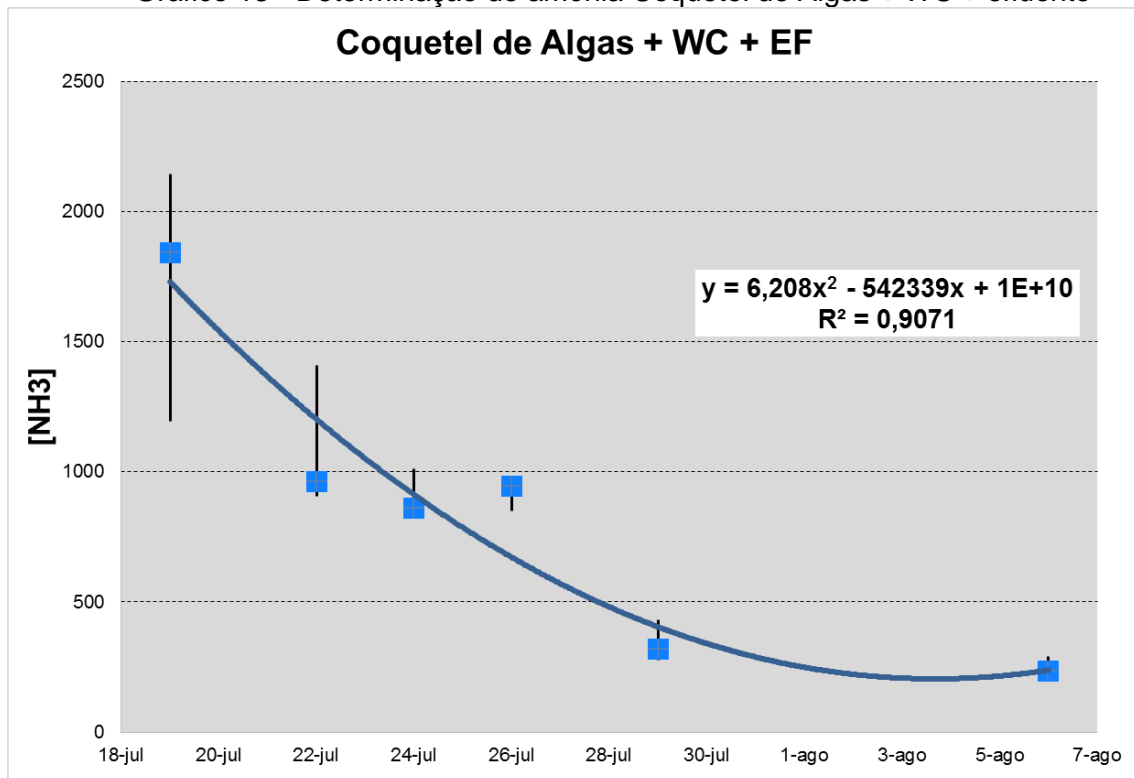


Gráfico 14 - Determinação de amônia coquetel de algas + WC + efluente + KH₂PO₄

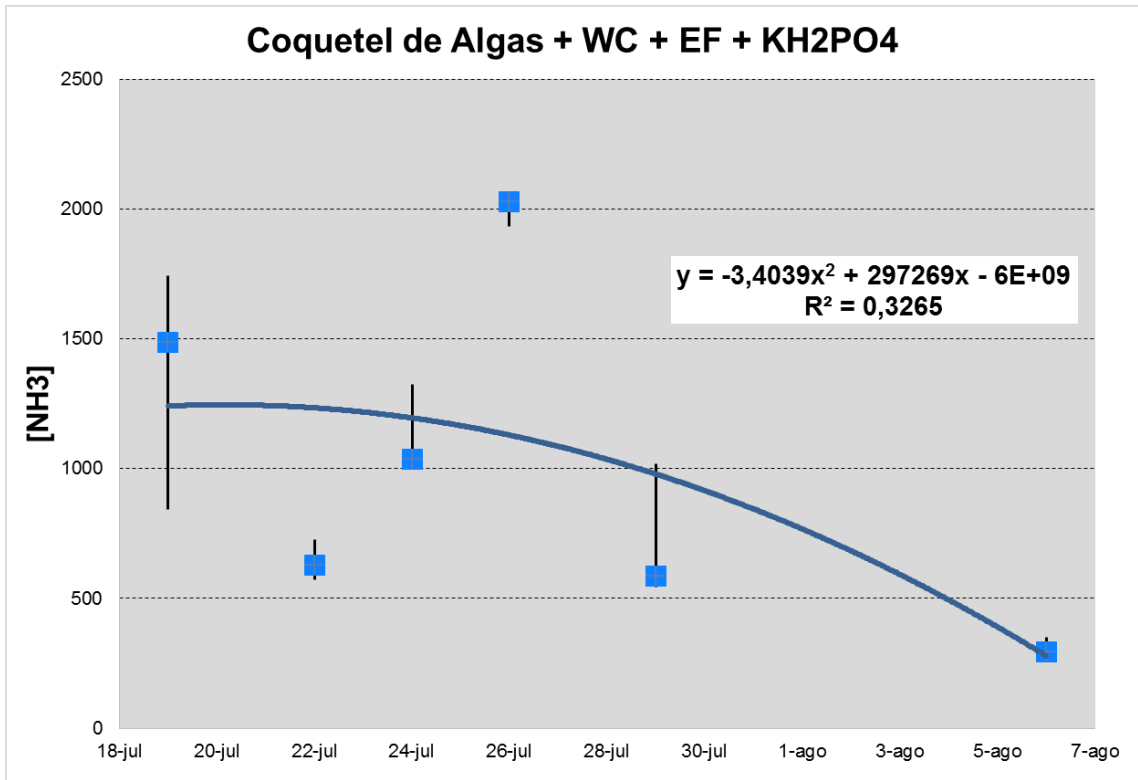


