

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE NOVO PROTÓTIPO DE FOTOBIORREATOR NÃO TRANSPARENTE PARA CULTIVO DE MICROALGAS COM ILUMINAÇÃO INTERNA ATRAVÉS DE POFs QUE RECEBEM A LUZ DE LENTES MONTADAS EM SISTEMA DE RASTREAMENTO SOLAR

Gisel Chenard D. – gisemarina@yahoo.es

Yordanka Reyes C. – yordanka@eq.ufrj.br

Rene Gonzalez C. – reneglez73@yahoo.com.br

Fabio Toshio D. – toshiodino@gmail.com

Rosa V. de Paula – rvitorinodepaula@gmail.com

Donato A. G. Aranda – donato@eq.ufrj.br

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Lab. Greentec.

Marcelo Martins Werneck – werneck@lif.coppe.ufrj.br

Alfredo O. Cordova Manchego –alfredo@lif.coppe.ufrj.br

Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Lab. de Instrumentação e Fotônica

Regina Célia da Silva Barros –regina@lif.coppe.ufrj.br

Centro Tecnológico do Exército, Laboratório de Defesa Biológica

Marina Galindo Ch. – marugchenard@gmail.com

Universidade Agrícola de Havana (UNAH), Havana, Cuba.

Luiza Paula da Conceição L. – llopes@ms.senai.br

Helio Merá de Assis – hassis@ms.senai.br

Instituto SENAI de Inovação Biomassa, Três Lagoas, MS.

Resumo. A elevada produtividade de óleo/hectare-ano das microalgas, conforme descrito na literatura, motivou nos pesquisadores a nível mundial o interesse de estudá-las como matéria prima na produção de biodiesel. No entanto, o elevado custo de produção e manutenção dos sistemas fechados de cultivo em larga escala (tipo “Fotobiorreator”) e os problemas de contaminação e conseqüente menor produtividade dos sistemas abertos (tipo “Lagoas abertas”) tornaram-se limitantes importantes na avaliação da sustentabilidade de produzir biodiesel a partir de microalgas. Focados no desenvolvimento de tecnologias que viabilizem o cultivo de microalgas e o aproveitamento e valorização de produtos, subprodutos e resíduos desta indústria utilizando o conceito de biorrefinaria, neste trabalho avaliou-se o desempenho de um sistema de cultivo montado nas dependências do Laboratório de Tecnologias Verdes - GreenTec/EQ/UFRJ. O protótipo está formado por fotobiorreator não transparente com iluminação interna através de um feixe de fibras ópticas plásticas (POFs) que recebem a luz solar de lentes montadas em um sistema de rastreamento solar. Este estudo foi realizado de forma comparativa, avaliando em paralelo o crescimento celular da espécie *Monoraphidium sp.* no sistema de cultivo tradicional formado por fotobiorreator transparente tipo Janela. Após o cultivo verificou-se a produção de biomassa de microalgas em ambos os sistemas, através das análises de contagem de células e peso seco. Seguidamente, avaliou-se o potencial da biomassa microalgal produzida para a produção de biocombustíveis a partir da quantificação do teor de lipídios convertíveis em biodiesel - LCB.

Palavras-chave: Fibras Ópticas Plástica, Rastreamento Solar, Microalgas

1. INTRODUÇÃO

Os combustíveis fósseis são os maiores responsáveis pela emissão de gases do efeito estufa. Com a situação ambiental se tornando cada vez mais precária, a comunidade científica busca opções mais sustentáveis. A partir dos anos 80 cresceu o interesse no desenvolvimento e produção de biocombustíveis de forma economicamente viável. Atualmente, países com economias emergentes como China e Índia trabalham no desenvolvimento de tecnologias para a produção e comercialização de biodiesel de microalgas, conscientes de que as atuais fontes não são suficientes para o crescimento econômico planejado (Pegallapati, A. K., 2012).

As microalgas são microorganismos fotossintetizantes capazes de produzir biomassa durante os 12 meses do ano, com menor consumo de água em relação a macro vegetais como: cana-de-açúcar, milho e colza. O problema do uso das microalgas como matéria-prima para biodiesel reside na seleção de espécies promissoras com alto teor de triglicerídeos, suas condições ótimas de cultivo, adaptação e crescimento das culturas nos sistemas de cultivo em larga escala e, sobretudo, a redução dos custos de produção (Fernandes, B. D., 2010; Xue, S., 2013).

No mundo a iluminação de fotobiorreatores (FBR) para o cultivo de microalgas tradicionalmente é realizada com uso de energia solar. Cerca de 90% da produção mundial de microalgas é realizada em tanques abertos, os chamados *raceways/open-ponds*. Neles a produtividade é expressiva, porém por serem abertos estão expostos não somente ao sol, mas também à contaminação por diversos microorganismos, inclusive alguns deles competem com as microalgas pelos mesmos nutrientes, ou ainda se alimentam delas, produzindo por vezes uma biomassa de menor qualidade (Borowitzka A., 2013).

