

CONSTRUÇÃO DE UM FOTOBIORREATOR PARA DO CRESCIMENTO MICROALGAL

Isis de Meneses Ferreira ¹, Ana Beatriz Pereira de Souza ¹, Andressa Amorim Barros ¹, Gilson Tavares de Lima ²

¹Discentes do Curso Técnico em Biotecnologia Integrado ao Ensino Médio - IFTO. e-mail: <jsismeneses70@gmail.com>; <anabpereirasouza@gmail.com>; <andressaamorimbarros@gmail.com>

²Docente do Curso Técnico em Biotecnologia Integrado ao Ensino Médio - IFTO, e-mail: <gilsontavares@ifto.edu.br>

Resumo: O escopo deste trabalho é o cultivo de microalgas, que são organismos com pigmentos fotossintetizantes de ambiente aquático por meio da construção de um fotobiorreator. O fotobiorreator foi construído utilizando materiais comuns como pote de conserva e componentes elétricos reciclados. Desde o século XX, é realizado o cultivo de microalgas, e a partir daí o cultivo vem avançando progressivamente, podendo ser observadas diferentes metodologias para cultivá-las. Uma delas envolve o uso de reatores para acelerar o procedimento, uma vez que são caracterizados pelo controle de parâmetros de crescimento microalgal. O fotobiorreator construído tem a finalidade de ser eficiente adequando-se às condições que exigem as microalgas. Foram obtidos resultados satisfatórios, visto que houve crescimento microalgal positivo no meio sintético sendo favorável à multiplicação das espécies algais. Os resultados obtidos neste trabalho foram satisfatórios. O fotobiorreator construído mostrou-se eficiente no cultivo de microalgas, se tornando então um meio que facilita e gera praticidade no processo de cultivo.

Palavras-chave: cultivo, fotobiorreator, microalga.

1 INTRODUÇÃO

As microalgas são seres fotossintetizantes que podem ser unicelulares ou pluricelulares, essas estão classificadas em um grande grupo no qual se incluem os microrganismos algais com clorofila e outros pigmentos fotossintetizantes. Algumas espécies apresentam necessariamente o metabolismo autotrófico, enquanto outras são capazes de se desenvolver em condições heterotróficas na ausência luz, utilizando apenas uma fonte de carbono orgânico (BRENNAN & OWENDE, 2010; SUALI & SARBATLY, 2012).

Estes seres fotossintetizantes vem sendo tipicamente classificados quanto às variedades de pigmentos fotossintéticos, sendo o principal a clorofila A, a natureza química dos produtos de reserva além da constituição da parede celular (TOMASELLI, 2004; MIRANDA et al., 2015). A estrutura unicelular algal possibilita que elas convertam facilmente a energia luminosa em energia química. Essa conversão bioquímica está sendo aplicada comercialmente para a obtenção de biomassa algácea e conseqüentemente, de produtos de aplicação comercial (HARUN et al., 2010; SINGH et al., 2011).

Por possuírem um bom rendimento energético, as microalgas vem sendo alvo de diversas pesquisas no campo da obtenção de biomassa e na produção de biocombustíveis, principalmente na área da biotecnologia (EMBRAPA, 2016). Algumas microalgas têm elevados níveis de lipídios, os quais podem ser transesterificados em biodiesel, mas também possuem em sua composição celular outros compostos de interesse como aminoácidos e proteínas que são utilizados nas indústrias alimentícias, químicas e farmacêuticas, entretanto o componente celular de maior interesse tem sido os lipídios (BRENNAN & OWENDE, 2010; FAWAZ, 2013; SINGH et al., 2011).

O cultivo de microalgas é realizado desde o século XX, e à partir deste período vem se tornando um dos processos biotecnológicos que mais tem avançado. No entanto, a produção de microalgas ainda faz parte de uma vertente recente e em desenvolvimento o que faz com que o cultivo possua um alto custo, ainda assim pode ser observado alguns procedimentos de cultivo, como lagoa aberta, calhas rasas e fotobiorreatores (EMBRAPA, 2016; GUIMARÃES, 2012).

