



**IPI** INSTITUTO  
NACIONAL  
DA PROPRIEDADE  
INDUSTRIAL  
Assinado  
Digitalmente

**REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL**  
MINISTÉRIO DA ECONOMIA  
**INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL**

CARTA PATENTE Nº BR 102016029485-1

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

**(21) Número do Depósito:** BR 102016029485-1

**(22) Data do Depósito:** 15/12/2016

**(43) Data da Publicação Nacional:** 26/02/2019

**(51) Classificação Internacional:** C12M 1/04; C12P 1/00; C12R 1/89.

**(54) Título:** FOTOBIOREATOR PARA CULTIVO DE MICRO-ORGANISMOS FOTOSSINTETIZANTES

**(73) Titular:** UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, Pessoa Jurídica. CGC/CPF: 75095679000149.  
Endereço: RUA JOÃO NEGRÃO, 280 2º ANDAR, CURITIBA, PR, BRASIL(BR), 80010-200, Brasileira

**(72) Inventor:** MIGUEL DANIEL NOSEDA; DIEGO DE OLIVEIRA CORRÊA; MARIA EUGÊNIA DUARTE NOSEDA; AMANDA CRISTINA DE OLIVEIRA; BIANKA SANAE NODA DOMINIZ; JENIFER MOTA RODRIGUES.

**Prazo de Validade:** 20 (vinte) anos contados a partir de 15/12/2016, observadas as condições legais

**Expedida em:** 28/12/2021

Assinado digitalmente por:

**Liane Elizabeth Caldeira Lage**

Diretora de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados



## **FOTOBIORREATOR PARA CULTIVO DE MICRO-ORGANISMOS FOTOSSINTETIZANTES**

### Campo da Invenção

[001]. A presente invenção está relacionada ao desenvolvimento de sistemas para cultivo de micro-organismos. Mais precisamente, refere-se a um fotobiorreator para cultivo de micro-organismos fotossintetizantes, em especial microalgas marinhas ou dulciaquícolas cultivadas em condições fotoautotróficas, onde se faz necessária a construção do reator com material translúcido para permitir a passagem de luz para o interior da câmara de cultivo.

### Fundamentos da Invenção e Estado da Técnica

[002]. O interesse em novas tecnologias que viabilizem a produção de biomassa de microalgas tem ganhado espaço no meio acadêmico e industrial na última década, sobretudo devido às inúmeras possibilidades de exploração dessa matéria-prima, quer seja para geração de biocombustíveis como o biodiesel, o etanol ou mesmo o hidrogênio, ou ainda pela composição da biomassa rica em proteínas, pigmentos e moléculas de interesse para as áreas de nutrição humana, suplementação animal e variados usos biotecnológicos. Além de sua utilização para fins comerciais, os cultivos de microalgas são reconhecidos como importantes ferramentas para o estudo de diversos fenômenos ecológicos, fisiológicos, bioquímicos e genéticos, sendo fundamentais para obtenção de informação relacionada à ciência básica e estudo destes micro-organismos.

[003]. Pesquisas com microalgas têm sido desenvolvidas para diferentes aplicações comerciais. Como micro-organismos fotossintetizantes, as microalgas contêm pigmentos que podem ser usados para fins alimentares e cosméticos, podem ainda ser usadas na indústria farmacêutica, uma vez que algumas espécies produzem

compostos bioativos, tais como os antioxidantes. Além disso, a biomassa das microalgas é empregada como suplemento nutricional para o consumo humano, devido à presença de proteínas, vitaminas, polissacarídeos, ácidos graxos poli-insaturados dentre outros nutrientes.

[004]. O reflexo da crescente atenção direcionada às microalgas é o surgimento de um novo nicho tecnológico que possui, como uma das maiores potencialidades a ser explorada, a possibilidade de integração entre sistemas de cultivo para produção de biomassa e o tratamento de emissões diversas, com a principal vantagem de aumentar a produtividade dos sistemas, aliada ao aspecto ambiental da redução de poluentes na atmosfera, como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ). Como seres fotossintetizantes, as microalgas possuem a capacidade de converter biologicamente o  $\text{CO}_2$  presente em emissões diversas em biomassa, apresentando como resultado desse processo a produção de oxigênio ( $\text{O}_2$ ).

[005]. Apesar do desenvolvimento de novas tecnologias para produção de biomassa de microalgas os cultivos ainda esbarram em limitações tecnológicas, especialmente relacionadas à manutenção e viabilidade das condições da cultura. A interação entre fatores físicos, químicos e biológicos influencia diretamente no cultivo de microalgas, podendo promover ou inibir seu crescimento. Os fatores biológicos estão associados ao metabolismo celular e a presença de contaminantes no sistema, enquanto os fatores físicos e químicos estão relacionados aos efeitos provocados pela luz, temperatura, pH e disponibilidade de fontes de carbono e outros nutrientes.

[006]. Dentre os fatores físicos, talvez o mais importante em cultivos fotoautotróficos seja a iluminação, uma vez que a intensidade luminosa está diretamente relacionada à etapa fotoquímica da

fotossíntese, quando ocorre a absorção da luz através de pigmentos como a clorofila, síntese de trifosfato de adenosina (ATP) e a fotólise da água. Em termos gerais, a fotossíntese pode ser definida como o processo pelo qual a energia luminosa possibilita a síntese de carboidratos e liberação de oxigênio a partir de dióxido de carbono e água, sendo que a quantidade de luz recebida pelas células em cultivo está diretamente relacionada ao crescimento das culturas. Entretanto, o excesso de luz pode ocasionar o fenômeno de fotoinibição, um complexo conjunto de processos moleculares entendido como a inibição da fotossíntese pelo excesso de luz. Devido à importância da energia luminosa no crescimento de micro-organismos fotossintetizantes, os fotobiorreatores necessitam ser construídos com materiais translúcidos, a fim de maximizar a captação de luz pelas células em cultivo, bem como possuem sistemas de iluminação artificial para viabilizar a realização de cultivos em condições de ausência de iluminação natural.

