

República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI 0714051-7 A2**

(22) Data de Depósito: 06/07/2007
(43) Data da Publicação: 11/12/2012
(RPI 2188)



(51) *Int.Cl.:*
C12M 1/00
B01D 53/84

(54) Título: SISTEMA DE FOTOBIOREATORES E MÉTODOS PARA TRATAMENTO DE GÁS ENRIQUECIDO COM CO₂ E PRODUÇÃO DE BIOMASSA

(30) Prioridade Unionista: 10/07/2006 US 60819976

(73) Titular(es): Greenfuel Technologies Corp.

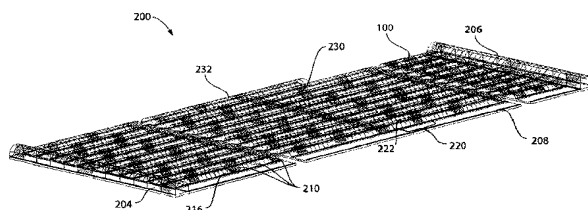
(72) Inventor(es): Jack Lewnard, Xiaoxi Wu

(74) Procurador(es): Alexandre Ferreira

(86) Pedido Internacional: PCT US2007015513 de 06/07/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2008/008262 de 17/01/2008

(57) Resumo: SISTEMAS DE FOTOBIOREATORES E MÉTODOS PARA TRATAMENTO DE GÁS ENRIQUECIDO COM CO₂ E PRODUÇÃO DE BIOMASSA. Certas modalidades e os aspectos da presente invenção se referem a um fotobiorreator incluindo unidades fotobiorreatoras cobertas pelas quais fluem uma corrente de meio líquido e uma corrente de gás. O meio líquido compreende pelo menos uma espécie do organismo fototráfico no mesmo. Certos métodos para usar o sistema fotobiorreator como parte de um sistema para a geração de combustível e/ou um processo de tratamento de gás ou um sistema para pelo menos parcialmente remover certos poluentes indesejáveis de uma corrente de gás. Em certas modalidades, uma porção do meio líquido é desviada de uma unidade fotobiorreatora e reintroduzida a montante da posição de desvio. Em certas modalidades, o sistema fotobiorreator divulgado, os métodos para usar tais sistemas, e/ou aparelhos para tratamento de gás e métodos aqui fornecidos podem ser usados como parte de um método e sistema integrado de combustão, em que os organismos fotosintéticos usados dentro do fotobiorreator são colhidos do fotobiorreator, processados e usados como uma fonte de combustível para um sistema de combustão, tal como uma central elétrica.



“SISTEMAS DE FOTOBIORREATORES E MÉTODOS PARA TRATAMENTO DE GÁS ENRIQUECIDO COM CO₂ E PRODUÇÃO DE BIOMASSA”

Campo da Invenção.

5 A presente invenção se refere geralmente a fotobiorreatores e aos processos para operar e usar os fotobiorreatores para o tratamento de gases, tais como gases de combustão, e para a produção da biomassa.

Discussão da Técnica Relacionada.

10 A indústria de geração de força está sofrendo pressão crescente para produzir a eletricidade a partir de fontes renováveis de energia. Muitos biocombustíveis satisfazem os padrões de fontes de energia renováveis, entretanto, as fontes de biocombustíveis convencionais, tais como biomassa, biodiesel, e bioetanol, não estão uniformemente geograficamente distribuídas através de uma nação, e em geral, essas fontes não estão localizadas perto de instalações de geração de força.

15 Ao mesmo tempo, as reduções nas emissões de dióxido de carbono e outras emissões de gás de várias fontes estão se tornando cada vez mais necessárias e/ou desejáveis. Tipicamente, é dispendioso capturar o gás carbônico do gás de combustão de fontes antropogênicas, tais como as centrais elétricas.

20 A fotossíntese é o mecanismo de reciclagem de carbono da biosfera. Nestes processos os organismos que realizam a fotossíntese, tais como plantas, sintetizam carboidratos e outros materiais celulares pela fixação do CO₂. Um dos conversores mais eficientes de CO₂ e da energia solar em biomassa são as microalgas, muitas vezes aqui mencionadas simplesmente como “algas”, que são os organismos fotoautotróficos de crescimento mais rápido na terra e um dos microrganismos mais simples de natureza. De fato, mais de 90 % do CO₂ alimentado às algas pode ser absorvido, na maioria das vezes
25 pela produção da massa celular. (Sheehan, John; Dunahay, Terri; Benemann, John R.; Roessler, Paul, “*A Look Back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program: Biodiesel from Algae*,” 1998, NERL/TP-580-24190; daqui por diante “Sheehan et al. 1998”). Além disso, as algas são capazes do crescimento em águas salinas que são impróprias para a agricultura.

30 Usando biotecnologia algínica, a biorregeneração de CO₂ pode ser vantajosa devido à produção de produtos úteis e de elevado valor a partir de CO₂ inútil. A produção da biomassa algínica como um método para a redução dos níveis de CO₂ no gás de combustão é um conceito atraente porque as algas secas possuem um valor calorífico ligeiramente equivalente ao do carvão. A biomassa algínica também pode ser convertida em um
35 combustível líquido de alta qualidade que é semelhante ao óleo combustível ou ao diesel cru (“biodiesel”) pela conversão termoquímica através de tecnologias conhecidas. A biomassa algínica também pode ser usada para a gaseificação para produzir gases de combustível

orgânico altamente inflamáveis adequados para o uso em centrais elétricas pela queima de gás, (por exemplo, ver Reed, T. B. e Gaur, S. "A Survey of Biomass Gasification" NREL, 2001; daqui por diante "Reed and Gaur 2001").

As culturas algínicas também podem ser usadas para a remoção biológica do NO_x dos gases de combustão. (Nagase Hiroyasu, Ken-Ichi Yoshihara, Kaoru Eguchi, Yoshiko Yokota, Rie Matsui, Kazumasa Hirata e Kazuhisa Miyamoto, "Characteristics of Biological NO_x Removal from Flue Gas in a *Dunaliella tertiolecta* Culture System," Journal of Fermentation and Bioengineering, 83, 1997; daqui por diante "Hiroyasu et al. 1997"). Algumas espécies de algas podem retirar NO_x em uma ampla variedade de concentrações NO_x e taxas de fluxo de gás de combustão. O óxido nitroso (NO), um componente principal do NO_x, é dissolvido na fase aquosa, após o que é oxidado a NO₂ e assimilado pela célula da alga. Por exemplo, a remoção de NO_x usando as algas *Dunaliella* pode ocorrer tanto sob condições claras quanto escuras, com uma eficiência da remoção NO_x maior do que 96 % (sob condições de claridade).

Durante um período de 18 anos, o Departamento da Energia dos Estados Unidos (DOE) consolidou uma série extensa de estudos para desenvolver combustíveis renováveis para transporte a partir de algas (Sheehan et al. 1998). No Japão, as organizações governamentais (MITI), em conjunto com empresas privadas, investiram mais de US\$ 250 milhões na biotecnologia algínica. Cada programa tomou uma aproximação diferente, mas por causa de diversos problemas abordados por certas modalidades da presente invenção, nenhum deles foi comercialmente viável até agora.

Um obstáculo principal contra um abatimento da poluição e uma biorregeneração fatível pelas algas possui sido um eficiente, e também rentável, sistema de crescimento. A pesquisa de DOE concentrou-se em cultivar algas em tanques abertos maciços com grandes áreas de até 4 km². Os tanques necessitam de baixa entrada de capital; entretanto, as algas cultivadas em ambientes abertos e descontrolados resultam em baixa produtividade algínica. A tecnologia de tanque aberto fez o crescimento e a colheita das algas proibitivamente caros, porque as imensas quantidades de água de diluição das algas necessitavam de agitadores, bombas e centrífugas muito grandes. Além disso, com baixa produtividade algínica e grandes exigências de terras planas, esta aproximação, no cenário de melhor caso, só poderia ser aplicável em apenas 1 % das centrais elétricas dos Estados Unidos (Sheehan et al. 1998). Por outro lado, a abordagem do MITI, com restrições mais estritas de terras, se concentrou em fotobiorreatores algínicos fechados muito caros, utilizando fibra ótica para a transmissão da luz. Nestes ambientes controlados, foi atingida uma produtividade muito mais elevada de algas, mas as taxas de crescimento das algas não foram bastante elevadas para compensar os custos de capital dos sistemas utilizados. Outros exemplos de fotobiorreatores fechados conhecidos na técnica incluem as Patentes

Americanas N° US 2.732.663; US 4.473.970; US 4,233.958; US 4.868.123; e US 6.827.036.

Burlew (Burlew, John S. "*Algal Culture: From Laboratory to Pilot Plant.*" Carnegie Institution of Washington Publication 600. Washington, D.C., 1961 (daqui por diante "Burlew 1961")) fornece um resumo de vários desenhos de biorreatores para algas. Os biorreatores discutidos em Burlew 1961 incluem o uso de tubos de vidro, tanques abertos, trincheiras abertas, e trincheiras cobertas. Nestes sistemas, o gás carbônico é alimentado em um líquido via aspersão do gás. Mais recentemente, Pulz e Scheibenbogen (Pulz O. e Scheibenbogen K. "*Photobioreactors: Design and Performance with Respect to Light Energy Input,*" *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 59:pp 124-151 (1998); daqui por diante "Pulz 1998") revisou os fotobiorreatores para algas, e Richmond ((Richmond A. ed. "*Handbook of Microalgal Culture — Biotechnology and Applied Phycology,* Blackwell Publishing, Oxford, UK (2004); daqui por diante "Richmond 2004") revisou o estado geral da técnica de cultivo de microalgas, incluindo o desenho de reator. Ambas as referências (Richmond 2004 e Pulz 1998) observam que os sistemas abertos, tais como lagos naturais, tanques circulares, e reatores de calhas são a tecnologia comercial predominante. Os sistemas a ar aberto usados para o cultivo de algas também são mostrados, por exemplo, nas Patentes Americanas N° US 3.650.068; US 3.468.057; e US 4,217.728.

Sumário.

Certas modalidades e os aspectos da presente invenção se referem a: aparelho fotobiorreator; sistemas para tratamento de gás e métodos empregando fotobiorreatores; componentes modulares e sistemas para fotobiorreatores; métodos e sistemas para controlar e operar fotobiorreatores e sistemas fotobiorreatores; e métodos e sistemas integrados de reciclagem de combustão / tratamento de gás / combustível orgânico.

De acordo com um aspecto da presente invenção, é fornecido um fotobiorreator no qual um gás contendo concentrações elevadas de gás carbônico é colocado em contato com um meio líquido contendo uma espécie biológica fototrófica, tal como algas. O gás e o líquido são contidos em uma unidade fotobiorreatora alongada possuindo uma cobertura clara e transparente, e a espécie biológica usa o gás carbônico e a luz para crescer, produzindo, desse modo a biomassa.

A unidade fotobiorreatora alongada pode ser formada com uma ou mais seções fotobiorreadoras individuais que, no caso de mais do que uma seção, são interligadas uma com a outra, cada seção possuindo a sua própria entrada, saída e cobertura associada ou uma parte de uma cobertura integral que se espalha por múltiplas seções. Uma ou mais das unidades fotobiorreadoras operando em paralelo podem formar um sistema fotobiorreator. Entretanto, algumas modalidades de sistemas de fotobiorreator podem incluir uma única unidade fotobiorreatora (formada de múltiplas seções fotobiorreadoras) ou até uma seção fotobiorreatora única.