Gráfico 15 - Determinação de amônia WC + efluente

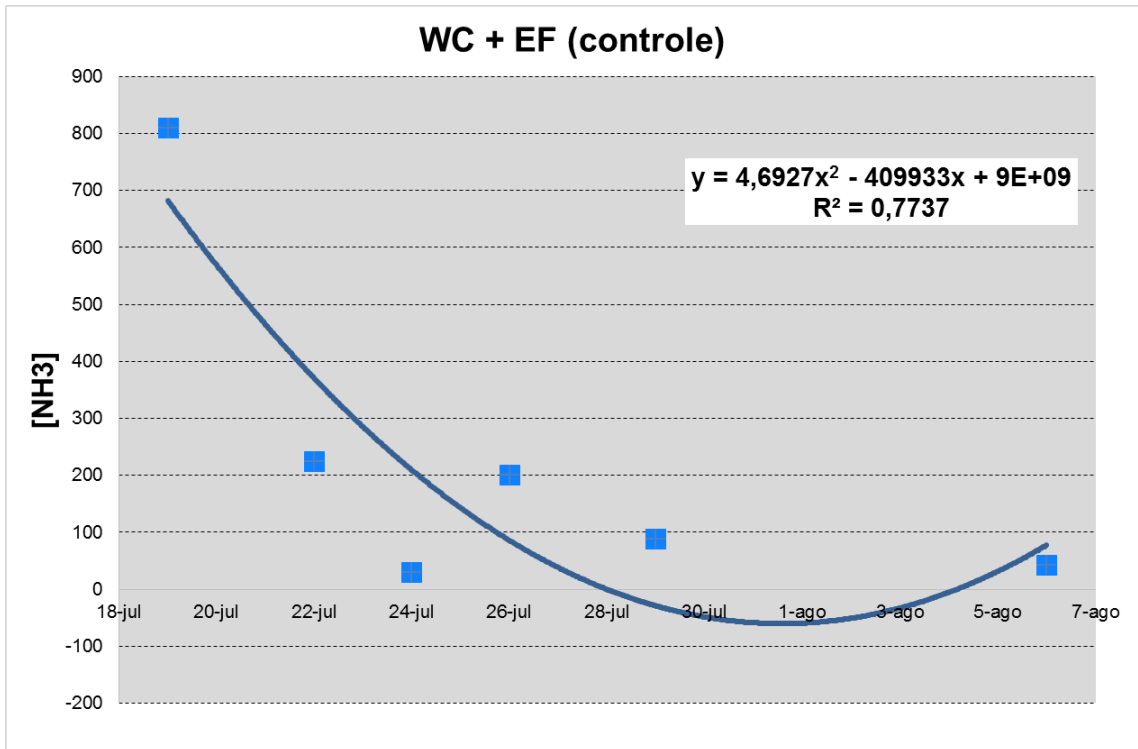
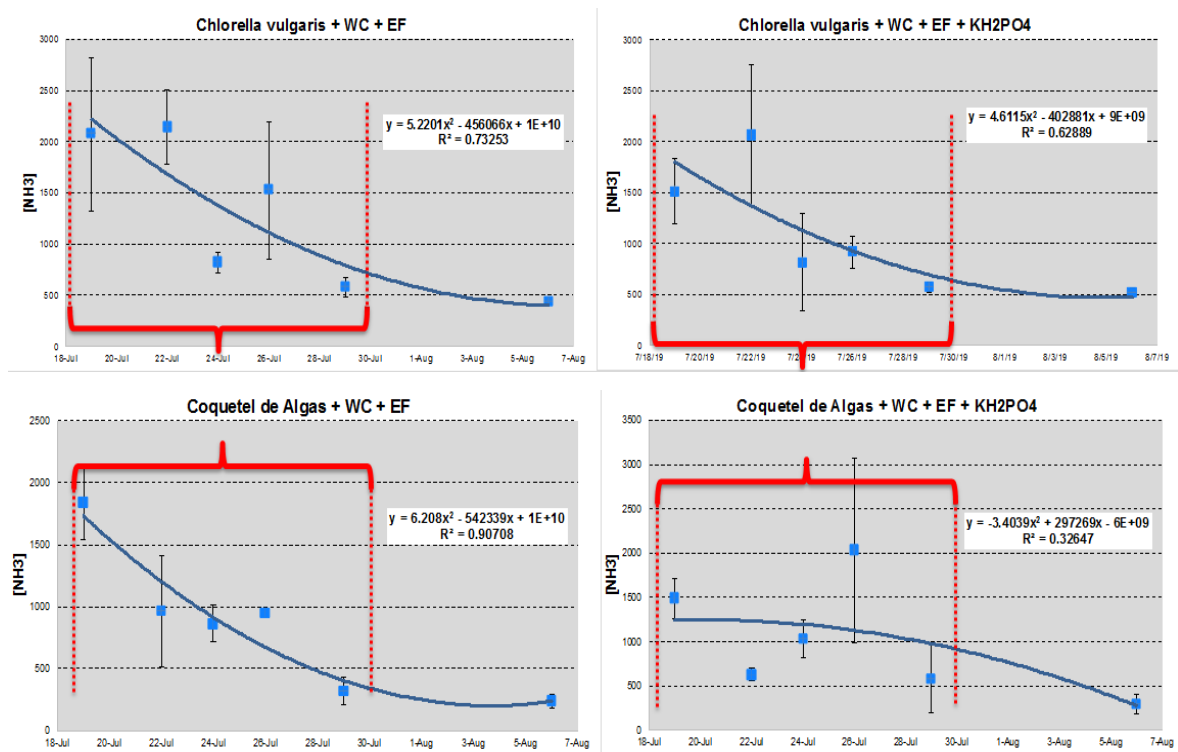