[007]. Outro fator físico relevante para a máxima geração de biomassa é a aeração. Em cultivos densos ou em grandes volumes é necessária a utilização de sistemas de aeração que proporcionem o borbulhamento de ar ou mistura de gases no interior dos cultivos. Esse processo de mistura do meio possibilita às células melhor aproveitamento da luz, proporciona a homogeneização de nutrientes e favorece a troca gasosa, como consequência acaba por aumentar a produtividade de biomassa. Um fator que possui fundamental importância para o crescimento das microalgas em cultivo é a concentração de CO<sub>2</sub> injetado nos sistemas, sendo comumente empregado o uso de fontes diversas para aumentar a produção de biomassa.

[008]. Na literatura científica são relatados resultados de produção de biomassa de microalgas do gênero *Scenedesmus* em

cultivo autotrófico com adição de CO<sub>2</sub> em concentrações variando entre 2 e 20% alcançando resultados de geração de biomassa significativamente superiores ao uso do ar ambiente, indicando que a adição de CO<sub>2</sub> aos cultivos possibilita o aumento da produtividade. Além de dados da utilização de CO<sub>2</sub> puro aos cultivos, é possível encontrar resultados da adição de emissões diversas, desde a utilização de gases originários da combustão de gasolina, diesel, carvão ou resíduos sólidos. Esses resultados indicam que além de aumentar a produtividade de biomassa, há redução dos teores de CO<sub>2</sub> presentes nos gases, bem como a redução dos teores de NO<sub>x</sub> presente nessas emissões, o que é de grande relevância do ponto de vista ambiental.

[009]. No que diz respeito aos sistemas para cultivo de micro-organismos fotossintetizantes como as microalgas, os mais empregados são do tipo tanque de corrida, que consistem de um lago artificial de baixa profundidade, com o objetivo de obter maior área de exposição à luz solar, e de um sistema de pás, que é responsável pela agitação e homogeneização do meio. Apesar de serem amplamente difundidos na produção em larga escala, em função do seu baixo custo de construção e operação simplificada, o modelo de lagoas apresenta algumas deficiências na manutenção da homogeneidade das condições de cultivo, uma vez que a exposição ao ambiente possibilita a contaminação com agentes externos, aumenta as taxas de evaporação, resulta em maior amplitude térmica decorrente das variações ambientais e cria a necessidade de uma grande área para sua construção e operação.

[010]. Diante das características dos cultivos, a utilização de fotobiorreatores para o cultivo de microalgas possui algumas vantagens, dentre as quais é possível destacar o maior controle das condições bióticas e abióticas, uma vez que o sistema é fechado e não há contato com o ambiente externo, reduzindo a probabilidade de

contaminação por organismos diferentes dos cultivados. A utilização de fotobiorreatores possui ainda a vantagem de ocupar uma área menor do que a dos sistemas abertos e, portanto, não há competição pelo uso de áreas agriculturáveis que poderiam ser utilizadas para produção de alimentos, quando comparados uma escala de produção industrial. Fotobiorreatores possuem ainda elevada eficiência na produção de biomassa quando utilizada injeção de CO<sub>2</sub> no meio, potencializando o crescimento das microalgas. Atualmente existe uma grande variedade de modelos de fotobiorreatores para o cultivo de microalgas, relatados no estado da arte, destinados ao desenvolvimento de culturas em escala laboratorial para investigação científica, ou ainda destinados à produção massiva de biomassa. No entanto, as tecnologias demonstradas nos documentos não resolvem de forma eficaz os problemas mencionados acima. A seguir são descritos modelos de fotobiorreatores propostos para o cultivo de microalgas e suas particularidades de construção e operação.

[011]. O invento BR112013028481 descreve um fotobiorreator destinado à cultura em regime contínuo de micro-organismos fotossintéticos, preferencialmente microalgas, compreendendo pelo menos um compartimento de cultura destinado a conter o meio de cultura dos micro-organismos, e pelo menos uma fonte luminosa externa ao compartimento de cultura, caracterizado pelo fato de compreender, além disso, pelo menos um elemento difusor de luz cilíndrico ou prismático colocado no compartimento de cultura de forma a captar os fótons emitidos pela fonte luminosa e os restituí-los no meio de cultura por sua superfície lateral. Apesar de aumentar a eficiência de captação de fótons pelas células através da reflexão da luz no sistema, a disposição dos refletores tende a ocasionar o aumento da temperatura dos cultivos, uma vez que limita a transferência de calor

entre a superfície do reator e o meio externo o que pode reduzir ou mesmo impossibilitar o crescimento das microalgas.

[012]. O inventoPI11000925refere-se a um fotobiorreator fechado, tipo tanque, que utiliza energia luminosa solar e/ou artificial inserida na câmara de cultura. O equipamento é caracterizado por compreender uma câmara de cultura, com ao menos uma fonte de luz posicionada em seu interior; um compartimento estanque; paredes transparentes ou translúcidas; uma placa inferior com superfície interna espelhada; baterias para o abastecimento energético e dispositivo de processamento. A localização da fonte luminosa imersa no interior do cultivo pode resultar em distribuição mais uniforme da luminosidade, entretanto, cabe ressaltar que a introdução de objetos no interior da câmara de cultivo pode ocasionar a formação de biofilme em suas paredes, em função da deposição de partículas durante a homogeneização do meio. Ademais, a presença do sistema de iluminação submersa cria obstáculos relacionados a manutenção dos sistemas elétricos do fotobiorreator, podendo ainda ocasionar a contaminação dos cultivos através da introdução de organismos distintos aos desejados.