Existem diferentes geometrias e formas de funcionamento variados para cultivar microalgas em que todas elas possuem vantagens e desvantagens. Embora ainda sejam poucos a maior parte dos estudos realizados hoje em dia relativos ao cultivo de microalgas se dar em fotobiorreatores que se baseiam em um sistema de cultivo fechado, sendo caracterizados pelo maior controle do funcionamento assim como a regulação de vários parâmetros como a temperatura, níveis de pH, iluminação artificial, agitação e outros fatores importante para o crescimento das microalgas (ERIKSEN, 2008 a; GUIMARÃES, 2012).

Uns dos benefícios do uso de fotobiorreatores é a diminuição dos riscos de contaminação por predadores ou espécies não desejadas e menor perda de CO₂ e água presente no meio que são problemas encontrados em meios de cultura abertos como lagoa abertas e calhas rasas Os fotobiorreatores apresentam uma grande variação de design e configurações no qual se destacam os reatores tubulares em coluna e placas (RICHMOND, 1999; ERIKSEN, 2008). Geralmente os fotobiorreatores são construídos de materiais aerófono como vidro, o que possibilita uma maior penetração da luz no meio de cultura favorecendo o desenvolvimento das microalgas, contudo os fotobiorreatores são mais dispendiosos que os meios de cultivo aberto, porém são bem mais eficientes. (AMARAL, 2014; SANTOS, 2017).

Dessa forma, a utilização de um sistema fechado e automatizado para o cultivo de microalgas, maximiza a produção de biomassa e consequentemente de lipídios, que é a principal matéria-prima para obtenção de biocombustíveis. Nesse sentido, segundo Leen & Zhang (2016), é necessário desenvolver uma metodologia de cultivo desses microrganismos que seja simples e econômica buscando inovar a produção de energia limpa, que é uma das principais aplicações das microalgas na atualidade.

Esse projeto tem como objetivo a construção de um fotobiorreator de bancada para cultivo de microalgas. Esse cultivo se dará em um meio sintético, que é tido como sistema biológico muito eficaz no acúmulo de energia. Assim, o desenvolvimento de um fotobiorreator de bancada laboratorial com baixo custo para microalgas, pode facilitar e gerar praticidade no processo de cultivo. Além disso, pretende-se determinar a influência do fotobiorreator no crescimento das microalgas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO/ESTADO DA ARTE

2.1 Microalgas

As microalgas constituem um grupo altamente diversificado, dotados de pigmentos fotossintetizantes que crescem e se reproduzem em curto período de tempo em diversas condições ambientais naturais, sendo intensamente capacitadas e de vasta distribuição biogeográfica. Possuindo formas desiguais e estrutura celular simples, podendo ser eucariontes ou procariontes, apresentam alto rendimento em biomassa visto que grande parte das espécies se desenvolvem mais rápido que as plantas terrestres. Elas se encontram principalmente em hábitat aquáticos, sendo responsáveis pela produção primária do ambiente aquático, atuando como sustentação dos demais níveis tróficos. Sendo capaz de reduzir o excesso de CO₂ da atmosfera por meio da realização de fotossíntese, e fornecer mais oxigênio ao meio do que todas as plantas juntas, podendo contribuir para a redução do efeito estufa no planeta (AMARO et al., 2011; HOMIAK, 2014). Além disso, as células de microalgas conseguem fixar nitrogênio e fósforo, o que é de grande importância no tratamento de águas residuais (SAMBUSITI et al., 2015).