Na tentativa de diminuir o custo dos fotobiorreatores fechados, tanques em materiais opacos são alternativas, como em Polipropileno e Polietileno (Schenk, P. M., 2008). Para cultivo fotoautotrófico, ou seja, onde é necessária a presença de luz o uso de fibras óticas plásticas - POF para iluminar internamente permite o crescimento das microalgas. O grande diferencial deste sistema de iluminação está na possibilidade de usar na construção dos fotobiorreatores materiais não transparentes, muito mais baratos e com maior durabilidade (Munisami J., 2008).

Avaliando as vantagens e desvantagens dos sistemas de cultivo convencionais e as tecnologias propostas para processar a biomassa microalgal, o objetivo está em diminuir os custos de produção e aumentar a produtividade de óleo nas microalgas, considerando que se trata de uma matéria-prima com elevadíssima produtividade de biomassa seca, representa menor gasto de área para o cultivo, permite a produção contínua de biomassa, o aproveitamento do CO₂ residual de processos de combustão e a biorremediação de águas contaminadas (Bianchini, R., 2006; Slegers, P. M., 2014).

Nesse sentido, a técnica de rastreamento solar pelas lentes de Fresnel para concentração da luz solar (iluminação natural) nos feixes de fibras óticas e também o mesmo rastreamento executado pelos painéis fotovoltaicos iluminando os LEDs superluminescentes (iluminação artificial) será de grande utilidade. A técnica de rastreamento solar já é conhecida e aplicada pelo Laboratório de Instrumentação e Fotônica/COPPE/UFRJ em diversos projetos em andamento propiciando assim um excelente custo/benefício ao utilizá-la nesta pesquisa. Este sistema de rastreamento permite a movimentação da lente a partir de uma programação algorítmica, indicando as diferentes posições do sol durante os 365 dias do ano. Adicionalmente, foi acoplado a este motor um sistema de redução com o objetivo de que o motor consiga acompanhar o ritmo da programação, ficando fixo em determinadas posições, gerando menor gasto de energia (Igor V. R., 2015).

Porém, durante a fase de experimentação foram identificadas determinadas limitações, relacionadas com a iluminação interna do fotobiorreator em dias nublados ou chuvosos. Para resolver este problema testa-se um sistema alternativo de iluminação, para dias com pouca luz, usando LEDs superluminescentes acoplados ao feixe de fibras óticas plásticas, alimentados por um painel solar que por sua vez é interligado a um banco de baterias (FAO., 2012).

A literatura científica mostra que a iluminação solar em ambientes por fibras óticas já é assunto desde os anos 70, época de sua criação. O uso de fibras óticas que entregam energia luminosa de uma ponta a outra, sem a necessidade de um caminho necessariamente retilíneo. A condução da luz através das fibras óticas é promovida graças à diferença entre as duas partes existentes na fibra ótica: o núcleo (core) e a casca (cladding). A casca apresenta índice de refração menor que o núcleo, o que propicia uma condução de luz através de seguidas reflexões na interface núcleo-casca, a diferença entre os índices de refração do núcleo e da casca é relativamente pequena, variando em centésimos de unidade (Werneck, 1996).

Mais recentemente, com a maior disponibilidade de fibras óticas plásticas (POF), esses estudos se intensificaram e muitos pesquisadores desenvolveram estudos e protótipos de iluminação. A vantagem das POFs plásticas é óbvia devido ao seu maior diâmetro que permite a captação de mais luz além de possuir uma densidade 2,5 vezes menor. Por outro lado, a temperatura máxima de 80°C para POFs de PMMA ou 105°C para POFs de policarbonato limitam a concentração solar, contrastando com os cerca de 2.000°C das fibras de sílica (Jaramillo, AO. 1999; Singh, R. N., 2012).

O comportamento da radiação luminosa fotossinteticamente ativa (PAR), também conhecida como taxa de fluência de fluxo de fóton fotossintético (PPFFR), durante o cultivo é conhecido como uma curva exponencial decrescente, ou seja, existe um máximo inicial de iluminação que com o amadurecimento do cultivo diminui, segundo um comportamento exponencial decrescente (Bryant, 1994).

A nomenclatura PAR (Photosynthetically Active Radiation) é a radiação importante para avaliar o efeito da luz na modelagem da fotossíntese e do crescimento de plantas, em geral. Considerando o sol como fonte luminosa, apenas uma fração do espectro solar é utilizada pelas plantas no processo de conversão da energia luminosa em química, por causa da sensibilidade seletiva dos cloroplastos. Esta fração, denominada PAR é considerada como sendo o fluxo de fótons de 400-700nm do espectro solar que são projetadas em uma superfície de área por um tempo. Em 1972 foi evidenciado por K. Mccree que a resposta fotossintética era relacionada mais ao número de fótons que a energia dos fótons incidentes (Mccree, 1972). Ou seja, como a fotossíntese é uma conversão fotoquímica onde cada molécula é ativada pela absorção de um fóton, surgiu o interesse de expressar a energia luminosa incidente considerando a quantidade de fótons.