De acordo com outro aspecto da presente invenção, uma construção a base de seção modular é usada na construção das unidades fotobiorreatoras de tal modo que um sistema pode ser facilmente escalonado dependendo das necessidades de uma aplicação particularmente. Uma construção baseada em seções também pode permitir o intercâmbio de seções que possuem diferentes funções se as condições operacionais se modificarem ou se forem desejados ajustes no sistema. Em certas modalidades, cada unidade compreende uma seção fotobiorreatora, e uma grande quantidade de tais seções é arrumada em paralelo para formar um sistema fotobiorreator. Em outras modalidades, uma ou mais unidades fotobiorreatoras de um sistema fotobiorreator podem ser formadas de diversas seções fotobiorreatoras interligadas juntas em série.

De acordo com outro aspecto da presente invenção, os organismos fototróficos, tais como algas, e o meio líquido no qual eles são contidos, são desviados de uma unidade fotobiorreatora e retornam para a mesma unidade fotobiorreatora ou para uma unidade diferente (ou outra porção do sistema) a montante da posição de desvio.

De acordo com outro aspecto da presente invenção uma ou mais seções fotobiorreatoras incluem pelo menos uma cobertura auto-suportável que é capaz de resistir a diferenças de pressão internas/externas e às intempéries.

De acordo com outro aspecto da presente invenção, múltiplas zonas dentro do sistema fotobiorreator são delineadas longitudinalmente (isto é na direção global do fluxo dos meios) e controladas para fornecer condições operacionais diferentes entre as zonas.

De acordo com outro aspecto da presente invenção, os componentes de um sistema fotobiorreator, tais como as unidades fotobiorreatoras e/ou as seções fotobiorreatoras, são apoiados por bóias em um tanque ou em outro espelho de água.

De acordo com outro aspecto da presente invenção, o líquido de um ou mais dos vários estágios de um sistema fotobiorreator é usado para esfriar rapidamente a entrada do gás de combustão.

De acordo com outro aspecto da presente invenção, as águas residuais de uma central elétrica são usadas para aquecer os fotobiorreatores.

De acordo com outro aspecto da presente invenção, os fotobiorreatores incluem zonas de resfriamento que tiram proveito do resfriamento pela evaporação.

De acordo com outro aspecto da presente invenção, uma corrente de gás experimenta uma baixa queda de pressão enquanto passa por um fotobiorreator.

De acordo com outro aspecto da presente invenção, os fotobiorreatores são usados por cima de grandes áreas que incluem variações na elevação.

De acordo com outro aspecto da presente invenção, um sistema fotobiorreator combina as vantagens de um sistema de fluxo bombeado e um sistema de mistura de retorno.

De acordo com uma modalidade da presente invenção, um sistema fotobiorreator compreende diversas seções interconectáveis do fotobiorreator que, quando unidas em conjunto, forma pelo menos uma unidade fotobiorreatora longitudinalmente orientada do sistema fotobiorreator, cada uma das seções fotobiorreatoras compreendendo um canal de fluxo de líquido e uma cobertura clara e transparente que forma um espaço superior gasoso entre a cobertura e o canal de fluxo de líquido. A cobertura é construída e arrumada para cobrir pelo menos uma porção substancial do canal de fluxo de líquido e é configurada para ser capaz de fornecer o espaço superior gasoso mesmo quando uma pressão de gás dentro da unidade fotobiorreatora for menor do que a pressão atmosférica que rodeia a seção fotobiorreatora

De acordo com outra modalidade da presente invenção, um sistema fotobiorreator capaz de suportar o crescimento de organismos fototróficos usando um gás contendo níveis elevados de gás carbônico compreende pelo menos uma seção do fotobiorreator construída e arrumada para transportar um fluxo do meio líquido compreendendo os organismos fototróficos no mesmo. A seção do fotobiorreator compreende uma cobertura construída e arrumada para cobrir pelo menos uma porção substancial do meio líquido dentro da seção do fotobiorreator e além disso construída e arrumada para fornecer um espaço superior gasoso abaixo da cobertura e acima do meio líquido, a cobertura sendo capaz de fornecer o espaço superior gasoso mesmo quando uma pressão de gás dentro do fotobiorreator for menor do que a pressão atmosférica que rodeia a seção fotobiorreatora. O sistema fotobiorreator também compreende uma entrada de líquido para fornecer o meio líquido à seção fotobiorreatora, uma saída de líquido a partir da qual o meio líquido compreendendo os organismos fototróficos no mesmo é retirado da seção fotobiorreatora, uma entrada de gás para fornecer o gás contendo uma concentração elevada do gás carbônico no espaço superior gasoso, uma saída de gás a partir da qual é retirado o gás contendo gás carbônico em uma concentração menor do que na entrada de gás, e um soprador fluidicamente unido à saída de gás capaz de criar um fluxo de gás pelo espaço superior gasoso da entrada de gás até a saída de gás.

De acordo com uma modalidade adicional da presente invenção, um sistema fotobiorreator compreende pelo menos uma unidade fotobiorreatora longitudinalmente estendida compreendendo pelo menos uma seção fotobiorreatora, a unidade fotobiorreatora sendo construída e arrumada para transportar um fluxo do meio líquido compreendendo os organismos fototróficos no mesmo. A unidade fotobiorreatora compreende pelo menos uma cobertura construída e arrumada para cobrir pelo menos uma porção substancial do meio líquido dentro da unidade fotobiorreatora e construída e arrumada para fornecer um espaço superior gasoso abaixo da cobertura e acima do meio líquido, a cobertura sendo capaz de fornecer o espaço superior gasoso mesmo quando uma pressão do gás dentro do espaço

superior gasoso do fotobiorreator for menor do que a pressão atmosférica que rodeia a unidade fotobiorreatora. A unidade fotobiorreatora também compreende uma primeira entrada de líquido construída e arrumada para fornecer um meio líquido à unidade fotobiorreatora, uma primeira saída de líquido pela qual o meio líquido é removido da unidade fotobiorreatora, uma segunda saída de líquido posicionada entre a primeira entrada de líquido e a primeira saída de líquido, da qual o meio líquido é removido da unidade fotobiorreatora, e um canal fluidicamente interligando a segunda saída de líquido à unidade fotobiorreatora em uma posição que está a montante da segunda saída de líquido para permitir o retorno e reciclagem do meio líquido dentro da unidade fotobiorreatora.

De acordo com outra modalidade da presente invenção, um método de cultivar organismos fototróficos em um sistema fotobiorreator compreende o fornecimento de um meio líquido compreendendo os organismos fototróficos no mesmo a uma primeira entrada de líquido de uma unidade fotobiorreatora longitudinalmente estendida, compreendendo pelo menos uma seção fotobiorreatora, de tal modo que o meio líquido flui em direção a uma primeira saída de líquido, a unidade fotobiorreatora possuindo pelo menos uma cobertura rigidamente apoiada. O método também compreendendo o fluxo de um gás contendo uma concentração elevada de gás carbônico por cima do meio líquido, removendo uma porção do meio líquido da unidade fotobiorreatora em uma posição de remoção localizada entre a primeira entrada de líquido e a primeira saída de líquido, e devolvendo pelo menos uma parte da porção retirada do meio líquido à unidade fotobiorreatora em uma posição a montante da posição de remoção.

De acordo com uma modalidade adicional da presente invenção, um sistema fotobiorreator capaz de suportar o crescimento de organismos fototróficos usando um gás contendo uma concentração elevada de gás carbônico compreende pelo menos uma seção fotobiorreatora construída e arrumada para transportar um fluxo do meio líquido compreendendo os organismos fototróficos no mesmo. A seção fotobiorreatora compreende uma cobertura construída e arrumada para cobrir pelo menos uma porção substancial do meio líquido dentro da seção fotobiorreatora e construída e arrumada para fornecer um espaço superior gasoso abaixo da cobertura e acima do meio líquido, o espaço superior gasoso sendo mantido em uma pressão que se diferencia da pressão atmosférica. A seção fotobiorreatora também compreende uma entrada de líquido configurada para fornecer o meio líquido à seção fotobiorreatora, uma saída de líquido pela qual o meio líquido é removível da seção fotobiorreatora, e uma saída de gás pela qual o gás contendo gás carbônico em uma concentração menor do que na entrada de gás é removível da seção fotobiorreatora. A seção fotobiorreatora compreende uma primeira porção da seção fotobiorreatora na qual a cobertura fornece o espaço superior gasoso por cima de uma primeira porção do meio líquido, e também compreende uma segunda porção, diferente da

seção fotobiorreatora, na qual uma segunda porção do meio líquido é exposta ao gás do lado de fora do espaço superior gasoso para facilitar o resfriamento pela evaporação do meio líquido.

De acordo com outra modalidade da presente invenção, um sistema fotobiorreator capaz de suportar o crescimento de organismos fototróficos usando um gás contendo uma concentração elevada do gás carbônico compreende pelo menos uma seção fotobiorreatora construída e arrumada para transportar um fluxo do meio líquido compreendendo os organismos fototróficos no mesmo e um fluxo de gás contendo uma concentração elevada do gás carbônico. O sistema fotobiorreator compreende uma entrada de líquido construída e arrumada para fornecer pelo menos o meio líquido à seção fotobiorreatora, uma saída de líquido pela qual o meio líquido é removível da seção fotobiorreatora, uma entrada de gás construída e arrumada para fornecer o gás contendo uma concentração elevada do gás carbônico à seção fotobiorreatora, uma saída de gás pela qual o gás contendo gás carbônico em uma concentração menor do que na entrada de gás é removível da seção fotobiorreatora, e uma cobertura construída e arrumada para cobrir pelo menos uma porção substancial do fluxo do meio líquido dentro da seção fotobiorreatora e construída e arrumada para fornecer um espaço superior gasoso abaixo da cobertura e acima do meio líquido. A seção fotobiorreatora inclui uma porção da seção fotobiorreatora onde o meio líquido é exposto ao gás do lado de fora do espaço superior gasoso para facilitar o resfriamento pela evaporação do meio líquido. O sistema fotobiorreator também compreende um controlador configurado para controlar a quantidade de resfriamento pela evaporação do meio líquido na porção da seção fotobiorreatora onde o meio líquido é exposto ao gás do lado de fora do espaço superior gasoso.

De acordo ainda com outra modalidade da presente invenção, um método para retirar o gás carbônico de uma corrente efluente de gás contendo concentrações elevadas de gás carbônico compreende direcionar a corrente efluente de gás por uma zona de resfriamento, resfriando a corrente efluente de gás na zona de resfriamento usando um líquido de resfriamento, e dirigindo a corrente efluente de gás resfriado para um sistema fotobiorreator, a corrente efluente de gás sendo contactada com o meio líquido compreendendo organismos fototróficos suspensos no mesmo, de tal modo que os organismos fototróficos usem o gás carbônico da corrente efluente de gás para fotossíntese. O método também compreende a remoção de pelo menos uma porção do meio líquido compreendendo organismos fototróficos suspensos no mesmo, do sistema fotobiorreator, direcionando o meio líquido a um sistema de desidratação, para extrair a água de suspensão de organismos fototróficos para produzir a biomassa desidratada e o líquido de resfriamento, e direcionando o líquido de resfriamento para a zona de resfriamento.