[013]. A invenção BR112012002121descreve um reator para a cultura de organismos fotossintéticos ou células de plantas, compreendendo uma câmara de cultura feita de material transparente para proporcionar radiação fotossinteticamente ativa e uma estrutura rígida consistindo de uma base e colunas verticais, que apresentam uma extremidade (inferior) inserida diretamente dentro da base contínua, enquanto as extremidades superiores são conectadas em partes unidas por meio de uma única barra de conexão horizontal. O reator proposto é caracterizado por não possuir sistema de fornecimento de gases às células em cultivo. A ausência de um sistema de aeração pode inviabilizar o crescimento dos cultivos pela carência

de CO<sub>2</sub> necessário para a realização da fotossíntese e pela precipitação das células em suspensão.

[014]. A invenção PI0822491 descreve um fotobiorreator que compreende uma câmara para cultura de micro-organismos fotossintetizantes e um distribuidor claro. Cada distribuidor claro tem uma superfície arranjada para receber a luz e outra superfície disposta para emitir pelo menos parte da luz recebida. O distribuidor é submerso parcialmente no meio aquoso que compreende a cultura fotossintética. A luz pode ser distribuída eficientemente no líquido por meios relativamente simples e baratos. O sistema distribuidor proposto consiste de uma estrutura cônica de plástico transparente flutuante na superfície do meio aquoso, o que pode acarretar contaminação por agentes externos ao cultivo, uma vez que há contato com o meio circundante.

[015]. O pedido de patenteBR112012005146 apresenta um fotobiorreator compreendendo um receptáculo com uma primeira e segunda superfície lateral externa, em que o receptáculo é formado de um material flexível, impermeável e transparente, disposto em uma cremalheira dotada de elementos de suporte alongados substancialmente verticais, dispostos pelo menos em uma fileira horizontal, nos quais os elementos de suporte encostam, de modo alternado contra as primeiras e segundas superfícies laterais externas do receptáculo. De modo simplificado, o sistema de cultivo consiste em um compartimento de material flexível e transparente fixado entre suportes verticais de modo alternado, formando uma configuração em zigue-zague. Apesar de possuir baixo custo de construção, a ausência de um sistema de fornecimento de gases acaba por limitar o crescimento do cultivo, somado ao fato da ausência de agitação/homogeneização favorecer a formação de biofilme nas paredes do receptáculo proposto.

[016]. A invenção PI0915304 descreve um fotobiorreator flexível de baixo custo com formato de um corpo transparente flexível alongado adaptado para ser posicionado em corpo d'água, um sistema de distribuição de gás alongado no sentido longitudinal do reator responsável por fornecer nutrientes através da injeção de uma mistura de gases na suspensão líquida, um sistema de preenchimento/drenagem para controle do volume do cultivo e pelo menos uma abertura para evacuação dos gases gerados. Apesar de possuir baixo custo de construção, a utilização de materiais flexíveis como polímeros plásticos para confecção de um fotobiorreator pode ocasionar o extravasamento do cultivo em decorrência de perfurações ou fissuras na estrutura, o que demanda especial atenção em sistemas concebidos para operar na superfície de corpos d'água, a fim de evitar a perda do volume de cultivo e a possível contaminação do meio no qual o fotobiorreator está situado.

[017]. A invenção PI0907376 descreve um fotobiorreator fechado para cultivo de microalgas produzido em polímero plástico transparente e disposto horizontalmente sobre um corpo d'água artificial, tal como um lago ou tanque, a fim de promover a sustentação necessária ao sistema. Apesar da flutuação do conjunto garantida pela superfície da água, a construção fotobiorreatores em plástico flexível pode ocasionar o extravasamento do volume em cultivo para o meio externo, em função da degradação da superfície plástica exposta às variações ambientais. Dessa forma, a redução dos custos alcançada pela utilização de materiais com baixo custo de mercado pode se apresentar como entrave operacional do sistema, ocasionando perdas no processo.

[018]. O invento US20130230904 descreve um fotobiorreator de placa plana com superfícies laterais modificadas de modo a gerar regiões expostas à luminosidade e regiões sombreadas. Essa

característica de luminosidade variável é obtida através de alterações na construção das superfícies do fotobiorreator, com adição de estruturas côncavas e/ou convexas com a finalidade de direcionar o feixe luminoso, ou ainda, introduzindo materiais opacos na estrutura. Cabe ressaltar que as características construtivas descritas no documento acima referenciado podem resultar na formação de áreas de maior concentração de biomassa nas superfícies internas da câmara de cultivo, levando à formação de biofilme ocasionado pelo fototropismo das células em cultura, e em última análise, conduzir a um processo de obstrução à passagem da luz para o interior dos cultivos.

[019]. O pedido AU2012203478 descreve um fotobiorreator para o cultivo de microalgas que consiste em um compartimento de paredes transparentes para contenção das células em meio líquido, com separações longitudinais formando câmaras paralelas com as extremidades inferior e superior vedadas por canais que permitem a comunicação entre as seções individuais. O sistema de cultivo descrito permite sua construção modular, que pode ser realizada repetindo as unidades individuais para aumentar o volume final de operação, promovendo a passagem de meio entre as unidades. A geometria do fotobiorreator como apresentada pode resultar em câmaras com seção transversal insuficiente para correto escoamento do meio, bem como a homogeneização das células em cultivo, ocasionando o surgimento de biofilme nas paredes do fotobiorreator, reduzindo as taxas de crescimento e produção de biomassa.