Por conseguinte, a potência ótica que geralmente é mensurada em Wm⁻² ou Jm⁻² s⁻¹ por engenheiros eletricitistas, ou ainda, o fluxo luminoso medido em lumens por arquitetos para cálculo da luminosidade necessária a um determinado ambiente, para os profissionais que trabalham com plantas e microorganismos fotossintetizantes é mais relevante a quantidade de luz mensurada em termos de número de fótons que atingem uma superfície por unidade de tempo. Logo essa unidade é mensurada tradicionalmente por μ mol fóton. m⁻² s⁻¹ (Richmond, 2004).

Sendo assim, no presente trabalho avaliou-se o desempenho de um sistema de cultivo montado nas dependências do Laboratório de Tecnologias Verdes - GreenTec/EQ/UFRJ. O protótipo está formado por fotobiorreator não

transparente com iluminação interna através de um feixe de fibras ópticas plásticas (POFs) que recebem a luz solar de lentes montadas em um sistema de rastreamento solar. Este estudo foi realizado de forma comparativa, avaliando em paralelo o crescimento celular da espécie *Monoraphidium sp.* no sistema de cultivo tradicional formado por fotobiorreator transparente tipo Janela. O novo sistema proposto, testado em experimentos recentes, mostrou-se promissório, conseguindo triplicar a quantidade de biomassa que comumente é produzida a partir da captação direta de luz solar.

2. MATERIAIS E METODOS

2.1 Fotobiorreator não transparente

Fibras ópticas (POF), discos de distribuição das POF e sistema de aeração: Internamente no fotobiorreator foram utilizadas 126 fibras ópticas plásticas com 2m de comprimento e 2mm de diâmetro. Para o polimento das pontas foram utilizadas lixas P600, P1500 e por fim lixa para espelhamento da superfície. Para furação das fibras foi utilizado laser de CO₂ - modelo 48-2 (Fig. 1A), e comprimento de onda de 10,6µm. Foi também utilizada lente convergente em ZnSe para realização das ranhuras discretas na fibra. Foi necessário o emprego de uma puxatriz (Fig. 1B) para manutenção da velocidade média da fibra durante o acionamento do laser e garantia da espessura da ranhura na fibra (Fig. 1C). As ranhuras foram realizadas em 10cm da fibra. A velocidade média da fibra em frente ao feixe de luz do laser promovida pela puxatriz foi de 2 cm.s⁻¹ e a potência ótica do Laser utilizada foi 7,5W. O Aparato de aeração foi construído através da conexão de 4 tubos em aço inox (Fig. 1D). Os tubos foram individualmente retorcidos resultando em quatro peças de 33cm de altura com semi-círculos com 8 furos. Para suportar e distribuir as fibras internamente no sistema foram utilizados dois discos com furos ajustados um acima do outro para manter a distância entre os pontos de iluminação (Fig. 1E).

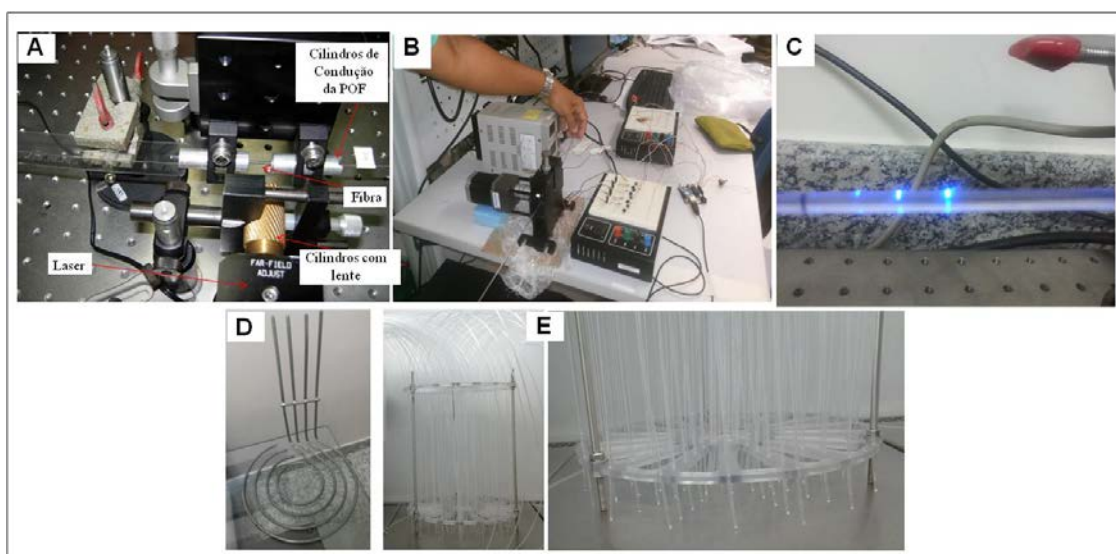


Figura 1- (A) Puxatriz; (B) Laser, lente e Cilindros de Condução da POF; (C) POF com ranhura (D) Sistema de aeração; (E) Suporte com disco de acrílico.