Gráfico 16 – Redução observada no período de 15 dias.



4.4 Determinação de Biomassa

Na Tabela 3 é apresentada a biomassa obtida depois do processo de centrifugação e secagem dos meios. Por se tratar de uma quantidade pequena e incerta sobre sua patologia, foi descartada.

Tabela 3 - Quantificação da biomassa

Determinação de Biomassa	
Nº dos Erlenmeyers	g
1 - 3	0,07
4 - 6	0,35
7 - 9	0,35
10 - 12	0,13
13 - 15	0,50
16 - 18	0,46
19	0,09

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Dentre as hipóteses testadas observou-se que o Coquetel de Algas se mostrou mais eficiente que a *Chlorella sp.* Notou-se também que o uso de *Chlorella sp.* mostrou que essas não toleram altas concentrações de amônia. A curva de crescimento, fase exponencial, se estabeleceu após 15 dias, não apresentando mais remoção significativa de amônia após esse período. O uso do nutriente KH_2PO_4 não mostrou diferença significativa entre os tratamentos. Apesar da redução significativa de 87% da amônia com o Coquetel de Algas, o mesmo ainda não atendeu ao objetivo de concentração final de 5 mg.L^{-1} , afim de atender a legislação estadual.

Com base nos resultados dos experimentos realizados, sugere-se novos ensaios para aperfeiçoamento do estudo realizado a fim de se chegar a eficiência de remoção da amônia acima de 90%. Nesse sentido recomenda-se: iniciar o estudo com uma densidade óptica maior, investigar eventuais interferências metodológicas de ensaio de amônio e leituras do espectrofotômetro; avaliar se processos em série resultam em incremento nos rendimentos; e testar se outras formas de nutrientes poderiam contribuir na eficiência do processo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE, Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais **PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL, 2017**. Disponível em <<http://abrelpe.org.br/download-panorama-2017/>> Acesso em: 22 ago. 2017.

APHA, AWWA, WEF. **STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER**. 22th, 2012.