As particularidades metabólicas das microalgas fazem desses microrganismos uma fonte de alta potencialidade de recursos a serem explorados. Associado ao metabolismo fotossintético, respiração e a fixação de nitrogênio constituem rotas metabólicas, biotecnologicamente possíveis para diversas utilidades. Estes microrganismos possuem uma alta reserva de lipídeos, sacarídeos e proteínas e outras substâncias que podem ser explorados biologicamente (LIRA, 2011)

Com a crescente atenção voltada para o meio ambiente e a sustentabilidade nos últimos anos, as microalgas estão surgindo como possíveis soluções para problemas relacionados a estes ideais. Nesse sentido as microalgas possuem uma ampla relevância e aplicação para o meio ambiente, tais como no tratamento de água residuais e biofertilizantes no meio agrário. Além disso através das microalgas vêm sendo possível se extrair produtos de interesse industrial, pois sua biomassa possibilita a extração de diversos produtos como óleos, que podem ser utilizados na produção de biocombustível (LIRA, 2011; CARRIJO et al., 2015)

2.2 Sistema de cultivo

Existem atualmente três tipos de mecanismos de cultivo de microalgas sendo eles: i) autotrófico, onde a microalga utiliza o CO₂ como fonte de carbono e realiza fotossíntese através da luz solar ou artificial; ii) heterotrófico, o carbono é provido de uma fonte orgânica e iii) mixotrófico, que consiste em uma mistura do sistema autotrófico e heterotrófico (KUNJAPUR e ELDRIDGE, 2010). Porém o único que é viável para produção em escala técnica e industrial é o sistema autotrófico pois o mesmo é bastante econômico quando comparados aos outros dois já citados

(BRENNAN & OWENDE, 2010). Para a produção autotróficas das microalgas foram desenvolvidos dois sistema o cultivo: em tanques abertos, por exemplo: em lagoa abertas e em fotobiorreatores fechados como: fotobiorreatores em placas planas, tubulares, colunas entre outros (SINGH & SHARMA, 2012).

Durante o cultivo artificial de microalgas, para o melhor desenvolvimento destas, as condições de cultura devem assemelhar-se às encontradas nos seus habitats naturais. Por exemplo, a utilização de luz solar como fonte de energia tem como vantagem a redução dos custos de produção. Não obstante, isto pode não ser possível devido às variações diárias e sazonais de luz, que poderão influenciar o rendimento final de biomassa (NOBRE et al., 2013).

2.3 Fotobiorreator

Fotobiorreatores são tubos transparentes, construídos com material de vidro, plásticos ou de polimetilmetacrilato (acrílico), os quais são alinhados e montados da melhor maneira. O cultivo através destes, seguem critérios que beneficia o desenvolvimento das espécies pois estes são fechados, o que reduz a contaminação (mas não são imunes, à contaminação). Além disso, os parâmetros essenciais para o crescimento das espécies como o pH, temperatura, concentração de CO₂ e iluminação podem ser controlados. Os fotobiorreatores também possibilita alcançar produtividades volumétricas e concentrações de células mais elevadas (DARZINS et al., 2010).

Dentre outras vantagens está a economia no consumo de água, justamente por ser um sistema fechado, evitando a evaporação da mesma, ocupam menos espaço por possuir uma organização estrutural adequada, e conseguem realizar produção em grande escala sem prejudicar o ambiente do cultivo (HOMIAK, 2014).

3 METODOLOGIA/MATERIAIS E MÉTODOS

O biorreator projetado é de vidro e de recirculação interna (de tubos concêntricos) dotado em seu exterior de lâmpadas fluorescentes na qual poderá ser operado a um gradiente de intensidade luminosa. Através de um planejamento experimental será definido as melhores condições de processo, onde serão investigados o efeito da concentração salina, agitação, intensidade luminosa e vazão de CO₂.