De acordo com outra modalidade da presente invenção, um método para retirar o

gás carbônico de uma corrente efluente de gás contendo uma concentração elevada do gás carbônico compreende direcionar a corrente efluente de gás por uma zona de resfriamento, remover o meio líquido compreendendo os organismos fototróficos no mesmo de um sistema fotobiorreator, resfriar a corrente efluente de gás na zona de resfriamento usando o meio líquido removido do sistema fotobiorreator, e direcionando o gás resfriado a um sistema fotobiorreator, o gás resfriado sendo colocado em contato com o meio líquido compreendendo os organismos fototróficos no mesmo de tal modo que os organismos fototróficos usem o gás carbônico do gás efluente para a fotossíntese.

Breve Descrição dos Desenhos.

Outras vantagens, novas características, e os usos da invenção ficarão mais evidentes a partir da seguinte descrição detalhada de modalidades não limitantes da invenção quando encontradas em conjunto com os desenhos que as acompanham, que são esquemáticos e que não possuem a intensão de serem desenhados em escala. Nas Figuras, cada componente idêntico, ou substancialmente semelhante que é ilustrado em várias Figuras é tipicamente representado por um numeral único ou notação. Com objetivos de clareza, nem todos os componente estão identificados na Figura, nem todos os componentes de cada modalidade mostrada da presente invenção são mostrados onde a ilustração não é necessária para permitir que aqueles com habilidades normais na técnica possam entender a invenção.

Nos desenhos:

A Figura 1a é uma vista em perspectiva de uma unidade fotobiorreatora de acordo com uma modalidade da presente invenção;

A Figura 1b é uma vista da seção transversal de uma seção fotobiorreatora de uma unidade fotobiorreatora de acordo com uma modalidade da presente invenção;

A Figura 2 é uma vista em perspectiva de um sistema fotobiorreator de acordo com uma modalidade da presente invenção;

A Figura 3 mostra um diagrama de bloco de um sistema global de tratamento de gás / produção de biomassa compreendendo um sistema fotobiorreator de acordo com uma modalidade da presente invenção;

A Figura 4 é uma vista da seção transversal de uma seção de névoa de nutrientes de uma unidade fotobiorreatora, de acordo com uma modalidade da presente invenção;

A Figura 5 é uma vista em perspectiva de uma zona de resfriamento por evaporação de uma unidade fotobiorreatora de acordo com uma modalidade da presente invenção;

A Figura 6a é uma vista em perspectiva de uma primeira configuração de uma zona de unidade fotobiorreatora para desvio do líquido para um canal de refluxo;

A Figura 6b é uma vista em perspectiva de uma segunda configuração da zona da

unidade fotobiorreatora mostrada na Figura 6a;

A Figura 7 é uma vista em perspectiva de duas zonas de unidade fotobiorreatora configuradas para desviar o líquido para um canal de refluxo, de acordo com uma modalidade da presente invenção;

5 A Figura 8a é uma vista em perspectiva de um componente de um anteparo da unidade de distribuição de acordo com uma modalidade da presente invenção;

A Figura 8b é uma vista da seção transversal do componente de um anteparo da unidade de distribuição mostrado na Figura 8a;

10 A Figura 9 é uma vista em perspectiva de um anteparo do canal de distribuição operativamente unido com dez unidades fotobiorreatoras de acordo com uma modalidade da presente invenção;

A Figura 10 é um diagrama de bloco de um sistema global de tratamento de gás / produção de biomassa compreendendo um sistema fotobiorreator de acordo com uma modalidade alternativa da presente invenção;

15 A Figura 11 é uma vista em perspectiva de um sistema fotobiorreator de acordo com uma modalidade alternativa da presente invenção;

A Figura 12 mostra uma vista da seção transversal de uma unidade fotobiorreatora adaptada para flutuar em um espelho de água;

20 A Figura 13 é um diagrama de bloco de um sistema global de tratamento de gás / produção de biomassa compreendendo um sistema fotobiorreator que usa o líquido associado com o sistema para resfriar o gás de combustão;

A Figura 14 é um diagrama de bloco de um sistema global de tratamento de gás / produção de biomassa compreendendo um sistema fotobiorreator que usou o líquido associado com o sistema para resfriar o gás de combustão;

25 A Figura 15 é um diagrama de bloco de um sistema global de tratamento de gás / produção de biomassa compreendendo um sistema fotobiorreator que usou o líquido associado com o sistema para resfriar o gás de combustão.

A Figura 16 é uma vista da seção transversal de uma zona de resfriamento de acordo com uma modalidade da presente invenção;

30 A Figura 17 é uma vista em perspectiva da zona de resfriamento mostrada na Figura 16;

A Figura 18 é uma vista em perspectiva de uma zona de troca de calor de uma unidade fotobiorreatora de acordo com uma modalidade da presente invenção;

35 A Figura 19 mostra a concentração de algas contra o tempo de um exemplo de uso de um fotobiorreator aqui descrito; e

A Figura 20 mostra taxas de fluxo de gás carbônico de modalidades que empregam taxas de borifo líquidas diferentes.

Descrição Detalhada.

Certas modalidades e os aspectos da presente invenção se referem a sistemas fotobiorreatores projetados para conter um meio líquido compreendendo pelo menos uma espécie de organismo fototrófico no mesmo, e a métodos para usar os sistemas fotobiorreatores como a parte de um processo de tratamento de gás e um sistema capaz de pelo menos parcialmente retirar certos poluentes indesejáveis de uma corrente de gás.

Algumas modalidades de acordo com a presente invenção incluem uma ou mais unidades fotobiorreadoras longitudinalmente orientadas, cobertas em toda a extensão, arrumadas em paralelo, se estendendo através de uma área de terra ou um espelho de água, tal como um tanque, para formar pelo menos uma parte de um sistema fotobiorreator. Em certas modalidades, cada unidade fotobiorreadora possui um canal líquido (formado por uma trincheira em algumas modalidades) e um espaço superior gasoso (cercado por uma cobertura clara e transparente em algumas modalidades). O gás rico em CO_2 entra na unidade fotobiorreadora e flui pelo espaço superior acima de um meio líquido compreendendo pelo menos um organismo fototrófico, tal como algas. As algas usam o CO_2 do gás e a luz que passa pela cobertura para crescer e produzir a biomassa. As algas podem ser colhidas do meio líquido descarregado e desidratado. As algas desidratadas podem seguir por processos adicionais e podem ser usadas como combustível e/ou usadas para produzir um produto combustível (por exemplo, biodiesel). O líquido produzido durante a fase de desidratação pode ser reciclado de volta para a mesma unidade fotobiorreadora e/ou uma unidade fotobiorreadora diferente do sistema fotobiorreator e/ou outro componente do sistema fotobiorreator em algumas modalidades. Em alguns casos, as unidades fotobiorreadoras podem ser da ordem de alguma centena de metros ou menos, embora em outros casos, as unidades fotobiorreadoras podem se estender um quilômetro ou mais.

Uma construção modular, seccional pode ser usada para formar pelo menos uma parte de pelo menos algumas unidades fotobiorreadoras em certas modalidades. Por exemplo, em certas modalidades, uma unidade fotobiorreadora pode ser composta de diversas seções fotobiorreadoras individuais interligadas em série. Em tais certas modalidades, as seções individuais podem compreender tanto um canal de fluxo líquido como pelo menos uma cobertura. Em outras modalidades, uma unidade fotobiorreadora pode compreender um canal de fluxo líquido único, ininterrupto contido em uma base (por exemplo, a base 110 da Figura 1a), e as seções fotobiorreadoras podem ser definidas pelas zonas cobertas por uma ou um subconjunto de diversas seções de cobertura (por exemplo, ver seções de cobertura 106 da Figura 1a) por cima da base e canal. Desse modo, o comprimento de uma ou mais unidades fotobiorreadoras pode ser produzido selecionando e interligando um número adequado de seções fotobiorreadoras, e assim personalizar a fabricação para aplicações específicas pode não ser necessário. Empregando uma

construção modular, em alguns casos, o comprimento pode ser ajustado depois da instalação se desejado. Adicionalmente, vários tipos de seções fotobiorreatoras podem ser usadas em uma unidade fotobiorreatora para criar diversas zonas de operação com uma funcionalidade selecionada, tais como zonas de névoas de nutrientes, zonas de resfriamento, zonas de desvio de líquido, etc., e o número e as posições de vários tipos de seções fotobiorreatoras podem ser projetados baseados nas condições operacionais preditas. A alteração dos tipos diferentes das seções fotobiorreatoras depois da instalação também pode ser possível usando uma construção seccional modular. Em algumas modalidades, um grande número de unidades fotobiorreatoras pode estar posicionadas perto umas das outras (por exemplo, paralelas umas as outras), e o aumento de escala do sistema pode ser realizada pela adição ou pela subtração de unidades fotobiorreatoras.

Em certas modalidades, os sistemas fotobiorreatores divulgados, os métodos para usar tais sistemas, e/ou sistemas de tratamento de gás e os métodos aqui fornecidos podem ser usados como parte de um método integrado e um sistema para tratar gases residuais produzidos por processos industriais, em que os organismos fototróficos usados dentro do fotobiorreator pelo menos parcialmente retiram certos compostos poluentes contidos nos gases efluentes, por exemplo, CO_2 e/ou NO_x , e são posteriormente colhidos do sistema fotobiorreator, processados, e usados como uma fonte de combustível para um dispositivo de combustão (por exemplo, um gerador de central elétrica, forno industrial, e/ou incinerador). Tais usos de algumas modalidades de acordo com a presente invenção podem fornecer um meio eficiente para reciclar o carbono contido na combustão de um combustível (isto é, pela conversão do CO_2 de um gás de combustão em biomassa combustível e/ou um combustível derivado da biomassa de um sistema fotobiorreator), desse modo reduzindo tanto as emissões CO_2 como as exigências de combustível de fóssil.

Em algumas modalidades, o líquido em uma unidade fotobiorreatora é borrifado no espaço superior gasoso ou de outro modo exposto ao gás Rico em CO_2 usando um ou mais dispositivos de aumento de transferência de massa para aumentar a proporção da superfície para o volume do líquido. Fornecendo contato de área superficial entre o gás e o meio líquido via o movimento do gás por um espaço superior em vez de por exclusivamente espargir o gás em uma profundidade média do líquido, certas modalidades do sistema fotobiorreator expõem uma queda de baixa pressão quando gás se move pelas unidades do fotobiorreator. Em algumas modalidades, a queda de pressão do gás ao longo de toda uma unidade fotobiorreatora pode estar abaixo de 0,034 atm.

Em algumas modalidades, o fluxo de gás e líquido pelas unidades fotobiorreatoras pode não experimentar limitado ou essencialmente nenhum fluxo reverso, e deste modo exibir as características de um sistema de fluxo pistonado. Com fluxo reverso limitado, as zonas longitudinais podem ser definidas em que condições operacionais diferentes tal como,

por exemplo, densidade de algas, temperatura do líquido, composição de gás, temperatura do gás, composição dos meios, agitação/turbulência dos meios, transferência de massa/calor gás/líquido, a exposição à luz, profundidade dos meios, etc., é geralmente conhecida e controlável modificando parâmetros operacionais. Por exemplo, uma unidade fotobiorreatora única pode incluir zonas diferentes dentro das quais um ou mais dos seguintes parâmetros operacionais variam e/ou são conhecidos e/ou são controláveis: concentrações dos nutrientes; temperatura; pH; profundidade do líquido; proporção superfície do líquido / ar; níveis de agitação; entre outros. Em certas modalidades, essas zonas podem ser compostas por, ou compreender, um ou mais seções fotobiorreatoras particularmente configuradas da unidade fotobiorreatora.