[020]. A patente CN103025861 apresenta um sistema fotobiorreator e sua manufatura, incluindo a construção de uma unidade isolada ou a ligação de unidades individuais formando um sistema em série, garantindo característica modular ao sistema. Cada unidade possui uma superfície frontal e traseira construídas em material transparente; duas superfícies laterais construídas com materiais

diversos, transparentes ou não, com armação metálica em formato de “U” que garante sustentação à estrutura. Apesar de possuir as superfícies construídas em material transparente para possibilitar a passagem de luz às células em cultivo, a inexistência de um sistema de iluminação artificial limita a utilização do fotobiorreator a condições de luminosidade natural, estando sujeito às variações ambientais do local de sua instalação.

[021]. O documento WO2014115924 descreve um fotobiorreator de placa plana com os painéis acoplados uns aos outros para formar uma estrutura de maior volume para permitir o cultivo de microalgas em maior escala. Cada unidade contém uma câmara de cultivo em material transparente; um sistema de injeção de gases no sentido perpendicular ao eixo longitudinal do reator; e ao menos uma estrutura divisória interna para favorecer a formação de um turbilhão e promover a mistura do meio. Ainda que a introdução de uma estrutura no interior do reator possibilite a homogeneização do meio, a existência de uma barreira física pode ocasionar redução na velocidade de mistura, favorecendo a formação de biofilme nas áreas superficiais com menor velocidade de escoamento o fluido.

[022]. Embora os documentos citados tratem de fotobiorreatores para cultivo de micro-organismos fotossintetizantes, dentre estes não há nenhum modelo que descreva um sistema que reúna em suas principais características construtivas as vantagens apresentadas pelo fotobiorreator proposto no presente documento. Dentre estas características, há a existência de um sistema que permite a máxima absorção de energia luminosa, pela presença de fontes de iluminação com lâmpadas LED (*light emitting diode*) dispostas sobre placas planas removíveis, de forma a permitir uma maior eficiência no aproveitamento da incidência luminosa. Outro fator de destaque é a existência de um sistema de aeração que permite máxima solubilização

e transferência de massa dos gases injetados com baixo consumo, e que atua também na homogeneização do meio aquoso, reduzindo os possíveis efeitos causados pela precipitação das células e formação de biofilme nas superfícies internas da câmara de cultivo. Cabe ressaltar ainda a estanqueidade do sistema, o que garante a manutenção das condições da cultura livre da introdução de outros micro-organismos diferentes daqueles de interesse. Por fim, o desenho construtivo do fotobiorreator proposto no presente documento permite a manutenção da temperatura no interior do sistema, garantindo condições ideais para o crescimento dos micro-organismos e máxima eficiência na produção de biomassa.

#### Descrição da Abordagem do Problema Técnico

[023]. Com base nas características construtivas e operacionais dos diferentes modelos de fotobiorreatores encontrados no estado da técnica, cabe ressaltar que o fotobiorreator para cultivo de micro-organismos fotossintetizantes proposto neste documento reúne diferentes características operacionais não reunidas em outro fotobiorreator do estado da técnica, permitindo, entre outras coisas, uma utilização mais eficiente e energeticamente mais econômica para o cultivo de micro-organismos. Além disso, a construção e montagem dos circuitos luminosos e conexões são muito simplificados, reduzindo os custos de construção, instalação e manutenção.

[024]. Deste modo, o objeto desta invenção apresenta elevada eficiência no aproveitamento da incidência luminosa, uma vez que sua construção é realizada em material translúcido e dispõe ainda de duas placas com uma pluralidade de lâmpadas LED (*light emitting diode*) em suas laterais para fornecimento de luz com intensidade variável e operação em fotoperíodo, quando utilizado em ambiente fechado, mas não se limitando a essa condição e permitindo o

desenvolvimento de cultivos em condições de luminosidade natural. Adicionalmente, o volume de trabalho é variável, compatível desde escalas laboratoriais até produção em escalas piloto, possibilitando assim grandes quantidades de produção de biomassa e capacidade de instrumentação para otimização das condições de cultivo.

[025]. O fotobiorreator, objeto desta invenção, exige baixo consumo de ar comprimido e/ou mistura de gases injetados, resultado da existência de um sistema de aeração que apresenta elevada eficiência na transferência de massa entre as fases gasosas e líquida em função da porosidade do dispersor de ar, o que permite a redução de custos operacionais, aliado ao fato de não ser necessário o emprego de sistemas auxiliares para circulação do meio, como bombas centrífugas, que atuam negativamente nas células em cultivo provocando a morte celular por tensões de cisalhamento no interior da bomba. A manutenção da temperatura é constante durante o período de crescimento dos micro-organismos em função da transferência de calor por convecção dos gases na porção superior do sistema. A disposição dos seus componentes foi projetada de modo a facilitar as operações de limpeza e esterilização do sistema e ausência de contaminação dos cultivos com agentes externos, além de possibilitar a recuperação da biomassa por estratégias de coagulação/floculação *in situ*, dispensando transferência de volume para outros sistemas.

[026]. O fotobiorreator proposto possibilita também a instrumentação do sistema, permitindo a instalação de sensores para monitoramento das condições de cultivo, como pH, temperatura, gases dissolvidos, dentre outros. O fotobiorreator, objeto desta invenção, permite ainda a instalação de sensores para o desenvolvimento de cultivos em modo contínuo, através da diluição constante do sistema e produção continuada de biomassa.

[027]. Cabe ressaltar que o fotobiorreator proposto no presente documento pode ser utilizado como um sistema para tratamento de efluentes diversos, uma vez que os micro-organismos fotossintetizantes em cultivo atuam na remoção da matéria orgânica presente em efluentes líquidos, utilizando compostos contendo nitrogênio, fósforo, carbono orgânico, dentre outros, como fonte de nutrientes para crescimento e produção de biomassa. De maneira similar, a utilização de emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis ou resíduos sólidos, resulta na redução dos teores de dióxido de carbono e outros gases causadores do efeito estufa presentes na mistura de gases empregada. Assim, o fotobiorreator, objeto desta invenção, consiste também em um sistema eficaz para tratamento de efluentes e emissões industriais.