BARROS, M.J.G. **UTILIZAÇÃO DE WETLANDS NO TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERROS SANITÁRIOS**. Dissertação de Mestrado. Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Ambiental – UFRJ, Rio de Janeiro, 2013.

BERTAZZOLI, R; PELEGRINI, R. **DESCOLORAÇÃO E DEGRADAÇÃO DE POLUENTES ORGÂNICOS EM SOLUÇÕES AQUOSAS ATRAVÉS DO PROCESSO FOTOELETROQUÍMICO**. Departamento de Engenharia de Materiais, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422002000300022>>.

BOSCHILIA, O.M. **TAXAS DE REMOÇÃO DE NITROGÊNIO AMONÍACAL, NITRATO E NTK POR SALVINIA HERZOGII DE LA SOTA EM WETLAND CONSTRUÍDO TIPO LAGOA**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina, 2014.

BRASIL, **LEI FEDERAL DE SANEAMENTO BÁSICO**, nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm. Acesso em: 15 de maio de 2019.

BRASIL, **POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, LEI FEDERAL Nº 12.305** de 2 de agosto de 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm. Acesso em: 15 de maio de 2019.

BRASIL. **CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. RESOLUÇÃO CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.

BRASIL. NBR 8419. **APRESENTAÇÃO DE PROJETOS DE ATERROS SANITÁRIOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: PROCEDIMENTO**. Rio de Janeiro: 1992.

CERNA, L. **DEGRADAÇÃO DA AMÔNIA EM EFLUENTES COM ÁCIDO DE CARO**. (Dissertação) Mestrado em Ciência dos Materiais e Metalurgia da PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2008.

CHANG, H. *et al.* **HIGH-EFFICIENCY NUTRIENTS RECLAMATION FROM LANDFILL LEACHATE BY MICROALGAE *CHLORELLA VULGARIS* IN MEMBRANE PHOTOBIOREACTOR FOR BIO-LIPID PRODUCTION**. *Bioresource Technology*, Volume 266, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.06.077>.

CHO, S. *et al.* **MICROALGAE CULTIVATION FOR BIOENERGY PRODUCTION USING WASTEWATERS FROM A MUNICIPAL WWTP AS NUTRITIONAL SOURCES**. *Bioresource Technology*, Volume 131, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.12.176>.

DERNER, R.B. *et al.* **MICROALGAS, PRODUTOS E APLICAÇÕES CIÊNCIA RURAL**. Volume 36. Santa Maria, 2006.

DERNER, R.B. **SISTEMAS DE CULTIVO DE MICROALGAS I, II E III – PARTE II**. Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC, Florianópolis, 2018.

EMBRAPA - **AGROENERGIA EM REVISTA – MICROALGAS**, Ano IV, nº 10, 2009. P 3 – 9, 16 – 27.

ESKICIOGLU, C.; GALVAGNO, G.; CIMON, C.; **APPROACHES AND PROCESSES FOR AMMONIA REMOVAL FROM SIDE-STREAMS OF MUNICIPAL EFFLUENT TREATMENT PLANTS**. *Bioresource Technology*, Volume 268, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.07.020>.

GARCÍA, A.H. *et al.* **WASTEWATER-LEACHATE TREATMENT BY MICROALGAE: BIOMASS, CARBOHYDRATE AND LIPID PRODUCTION**. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Volume 174, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.02.052>.

GUILLARD, R.R.L.; LORENZEN, C.J. **YELLOW GREEN ALGAE WITH CHLOROPHYLLID-C**. *Journal of Psychology*, Volume 8, 1972.

KULIKOWSKA, D., KLIMIUK, E. **THE EFFECT OF LANDFILL AGE ON MUNICIPAL LEACHATE COMPOSITION.** Bioresource, Technology, Volume 99, 2008.

LÚCIO, M.J. **CULTIVO DE MICROALGAS CHLORELLA VULGARIS COM EFLUENTE DOMÉSTICO COMO MEIO DE CULTURA ALTERNATIVO.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC, Florianópolis, 2013.

MARTINEZ RODRIGUEZ, R. **ESTUDO TEÓRICO E EXPERIMENTAL DE AGREGADOS IÔNICOS (NH₃) NNHM \mp DESSORVIDOS DA AMÔNIA SÓLIDA BOMBARDEADA POR ÍONS DE 65MEV.** (Tese de Doutorado) Departamento de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2007.

METCALF & EDDY. **WASTEWATER ENGINEERING: TREATMENT AND REUSE.** 4ª ed. Boston: McGraw-Hill, 1991.