Em algumas modalidades, as vantagens de um bioreator com mistura de retorno podem ser realizadas mantendo muitas das características de um bioreator de fluxo pistonado. Uma ou mais zonas de refluxo podem ser usadas para devolver o líquido rico em algas de, por exemplo, uma área média longitudinal da unidade fotobiorreatora para a parte dianteira da unidade fotobiorreatora, ou para qualquer outra posição a montante da posição de remoção do líquido. Fazendo isso, a adição de novo inóculo ao meio líquido na parte dianteira da unidade fotobiorreatora pode ser reduzida ou eliminada e/ou outros parâmetros operacionais desejáveis podem ser mantidos e/ou estabelecidos.

Em comparação com reatores do tipo “calha”, que podem experimentar uma perda térmica considerável quando as temperaturas ambientes estão abaixo da temperatura operacional do reator, algumas modalidades da invenção limitam a perda térmica cobrindo a maior parte (ou em alguns casos substancialmente toda) das superfícies líquidas dentro do sistema fotobiorreator. Em comparação com fotobiorreatores tipicamente fechados (por exemplo, certos fotobiorreatores tubulares) que não incluem um espaço superior de gás em contato com os meios líquidos por pelo menos uma porção substancial do seu comprimento de fluxo, alguns dos quais usam vários métodos de gestão térmica para retirar o calor dos reatores, certas modalidades aqui divulgadas são capazes de dispersar o calor eficientemente usando o resfriamento controlado pela evaporação. De acordo com certas modalidades, diferentemente de sistemas que usam a pressão do gás para suportar uma cobertura, uma cobertura auto-suportada, por exemplo, seções rígidas individuais de cobertura interligadas ou contínuas ou a coberturas seccionadas formadas de um material flexível, não auto-suportado compreendendo arcos, ou outros elementos de suporte, podem ser usadas para manter um espaço superior gasoso independente da pressão do gás que flui por uma unidade fotobiorreatora. A cobertura pode ser configurada de tal modo que quando o gás é puxado por uma unidade fotobiorreatora pela corrente de ar induzida por m exaustor, criando assim uma pressão negativa dentro da unidade fotobiorreatora em relação à pressão atmosférica, a cobertura mantém o espaço superior gasoso (isto é, não cai). Em

algumas modalidades, a cobertura é construída e arrumada para resistir a forças externas, tais como o vento e a neve.

Certos aspectos da presente invenção estão direcionados a projetos de fotobiorreatores e a métodos e sistemas que utilizam os fotobiorreatores. Os termos “fotobiorreator”, “unidade fotobiorreatora” ou “seção do fotobiorreator” tal como aqui utilizados, se refere a um aparelho contendo, ou configurado para conter, um meio líquido compreendendo pelo menos uma espécie de organismo fototrófico e possuindo uma fonte de luz capaz de conduzir a fotossíntese associada com a mesma, ou tendo pelo menos uma superfície onde pelo menos uma parte da qual é parcialmente transparente à luz com um comprimento de onda capaz de conduzir a fotossíntese (isto é, luz de um comprimento de onda entre aproximadamente 400 nm e 700 nm).

O termo “organismo fotossintético”, “organismo fototrófico”, ou “biomassa”, tal como aqui utilizado, inclui todos os organismos capazes de crescimento fotosintético, tais como células de plantas e microrganismos (incluindo algas, euglenas e lemnas) na forma unicelular ou multicelular que são capazes de crescimento em uma fase líquida (exceto aqueles termos “biomassa,” que aparecem nos títulos dos documentos aqui mencionados ou em suas referências, que são aqui incorporadas pela referência, pode ser usado mais genericamente para se referir a uma variedade mais ampla de plantas e/ou de matéria orgânica derivada do animal). Estes termos também podem incluir organismos modificados artificialmente ou pela manipulação genética. Embora certo fotobiorreatores divulgados no contexto da presente invenção sejam particularmente adequados para o cultivo de algas, ou bactérias fotosintéticas, e embora na discussão abaixo, as características e as capacidades das certas modalidades das invenções sejam discutidas no contexto de utilização de algas como os organismos fotosintéticos, deve-se entender-se que, em outras modalidades, outros organismos fotosintéticos podem ser utilizados, no lugar de, ou além das algas. Para uma modalidade que utiliza uma ou mais espécies de alga, algas de vários tipos, (por exemplo, *Chlorella*, *Chlamdomonas*, *Chaetoceros*, *Spirolina*, *Dunaliella*, *Porphyridum*, etc.) podem ser cultivadas, sozinhas ou em várias combinações, dentro do fotobiorreator.

As frases “pelo menos parcialmente transparentes para iluminar” e “configurado para transmitir a luz,” quando usadas no contexto de certas superfícies ou dos componentes do fotobiorreator, se referem para tais superfícies ou componentes que são capazes de permitir a passagem de bastante energia luminosa, para pelo menos em alguns níveis de exposição da energia luminosa incidente, conduzir a fotossíntese em um organismo fototrófico.

Uma modalidade de uma unidade fotobiorreatora 100 é ilustrada nas Figuras 1a e 1b. O meio líquido 101 flui ao longo de uma trincheira (ou, equivalentemente, canal) 102 dentro da unidade fotobiorreatora 100, e o gás, tais como o gás de combustão de uma

central elétrica, flui por um espaço superior gasoso 104 formado entre o meio líquido 101 e uma cobertura(s) 106 pelo menos parcialmente transparente à luz. A cobertura 106 pode ser construída de tal modo que o espaço superior gasoso 104 permaneça essencialmente constante quando nenhuma pressão de gás ou uma pressão de gás negativa forem aplicadas ao interior da unidade fotobiorreatora 100.

Conforme o fluxo de gás rico em CO₂ flui sobre o meio líquido 101, o CO₂ se dissolve no meio líquido, e as algas dentro do meio líquido usam o CO₂ e a luz solar (ou outra fonte de luz) para realizar a fotossíntese, crescer e se reproduzir, produzindo desse modo a bio massa. Os fluxos do meio líquido, em certas modalidades com uma taxa controlada, pela unidade fotobiorreatora 100, e as algas, em certas modalidades, são colhidos em uma saída da unidade fotobiorreatora 100 removendo o líquido rico em algas da unidade fotobiorreatora.

Em algumas modalidades, a unidade fotobiorreatora 100 pode ter aproximadamente 10 metros de largura e a unidade fotobiorreatora total 100 pode ter um comprimento adequado para processar uma quantidade desejada de CO₂. Em geral, os comprimentos das unidades fotobiorreatoras excedem a largura, e a proporção do comprimento para a largura pode ser maior do que 100:1, e pode exceder 1000:1. O gás contendo concentrações elevadas de CO₂ (isto é, concentrações de CO₂ que são mais altas do que a do ar ambiente) pode variar de 1 % a 100 %, mas tipicamente possui uma faixa de variação de 4 % a 20 %. A pressão operacional do reator pode variar geralmente de aproximadamente 0,77 kg/cm² a 1,41 kg/cm², preferivelmente de 0,91 kg/cm² a 1,12 kg/cm². As taxas de fluxo do gás podem variar geralmente de aproximadamente 0,05 cm/s a 50 cm/s, ou outra taxa de fluxo adequada. As taxas de fluxo de líquido podem variar geralmente de aproximadamente 1 cm/s a 100 cm/s. As concentrações de biomassa geralmente podem variar de 0,01 g/L a 10 g/L.

Várias características estruturais de uma modalidade da unidade fotobiorreatora 100 serão descritas agora, mas é importante observar que uma determinada implementação estrutural desta modalidade não está destinada a ser limitante.

A base 110 da unidade fotobiorreatora 100 é formada de uma base de cascalho compactado, e a cobertura 106 é apoiada por arcos estruturais 112. Os arcos estruturais 112 são presos a suportes 114 introduzidos nas paredes laterais da trincheira 116 formada do mesmo material que a base (por exemplo, cascalho compactado). Uma forração de fundo 120 é colocada ou formada sobre da base 110 para fornecer uma superfície impermeável ao líquido. A forração 120 pode ser, por exemplo um filme plástico, por exemplo, um filme de polietileno, ou qualquer outra forração adequada.

A cobertura 106 pode ser construída de uma ampla variedade de materiais transparentes ou translúcidos que são adequados para o uso na construção de um

bioreator. Alguns exemplos incluem, mas não são limitados a, vários materiais poliméricos transparentes ou translúcidos, tais como polietileno, polipropileno, polietileno tereftalato, poliacrilato, poli(cloreto de vinila), poliestireno, policarbonatos, etc. Alternativamente, a cobertura 106 pode ser formada de vidro ou de fibra de vidro suportada por resina. Em certas modalidades, a cobertura 106, em certas modalidades em combinação com elementos de suporte, tais como elementos de suporte 112/114, é suficientemente rígida para ser auto-suportada e resistir às típicas forças esperadas experimentadas durante a operação sem um colapso ou uma deformação substancial. Partes da cobertura 106 podem não ser transparentes em certas modalidades, e tais partes podem ser feitas de materiais semelhantes tal como os acima descritos para as partes pelo menos parcialmente transparentes da cobertura 106, exceto que, quando se deseja que elas não sejam transparentes, tais materiais devem ser opacos ou cobertos de um material bloqueador da luz.

A cobertura 106 pode incluir um material estável ao UV e pode, em certas modalidades ter entre aproximadamente 4 mm e 6 mm de espessura, dependendo do material. O material, em certas modalidades em combinação com elementos de suporte, tais como os elementos de suporte 112/114, pode ser projetado para apoiar cargas externas, tais como neve, vento e/ou pressões negativas aplicadas pela ventilação forçada de um exaustor de ar. Adicionalmente, em algumas modalidades, a cobertura 106 pode ser capaz de resistir à pressão interna, tal como quando a ventilação forçada de um exaustor é usada para empurrar o gás pela unidade fotobiorreatora 100.

Cada seção 130 pode incluir uma cobertura separada 106 com cada cobertura 106 unida a coberturas adjacentes, quando as seções 130 são interligadas. Em algumas modalidades, cada seção possui elementos de suporte 112/114 e uma parte única de polietileno ou outro material adequado que é usado para cobrir todas as múltiplas seções 130.

Cada unidade fotobiorreatora 100 pode ser formada com múltiplas seções fotobiorreatoras 130 definidas, na modalidade ilustrada, por seções de cobertura 106 separadas. Desse modo, a construção do comprimento projetado da unidade fotobiorreatora 100 pode ser realizada simplesmente selecionando e interligando o número adequado de seções fotobiorreatoras 130. Em algumas modalidades, o comprimento da unidade fotobiorreatora 100 pode ser modificado e a taxa do fluxo de gás e/ou líquido pode ser modificada para acomodar modificações de longo prazo das necessidades de tratamento. Adicionalmente, o reajuste da unidade fotobiorreatora 100 tal como aumentando ou reduzindo o comprimento pode ser possível.

Embora a modalidade de unidade fotobiorreatora mostrada nas Figuras 1a e 1b incluam uma trincheira 102 para criar um canal de fluxo líquido, em algumas modalidades,

nenhuma trincheira pode estar presente e o canal de uma corrente líquida pode ser formado no, ou acima do, nível. Em certas modalidades, a base compreendendo o canal de fluxo líquido pode não ser longitudinalmente contínua como ilustrado, mas pode compreender diversas seções interligadas. Por exemplo, em certas modalidades, as seções 130 podem ser definidas tanto por uma seção de cobertura separada e uma seção de base separada associadas uma com a outra. A elevação da unidade fotobiorreatora pode ser substancialmente constante ao longo do comprimento total do canal ou partes substanciais do mesmo, e o fluxo de gravidade da corrente líquida pode ser induzido pela adição de líquido a uma primeira extremidade da unidade fotobiorreatora e permitindo um excesso (por exemplo, por cima de uma parede, ou represa, etc.) no extremo oposto. Em algumas modalidades, a unidade fotobiorreatora pode ter uma elevação descendente geral, contínua para promover o fluxo líquido. Em ainda outras modalidades, as quedas abruptas da elevação podem ser fornecidas nas ligações das seções fotobiorreatoras para criar o fluxo líquido e/ou um efeito de queda em cascata e/ou facilitar a instalação e a operação por cima de áreas de terra com modificações de elevação mais substanciais.