#### Descrição Detalhada da Invenção

[028]. Com o objetivo de possibilitar uma correta compreensão da construção e funcionamento do sistema proposto serão apresentadas a seguir as características detalhadas do fotobiorreator.

[029]. A Figura 1 apresenta um diagrama esquemático do fotobiorreator de placa plana com estrutura de hexaedro regular de base retangular construída em material translúcido, como vidro, acrílico, plástico, PVC transparente, mas não se limitando a esses materiais translúcidos, com o objetivo de promover a passagem de luz necessária ao desenvolvimento dos micro-organismos fotossintetizantes em cultivo. Na Figura 1 são destacadas as dimensões do equipamento, com o comprimento (X) e a altura(Y) variando igualmente suas dimensões, enquanto a largura (Z) deve representar um fator de 0,25 dos eixos X e Y para manter a proporcionalidade volumétrica do reator e o correto escalonamento da construção. Tais características permitem a

construção de um equipamento com volume operacional variável, possibilitando a produção de biomassa desde uma escala laboratorial até uma escala de produção piloto. Na Figura 1 ainda é possível observar as placas removíveis de iluminação compreendendo uma pluralidade de lâmpadas LED (*light emitting diode*) fixadas nas laterais de maior área da estrutura do fotobiorreator (A), de modo a possibilitar máxima exposição à luz. A existência dessas placas se faz necessária para a realização de cultivos fotoautotróficos em ambientes com ausência de luz natural. Ambas as placas laterais são mantidas na estrutura do fotobiorreator por parafusos que garantem sua fixação, além de delimitarem a proximidade da fonte luminosa das paredes laterais, garantindo a passagem de ar reduzindo a elevação da temperatura nas interfaces. Cada placa é constituída de várias fileiras paralelas de lâmpadas e de seus respectivos interruptores (B), que permitem o acionamento individual dos conjuntos de lâmpadas e o estabelecimento de regimes de fotoperíodo.

[030]. A Figura 2 apresenta o fotobiorreator com uma das placas de iluminação removida, para melhor visualização do interior do sistema, e dos parafusos responsáveis pela fixação das placas na estrutura do reator (C). A Figura 2 ilustra ainda as peças removíveis que permitem acesso ao interior do reator pela face superior, representadas deslocadas no eixo longitudinal para melhor compreensão, com as tubulações para liberação dos gases gerados no interior do sistema (D), que possuem a função inicial de possibilitar o fluxo de gases gerados no interior do fotobiorreator e evitar o acúmulo de O<sub>2</sub> gerado durante a fotossíntese, bem como atuar na regulação da temperatura no interior do sistema.

[031]. A Figura 3 ilustra o sistema fotobiorreator na sua configuração que permite a realização de cultivos com luminosidade natural, ou seja, sem as placas de iluminação nas laterais. Uma vez que

a estrutura é construída em material translúcido, o sistema proposto pode ser utilizado para desenvolvimento de cultivos utilizando apenas iluminação natural, dispensando a instalação das placas iluminação. Na Figura 3 ainda é possível observar a válvula posicionada na porção inferior do fotobiorreator (E), que é utilizada para coleta de amostras das culturas e recuperação da biomassa produzida, bem como o sistema de aeração (F) responsável por promover a homogeneização do sistema e fornecer CO<sub>2</sub> necessário ao crescimento dos microorganismos.

[032] Na Figura 4 é apresentado em maior detalhe o sistema de aeração do fotobiorreator proposto (F). Este aparato consiste em um medidor de vazão (G) para controle do fluxo de ar e/ou mistura de gases injetados nos cultivos; de uma tubulação plástica para condução dos gases; e de um dispersor cerâmico de gases (H) com porosidade em escala micrométrica, responsável por reduzir o diâmetro das bolhas injetadas e maximizar as trocas gasosas no interior do reator. Uma vez que o sistema não utiliza bombas para circulação da cultura em meio aquoso, a homogeneização é realizada pela injeção dos gases, promovendo a correta agitação e mistura do meio.

## REIVINDICAÇÕES

1. Fotobiorreator para cultivo de micro-organismos fotossintetizantes, **caracterizado por** compreender uma câmara de cultura fechada com estrutura de hexaedro regular de base retangular constituída por material transparente ou translúcido, com comprimento "X" e altura "Y" da câmara de cultura podendo variar igualmente entre suas dimensões (1); sistemas de injeção e dispersão de gases (3-F, 4-F); duas placas de iluminação removíveis (1-A); tubulações plásticas para liberação dos gases na parte superior da câmara (2-D); e uma válvula para coleta de amostras e biomassa na parte inferior (3-E).
2. Fotobiorreator para cultivo de micro-organismos fotossintetizantes, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** a largura "Z" da câmara de cultura ser um fator de 0,25 dos eixos "X" e "Y" (1).
3. Fotobiorreator para cultivo de micro-organismos fotossintetizantes, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** as placas removíveis serem fixadas nas laterais de maior área superficial do fotobiorreator (1-A).
4. Fotobiorreator para cultivo de micro-organismos fotossintetizantes, de acordo com a reivindicação 03, **caracterizado por** as placas removíveis de iluminação compreenderem uma pluralidade de lâmpadas LED (*Lighting Emitting Diode*) que transcorrem paralelas às paredes do reator.
5. Fotobiorreator para cultivo de micro-organismos fotossintetizantes, de acordo com a reivindicação 04, **caracterizado por** as lâmpadas LED (*Lighting Emitting Diode*) serem acionadas por meio de controles individuais (1-B).
6. Fotobiorreator para cultivo de micro-organismos fotossintetizantes, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** sistema de injeção de gases (4-F) consistir em duas tubulações plásticas paralelas interligadas na extremidade superior a um medidor de vazão (4-G) e na

extremidade inferior a um dispersor cerâmico com porosidade em escala micrométrica (4-H).