Sistema de rastreamento solar pelas lentes de Fresnel: Desenvolvido pelo Laboratório de Instrumentação e Fotônica – LIF da COPPE/UFRJ permite a movimentação da lente a partir de uma programação algorítmica, indicando as diferentes posições do sol durante os 365 dias do ano. A função deste sistema é coletar e enviar dados de funcionamento em tempo real para o LIF Remoto. Foi desenhado com sensores e amplificadores de sinais ligados em um Arduino, e a interface web foi programada em Python. O rastreador aponta a lente convergente de 45 cm de diâmetro sempre em direção ao sol aproveitando ao máximo o potencial solar. Tem acoplado ao motor de passos um sistema de redução para acompanhar o ritmo da programação, ficando fixo em determinadas posições. O rastreador solar consta de um filtro de luz infravermelha (espessura 1cm e área 20x20cm) fixado a uma altura de 26cm colocado entre a lente de Fresnel e o feixe de POFs, usado com o objetivo de poder filtrar a luz infravermelha e permitir o passe da luz visível a qual é essencial nos microrganismos (algas) para a fotossíntese, assim como, evitar o aquecimento das fibras usadas para transportar luz solar até o fotobiorreator para o cultivo de microalgas, as quais são fixadas em uma placa de acrílico de 0.5cm de espessura e 9x9cm de área (Fig. 2).

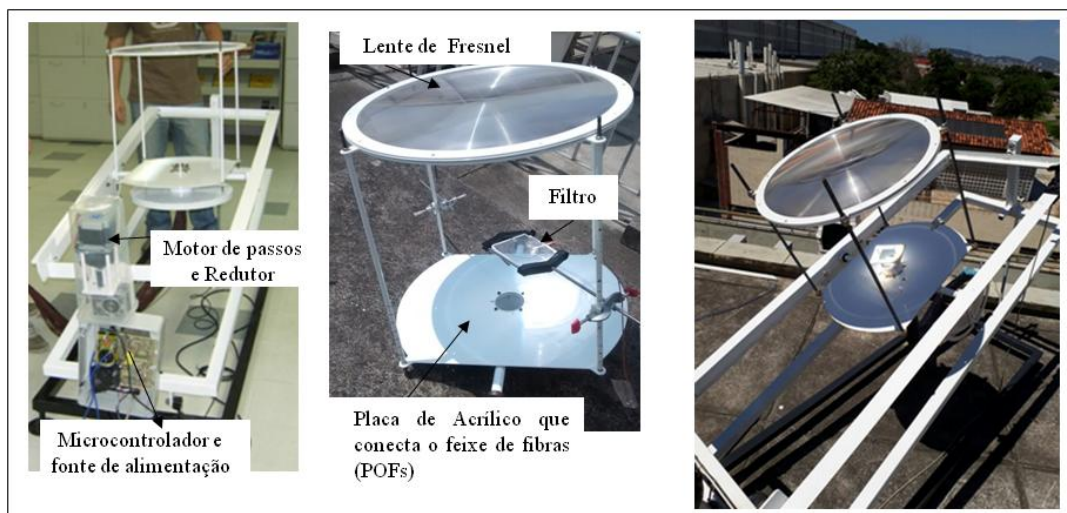


Figura 2- Sistema de Rastreamento Solar.

2.2 Sistemas de cultivo

Em ambos os sistemas de cultivos, fotobiorreator não transparente com sistema de iluminação por fibras ópticas (POFs) iluminadas por sistema de rastreamento solar (Fig. 3) e em fotobiorreator transparente tipo Janela com sistema de iluminação direta de luz solar (Fig. 4), foram cultivados 30 litros da espécie de microalgas *Monoraphidium sp.* em meio ASM-1 (Gorham *et al.*, 1964), temperatura controlada entre 20 - 35°C, aeração em torno de 1 a 7L.min⁻¹, com o objetivo de aumentar a turbulência evitando a deposição das células, sistema automatizado de controle de pH entre 7,0 - 8,0, por injeção de CO₂ no interior dos fotobiorreatores usando difusores que garantem a injeção do gás em forma de micro bolhas, facilitando sua diluição na água. Cada cultivo iniciou-se com concentração de 6,05x10⁶ cel/mL⁻¹ e realizado durante um período de 19 dias. O crescimento celular foi acompanhado através da contagem do número de células e peso seco.

A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) foi medida com o irradiômetro de escala laboratorial - QSL – 2100. Foram medidos máximos e mínimos nos diferentes sistemas, na posição mais próxima ao centro do tanque e mais a borda todos os dias do cultivo.



Figura 3- Fotobiorreator não transparente – FNT, com sistema de iluminação por fibras ópticas (POFs) iluminadas por sistema de rastreamento solar.