PACHECO, J.R. **ESTUDO DE CERTAS POTENCIALIDADES DE PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADO PARA O TRATAMENTO DO PERCOLADO DE ATERRO SANITÁRIO.** Química Analítica, UFPR, Curitiba, Curso de Pós-Graduação em Química, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, 2004.

PEQUENO, M.A.G. *et al.* **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DO ÓLEO DA MICROALGA CULTIVADA CHLORELLA SP. POR CROMATOGRÁFIA GASOSA.** Revista Analytica. n 57. São Paulo, 2012.

PREUSSLER, K.H. **AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE WETLANDS NO TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2014.

PROSAB. **NUTRIENTES DE ESGOTO SANITÁRIO: UTILIZAÇÃO E REMOÇÃO.** ABES, Rio de Janeiro, 2009.

QASIM, S.R.; CHIANG, W. **SANITARY LANDFILL LEACHATE – GENERATION, CONTROL AND TREATMENT.** Pennsylvania, 1994.

RICHARDS, R.G; MULLINS, B.J. **USING MICROALGAE FOR COMBINED LIPID PRODUCTION AND HEAVY METAL REMOVAL FROM LEACHATE.** Ecol. Model., 249, 2013.

RIO DE JANEIRO, NT- 202 Revisão 10, INEA - **CRITÉRIOS E PADRÕES PARA LANÇAMENTO DE EFLEUNTE LÍQUIDOS**, 12 de dezembro de 1986.

SANTOS, A.S.P. **ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS DO TRATAMENTO COMBINADO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO COM ESGOTO DOMÉSTICO EM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.

SANTOS, R.M.F. **PÓS-TRATAMENTO DE ESGOTO: SISTEMA SEQUENCIAL DE LEITOS CULTIVADOS (CONSTRUCTED WETLANDS) VERTICAL E HORIZONTAL**. Dissertação (Mestrado) - UNICAMP-FEAGRI, Campinas, 2009.

SILVA, F.M.S. **AVALIAÇÃO DO MÉTODO DE PRECIPITAÇÃO QUÍMICA ASSOCIADO AO STRIPPING DE AMÔNIA NO TRATAMENTO DO LIXIVIADO DO ATERRO MURIBECA-PE**. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2008.

SOUTO, G.B.; POVINELLI, J. **CARACTERÍSTICAS DO LIXIVIADO DE ATERROS SANITÁRIOS NO BRASIL**. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais. ABES. Belo Horizonte, 2007.

TAM, N.F.Y. *et al.* **REPEATED USE OF TWO CHLORELLA SP, C. VULGARIS AND WWI FOR CYCLIC NICKEL BIOSORPTION**. Environmental Pollution, Volume 114, 2001.

TEIXEIRA, C.M.L.L. **MICROALGA COMO MATÉRIA-PRIMA PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL**. Instituto Nacional de Tecnologia, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>>.

TIGHIR, H.O.; ERKURT, E.A. **BIOTREATMENT OF LANDFILL LEACHATE BY MICROALGAE-BACTERIA CONSORTIUM IN SEQUENCING BATCH MODE AND PRODUCT UTILIZATION**. Bioresource Technology, Volume 286, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121396>

TINOCO, N.A.B.; TEIXEIRA, C.M.L.L. **O GÊNERO DUNALIELLA: BIOTECNOLOGIA E APLICAÇÕES**. Revista Virtual de Química, 2015.

VON SPERLING, M. **PRINCÍPIOS DO TRATAMENTO BIOLÓGICO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS – INTRODUÇÃO À QUALIDADE DAS ÁGUAS E AO TRATAMENTO DE ESGOTOS.** Volume 01 ABES, Minas Gerais, 1995.

WOJCIECHOWSKA, E. *et al.* **TREATMENT OF LANDFILL LEACHATE BY CONSTRUCTED *WETLANDS*: THREE CASE STUDIES.** Polish J. of Environ. Stud. Volume 19, No. 3, 2010.

ZAREEN, T; OVEZ, S. **MICROALGAE AS A SUSTAINABLE BIOLOGICAL SYSTEM FOR IMPROVING LEACHATE QUALITY.** Energy, Volume 140, 2017.

ZHANG, S. *et al.* **INFLUENCE OF LIGHT CONDITIONS OF A MIXTURE OF RED AND BLUE LIGHT SOURCES ON NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL IN ADVANCED WASTEWATER TREATMENT USING SCENEDESMUS DIMORPHUS.** Biotechnology and Bioprocess Engineering, Volume 20, 2015, doi: <https://doi.org/10.1007/s12257-015-0066-4>