7. Fotobiorreator para cultivo de micro-organismos fotossintetizantes, de acordo com a reivindicação 06, **caracterizado por** os dispersores cerâmicos (4-H) estarem dispostos de maneira oposta um ao outro na porção inferior do interior do reator de forma perpendicular às tubulações plásticas.

8. Fotobiorreator para cultivo de micro-organismos fotossintetizantes, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** permitir a instalação de sensores para medição de temperatura, pH, gases dissolvidos, densidade celular, ou operação de cultivos em modo contínuo.

9. Fotobiorreator para cultivo de micro-organismos fotossintetizantes, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** permitir a recuperação da biomassa produzida por estratégias de floculação *in situ* e coleta pela válvula inferior (3-E).

## DESENHOS

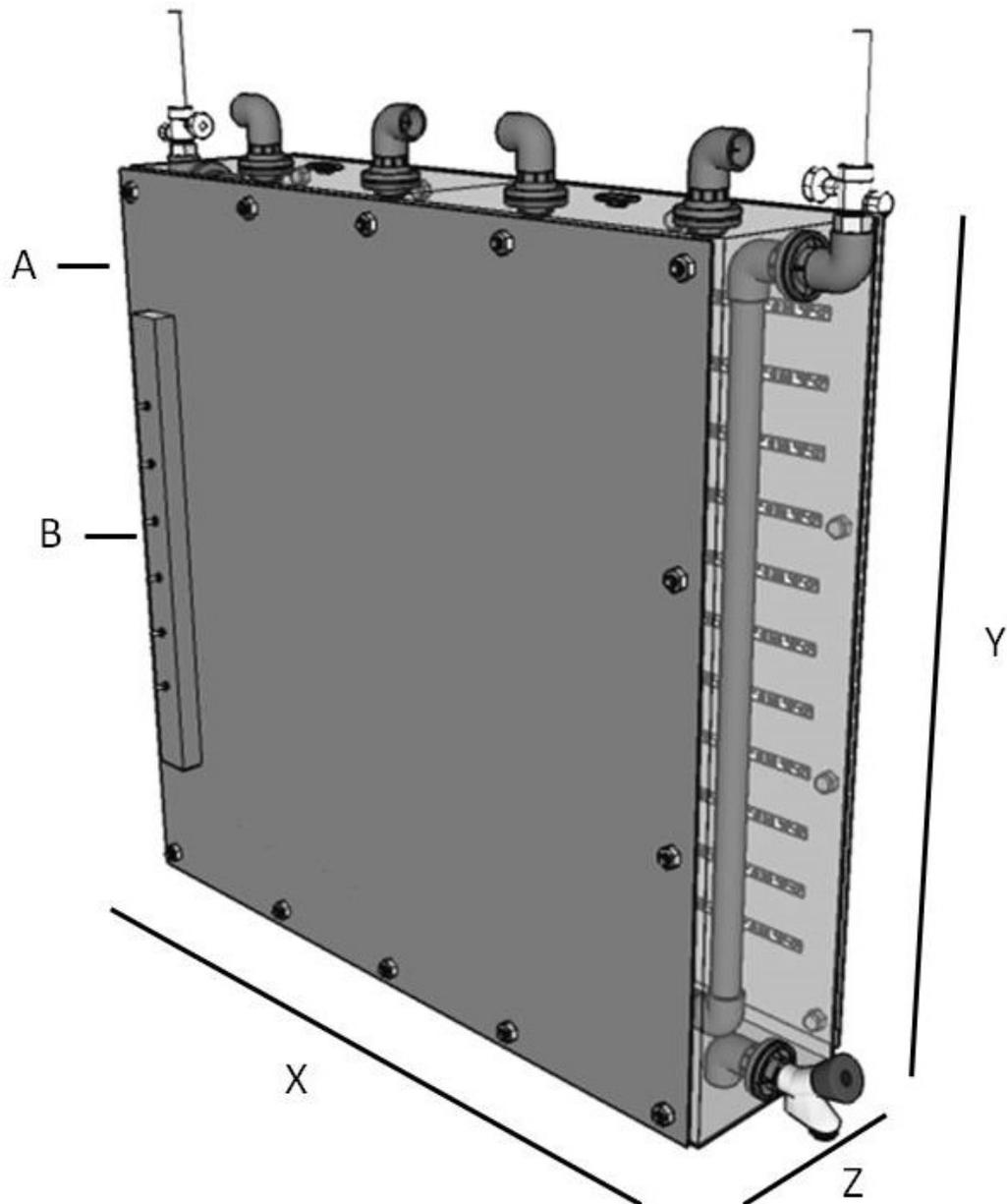


FIGURA 1 – FOTOBIORREATOR PARA CULTIVO DE MICRO-ORGANISMOS FOTOSSINTETIZANTES, COM DESTAQUE PARA AS DIMENSÕES DA CÂMARA DE CULTIVO (X, Y, Z) E PLACAS DE ILUMINAÇÃO REMOVÍVEIS (A) COM CONTROLE INDIVIDUALIZADO (B).