3.1 Construção do Fotobiorreator

Ao prosseguir com o escopo do trabalho para a construção do fotobiorreator com a intenção de se fazer o cultivo das microalgas . Para desenvolvê-lo foram necessários a utilização de alguns

materiais tais como, mecanismo de reprodução de fitas cassete extraídos de um aparelho de som antigo, um pote de vidro com capacidade de 3L, mini caixotes de mdf, lâmpada de luz fluorescente com potência de 15 Watt branca fria de 6.400K com (lm) 840, carregador de celular 5 Volts cc 0,7A, extensão, ferro de solda elétrico 60 Watt, interruptor, ímãs, abraçadeiras de plástico, organizador de fio, tubo plástico, cola quente, cola branca, serra, tesoura, papel alumínio e papel cartão.

3.2 Construção da Fonte Luminosa

Iniciamos o processo criando um protetor refletor para a fonte de luz artificial com o caixote de mdf, no qual incorporou-se a lâmpada no local interno do material sendo esta fixada com abraçadeira de plástico. Retiramos parte do material de mdf a fim de que se apropria-se ao modelo, sucedendo em uma parte côncava em que o refletor foi produzido colando um papel alumínio em um papel cartão.

3.3 Construção do Mecanismo de Agitação

O mecanismo de reprodução de fitas cassetes teve que ser adaptado para a construção do mecanismo de agitação. O agitador foi possível associando uma roldana menor no motor elétrico a uma roldana maior presa a haste do agitador por intermédio de uma correia de borracha do um pino abaixo dela na qual foi adicionado o tubo plástico e um material de ponta dupla reduzido localizado na parte inferior do tubo em relação ao encontro com engrenagem rotativa atuando como uma hélice propiciando agitação ao meio. Tivemos que fazer uma abertura central e pequena na tampa do pote para passar a estrutura da hélice e introduzir os nutrientes para a parte interna do vidro, de modo que o motor no caixote fosse pregado com quatro ímãs de mesma dimensões dispostos sobre a tampa de metal permitindo a retirada a todo momento que precisarmos suprir a demanda nutricional das microalgas.

3.4 Sistema de Distribuição de Força

Após a execução dos protetores, foi feito o sistema de distribuição de forças, soldando e emendando os fios do motor com do carregador de celular, este foi fixado no lado externo do caixote em que se encontra o motor. Na entrada de 220 Volts do carregador também foi soldado dois fios da extensão um em cada entrada que estava conectado a lâmpada de luz fluorescente, anexado a toda essa

fiação incluía um interruptor que abria e fechava todo o circuito elétrico com fonte de 220 Volts compartilhada equitativamente entre o motor e a lâmpada.

3.5 Cultivo de Microalgas

Para realizar o cultivo das microalgas foi coletado 2L de água em um córrego localizado no Parque Cimba na cidade de Araguaína -TO, 7°11'14.2"S48°11'47.0"W. Após a coleta, a amostra foi concentrada sendo o concentrado transferido para o biorreator seguido da adição de chorume como fonte de carbono. Os micronutrientes foram adquiridos de fertilizante mineral comercial misto composto de N, P₂, O₅, Ca, S, K₂O. O cultivo durou 32 dias sob agitação constante, foram aferidos pH, temperatura. Para controle do crescimento algal foi feito uma curva de calibração.

3.6 Análise do Crescimento das Microalgas

Após o crescimento, foi realizados testes que incluem medida de pH, temperatura e concentração do meio, sendo que o primeiro se deu em 7 tubos contendo amostras preservadas por congelamento, estes foram descongelados em banho maria em temperatura ambiente, logo em seguida foram postos na centrífuga e seguidamente organizados por data de coleta, para aferir o pH foi utilizado fitas medidoras de pH, sendo estas imersas nos tubos.

A temperatura meio de cultivo foi analisada sucedendo o uso de um termômetro infravermelho. O processo de quantificação da concentração transcorreu primeiramente com a homogeneização da amostra no vortex, que logo foi levada ao espectrofotômetro, aparelho que determina a biomassa pela absorvância de luz que a amostra consegue absorver. Com o aparelho foi calculado a absorvância de cada um dos tubos contendo a amostra, em um comprimento de onda de 600 nanômetro.