A cobertura 106 é mostrada como um semicírculo ou outra superfície curva em muitas das modalidades aqui divulgadas, entretanto, qualquer forma adequada pode ser usada, incluindo um retangular, triangular ou formas trapezoidais.

Referindo-se agora à Figura 2, uma modalidade de um sistema fotobiorreator em larga escala 200 é mostrado na vista em perspectiva. Nesta modalidade, os fluxos de gás na direção oposta ao fluxo da corrente de líquido, entretanto, em algumas modalidades, o gás pode fluir na mesma direção que a corrente líquida. Dez unidades fotobiorreatoras paralelas 100 são mostradas na modalidade da Figura 2, porém menos (incluindo uma unidade fotobiorreatora única) ou mais unidades fotobiorreatoras podem ser usadas. Embora as unidades fotobiorreatoras 100 tal como ilustrado compreendam segmentos retos, lineares, em modalidades alternativas, uma ou mais das unidades fotobiorreatoras podem ser, se desejado, arqueadas, serpentinas, ou de outro modo não lineares. Uma anteparo de entrada de líquido / saída de gás 204 corre perpendicular às unidades fotobiorreatoras em uma primeira extremidade do sistema fotobiorreator 200. Em uma extremidade oposta do sistema fotobiorreator 200, uma anteparo saída de líquido / entrada de gás 206 também corre perpendicularmente às unidades fotobiorreatoras 100. Uma drenagem de água da chuva opcional e o canal de acesso de veículo 208 corre paralelamente do lado exterior de todo o sistema fotobiorreator; entretanto, a drenagem e o canal de acesso de veículo 208 podem ser posicionados entre as unidades fotobiorreatoras paralelas, ou podem não estar presentes de forma nenhuma. Em algumas modalidades, canais menores de drenagem de água da chuva que não acomodam veículos, podem ser fornecidos.

Os comprimentos de unidades fotobiorreatoras 100 são selecionados para serem

suficientes, para fornecer uma dada taxa de circulação meio líquido desejada, fornecer o tempo de contato de gás e líquido suficiente para fornecer um nível desejado de transferência de massa entre o gás e o meio líquido. O tempo ótimo de contato depende de vários fatores, particularmente a taxa de crescimento algínica e a taxa de absorção de carbono e nitrogênio bem como composição de gás de alimentação e taxa de fluxo e taxa média de fluxo do líquido. A modificação de escala do sistema fotobiorreator 200 com um todo pode ser realizada, por exemplo, simplesmente pela adição de unidades fotobiorreatoras adicionais ao sistema, tal como pela adição de unidades fotobiorreatoras em uma posição paralela às unidades fotobiorreatoras existentes.

Tal como descrito acima, cada unidade fotobiorreatora 100 pode incluir várias zonas que possuem funcionalidades diferentes. Uma ou mais seções fotobiorreatoras podem ser configuradas como uma zona de névoa 216 para controlar a adição de nutrientes / meios ao sistema e facilitar a transferência de massa gás / líquido. Os nutrientes e/ou o meio no qual os nutrientes são transportados podem ser fornecidos em certas modalidades pelo menos em parte reciclando o meio esgotado pelas algas em um sistema de desidratação. Mais de uma seção de névoa de nutrientes 216 pode ser fornecida. Empregando uma construção baseada na seção modular, o canal e/ou as seções de cobertura que incluem atomizadores podem ser acrescentadas ou removidas depois da construção se for desejado. Em outras modalidades, os nutrientes podem ser adicionados por métodos diferentes da formação de névoa tal como pela extração por meio de bombeamento direto na corrente líquida. Os nutrientes e/ou o meio não reciclados (isto é reposição fresca) também, ou exclusivamente, podem ser usados para abastecer a corrente líquida em algumas modalidades.

Naturalmente em algumas modalidades, os nutrientes podem ser adicionados usando dispositivos diferentes de atomizadores. Por exemplo, os nutrientes podem fluir de uma tubulação dentro da corrente do meio líquido, ou os nutrientes podem ser chovidos do topo da unidade fotobiorreatora usando um tubo com aberturas espaçadas.

Cada unidade fotobiorreatora 100 ou certas unidades fotobiorreatoras em certas modalidades podem incluir uma zona de resfriamento 220 compreendendo, em certas modalidades, seções de resfriamento 222. Como descrito abaixo com referência à Figura 5, a zona de resfriamento 220 pode incluir partes nas quais a corrente líquida é exposta à atmosfera para permitir o resfriamento pela evaporação.

A colheita de algas, ajustando concentração algínica, e introduzindo um meio líquido adicional pode ser facilitado via anteparo de entrada do meio líquido 204 e anteparo de passagem do meio líquido 206. O controle da concentração de algas pode ser importante do ponto de vista de manter um nível desejável de crescimento e a proliferação algínica. As algas podem ser colhidas periodicamente ou continuamente das extremidades das unidades

fotobiorreatoras, ou, em algumas modalidades, de uma ou mais posições localizadas entre as extremidades das unidades fotobiorreator.

Vários mecanismos ou dispositivos podem em certas modalidades ser incluídos nas unidades fotobiorreatoras 100 para aumentar a área superficial da interface entre o gás e o meio líquido para facilitar a transferência de massa. Os boirrifadores que borrifam o meio líquido no espaço superior gasoso podem ser usados em algumas modalidades. Em algumas modalidades, o meio líquido pode ser direcionado para ou por cima de filmes de plástico ou outro material adequado de tal modo que o meio líquido flua sob e/ou sobre as superfícies dos filmes e retorne para a corrente líquida. Alternativamente ou adicionalmente, as folhas do material que incluem bolsas que podem ser periodicamente mergulhadas na corrente líquida e puxadas de modo ascendente no espaço superior gasoso para aumentar a área superficial líquida disponível. Em certas modalidades, objetos flutuantes e/ou dispositivos configurados para estar parcialmente submersos no meio líquido (por exemplo, uma roda de pás) pode ser usado para facilitar o aumento da área interfacial de gás e líquido e a transferência de massa. Em tais certas modalidades, os objetos podem ser transparentes de tal modo que eles também possam atuar para permitir a penetração da luz a maiores profundidades dentro dos meios. Em algumas modalidades, os elementos podem ser empregados para produzir ondulações superficiais ou até ondas que viajam lateralmente ou longitudinalmente dentro do meio líquido para aumentar a transferência de massa entre o gás e o líquido.

Pelo menos uma ou cada unidade fotobiorreatora 100 pode em certas modalidades incluir uma ou mais zonas ou seções de desvio 230 que desviam partes das correntes líquidas para pelo menos uma unidade de refluxo, tal como um canal de refluxo 232. Por exemplo, pelo menos uma seção do canal ou da zona de uma unidade fotobiorreatora pode permitir ao líquido fluir perpendicularmente à unidade fotobiorreatora para conseguir o canal de refluxo 232 (ver Figuras 6a a 7). O líquido no canal de refluxo então pode fluir na direção da anteparo de entrada do meio líquido 204 e pode ser adicionado ao influxo líquido por uma bomba (por exemplo, uma bomba de parafuso de Arquimedes). Pelo reciclo de um pouco do meio líquido compreendendo os organismos fototróficos no mesmo, a adição de novo inóculo ao meio líquido na parte dianteira da unidade fotobiorreatora pode ser reduzida ou eliminada em certas modalidades. Em algumas modalidades, a taxa de recirculação pode estar geralmente numa faixa de variação de 0,1 a 0,95 e preferivelmente está numa faixa de variação de 0,5 a 0,7.

Como seria evidente para aqueles experientes na técnica, as configurações particulares de várias unidades fotobiorreatoras e os componentes do sistema fotobiorreator dependerão do determinado uso em que o fotobiorreator é empregado, a composição e a quantidade do gás a ser tratado e outros parâmetros específicos determinados para

aplicações individuais. Considerando a orientação fornecida aqui e o conhecimento e informação disponíveis para os versados nas técnicas da engenharia química, engenharia bioquímica, e no projeto de biorreatores, cada um pode selecionar prontamente certos parâmetros operacionais e projetar configurações apropriadas para uma determinada aplicação, utilizando não mais do que um nível regular de engenharia e a experimentação que não implica em nenhuma carga excessiva.

Como discutido acima na descrição da Figura 2, em certas modalidades, o sistema fotobiorreator 200 pode compreender diversas unidades fotobiorreatoras idênticas ou semelhantes 100 interligadas em paralelo. Além disso, em certas modalidades, pelo menos uma ou cada unidade fotobiorreatora pode compreender uma seção fotobiorreatora ou diversas seções fotobiorreatoras em série. Tal modificação de escala pode fornecer a flexibilidade para aumentar a capacidade do sistema fotobiorreator e/ou aumentar o grau da remoção de determinados componentes da corrente de gás como uma determinada aplicação ou exigência de necessidades. Em uma tal modalidade, um sistema fotobiorreator é projetado para separar espécies de algas que são eficientes na utilização de NO_x de espécies eficientes na utilização de CO_2 . Por exemplo, umas algas eficientes para o nitrogênio são colocadas em uma primeira unidade fotobiorreatora ou uma primeira zona de uma unidade fotobiorreatora e algas eficientes para o carbono é colocada em uma segunda a unidade fotobiorreatora ou em uma segunda zona da mesma unidade fotobiorreatora em série com a primeira zona. O gás de combustão entra na primeira unidade/zona fotobiorreatora e é esgotado do nitrogênio (de NO_x), depois flui pela segunda unidade/zona fotobiorreatora e é esgotado do carbono (de CO_2).

O termo “fluidicamente interligado”, quando usado no contexto de canais condutores, câmaras, ou outras estruturas contanto que aqui sejam capazes de conter e/ou transportar o gás e/ou o líquido, se refere a tais condutores, canais, reservatórios, ou outras estruturas de construção unitária ou conectadas em conjunto, diretamente ou indiretamente, para fornecer um caminho de fluxo coerente contínuo de um condutor ou canal, etc., ao outro ao qual eles são fluidicamente interligados. Neste contexto, dois condutores ou canais, etc. pode ser “fluidicamente interligados” se houver, ou puder ser estabelecido, o fluxo de líquido e/ou de gás pelos e entre os condutores e/ou canais (isto é dois condutores/canais são “fluidicamente interligados” mesmo se houver uma válvula entre os dois condutores/canais que pode ser fechada, quando desejado, para impedir o fluxo de fluido entre os mesmos).