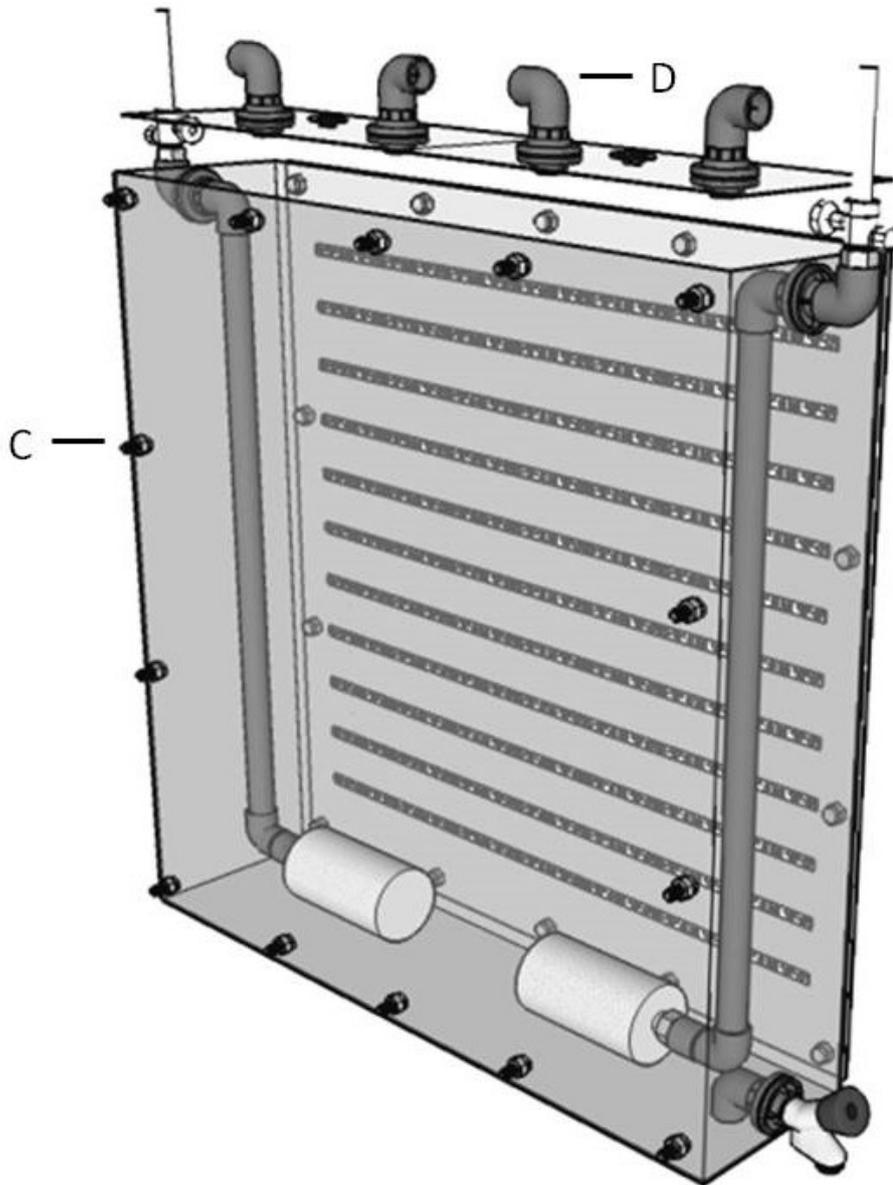


FIGURA 2 – ESTRUTURA DO FOTOBIORREATOR SEM UMA DAS PLACAS LATERAIS DE ILUMINAÇÃO, COM DESTAQUE PARA OS PARAFUSOS DE FIXAÇÃO DAS PLACAS (C) E PEÇAS REMOVÍVEIS NA FACE SUPERIOR COM AS TUBULAÇÕES PARA LIBERAÇÃO DOS GASES GERADOS NO INTERIOR DO FOTOBIORREATOR (D).

