

# Energia Solar e Eólica

Paulo Jayme Pereira Abdala  
(Organizador)

 **Atena**  
Editora

Ano 2019

**Paulo Jayme Pereira Abdala**  
(Organizador)

# Energia Solar e Eólica

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Karine de Lima

Revisão: Os autores

#### Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E56 Energia solar e eólica [recurso eletrônico] / Organizador Paulo Jayme Pereira Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Energia Solar e Eólica; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-066-7

DOI 10.22533/at.ed.667192201

1. Energia – Fontes alternativas. 2. Energia eólica. 3. Energia solar. I. Abdala, Paulo Jayme Pereira.

CDD 621.042

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

As chamadas energias renováveis, também conhecidas como energias alternativas ou ainda energias limpas são três denominações possíveis para qualquer forma de energia obtida por meio de fontes renováveis, e que não produzem grandes impactos ambientais negativos. Atualmente, com a grande preocupação mundial em compensar as emissões de CO<sub>2</sub>, o consumo deste tipo de energia tem sido o foco de governos e empresas em todo globo.

Neste sentido, o Brasil possui uma matriz energética bastante limpa, onde predomina o uso de hidrelétricas, apesar do crescimento do uso de termelétricas, as quais são abastecidas por combustível fóssil. No Brasil, o setor energético é responsável por grande parte das emissões de CO<sub>2</sub>, ficando atrás somente do setor agrícola que reapresenta a maior contribuição para o efeito estufa brasileiro.

A energia proveniente do sol é a alternativa renovável mais promissora para o futuro e, por este motivo tem recebido maior atenção e também mais investimentos. A radiação solar gratuita fornecida pelo sol pode ser captada por placas fotovoltaicas e ser posteriormente convertida em energia elétrica. Esses painéis usualmente estão localizados em construções, como indústrias e casas, o que proporciona impactos ambientais mínimos. Esse tipo de energia é uma das mais fáceis de ser implantada em larga escala. Além de beneficiar os consumidores com a redução na conta de energia elétrica reduzem as emissões de CO<sub>2</sub>.

Com relação à energia eólica, o Brasil faz parte do grupo dos dez países mais importantes do mundo para investimentos no setor. As emissões de CO<sub>2</sub> requeridas para operar esta fonte de energia alternativa são extremamente baixas e é uma opção atrativa para o país não ser dependente apenas das hidrelétricas. Os investimentos em parques eólicos vem se tornando uma ótima opção para neutralização de carbono emitidos por empresas, indústrias e etc.

Neste contexto, este EBOOK apresenta uma importante contribuição no sentido de atualizar os profissionais que trabalham no setor energético com informações extremamente relevantes. Ele está dividido em dois volumes contendo artigos práticos e teóricos importantes para quem deseja informações sobre o estado da arte acerca do assunto.

Paulo Jayme Pereira Abdala

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>10</b>
UMA REVISÃO SOBRE AS TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS ATUAIS	
Alexandre José Bühler Ivan Jorge Gabe Fernando Hoefling dos Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922011</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>26</b>
VALIDAÇÃO DE MODELOS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA O SEMIÁRIDO BRASILEIRO	
Bruna de Oliveira Busson Pedro Henrique Fonteles Dias Ivonne Montero Dupont Pedro Hassan Martins Campos Paulo Cesar Marques de Carvalho Edylla Andressa Queiroz Barroso	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922012</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>41</b>
A GERAÇÃO SOLAR DE CALOR DE PROCESSOS INDUSTRIAIS NA PRODUÇÃO DE GESSO BETA DO POLO GESSEIRO DO ARARIPE	
André Vitor de Albuquerque Santos Kenia Carvalho Mendes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922013</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>58</b>
A UTILIZAÇÃO DO SILÍCIO NACIONAL PARA A FABRICAÇÃO DE PLACAS SOLARES: UMA REFLEXÃO DAS DIFICULDADES TECNOLÓGICA E FINANCEIRA	
Felipe Souza Davies Gustavo Luiz Frisso Matheus Vinícius Brandão	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922014</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>72</b>
AEROPORTO DE VITÓRIA/ES: ESTUDO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	
Ana Luiza Guimarães Valory Sidney Schaeffer Warley Teixeira Guimarães	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922015</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>87</b>
ANÁLISE ENERGÉTICA E EXERGÉTICA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE SILÍCIO MONOCRISTALINO E POLICRISTALINO	
Suellen Caroline Silva Costa Janaína de Oliveira Castro Silva Cristiana Brasil Maia Antônia Sônia Alves Cardoso Diniz	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922016</b>	