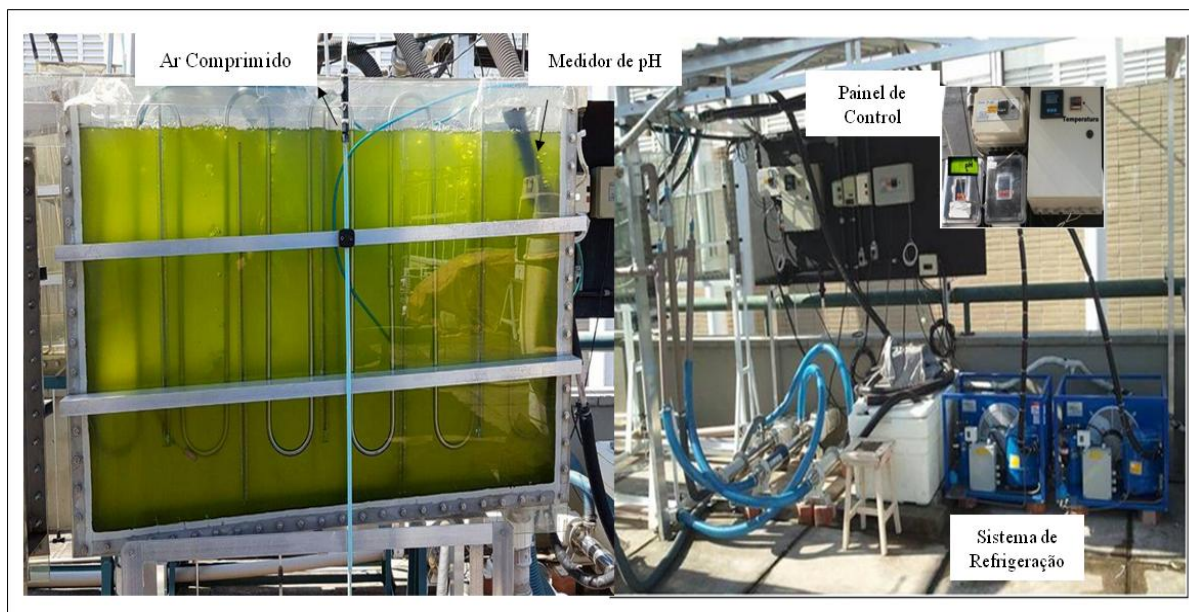


Figura 4- Fotobiorreator transparente tipo Janela – FT, com iluminação direta de luz solar.

2.3 Densidade celular

A quantidade de células (ou densidade celular, em cel.mL^{-1}) presente nas amostras coletadas diariamente durante o cultivo foi determinada por contagem direta em microscópio ótico (modelo Olympus SC30) (aumento de 40 vezes), com auxílio de uma câmara de Fuchs-Rosenthal. A densidade celular foi expressa em número de células por mililitro de cultivo (cel.mL^{-1}).

2.4 Determinação da biomassa seca

O peso seco foi determinado conforme a metodologia definida pelo CENPES/PETROBRAS (2013). Calcinou-se uma membrana a 575°C por 1h para remoção de umidade; resfriou-a em dessecador e registrou-se sua massa inicial (m_i); filtraram-se 10mL (V_f) de cultura de microalga na membrana; em seguida, acondicionou-se a membrana em estufa a 65°C por 1h; resfriou-a em dessecador e registrou-se sua massa final (m_f) para determinação do peso seco e, conseqüentemente, dos teores de biomassa seca e de umidade, de acordo com as Eq. (1), (2) e (3).

Para descontar os valores de cinzas do peso seco final, as membranas com biomassa seca foram calcinadas a 575°C por 1 hora, resfriadas e pesadas. A determinação de peso seco foi realizada em triplicata.

$$X = \frac{(m_f - m_i) \times 1000 \times FD}{V_f} \quad (1)$$

$$TS = \frac{X}{10} \quad (2)$$

$$TU = 100 - TS \quad (3)$$

Onde:

X = concentração de biomassa ou peso seco em g/L;

m_i = massa da membrana calcinada sem a microalga filtrada (massa inicial);

m_f = massa da membrana com a microalga seca (massa final);

V_f = volume de cultura de microalga filtrado;

FD = fator de diluição;

TS = teor de massa seca;

TU = teor de umidade.

2.5 Caracterização das biomassas produzidas

Foram determinados os teores de: teor de lipídios convertíveis em biodiesel (LCB): pelo método de Schmid-Bonzynski-Ratzlaff (modificado) (IDF, 1986); teor de carboidratos: segundo o método descrito por Myklestad e Haug

(1972) e teor de proteínas totais: pelo método de Kjeldahl clássico modificado A.O.A.C, (1995). Identifica-se também o perfil dos ácidos graxos presentes na fração lipídica utilizando cromatografia gasosa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a curva de crescimento (Fig. 5), verificou-se que a quantidade de células produzidas tanto no cultivo em fotobiorreator não transparente com iluminação interna através de um feixe de fibras ópticas plásticas (POFs) que recebem a luz solar de lentes montadas em um sistema de rastreamento solar, assim como, no cultivo tradicional em fotobiorreator transparente tipo Janela com iluminação solar direta, foi comparável em ordem de grandeza, mostrando que é possível produzir microalgas dentro de tanques não transparentes de baixo custo, iluminados internamente do sistema proposto usando POFs. O rastreador aponta a lente sempre em direção ao sol aproveitando ao máximo o potencial solar. No entanto, a radiação solar varia com as condições climáticas e estação do ano, fatores esses que limitam essa produção.