Um canal ou a trincheira podem compreender, em certas modalidades, paredes impermeáveis ao fluido para parcialmente ou completamente envolver um fluido que passa pelo canal ao longo da sua direção de fluxo. Em outras modalidades, a parede de um canal só pode cercar parcialmente um fluido que passa pelo canal ao longo da sua direção de

fluxo e/ou a parede pode ter algum grau da permeabilidade em relação a um fluido que flui pelo canal, contanto que a parede cerque suficientemente o fluido e seja impermeável ao fluido até um ponto suficiente para ser capaz de estabelecer e manter uma direção de fluxo de volume de fluido geralmente ao longo de uma trajetória paralela a um eixo longitudinal ou curva que define o centro geométrico do canal ao longo do seu comprimento. O meio líquido contido dentro do sistema fotobiorreator durante a operação tipicamente compreende a água ou uma solução salina (por exemplo, água do mar ou água salobra) contendo nutrientes suficientes para facilitar viabilidade e o crescimento de algas e/ou outros organismos fototróficos contidos dentro do meio líquido. Tal como discutido abaixo, é muitas vezes vantajoso utilizar um meio líquido de água salobra compreendendo, água do mar, ou outra água não potável obtida de uma localidade em que o sistema fotobiorreator será operado e do qual as algas contidas no mesmo foi desviada ou adaptada. Determinadas composições do meio líquido, dos nutrientes, etc. necessárias ou adequadas para o uso na manutenção do crescimento de algas ou a cultura de outros organismos fototróficos são bem conhecidos na técnica. Potencialmente, uma ampla variedade dos meios líquidos pode ser utilizada em várias formas para várias modalidades da presente invenção, como seria entendido por aqueles com habilidades normais na técnica. Potencialmente os componentes de um meio líquido adequado são discutidos, por exemplo, detalhadamente em Rogers, L.J. e Gallon J.R. "*Biochemistry of the Algae and Cyanobacteria*," Clarendon Press Oxford, 1988; Burlew 1961; e Round, F.E. *The Biology of the Algae*. St Martin's Press, New York, 1965; cada um incorporado aqui pela referência).

A Figura 3 esquematicamente mostra uma modalidade de um tratamento de gás / produção de biomassa / sistema fotobiorreator 300 que usa a energia solar e o sistema fotobiorreator 200 compreendendo unidades fotobiorreadoras 100 para produzir a biomassa usando um gás de combustão contendo concentrações elevadas do gás carbônico (isto é, gás possuindo uma concentração do gás carbônico maior do que o ar ambiente). O gás de combustão é enviado de uma fonte de CO₂ 302 para um condicionador de gás 306, tal como uma zona de resfriamento convencional conhecida por uma pessoa versada na técnica, para reduzir a temperatura de gás e possivelmente retirar espécies perigosas, tais como gases ácidos. Em certas modalidades, um ventilador de fluxo forçado 308 pode ser usado para facilitar esta transferência de gás de combustão e/ou empurrar o gás por unidades fotobiorreadoras 100, mas em algumas modalidades nenhum ventilador de fluxo forçado é usado. O gás então é enviado pelas unidades fotobiorreadoras 100 para que o gás carbônico (e potencialmente outros gases) possa interagir com uma corrente líquida nas unidades fotobiorreadoras para gerar a biomassa. O sistema de Fotobiorreator 200 pode ser construído de uma ou mais unidades fotobiorreadoras 100 tal como descrito acima. Na modalidade mostrada na Figura 3, o gás tem um fluxo em contracorrente ao fluxo de líquido,

isto é, o fluxo de corrente de líquido da anteparo 204 de entrada de líquido / saída de gás para a saída de líquido / entrada de gás 206. O meio de líquido de reposição (não mostrado) pode ser adicionado durante a operação. Em algumas modalidades, por exemplo, tal como descrito abaixo com referência à Figura 10, o fluxo de gás pode ser concorrente com o fluxo da corrente de líquido.

As unidades fotobiorreatoras 100 podem incluir diferentes zonas, por exemplo, 218, 219, 220, 221, ao longo dos comprimentos de várias unidades fotobiorreatoras. Em algumas modalidades, cada unidade fotobiorreatora pode ter zonas semelhantes, embora em outras modalidades, zonas diferentes e/ou as posições das zonas diferentes podem ser fornecidas em várias unidades fotobiorreatoras. Por exemplo, em uma primeira zona 218, o bioreator pode incluir capacidades de adição de nutrientes, tais como instalações para produção de névoa de nutrientes. Uma segunda zona 219 pode fornecer a opção de desviar uma porção do fluxo líquido das unidades fotobiorreatoras principais para que possa ser retornada a uma zona a montante. A terceira zona 220 pode incluir capacidades de resfriamento, tais como resfriamento pela evaporação. Uma quarta zona 221 pode ser projetada e/ou controlada para estressar ambientalmente algas, por exemplo, para aumentar a produção de lipídios. Deve ser notado que essas zonas particulares são fornecidas somente como forma de exemplo, e tal como descrito posteriormente abaixo, o sistema fotobiorreator 200 e/ou as unidades fotobiorreatoras individuais dentro do sistema fotobiorreator 200 podem incluir mais ou menos zonas.

O gás exaurido de CO_2 sai das unidades fotobiorreatoras 100 pelo anteparo de entrada de líquido / saída de gás 204 e pode ser ventado para a atmosfera ou passado para novas opções de tratamento. Um exaustor de fluxo induzido 312 pode ser usado para puxar o gás pelo bioreator, ou, tal como descrito acima, um ventilador de fluxo forçado 308 pode ser usado a montante das unidades fotobiorreatoras 100 em vez de ou além do exaustor de fluxo induzido em algumas modalidades. Usando um exaustor de fluxo induzido, o sistema fotobiorreator e/ou outras partes do sistema total podem ser mantidos em uma pressão negativa, desse modo reduzindo o risco da ventilação desintencional de gases não tratados para a atmosfera. Adicionalmente, o uso de um exaustor de fluxo induzido (por exemplo, um soprador), pode simplificar a integração de um sistema fotobiorreator com centrais elétricas existentes que desse modo reduzem perturbações para acionar operações de planta. Considera-se que um soprador é fluidicamente unido a uma unidade fotobiorreatora mesmo se ele não for diretamente unido à unidade fotobiorreatora, isto é, outras partes de. o equipamento ou outros canais podem ser unidos entre a unidade fotobiorreatora e o soprador.

Em certas modalidades, uma porção da corrente líquida pode ser desviada, como mostrado pela seta 318, de uma zona a jusante das unidades fotobiorreatoras 100 e

retornado a um a montante zona (ou em algumas modalidades à anteparo de entrada de líquido / saída de gás 204) que pode fornecer alguns benefícios de um sistema de reator “com mistura de retorno”. Neste sentido, a quantidade de inóculo adicionado ao líquido nas unidades fotobiorreatoras pode ser reduzido ou eliminado. Adicionalmente, o tempo de

5 residência médio total do meio líquido pode ser aumentado sem estender o comprimento das unidades fotobiorreator. O meio líquido divertido pode ser devolvido em uma posição e em uma maneira de tal modo que a turbulência aumenta ou causas meio líquido retornado na corrente líquida, que pode melhorar o aquecimento ou o resfriamento e/ou a fotomodulação em certas seções de unidade fotobiorreatora.

10 Tal como acima mencionado, as unidades fotobiorreatoras 100 também podem incluir uma zona de resfriamento 220, tal como uma zona de resfriamento por evaporação. Em algumas modalidades, enquanto flui pela unidade fotobiorreatora 100, a corrente líquida temporariamente sai da porção fechada da unidade fotobiorreatora e é exposta à atmosfera. Evaporação de uma parte do líquido resfria o líquido restante, que então é reintroduzido na

15 porção fechada da unidade fotobiorreatora 100. Cada unidade fotobiorreatora pode ser construída e arrumada de tal modo que a corrente líquida não modifique significativamente a direção ou a velocidade de saída e de reentrada na porção fechada da unidade fotobiorreatora. Por exemplo, tal como mostrado na Figura. 5, uma ou mais seções fotobiorreatoras de um fotobiorreator de 10 unidades pode incluir paredes que reduzem a

20 quantidade da área da sessão transversal disponível para o fluxo de gás, mas fornecem uma área onde a seção de cobertura pode ser removida ou destinada, tal como mostrado, a permitir a exposição da corrente líquida à atmosfera.

Em algumas modalidades das zonas de resffriamento por evaporação, uma porção da corrente líquida pode ser continuamente exposta à atmosfera, isto é, por uma zona

25 relativamente longa de unidades fotobiorreatoras, que podem ser compostas de um grande número de seções fotobiorreatoras, a zona, ou cada seção compreendendo tal zona, pode incluir uma área (por exemplo, no lado lateral da trincheira) que fornece uma área de resffriamento por evaporação. A mistura substancialmente contínua da porção exposta da corrente líquida com a porção não exposta da corrente líquida pode fornecer o resfriamento

30 adequado do reator.

As seções e/ou as unidades fotobiorreatoras das unidades podem ser aquecidas e mantidas em certa temperatura ou a temperatura varia adequada ou otimamente para a produtividade. Essas variedades de temperatura específicas, desejáveis da operação dependerão, naturalmente, das características das espécies fototrófica usadas dentro dos

35 sistemas fotobiorreator, do tipo de fotobiorreator, etc. Tipicamente, é desejável manter a temperatura do meio líquido entre aproximadamente 5 °C e aproximadamente 45 °C, mais tipicamente entre aproximadamente 15 °C e aproximadamente 37 °C, e bem mais

tipicamente entre aproximadamente 15 °C e aproximadamente 25 °C. Por exemplo, uma temperatura desejável para a condição operacional de um fotobiorreator que utiliza algas de *Chlorella* pode ter uma temperatura de meio líquido controlada em aproximadamente 30 °C durante o dia e aproximadamente 20 °C durante a noite. Em uma modalidade, a temperatura do fotobiorreator é mantida em aproximadamente 20 °C.

Em certas modalidades, a temperatura, a velocidade, o tempo de residência, as profundidades e/ou as concentrações dos nutrientes podem ser mantidos a níveis/valores diferentes nas várias zonas para controlar fatores diferentes e/ou fornecer uma determinada funcionalidade. Por exemplo, é possível em certas modalidades, manter uma zona para maximizar taxas de crescimento e manter condições em outra zona para maximizar a produção de lipídios.

A saída líquida rica em algas do sistema fotobiorreator 200 pode ser enviada a um sistema de desidratação 322. Vários métodos convencionais e/ou os sistemas de desidratação podem ser usados para retirar a água das algas, incluindo a flotação por ar dissolvido e/ou a filtração por fluxo tangencial, ou qualquer outra aproximação adequada de desidratação.

As algas desidratadas podem ser enviadas para um processamento adicional 324, por exemplo, a secagem. A biomassa algal seca pode ser usada diretamente como um combustível sólido para uso em um dispositivo ou instalação de combustão e/ou pode ser convertida em um óleo de grau combustível (por exemplo, biodiesel) e/ou outro combustível (por exemplo, etanol, metano, hidrogênio). As algas também podem ser usadas como suplementos alimentares para seres humanos e animais. Em certas modalidades, pelo menos uma porção da biomassa, seca ou antes da secagem, pode ser utilizada para a produção de produtos compreendendo moléculas orgânicas, tais como óleo de grau combustível (por exemplo, biodiesel) e/ou um polímero orgânico. Os métodos de produzir óleos de grau de combustível e gases da biomassa algal são bem conhecidos na técnica (ver, por exemplo, Dote, Yutaka, "Recovery of liquid fuel from hydrocarbon rich micro algae by thermo chemical liquefaction," Fuel. 73: Nº 12. (1994); Ben-Zion Ginzburg, "Liquid Fuel (Oil) From Halophilic Algae: A renewable Source of Non-Polluting Energy, Renewable Energy," Vol. 3, No 2/3. pp. 249-252, (1993); Benemann, John R. e Oswald, William J., "Final report to the DOE: System and Economic Analysis of Micro algae Ponds for Conversion of CO₂ to Biomass." DOE/PC/93204-T5, Março de 1996; e Sheehan et al., 1998; cada uma das mesmas aqui incorporada pela referência).