<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>1043</b>
ANÁLISE HARMÔNICA NOS INVERSORES FOTOVOLTAICOS DE UMA MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA	
Alessandro Bogila Joel Rocha Pinto Thales Prini Franchi Thiago Prini Franchi	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922017</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>120</b>
ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO NO MODELO DE UMA ÁRVORE NA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA	
Bárbara de Luca De Franciscis Gouveia	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922018</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>139</b>
ANÁLISE FINANCEIRA DE SISTEMAS DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA FINANCIADOS EM PALMAS - TO	
Brunno Henrique Brito Maria Lúcia Feitosa Gomes de Melo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922019</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>152</b>
APLICAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM ESCOLAS MUNICIPAIS DA CIDADE DE CRUZ ALTA/RS: ANÁLISE DE IMPLANTAÇÃO E POTENCIAL DE ENERGIA GERADA	
Alessandra Haas Franciele Rohr Ísis Portolan dos Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220110</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>165</b>
APLICAÇÃO DO ALGORITMO DE RASTREAMENTO DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA (MPPT) EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
Augusto Hafemeister João Batista Dias Leonel Augusto Calliari Poltosi	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220111</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>181</b>
AR CONDICIONADO SOLAR – CICLO DE ADSORÇÃO	
Rafael de Oliveira Barreto Pollyanne de Oliveira Carvalho Malaquias Matheus de Mendonça Herzog Luciana Carvalho Penha Lucio Cesar de Souza Mesquita Elizabeth Marques Duarte Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220112</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>194</b>
AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO COLETOR SOLAR PLANO ACOPLADO EM SECADOR HÍBRIDO	
Raphaela Soares da Silva Camelo	

Ícaro da Silva Misquita  
Thais Andrade de Paula Lovisi  
Lizandra da Conceição Teixeira Gomes de Oliveira  
Juliana Lobo Paes  
Camila Lucas Guimarães

**DOI 10.22533/at.ed.66719220113**

**CAPÍTULO 14 ..... 212**

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 Díaz  
Yordanka Reyes Cruz  
Rene Gonzalez Carliz  
Fabio Toshio Dino  
Maurílio Novais da Paixão  
Donato A. Gomes Aranda  
Marina Galindo Chenard

**DOI 10.22533/at.ed.66719220114**

**CAPÍTULO 15 ..... 225**

AVALIAÇÃO DE WEBSITES BRASILEIROS PARA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE: PARÂMETROS DE ENTRADA E RESULTADOS

Marina Calcagnotto Mascarello  
Letícia Jenisch Rodrigues

**DOI 10.22533/at.ed.66719220115**

**CAPÍTULO 16 ..... 241**

AVALIAÇÕES DE CUSTO E DESEMPENHO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS TIPO SIGFI COM DIFERENTES PERÍODOS DE AUTONOMIA

Marta Maria de Almeida Olivieri  
Leonardo dos Santos Reis Vieira  
Marco Antonio Galdino  
Márcia da Rocha Ramos

**DOI 10.22533/at.ed.66719220116**

**CAPÍTULO 17 ..... 257**

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO CONSIDERANDO O EFEITO DA ESTEIRA AERODINÂMICA DE TURBINAS ATRAVÉS DO MODELO DO DISCO ATUADOR

Luiz Fernando Pezzi  
Adriane Prisco Petry

**DOI 10.22533/at.ed.66719220117**

**CAPÍTULO 18 ..... 272**

COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE DIFERENTES BASES DE DADOS DE IRRADIAÇÃO - ESTUDO DE CASO EM CURITIBA

Danilo Carvalho de Gouveia  
Jeanne Moro  
Muza Iwanow  
Rebecca Avença  
Jair Urbanetz Junior