Os resultados obtidos mostram a viabilidade de produção de biomassa de microalgas no fotobiorreator proposto, alcançando rendimentos de até 1g/L. Porém, durante a fase de cultivo foram identificadas determinadas limitações, relacionadas com a iluminação interna do fotobiorreator em dias nublados ou chuvosos. Para resolver este problema avalia-se programar um sistema alternativo de iluminação, para dias com pouca luz, usando LEDs superluminescentes, alimentados pela energia gerada por um painel solar fotovoltaico, previamente estocada em baterias.

A quantidade de radiação PAR máxima e mínima medida na posição mais próxima ao centro e mais a borda em ambos os sistemas todos os dias do cultivo, foi $PAR_{máx}.700 \mu\text{mol.fóton.m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $PAR_{mín}.590 \mu\text{mol.fóton.m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

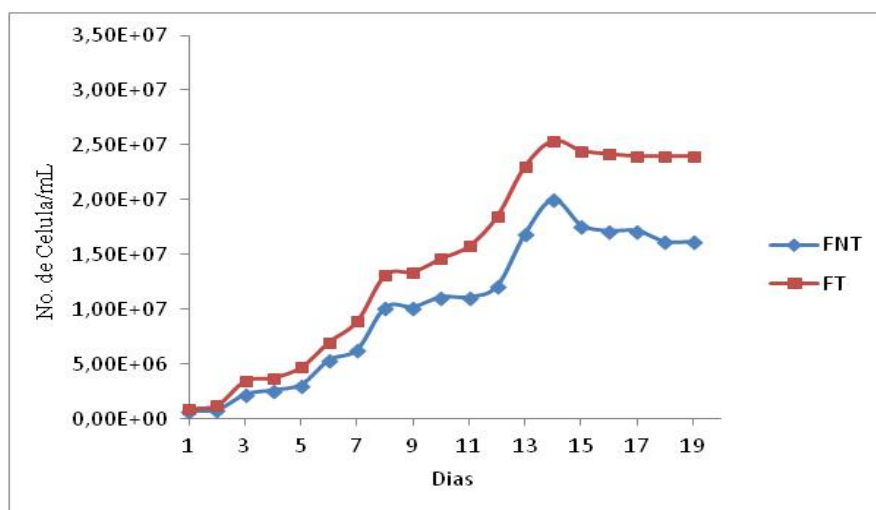


Figura 5- Curvas de crescimento.

O peso seco obtido da microalga *Monoraphidium sp.*, cultivada no sistema (NT), chegou a uma concentração de $1,22 \pm 0,50 \text{ g/L}$, já o cultivo no sistema (T) alcançou valores um pouco superiores de $1,74 \pm 0,72 \text{ g/L}$. Depois de concentradas as biomassas por centrifugação foi determinado seu teor de umidade. Os resultados foram de $89,76 \pm 0,07\%$ para a biomassa cultivada no sistema NT e $95,01 \pm 0,02\%$ para a biomassa cultivada no sistema T. Posteriormente, ambas as biomassas foram caracterizadas conforme descrito no item 2.5. Na Tab. 1 mostra-se a composição química da biomassa produzida em ambos os sistemas de cultivo.

Tabela 1- Composição química das biomassas da microalga.

% EM RELAÇÃO AO PESO SECO DE BIOMASSA			
	Lipídeos	Proteínas	Carboidratos
FNT	$30,58 \pm 0,05$	$43,84 \pm 0,01$	$25,58 \pm 0,05$
FT	$29,88 \pm 0,02$	$42,24 \pm 0,01$	$25,78 \pm 0,01$

A produção de biodiesel requer uma quantidade significativa de biomassa, conteúdo lipídico e ácido graxos de interesse de cadeia média (C16 e C18), constituindo o parâmetro mais direto e preciso para avaliar o potencial das microalgas como matéria-prima para a produção de biodiesel, uma vez que nem todos os compostos solúveis nos solventes orgânicos utilizados na extração podem ser convertidos em biodiesel. Nesse contexto os resultados obtidos em relação ao teor de Lipídios para ambas as biomassas do cultivo da microalga *Monoraphidium sp.*, mostraram as potencialidades desta microalga para a produção de biodiesel.

Nas Fig. 6 e Fig. 7 mostram-se a partir do óleo extraído na quantificação do teor de lipídios convertíveis em biodiesel e o perfil lipídico com a identificação dos ácidos graxos presentes, determinados por cromatografia gasosa. Os resultados mostram a seguinte distribuição de ácidos graxos saturados (SAFA), monoinsaturados (MUFA) e poliinsaturados (PUFA) em ambas as biomassas: teor de SAFA>PUFA>MUFA. Dentro dos SAFA's destaca-se o C16:0 (Palmítico) em relação aos PUFA's C18:2 (Linoléico) e C18:3 (Linolênico), já o MUFA que se apresentou-se em maior quantidade foi o C18:1 (Oléico).