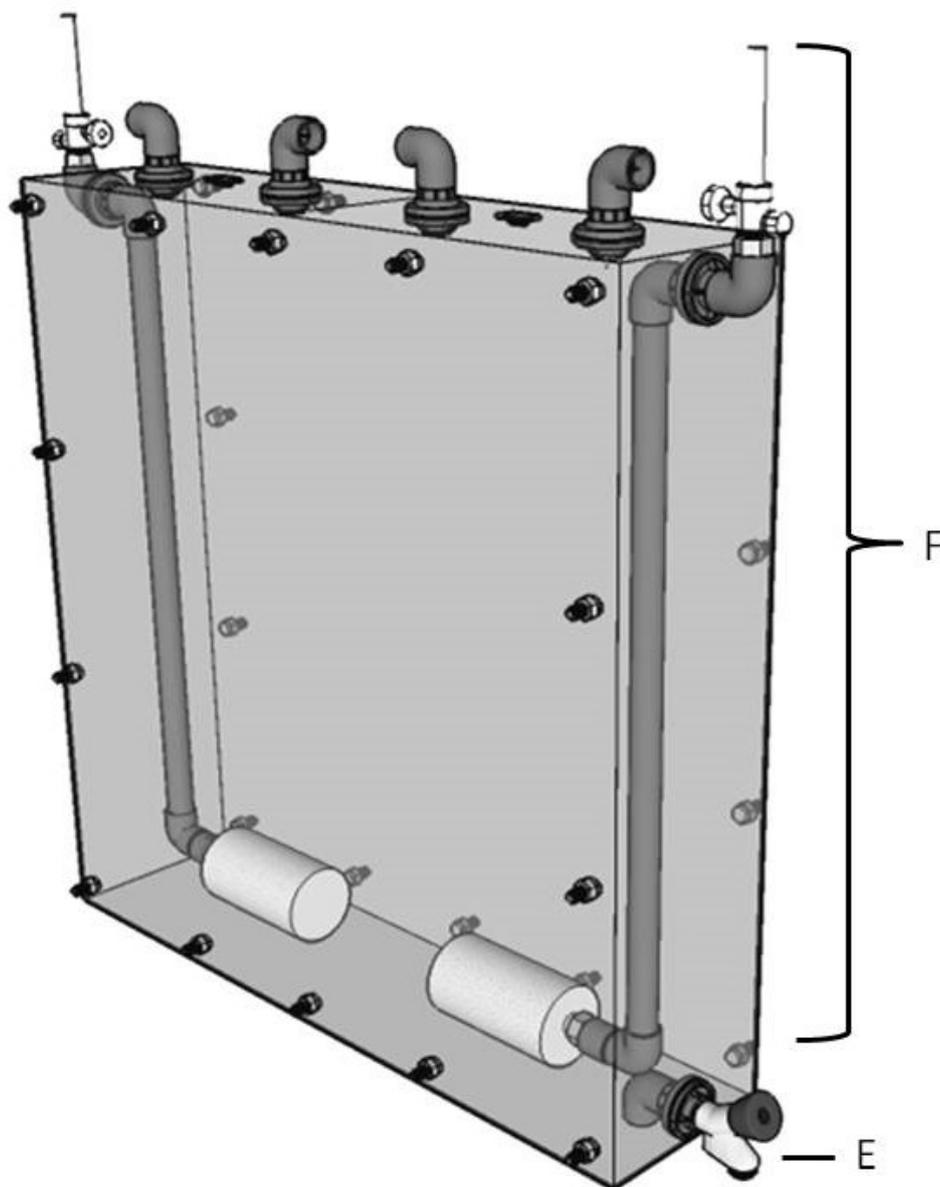


FIGURA 3 – FOTOBIORREATOR SEM AS PLACAS DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL, COM DESTAQUE PARA A VÁLVULA PARA COLETA DE AMOSTRAS E RECUPERAÇÃO DE BIOMASSA POR FLOCULAÇÃO *IN SITU* LOCALIZADA NA PORÇÃO INFERIOR (E), SISTEMA DE AREAÇÃO DISPOSTOS DE MANEIRA OPOSTA NAS EXTREMIDADES DO FOTOBIORREATOR (F).

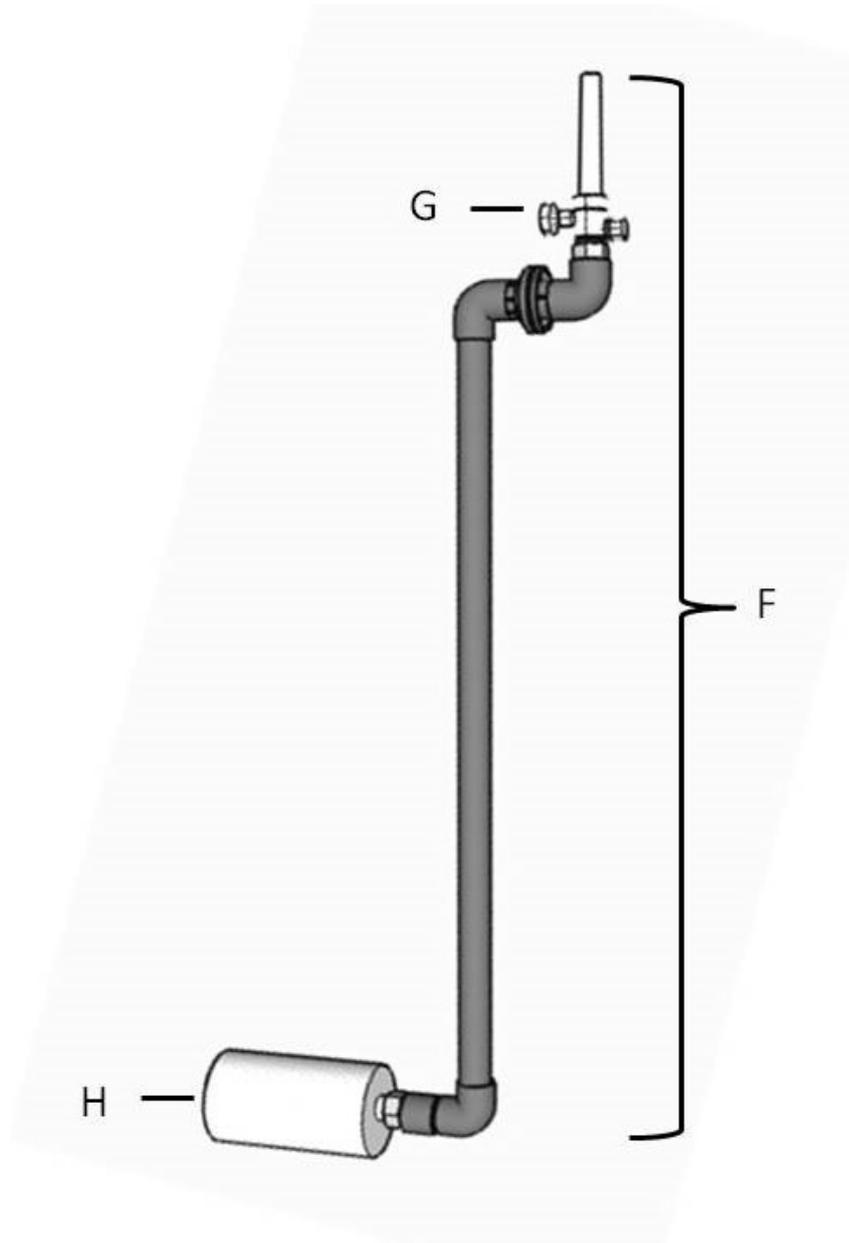


FIGURA 4 – SISTEMA DE AERAÇÃO E INJEÇÃO DE GASES NO INTERIOR DO FOTOBIOREATOR, RESPONSÁVEL TAMBÉM PELA HOMOGENEIZAÇÃO DO MEIO AQUOSO (F), COM MEDIDOR DE VAZÃO NA EXTREMIDADE SUPERIOR (G) E DISPERSOR CERÂMICO NA EXTREMIDADE INFERIOR (H).