**DOI 10.22533/at.ed.66719220118**

<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>284</b>
DESENVOLVIMENTO DE SUPERFÍCIES SUPERHIDROFÓBICAS COM EFEITO AUTOLIMPANTE PARA APLICAÇÕES EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
Lucélio Oliveira Lemos	
Magnum Augusto Moraes Lopes de Jesus	
Aline Geice Vitor Silva	
Angela de Mello Ferreira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220119</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>297</b>
DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA	
Stéphane Rodrigues da Silva	
Érica Tiemi Anabuki	
Luis Cláudio Gambôa Lopes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220120</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>312</b>
DO PETRÓLEO À ENERGIA FOTOVOLTAICA: A INSERÇÃO DO BRASIL NESTE NOVO MERCADO	
Emilia Ribeiro Gobbo	
Maria Antonia Tavares Fernandes da Silva	
Rosemarie Bröker Bone	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220121</b>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>330</b>
EFEITO DO SOMBREAMENTO EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
José Rafael Cápua Proveti	
Daniel José Custódio Coura	
Carlos Roberto Coutinho	
Adriano Fazolo Nardoto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220122</b>	
<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>342</b>
ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO ENERGÉTICA E DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO INTEGRADO AO COMPLEXO AQUÁTICO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA	
Helena Flávia Napolini	
Gustavo Xavier de Andrade Pinto	
Julio Boing Neto	
Ricardo Rütther	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220123</b>	
<b>CAPÍTULO 24</b> .....	<b>354</b>
ESTUDO DA SECAGEM INTERMITENTE DA MANGA UTILIZANDO SECADOR HÍBRIDO SOLAR-ELÉTRICO	
Camila Lucas Guimarães	
Juliana Lobo Paes	
Raphaela Soares da Silva Camelo	
Madelon Rodrigues Sá Braz	
Ícaro da Silva Misquita	
Lizandra da Conceição Teixeira Gomes de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220124</b>	

<b>CAPÍTULO 25</b> .....	<b>367</b>
ANÁLISE PRÉVIA DO VALOR DA DEPENDÊNCIA DO SOLO PARA AS ATIVIDADES AGRÍCOLAS COM A POSSÍVEL IMPLANTAÇÃO DO PARQUE EÓLICO DA SERRA, EM SÃO FRANCISCO DE PAULA, RS	
Antonio Robson Oliveira da Rosa Leonardo Beroldt Rafael Haag	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220125</b>	
<b>CAPÍTULO 26</b> .....	<b>379</b>
APLICAÇÃO DE UM DVR EM AEROGERADORES SCIG E DFIG PARA AUMENTO DE SUORTABILIDADE FRENTE A AFUNDAMENTOS DE TENSÃO	
Edmar Ferreira Cota Renato Amorim Torres Victor Flores Mendes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220126</b>	
<b>CAPÍTULO 27</b> .....	<b>398</b>
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO DE UMA REGIÃO COM TOPOGRAFIA COMPLEXA UTILIZANDO DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAL	
William Corrêa Radünz Alexandre Vagtinski de Paula Adriane Prisco Petry	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220127</b>	
<b>CAPÍTULO 28</b> .....	<b>410</b>
EDIFICAÇÃO DE ENERGIA POSITIVA: ANÁLISE DE GERAÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO ESCRITÓRIO VERDE DA UTFPR EM CURITIBA	
Larissa Barbosa Krasnhak Elis Almeida Medeiros de Mello Jair Urbanetz Junior Eloy Casagrande Junior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220128</b>	
<b>CAPÍTULO 29</b> .....	<b>422</b>
ESTAÇÃO METEOROLÓGICA WIFI DE BAIXO CUSTO BASEADO EM THINGSPEAK	
Renan Tavares Figueiredo Odélsia Leonor Sanchez de Alsina Diego Lopes Coriolano Eurípes Lopes de Almeida Neto Ladjane Coelho dos Santos Iraí Tadeu Ferreira de Resende Ana Claudia de Melo Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220129</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>431</b>

## 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 Díaz,**

**Yordanka Reyes Cruz,**

**Rene Gonzalez Carliz,**

**Fabio Toshio Dino,**

**Maurílio Novais da Paixão,**

**Donato A. Gomes Aranda**

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

**Marina Galindo Chenard**

Universidade Agrícola de Havana (UNAH), Havana.

**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 Óticas Plásticas, Rastreamento Solar, Microalgas

**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.

**KEYWORDS:** Plastic Optical Fibers, Solar Tracking, Microalgae

## 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 CO<sub>2</sub> 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 ópticas 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.