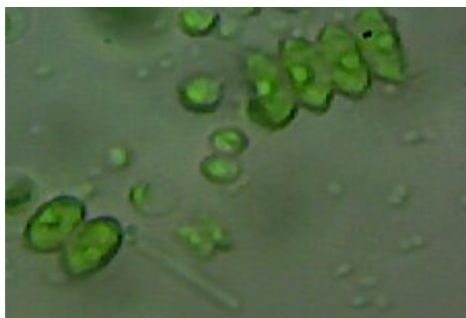
A curva de calibração foi realizada a partir das medidas de absorvância de soluções com concentrações já conhecidas para isso foi realizada uma diluição seriada. Que foi realizada da seguinte forma: em cada becker foi adicionado 5mL de água destilada, por conseguinte adicionamos 5mL da amostra no primeiro becker fazendo a homogeneização e adicionando 5 mL no segundo becker, logo realizando o mesmo processo até chegar no sétimo. Tendo as seguintes diluições respectivamente 1:2, 1:4,1:8, 1:6, 1:32, 1:64 e 1:128, feito isso, cada amostra diluída foi levada ao espectrofotômetro a fim de medir a absorvância, resultando nos dados: 2.390, 1.697, 1.145, 714, 376, 192 e 97 respectivamente.

A curva padrão foi concluída através do programa Excel, e a equação do gráfico $y = 0,3908X - 0,0047$, a qual utilizamos para fazer os cálculos das concentrações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise das Condições de Crescimento

A otimização das variáveis temperatura e pH durante a escala laboratorial no decorrer do processo de cultivo das microalgas é muito significativo, pois garante um máximo rendimento da biomassa microalgal. A microalga cultivada no fotobiorreator *Desmodesmus sp.* é mostrada na fotografia 1.



Fotografia 1- Microalgas identificadas no fotobiorreator ao centro da figura, uma colônia de quatro e outra de duas células de algas do gênero *Desmodesmus sp.* Fonte: Autores.

A microalga *Desmodesmus sp.* pertence ao grupo Chlorophyta. É uma alga eucariótica, verde, de forma elipsoidal a ovóides, se distribui em unicelular ou em colônias de 2-4-8-16 células. Uma das vantagens deste gênero é sua alta produtividade, já que alcançam o seu maior crescimento em um curto período de dias (RÍOS PINTO, 2014).

A maior parte das microalgas se desenvolvem em temperaturas que variam entre 15-25°C, com tudo os cultivos foram feitos a uma temperatura média de 28°C e em um pH que variou entre 5,0 e 7,0 no período de cultivo. Mostrando-se adaptada às condições de cultivo a microalga *Desmodesmus sp.* manifestou um bom desenvolvimento nessas condições que são quase idênticas às quais foram submetidas a microalga *Spirulina major* na pesquisa de Karam et al (2008).

4.2 Fotobiorreator Construído

A figura 1 mostra o experimento em um esquema gráfico de funcionamento do fotobiorreator. Nesta Figura pode-se observar a esquematização de como é o fotobiorreator de forma sucinta.

O fotobiorreator construído é do tipo mecanicamente agitado (STR) que consiste em um tanque cilíndrico e o agitador montado no eixo central do reator. Normalmente este tipo de reator

possui um sistema de agitação que favorece a homogeneização do meio de cultivo, porém no fotobiorreator construído a agitação tem como objetivo principal a distribuição de oxigênio e nutrientes no meio.

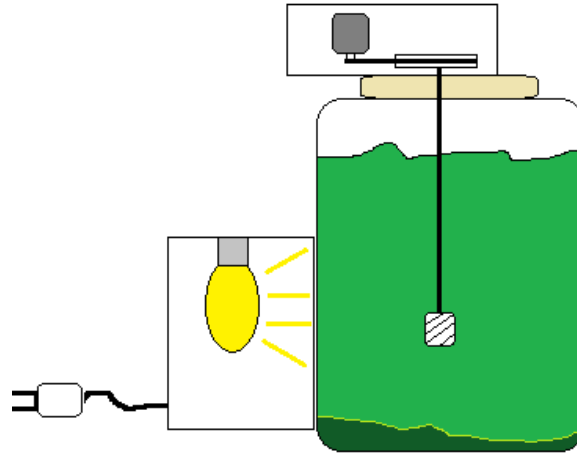


Figura 1 - Esquema Gráfico do Fotobiorreator. Fonte: Autores.