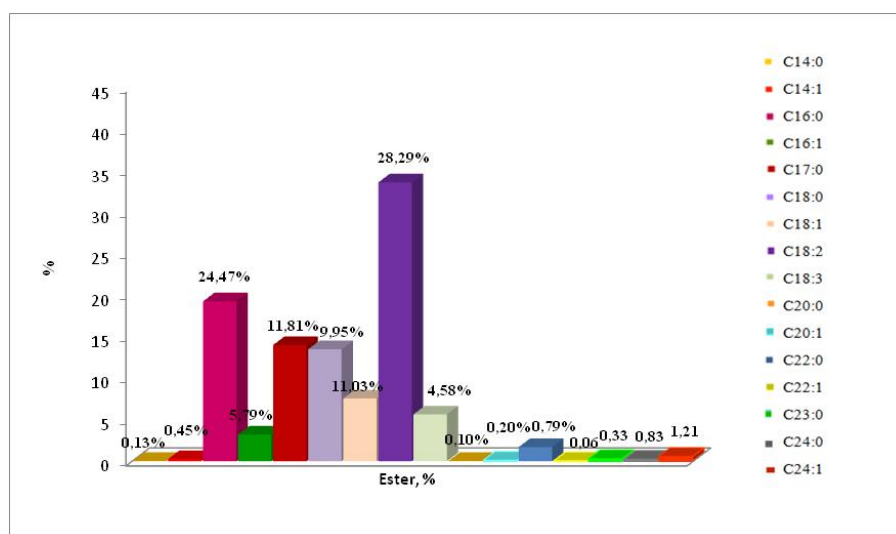


Figura 6- Perfil lipídico e Composição de ésteres metílicos (%) de biomassa *Monoraphidium* sp. cultivada no FNT. Identificação: C14:0(0,13%), C14:1(0,45%), C16:0 (24,47%), C16:1 (5,79%), C17:0(11,81), C18:0 (9,95%), C18:1 (11,03%), C18:2 (28,29%), C18:3 (4,58%), C20:0 (0,10%), C20:1 (0,20%), C22:0 (0,79%), C22:1 (0,06%), C23:0 (0,33%), C24:0 (0,83%), C24:1 (1,21%).

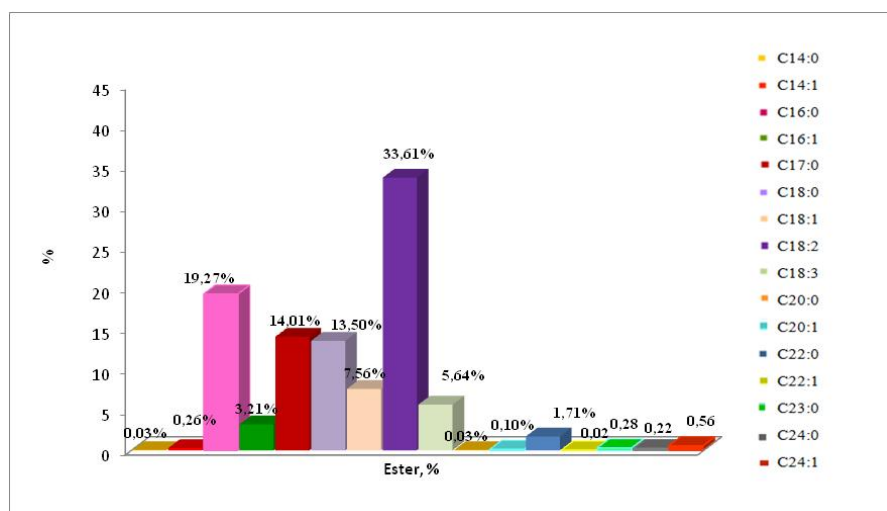


Figura 7- Perfil lipídico e Composição de ésteres metílicos (%) de biomassa *Monoraphidium* sp. cultivada no FT. Identificação: C14:0(0,03%), C14:1(0,26%), C16:0 (19,27%), C16:1 (3,21%), C17:0(14,01), C18:0 (13,50%), C18:1 (7,56%), C18:2 (33,61%), C18:3 (5,64%), C20:0 (0,03%), C20:1 (0,10%), C22:0 (1,71%), C22:1 (0,02%), C23:0 (0,28%), C24:0 (0,22%), C24:1 (0,56%).

4. CONCLUSÕES

Os resultados permitiram definir que é possível produzir microalgas dentro de tanques não transparentes, construídos de materiais resistentes e baratos, usando iluminação interna através de fibras óticas. A produtividade de biomassa deste fotobiorreactor é semelhante à produtividade obtida nos sistemas convencionais, construídos de materiais transparentes, mais caros e baixa durabilidade, iluminados diretamente por incidência da luz solar. A biomassa de *Monoraphidium* sp. produzida em ambos os sistemas de cultivo apresentou um teor de LCB de NT(30,58±0,05%) e T(29,88±0,02%) considerados ideais para a produção de biodiesel. O perfil lipídico também é satisfatório para a produção de biocombustíveis.