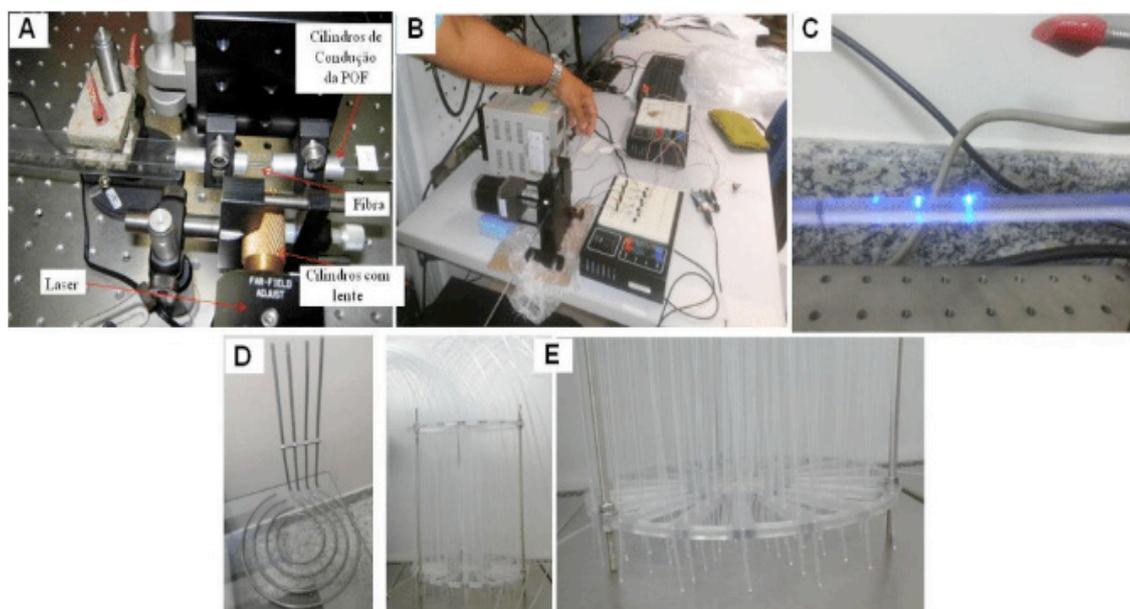
Por conseguinte, a potência óptica que geralmente é mensurada em  $Wm^{-2}$  ou  $Jm^{-2} s^{-1}$  por engenheiros eletricitistas, ou ainda, o fluxo luminoso medido em lumens por arquitetos para cálculo da luminosidade necessária a um determinado ambiente, para os profissionais que trabalham com plantas 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  $\mu mol \text{ fóton. } m^{-2} s^{-1}$  (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 óticas (POF), discos de distribuição das POF e sistema de aeração:  
Internamente no fotobiorreator foram utilizadas 126 fibras óticas 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 CO<sub>2</sub> - 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<sup>-1</sup> 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).