O mecanismo agitação por recirculação mostrou-se eficiente mantendo-se funcional durante todo o experimento. O sistema de iluminação artificial comportou-se de forma eficaz, mostrando resultados satisfatórios no desenvolvimento microalgal como os obtidos no trabalho de DÍAZ et al, (2018), os resultados da utilização da fonte de iluminação artificial podem ser observados na fotografia abaixo especificamente nos números 3 e 4, onde é possível observar que o tanque do fotobiorreator possui um tom de coloração esverdeado escuro indicando o crescimento de microalgas no mesmo.



Fotografia 2- 1-Iluminação, 2-Mecanismo de agitação, 3-Pote(tanque), 4- Fotobiorreator. Fonte: Autores.

4.3 Análise da Concentração das Microalgas em Função do Tempo

A partir da curva padrão (gráfico 1), obtida por meio das análises de absorvância realizadas no espectrômetro é possível relacionar os valores das absorvâncias de cada amostra com a concentração de biomassa (g/L) do meio de cultivo. Essa concentração foi fundamentada em um padrão estabelecido com a massa e volume da amostra em laboratório, em virtude da deficiência na literatura de um padrão com base no método utilizado. Ademais, como esse parâmetro foi executado somente uma vez, faz-se preciso realizar repetições para validar a metodologia empregada a fim de que possam ser usados por outras pessoas.

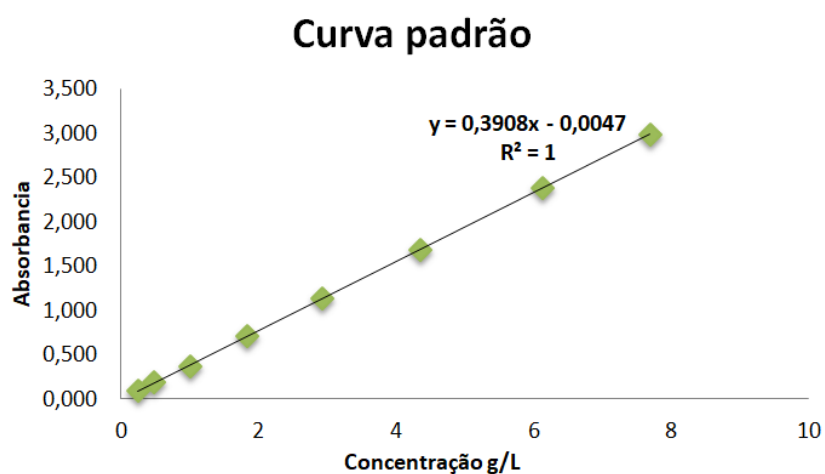


Gráfico 1- Curva Padrão. Fonte: Autores.

Na tabela 1, pode-se constatar as alterações de absorbância e concentração de cada amostra em função do tempo, resultado proveniente da análise realizada no espectrofotômetro.

<i>Amostras</i>	<i>Absorbância</i>	<i>Concentração g/L</i>	<i>Data</i>
Amostra 1	0,171	0,062	17/10/2017
Amostra 2	0,088	0,030	27/10/2017
Amostra 3	0,430	0,163	01/11/2017
Amostra 4	0,752	0,289	06/11/2017
Amostra 5	1,201	0,465	13/11/2017
Amostra 6	1,181	0,457	20/11/2017

Tabela 1- Concentração das microalgas em função do tempo. Fonte: Autores.