REFERÊNCIAS

- Association of Official Analytical Chemists – AOAC., 1995. Official methods of analysis. 16 ed. Arlington, v. 1.
- Bianchini, R., 2006. Microalgas, produtos e aplicações. Ciência Rural. Santa Maria nov/dez.
- Borowitzka Armin, M., & Moheimani Reza, N., 2013. Algae for Biofuels and Energy Developments in Applied Phycology 5. In M. A. Borowitzka (Ed.), Algae for biofuels and Energy (1st ed., p. Preface). Murdoch, WA, Australia: Springer Dordrecht Heidelberg New York London. <http://doi.org/10.1007/978-94-007-5479-9>
- Bligh, G. and Dyer, W., 1959. A Rapid Method for Total Lipid Extraction and Purification. Canadian Journal of Biochemistry and Physiology, 37, 911-917. <http://dx.doi.org/10.1139/059-099>.
- Bryant, D. A. (Ed.), 1994. Advances in Photosynthesis: The Molecular Biology of Cyanobacteria (Springer S). Springer, edition.
- FAO., 2012. Renewable biological systems for alternative sustainable energy production.
- Fernandes, B. D., Dragone, G. M., Teixeira, J. a, & Vicente, A. a., 2010. Light regime characterization in an airlift photobioreactor for production of microalgae with high starch content. Applied Biochemistry and Biotechnology, 161(1-8), 218–26. <http://doi.org/10.1007/s12010-009-8783-9>
- Igor V. R., 2015. Sistema de Monitoramento Remoto de um Rastreador Solar. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Eletrônica e de Computação da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Jaramillo, OA., 1999. A thermal study of optical fibres transmit. concentrated solar energy.
- Munisami J., 2008. “Novel Technique for Solar Power Illumination using Plastic Optical Fibres” Illumination Optics, edited by Tina E. Kidger, Stuart R. David. Proc. of SPIE Vol. 7103.
- Mccree, K. J., 1972. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. Agric. Meteorol., v. 10, p. 443–53.
- Myklesstad, S. & Haug, A., 1972. Production of carbohydrates by the marine Chaetoceros affinis var. O Willei (Gran) Hustedt. I. Effect of the concentration of nutrients in the culture medium. J. exp mar. Biol. Ecol (9):125-136.
- Pegallapati, A. K., Arudchelvam, Y., and Nirmalakhandan, N., 2012. Energy-efficient photobioreactor Configuration for Algal Biomass Production. Bioresource Technology, 126, 266–273. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.08.090>
- Richmond, A., 2004. *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology* (Blackwell). Iowa, USA: Blackwell Publishing company. Retrieved from www.blackwellpublishing.com
- Schenk, P. M, Thomas-Hall, S. S. R., Stephens, E., Marx, U. C, Mussgnug, J. H., Posten, C., Kruse, O. and Hankamer, B., 2008. Second Generation Biofuels: High-Efficiency Microalgae for Biodiesel Production. Bioenergy. Res.1:20–43.
- Schmid-Bondzynski-Ratzlaff., 2012. Extração e quantificação de lipídios em microalgas. Modificado pela Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Tecnologia de Alimentos.
- Singh, R. N., & Sharma, S., 2012. Development of suitable photobioreactor for algae production – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(4), 2347–2353. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.026>
- Slegers, P. M., 2014. Scenario studies for algae production. Wageningen University.
- Werneck, M. M., 1996. Transdutores e Interfaces. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos.
- Xue, S., Zhang, Q., Wu, X., Yan, C., & Cong, W., 2013. A novel photobioreactor structure using optical fibers as inner light source to fulfill flashing light effects of microalgae. Bioresource Technology, 138, 141–7. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.03.156>

**EVALUATION OF PERFORMANCE OF A NEW NON-TRANSPARENT PHOTOBIOREACTOR
PROTOTYPE FOR MICROALGAS CULTURE WITH INTERNAL ILLUMINATION THROUGH POFs
RECEIVING THE LIGHT OF LENSES MOUNTED IN A SOLAR TRACKING SYSTEM**

Abstract. *The high oil yield/hectare-year of microalgae, as described in the literature, motivated researchers worldwide to study them as raw material in biodiesel production. However, the high cost of production and maintenance of closed systems of cultivation on a large scale ("photobioreactor" type) and the problems of contamination and consequent lower productivity of open systems ("open ponds" type) have become important limitations in the evaluation of the sustainability of producing biodiesel from microalgae. Focused on the development of technologies that enable the cultivation of microalgae and the use and valorization of products, by-products and waste from this industry using the concept of biorefinery, in this work the performance of a cultivation system mounted on the premises of the Green Technologies Laboratory - GreenTec/EQ/UFRJ was evaluated. The prototype this formed by non-transparent photobioreactor with internal illumination through a beam of plastic optical fibers (POFs) that receive sunlight from lenses mounted in a solar tracking system. This study was carried out in a comparative way, evaluating in parallel the cellular growth of the species *Monoraphidium sp.* in the traditional culture system formed by a transparent window type photobioreactor. After was verified the production of microalgae biomass in both systems, through cell count and dry weight analyzes. Next, we assessed the potential of the microalgal biomass produced for biofuel production from the quantification of the lipid content convertible into biodiesel – LCB.*

Key words: *Plastic Optical Fibers, Solar Tracking, Microalgae*