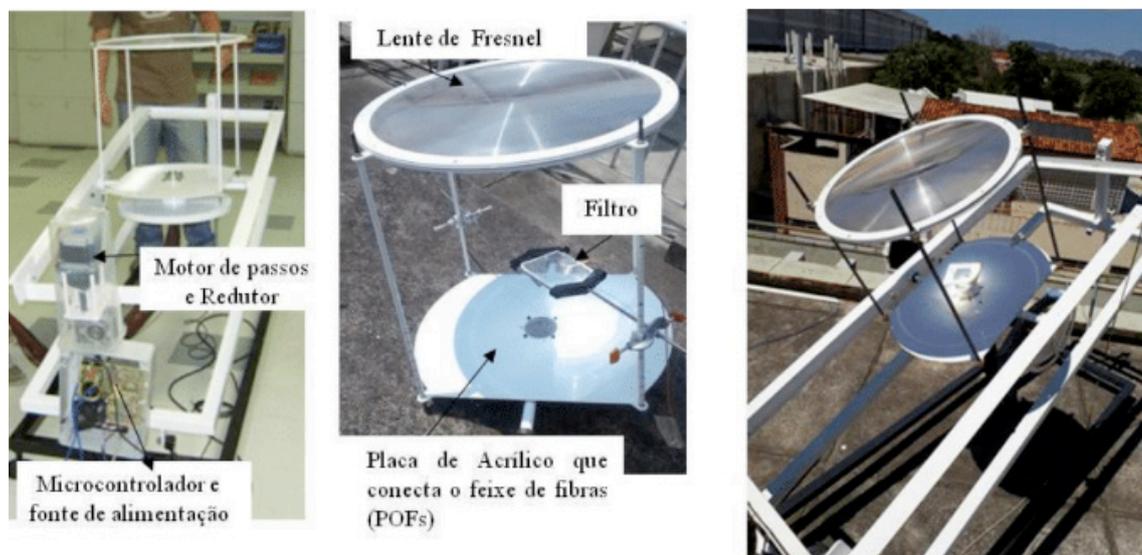


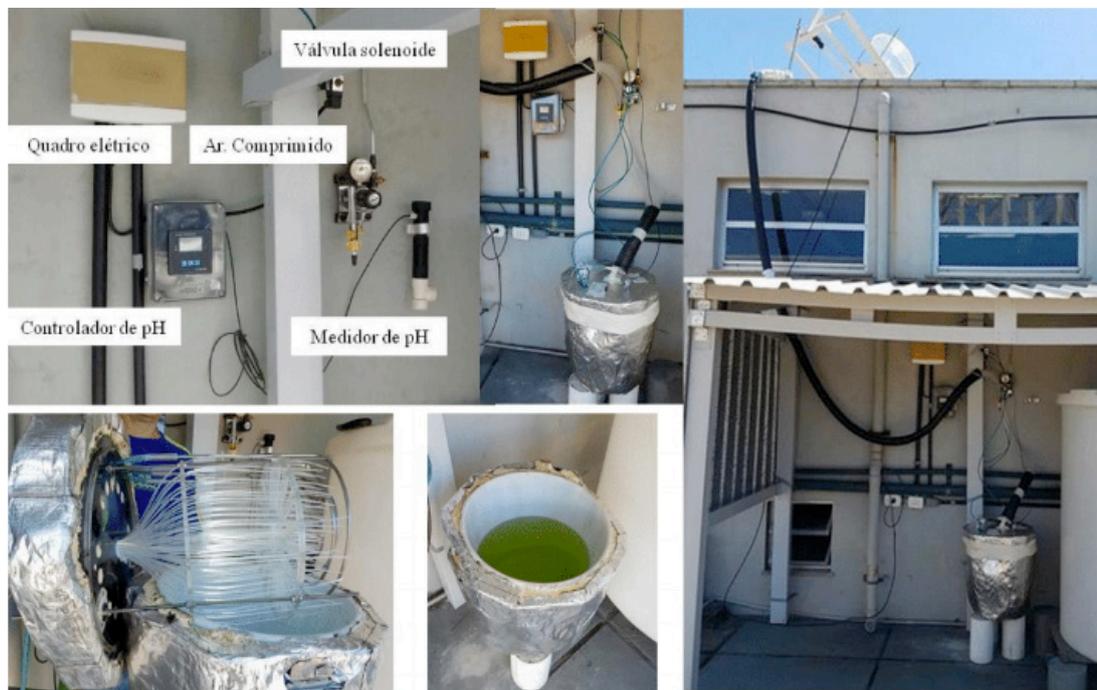
Figura 2- Sistema de Rastreamento Solar.

## 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<sup>-1</sup>, 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 CO<sub>2</sub> 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  $6,05 \times 10^6$  cel/mL<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup>).

## 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 (*mi*); filtraram-se 10mL (*Vf*) 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 (*mf*) 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.

$$X = \frac{(mf - mi) \times 1000 \times FD}{Vf} \quad (1)$$

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

$$TU = \frac{100 - TS}{TS} \quad (3)$$

Onde:

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

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

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

*Vf* = 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

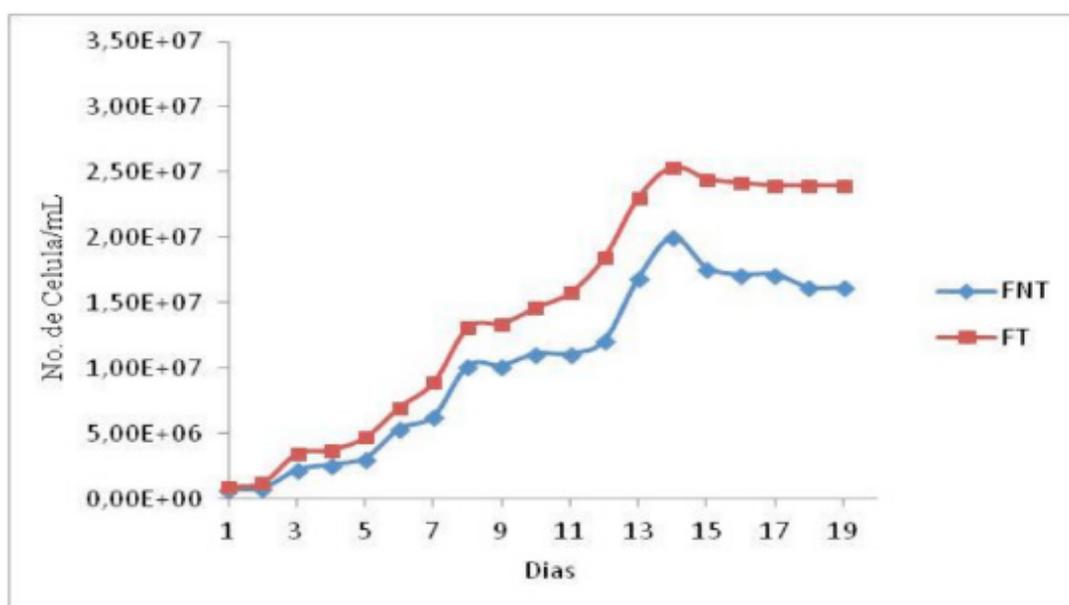
de carboidratos: segundo o método descrito por Myklestad e Haug (1972) e teor de proteínas totais: pelo método de Kjeldahl clássico modificado A.O.A.C, (1995). Identifica-se também o perfil dos ácidos graxos presentes na fração lipídica utilizando cromatografia gasosa.

### 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.

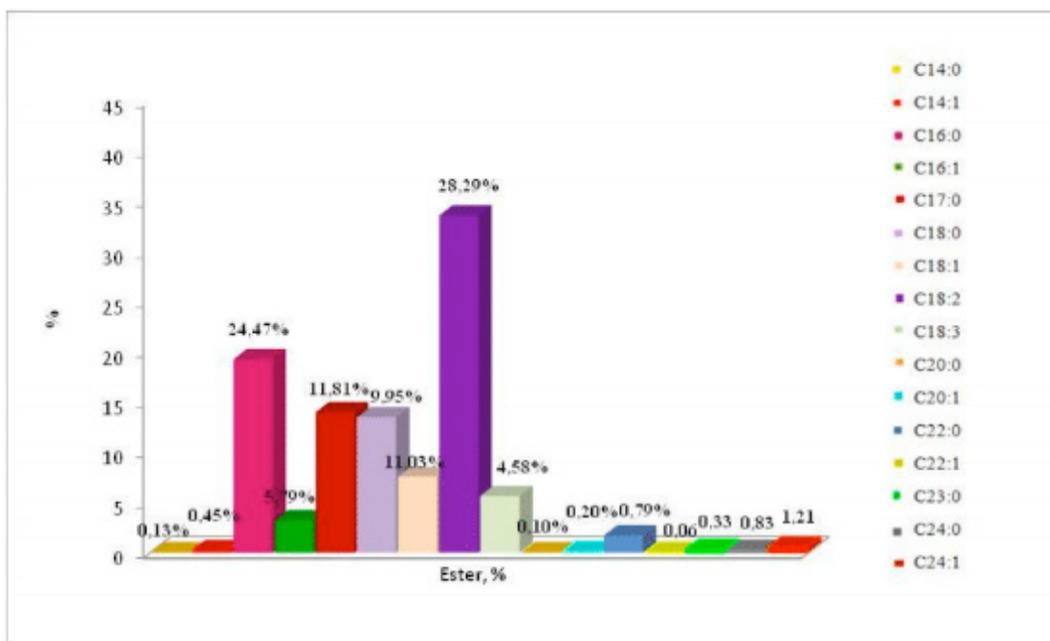
O peso seco obtido da microalga *Monoraphidium sp.*, cultivada no sistema (NT), chegou a uma concentração de  $1,22 \pm 0,50$  g/L,, já o cultivo no sistema (T) alcançou valores um pouco superiores de  $1,74 \pm 0,72$  g/L,. Depois de concentradas as biomassas por centrifugação foi determinado seu teor 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.