No gráfico 2 que relaciona a densidade algal com o tempo transcorrido é possível observar o comportamento do crescimento de biomassa microalgal no meio de cultivo.

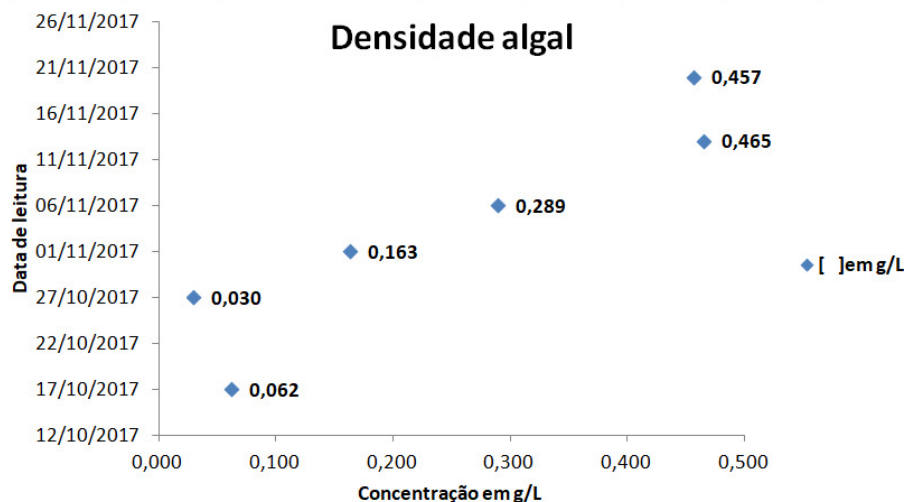


Gráfico 2 - Evolução da densidade algal em função do tempo. Fonte: Autores.

Verifica-se que com o passar do tempo a biomassa aumenta, comprovando a eficácia do fotobiorreator para o cultivo de microalgas. No entanto, no início do cultivo houve uma diminuição da concentração entre os dias 17/10 e 27/10 o que é resultante de um período de estresse das microalgas devido à ausência de nutriente durante um período de dez dias, que provavelmente afetou rotas metabólicas essenciais para sua proliferação. Após esses dias com a oferta adequada de nutrientes a densidade algal aumentou sucessivamente comprovando o bom desempenho do fotobiorreator desenvolvido no cultivo de microalgas.

5 CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos conclui-se que os objetivos esperados no desenvolvimento do projeto foram alcançados, visto que, foi possível a construção do fotobiorreator de forma tubular fazendo-se uso de materiais de baixo custo. O protótipo construído apresentou um bom desempenho no seu funcionamento, em aspectos mecânicos e em relação à resistência dos materiais utilizados, havendo resultados satisfatórios do crescimento microalgal nas condições em que foram cultivadas.

REFERÊNCIAS

AMARAL, M.S. **Cultivo de microalga marinha *Chlorella sp.* como fonte de matéria prima para produção de biodiesel.** 2014. f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2014.

AMARO, M. Helena; GUEDES, A. Catarina; MALCATA, F. Xavier. **Advances and perspectives in using microalgae to produce biodiesel-Applied Energy**, v. 88, p. 3402- 3410, 2011.

BRENNAN, L.; OWENDE, P. Biofuels from microalgae-A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 2, p. 557-577, 2010.

CARRIJO, R. S.; SILVA, V. C. F.; DOS SANTOS, A. C. M.; COSTA, M. F.; FERREIRA, T. P. Uso de microalgas para a produção de biodiesel: vantagens e limitações. **Revista Eletrônica de Energia**, v. 5, n. 1, 2015.

DARZINS, A.; PIENKOS, P.; EDYE, L. Current status and potential for algal biofuels production. **BioIndustry Partners & NREL, Bioenergy**, Task 39, 6 August, 2010.