O meio esgotado em algas que resulta das operações desidratação pode ser descartado ou pode ser devolvido ao sistema fotobiorreator 200 (depois de ser opcionalmente misturado com o meio líquido fresco), tal como mostrado pela seta 328, pelo retorno de nutrientes não usados ao sistema. Tal abordagem pode reduzir a quantidade de

água fresca e de nutrientes a serem adicionados ao sistema.

Em algumas modalidades, outros processos do sistema fotobiorreator podem estar integrados à central elétrica ou outra fonte de CO₂. Por exemplo, o gás de combustão quente da central elétrica pode ser usado, pelo menos parcialmente, para secar a biomassa produzida pelo sistema fotobiorreator.

As algas, ou outros organismos fototrófica, em certas modalidades, podem ser pré-adaptadas e/ou pré-condicionadas a condições ambientais e operacionais específicas esperadas a serem experimentadas em um fotobiorreator em grande escala do sistema da invenção durante o uso. Os métodos e as aparelhagens para adaptação e as algas do pré-condicionamento podem ser encontrados normalmente no Pedido de Publicação Internacional N° WO 2006/020177, que é desse modo incorporado pela referência em sua totalidade.

Embora o sistema fotobiorreator 200 seja descrito como utilizado com a luz solar natural, em modalidades alternativas, pode ser utilizada uma fonte de luz artificial que fornece luz em um comprimento de onda capaz de conduzir a fotossíntese em complemento a ou em vez da luz solar natural. Por exemplo, um fotobiorreator que utiliza tanto luz solar como uma fonte de luz artificial pode ser configurado para utilizar a luz solar durante as horas de luz do dia e a luz artificial durante as horas da noite, para aumentar a quantidade total de tempo durante o dia no qual o sistema fotobiorreator pode converter CO₂ na biomassa pela fotossíntese.

Já que diferentes tipos de algas podem necessitar de diferentes condições de exposição à luz para um ótimo crescimento e proliferação, em certas modalidades, particularmente aquelas onde as espécies algínicas sensíveis são empregadas, a modificação da aparelhagem ou dos dispositivos de iluminação podem ser utilizados na construção do fotobiorreatores da presente invenção. Algumas espécies de algas crescem muito mais lentamente ou morrem quando expostas à luz ultravioleta. Se a espécie específica de alga que é utilizada no fotobiorreator é sensível à luz ultravioleta, então, por exemplo, certas partes da cobertura 106, ou alternativamente, a superfície exterior e/ou interior da cobertura inteira, podem ser revestidas ou cobertas por um ou mais filtros de luz que podem reduzir a transmissão da radiação indesejada. Tal filtro de luz pode ser prontamente projetado para permitir a entrada no sistema fotobiorreator de comprimentos de onda do espectro da luz de que as algas precisam para o crescimento, proibindo ou reduzindo a entrada das partes perigosas do espectro da luz. Tal tecnologia de filtro ótico está comercialmente disponível com outros objetivos (por exemplo, nos revestimentos das janelas dos carros e das residências). Um filtro ótico adequado com esta finalidade pode compreender um filme de polímero transparente filtro ótico, tal como SOLUS® (fabricado pela Corporate Energy, Conshohocken, Pensilvânia). Uma ampla variedade de outros filtros

óticos e mecanismos de bloqueio/filtração da luz adequados para o uso no contexto acima mencionado será prontamente evidente para aqueles com habilidade normal na técnica. Em certas modalidades, particularmente para sistemas fotobiorreatores utilizados em climas quentes, como parte de um mecanismo de controle de temperatura, um filtro de luz compreendendo um filtro infravermelho pode ser utilizado para reduzir a entrada de calor no sistema fotobiorreator, reduzindo, desse modo, o aumento da temperatura do meio líquido.

Referindo-se agora à Figura 4, é ilustrada uma modalidade de um fotobiorreator com uma seção ou zona de névoa de nutriente / meio 400. Uma entrada de líquido 402 pode ser formada de um canal que também fornece o suporte para um atomizador 404. Em algumas modalidades, o líquido pode fluir na entrada 402 e todo do líquido pode sair pelo atomizador 404. Em algumas modalidades, o líquido pode fluir pela entrada 402 e um pouco do líquido pode sair pelo atomizador 404 embora as saídas de líquido restantes por uma saída 406 no lado oposto de seção ou zona 400 e continua para uma unidade fotobiorreatora adjacente. O atomizador 404 é mostrado borrifando o líquido descendentemente na Figura. 4, mas em algumas modalidades o líquido pode ser direcionado de modo ascendente em direção ao interior da cobertura 106, tal como diretamente de modo ascendente. Desse modo, o atomizador 404 ou outro dispositivo de injeção de líquido pode ajudar a limpar o interior da cobertura 106 e o filme fino de líquido formado na superfície interior da cobertura pode melhorar também a transferência de massa gás / líquido.

A Figura 5 mostra uma vista em perspectiva de uma modalidade de uma zona de resfriamento 220 para uma unidade fotobiorreatora 100. Nesta modalidade, a cobertura 106 forma três paredes 502, 503, 504 que reduzem a área da seção transversal do espaço superior gasoso. Cada parede 502, 503, 504 penetra na corrente líquida 101 de tal modo que a unidade fotobiorreatora 100 permaneça à prova do gás. As paredes 502, 503, 504 podem, entretanto, em certas modalidades, não atingir a base da unidade fotobiorreatora 100, de tal modo que, por isso, em tais modalidades, a corrente líquida pode fluir prontamente em evaporative a área que esfria 508. Em algumas modalidades, os boirrifadores 510 ou outros dispositivos que aumentam a área superficial de exposição da corrente líquida para a atmosfera podem ser empregados para melhorar o resfriamento pela evaporação.

Embora a área 508 de resfriamento por evaporação é mostrada como estando presente somente em um lado da unidade fotobiorreatora nesta modalidade, uma segunda área de resfriamento por evaporação pode adicionalmente (ou em vez disso) ser fornecida no lado oposto da unidade fotobiorreatora, ou ser posicionada em uma posição intermediária posicionada entre os dois lados lateralmente opostos da unidade fotobiorreatora 100. Para modalidades nas quais a zona de resfriamento 220 compreende uma ou mais seções

interconectáveis do fotobiorreator, tal como com seções fotobiorreadoras que incluem os atomizadores de nutrientes para as modalidades incluindo tais seções fotobiorreadoras, a permutabilidade das seções fotobiorreadoras podem permitir a adição ou a subtração de áreas de resfriamento depois da instalação do sistema fotobiorreator.

5 Uma modalidade de um desvio de fluxo líquido da seção ou zona 230 do fotobiorreator é ilustrada nas Figuras 6a e 6b. Como mostrado na Figura 6a, uma represa móvel 240 pode ser desdobrada de tal modo que todo o líquido na corrente de líquido de unidade fotobiorreadora 101 seja dirigido por canais de desvio 242. Em tal configuração, nenhum líquido que flui pela seção ou zona de desvio 230 do fotobiorreator é desviado, e
10 todo do meio líquido que flui pela seção continua em direção à passagem meio líquido. Com a represa móvel 240 baixada, como mostrado na Figura 6b, uma porção do meio líquido é desviada para um canal transversal 244 que flui para um canal de refluxo, tal como uma unidade de refluxo 232 ilustrada na Figura 2. Em alguns casos, toda da corrente líquida é desviada dependendo das alturas relativas dos canais de desvio 242, da represa ajustável
15 240 e dos níveis de líquidos na trincheira 102 e no canal transversal 244. Em certas modalidades, o grau de desvio é controlável, um ou ambos, manualmente ou pelo uso de um sistema de controle do processo operado por um computador.

Um controlador, por exemplo, um sistema implementado pelo computador, pode ser usado para monitorar e controlar a operação de vários componentes das seções, unidades e
20 sistemas fotobiorreatores, aqui divulgados, incluindo válvulas, sensores, represas, sopradores, exaustores, abafadores, bombas, etc. Certas modalidades podem empregar os sistemas de computador e os métodos descritos comumente na Publicação Internacional N°. WO 2006/020177, particularmente com referência à Figura 7A daquela publicação. Em adição às operações de automação dos aspectos do sistema fotobiorreator, o uso de um
25 sistema implementado pelo computador pode facilitar a otimização ou melhorar a eficiência do sistema determinando valores adequados de vários parâmetros de controle. Em algumas modalidades, o fluxo pode ser controlado para o fornecido de um nível desejado de turbulência e intervalos de exposição claro/escuro para um crescimento melhorado, e descrito e determinado de acordo com os métodos descritos também na Publicação
30 Internacional N°. WO 2006/020177.

A Figura 7 mostra outra modalidade de uma seção ou zona de desvio 230 de um fotobiorreator. Nesta modalidade, uma represa ajustável 250 pode ser abaixada para permitir ao meio líquido fluir para o canal transversal 244. Quando a represa ajustável 250 é levantada, os fluxos médios de líquidos por uma porção de desvio 254 da zona de desvio
35 230 para continuar ao longo da unidade fotobiorreadora.

Uma modalidade de uma zona de anteparo de líquido e de gás 600 é mostrada nas Figuras 8a a 8b. Em certas modalidades, uma série de seções 600 pode ser unida ponta a

ponta e percorrer transversalmente várias unidades paralelas de unidades fotobiorreatoras, tal como mostrado na Figura 9. Cada seção 600 de anteparo pode incluir uma represa automatizada 601 ou outro elemento de controle de líquido para o controle ajustável do tamanho e da elevação de uma passagem líquido 602. Cada seção 600 de anteparo pode também incluir um abafador de gás de combustão 603 ou outro elemento de controle de gás de combustão para controlar o tamanho de uma passagem de gás 604. Uma saliência 606 ou um espinhaço para a anexação a uma unidade fotobiorreatora pode ser fornecida em um lado da seção 600 do anteparo. Os tamanhos das passagens de líquido 602 e a passagem de gás 604 podem ser fixos ou ajustáveis. Por exemplo, em um sistema com uma taxa de fluxo de corrente líquida consistente, as represas de cada uma das diversas unidades fotobiorreatoras podem ser permanentemente ajustadas de tal modo que o fluxo dos anteparos seja substancialmente igual para cada unidade fotobiorreatora. Em outras modalidades, cada seção de anteparo pode incluir uma represa ajustável para que o fluxo de líquido de cada unidade fotobiorreatora possa ser independentemente controlado. De modo semelhante as passagens de gás podem ser projetadas para distribuir igualmente o fluxo de gás entre todas as unidades fotobiorreatoras, ou, os abafadores de gás podem ser configurados e/ou operados para que o fluxo de gás de cada unidade fotobiorreatora possa ser independentemente controlado. Pelo menos uma cobertura 610 para a seção de anteparo pode ser transparente e, por outro lado, semelhante aos abrigos das unidades fotobiorreatoras, ou, em algumas modalidades, a cobertura pode ser opaca e/ou feita de um material diferente das coberturas de unidade fotobiorreatora.

Dez seções de anteparo 600 são mostradas interligadas na Figura 9 para formar um anteparo da unidade de distribuição 700. A entrada lateral aberta 701 ao espaço superior de gás do anteparo fornece uma entrada do gás de combustão que pode ser fluidicamente interligado com um canal que fornece o gás de alimentação de uma fonte CO_2 e/ou condicionador de gás 306 e/ou uma zona de resfriamento do sistema (discutido abaixo). O líquido recirculado 702 de um canal de refluxo 232 é mostrado sendo bombeado para a unidade de distribuição de anteparo 700. O líquido recirculado 702 se mistura com meio líquido fresco e/ou o líquido que é reciclado das operações de desidratação e o líquido é distribuído a várias unidades fotobiorreatoras 100 pelo fluxo de gravidade através de passagens de líquidos 602.