% 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	$29,88 \pm 0,02$	$42,24 \pm 0,01$	$25,78 \pm 0,01$

**Tabela 1-** Composição química das biomassas da microalga.

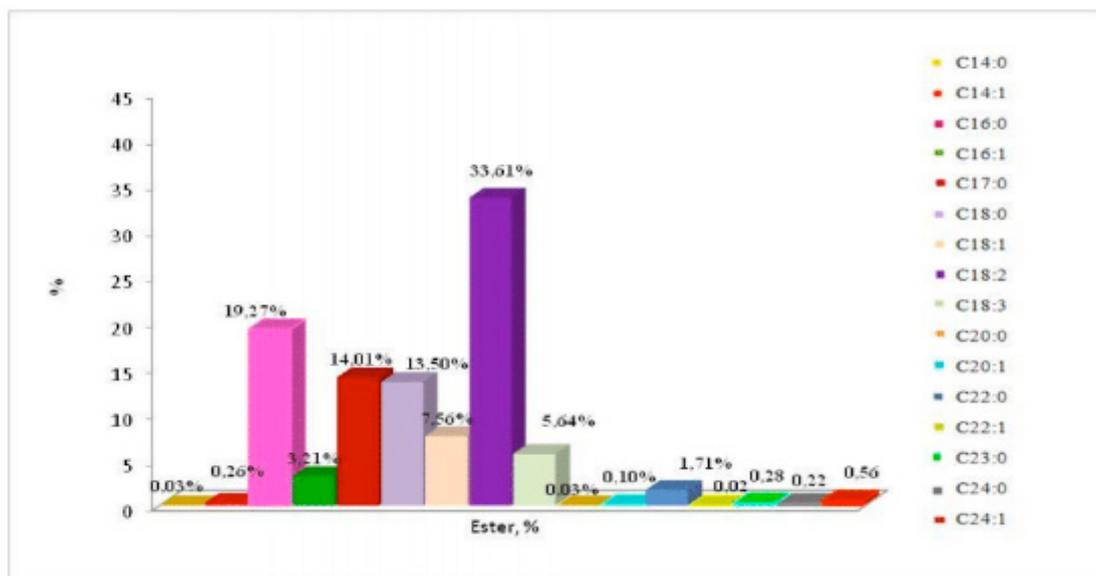
A produção de biodiesel requer uma quantidade significativa de biomassa, conteúdo lipídico e ácido graxos de interesse de cadeia média (C16 e C18), constituindo o parâmetro mais direto e preciso para avaliar o potencial das microalgas como matéria-prima para a produção de biodiesel, uma vez que nem todos 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 microalgas 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 fotobiorreator 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.

## 5 | 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 Bio- chemistry 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.

Myklestad, 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.

Richmond, A., 2004. **Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology**. Iowa, USA: Blackwell Publishing company. Retrieved from [www.blackwellpublishing.com](http://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>

## **SOBRE O ORGANIZADOR:**

**Paulo Jayme Pereira Abdala** possui graduação em Engenharia Eletrônica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - RJ (1988), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2005) e pós-graduação em Gestão de Aviação Civil pela Universidade de Brasília (2003). Entre 1989 e 2008 foi Chefe do Laboratório de Ruído Aeronáutico e Emissões de Motores do DAC/ANAC, tendo desenvolvido centenas de estudos sobre poluição sonora e atmosférica oriundas da atividade aeronáutica. Foi representante oficial do Brasil em diversos Fóruns Internacionais sobre meio ambiente promovidos pela Organização de Aviação Civil Internacional OACI - Agência da ONU. Foi Coordenador dos Cursos de Engenharia de Produção, Elétrica, Civil e Mecânica na UNOPAR/PG entre 2013 e 2018. Atualmente é Consultor Independente para a AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, OACI e INFRAERO. Tem experiência na área de Engenharia Eletrônica, atuando principalmente nos seguintes temas: acústica, meio ambiente e pedagogia (metodologia TRAINAIR/OACI).

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-066-7