DÍAZ, Gisel Chenard et al. Avaliação de desempenho de novo protótipo de fotobiorreator não transparente para cultivo de microalgas com iluminação interna através de PQFS que recebem a luz de lentes montadas em sistema de rastreamento solar. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS** **2018.** 2018.

EMBRAPA. Microalgas. **Agroenergia em revista.** Ano IV, n10, dezembro 2016.

ERIKSEN, N. (2008a). "The technology of microalgal culturing." *Biotechnology Letters* 30(9): 1525-1536.

ERIKSEN N. (2008b) Production of phycocyanin—a pigment with applications in biology, biotechnology, foods and medicine. **Applied Microbiology and Biotechnology** ;80(1):1–14

GUIMARÃES, Luís Pedro Costa. **Projeto e construção de um fotobiorreator para crescimento acelerado de microalgas**. 2012. Tese de Doutorado.

HARUN, Razif et al. Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 3, p. 1037-1047, 2010.

HOMIAK, J. A. **Produção de biodiesel utilizando microalgas**. **SaBios-Revista de Saúde e Biologia**, v. 9, n. 2, p. 65-74, 2014.

KARAM, Leticia Machado; SOCCOL, Carlos Ricardo. Efeito da temperatura e pH no cultivo de Spirulina major. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR**, v. 10, n. 1, 2008.

KUNJAPUR, A. M.; ELDRIDGE, R. B. Photobioreactor Design for Commercial Biofuel Production from Microalgae. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 49, n. 8, p. 3516–3526, 2010.

LEE, E.; ZHANG, Q. Integrated co-limitation kinetic model for microalgae growth in anaerobically digested municipal sludge centrate. **Algal Research-Biomass Biofuels and Bioproducts**, Amsterdam, v. 18, p. 15–24, 2016.

LIRA, Rafael de Araújo et al. **Estudo do rendimento de biomassa da microalga nativa Chlorella sp. visando a obtenção de biocombustíveis**. 2011.

MIRANDA, C. T. et al. Microalgae Lipid and Biodiesel Production: A Brazilian Challenge. **American Journal of Plant Sciences**, [s. l.], v. 6, n. 6, p. 2522–2533, 2015.

NOBRE, B. P.; VILLALOBOS, F.; BARRAGAN, B. E.; OLIVEIRA, A. C.; BATISTA, A. P.; MARQUES, P. A. S. S.; GOUVEIA, L. Biorefinery from Nannochloropsis sp. microalga–Extraction of microalgal oils and pigments and biohydrogen production from biomass leftover. **Bioresource Technology**, v. 135, p. 128-36, 2013.

RICHMOND, A. Physiological principles and modes of cultivation in mass production of photoautotrophic microalgae. **Chemicals from Microalgae**, p. 353-86, 1999.

RÍOS PINTO, Luisa Fernanda et al. **Estudo do crescimento da microalga Desmodesmus sp. visando a produção de biodiesel**. 2014.

SAMBUSITI, C.; BELLUCCI, M.; ZABANIOTOU, A.; BENEDUCE, L.; MONLAU, F. Algae as promising feedstocks for fermentative biohydrogen production according to a biorefinery approach: a comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 44, p. 20–36, 2015.

SANTOS, Cainã Santana dos; COSTA, Tiago Marcelino Ferreira da. **AUTOMAÇÃO NO CULTIVO DE MICROALGAS**. 2017.

SINGH, N. K.; DHAR, D. W. Microalgae as second generation biofuel. **A review. Agronomy for Sustainable Development**, v. 31, n. 4, p. 605-629, 2011.

SINGH, R. N.; SHARMA, S. Development of suitable photobioreactor for algae production - A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 4, p. 2347-2353, 2012.

SUALI, E.; SARBATLY, R. **Conversion of microalgae to biofuel. Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.16, p.4316-4342,2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112002304>>. Acesso em: 23 set. 2018.

TOMASELLI, L. The microalgal cell. In: RICHMOND, A. (Ed). Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology. **Oxford: Blackwell Science**, 2004. p.3-19.