Embora não mostrado, os abafadores, tais como abafadores de guilhotina, entre uma ou mais seções de anteparo possam ser usados para limitar o fluxo de gás e/ou de líquido para certas unidades fotobiorreator. Um abafador de guilhotina e/ou outro elemento de controle de fluxo também podem ser usados em um ponto único de entrada na região de anteparo para que todo o fluxo de gás e/ou de líquido possa ser facilmente parado.

Embora muitas das modalidades descritas aqui empreguem o movimento do líquido

através de um espaço superior gasoso para promover a transferência de massa entre o gás e o líquido, em certas modalidades, adicionalmente ou alternativamente, o gás pode ser espargido no líquido. Por exemplo, embora a maior parte da distribuição de gás no médio líquido presente em uma unidade fotobiorreatora 100 possa ser por uma passagem de gás tal como um mostrado na Figura. 1a, uma quantidade bastante significativa de gás pode ser espargida no meio líquido em certas modalidades. O espargimento, adicionalmente à criação de uma interface adicional gás / líquido, pode criar a turbulência ou a turbulência adicional em certas regiões onde tal turbulência é desejável.

Em uma modalidade alternativa da presente invenção, um sistema fotobiorreator pode incluir alguns ou todos dos elementos do sistema fotobiorreator mostrado e descrito na Figura 3, com exceção da reciclagem do líquido recirculante de um ponto a jusante em uma unidade fotobiorreatora para um ponto a montante na unidade fotobiorreatora. A Figura 10 mostra uma modalidade de tal sistema, que pode incluir muitos dos mesmos elementos que o sistema descrito acima com referência à Figura 3. Adicionalmente, a Figura 10 ilustra uma modalidade na qual o gás flui concorrente com o fluxo de líquido pelas unidades fotobiorreatoras 100. Assim, tanto o fluxo de líquido como o fluxo de gás de um anteparo 340 de entrada de líquido / entrada de gás para um anteparo 342 de saída de líquido / saída de gás nessa modalidade.

Uma vista em perspectiva de uma modalidade física do sistema fotobiorreator 700 ilustrado na Figura 10 é mostrada na Figura 11.

Em muitos sistemas fotobiorreatores atuais, as cepas escolhidas e desejáveis de algas podem ser difíceis de manter em um fotobiorreator que não seja escrupulosamente esterilizado e mantido em uma condição selada em relação ao ambiente externo. A razão disso consiste em que as cepas de algas que são usadas em tais fotobiorreatores não são bem adaptadas ou otimizadas para as condições do uso, e outra, as cepas algínicas endêmicas na atmosfera são mais adequadamente condicionadas para o ambiente local, de tal modo que se elas tiverem a capacidade de contaminar o fotobiorreator elas tenderão a predominar e conseqüentemente deslocar as espécies de algas desejadas. Tais fenômenos podem ser diminuídos e/ou eliminados usando protocolos de adaptação e as culturas algínicas descritas na Publicação Internacional N. WO 2006/020177 A1, publicada em 23 de fevereiro de 2006, que é desse modo aqui incorporada em sua totalidade. Uso de tais protocolos e cepas de algas produzidas por tais protocolos podem não somente aumentar a produtividade e a longevidade de culturas algínicas em sistemas reais de fotobiorreatores, reduzindo desse modo os custos de capital e os operacionais, mas também pode reduzir custos operacionais reduzindo ou eliminando a necessidade de esterilizar e ambientalmente isolar o sistema fotobiorreator antes da, e durante a, operação, respectivamente.

Muitas centrais elétricas incluem tanques ou outros espelhos de água em que o

calor inútil é descarregado. Em algumas modalidades, particularmente em climas mais frios, um fotobiorreator pode ser posicionado acima de um tanque de águas residuais para atingir uma ou mais possíveis vantagens. Flutuando ou de outro modo posicionando um bioreator sobre um espelho de água, o sistema fotobiorreator pode tirar proveito da igualdade inerente da superfície de um espelho de água por cima de uma área expandida. Além disso, usando um tanque já existente, a área geográfica adicional limitada é necessitada para o sistema fotobiorreator. Se o espelho de água aceitar águas residuais aquecidas da central elétrica (ou de outra fonte) o sistema fotobiorreator pode ser aquecido pelo espelho de água para melhorar a produção de biomassa e/ou evitar o congelamento em condições ambientes frias.

Uma modalidade de uma unidade fotobiorreatora 800 adaptada para se posicionar sobre um espelho de água é mostrada na Figura 12. A unidade fotobiorreatora 800 é apoiada por duas bóias de pontão 802 se estendendo longitudinalmente ao longo da unidade fotobiorreatora. Naturalmente, outras estruturas podem ser usadas para fazer flutuar ou apoiar uma ou mais unidades fotobiorreatoras em um espelho de água.

Para acomodar a água de chuva e/ou derreter o segundo turno de neve, um sistema de dreno (não mostrado) pode ser incorporado em alguns dos sistemas fotobiorreatores descritos acima mencionados. Em uma modalidade de um sistema de drenagem, um orifício de drenagem é fornecido espeçadamente ao longo de um canal de coleta posicionado entre duas unidades fotobiorreatoras do sistema fotobiorreator. OS orifícios de drenagem se esvaziam em um canal de drenagem que transversalmente se espálha por cada uma das unidades fotobiorreatoras que são posicionadas lado a lado. O canal de drenagem leva a uma trincheira de drenagem para levar a água do sistema fotobiorreator. Em algumas modalidades, a trincheira de drenagem pode ser bastante larga para acomodar vários veículos (por exemplo, canal de acesso 208 de veículo da Figura 2 pode compreender uma trincheira de drenagem).

Em certas modalidades, vantajosamente, o gás de combustão quente que é recebido de uma central elétrica pode ser resfriado e/ou lavado para retirar componentes indesejáveis com o líquido que é usado como parte do sistema fotobiorreator de acordo com qualquer umas modalidades da invenção. Por exemplo, como ilustrado na Figura 13, em algumas modalidades de um sistema de tratamento de gás 900, o meio sem algas que resulta de operações de desidratação pode ser borrifado em uma zona de resfriamento 902 para esfriar/lavar o gás de combustão quente antes que o gás entre no sistema fotobiorreator 200 compreendendo as unidades fotobiorreatoras 100. O efluente líquido da zona de resfriamento 902 pode ser descartado, ou em algumas modalidades, voltar para as unidades fotobiorreatoras 100 (linha tracejada).

Utilizando o meio líquido para resfriar o gás de combustão aquece o meio e pode

reduzir o pH do meio. Um ou ambos desses efeitos pode ajudar a eliminar espécies biológicas fortuitas, tais como rotoferos, ciliados, bactérias, e vírus que podem prejudicar o crescimento das algas desejadas. Se a corrente efluente de resfriamento for retornada ao sistema a montante da etapa de desidratação, ela pode melhorar a operação desidratação.

- 5 Por exemplo, reduzindo o pH da alimentação da desidratação pode melhorar a eficácia de coágulos policatiônicos e floculantes a base de alumínio. Adicionalmente, os meios contendo algas termicamente aquecidos podem induzir à necrose e à autofloculação, que simplifica o processo de desidratação e pode reduzir ou eliminar a necessidade de aditivos químicos.

10 Em uma modalidade alternativa ilustrada na Figura 14, o meio rico em algas colhido da passagem de unidades fotobiorreatoras 100 pode ser usado na zona de resfriamento 902 para esfriar o gás de combustão. O efluente líquido da zona de resfriamento 902 pode então ser enviado ao sistema de desidratação 322 para enriquecer as algas. De acordo com algumas outras modalidades aqui descritas, o meio sem algas do sistema de desidratação 322 pode ser opcionalmente retornado para as unidades fotobiorreatoras 100.

15 Em uma modalidade adicional de um sistema fotobiorreator incluindo o resfriamento, ilustrada na Figura 15, as algas enriquecidas do sistema de desidratação 322 podem ser usadas para esfriar o gás de combustão quente na zona de resfriamento 902. As algas desidratadas podem ter uma concentração de sólidos de aproximadamente 3 % depois da desidratação primária, e uma concentração de sólidos de 10 %vol a 20 %vol
20 depois da desidratação secundária. O uso de algas desidratadas na zona de resfriamento 902 pode ajudar a estabilizar as algas contra a decomposição, pré-aquecer as algas para ajudar no processamento a jusante, e permitir que alguns componentes possam reagir com os gases ácidos, que podem promover processos a jusante, tais como a fermentação.

25 Em algumas modalidades, um sistema integrado para desempenhar um método de combustão integrado pode incluir um sistema fotobiorreator em que os gases de combustão são tratados com o sistema fotobiorreator para diminuir os poluentes e produzir a biomassa, por exemplo na forma de algas colhidas que podem ser usadas como um combustível do dispositivo de combustão e/ou para a produção de outros produtos, tais como produtos compreendendo moléculas orgânicas (por exemplo, óleo de grau de combustível (por
30 exemplo, biodiesel) e/ou polímeros orgânicos). A descrição adicional de um sistema integrado, que pode ser usado em conjunto com modalidades de sistemas fotobiorreatores aqui divulgados, pode ser encontrada na comumente encontrada Publicação PCT N°. WO 2006/020177 A1, publicada em 23 de fevereiro de 2006, no Pedido de Publicação de Patente US N° US - 2005-0064577-A1 e US-2005-0239182-A1, e no Pedido de PCT N°. US
35 2005/025249, arquivado em 18 de julho de 2005, cada um dos quais é aqui incorporado pela referência em sua totalidade.

Uma modalidade de uma configuração para a zona de resfriamento 902 é ilustrada

na Figura 16. Nessa modalidade, os elementos de borrifio 904 se estendem perpendicularmente a um canal de abastecimento líquido 906 e são configurados para o borrifamento de líquido no espaço gasoso superior 908. O efluente líquido é coletado do fundo de uma trincheira 910 e descartado ou reciclado de volta ao sistema fotobiorreator.

5 Uma vista em perspectiva de uma modalidade da zona de resfriamento 902 na Figura 17 ilustra aqueles elementos de borrifio 904 que podem ser canais de borrifio 914 incluindo fendas longitudinais.

Em algumas modalidades da presente invenção, o calor inútil (na forma da água aquecida) pode ser usado para aquecer os meios líquidos em um sistema fotobiorreator.

10 Uma modalidade de tubos 920 submersos em meio líquido 101 é mostrada na Figura 18. Os tubos 920 na Figura 18 podem continuar longitudinalmente dentro da mesma seção ou unidade fotobiorreatora, e/ou podem continuar lateralmente às seções ou unidades fotobiorreatoras adjacentes. Em algumas modalidades, os jatos 922 podem ser usados para aumentar a taxa de fluxo do meio líquido 101 passado nos tubos 920 para aumentar a taxa
15 da transferência de calor.

Exemplos de Previsão.

Exemplo 1.

Neste exemplo, um teste de laboratório de uma modalidade de um fotobiorreator da presente divulgação é comparado com um modelo do mesmo. A espécie de algas
20 *Nannochloris sp.* é cultivada em uma profundidade de 20 cm do meio 1, que é a água do mar compreendendo 0,75 g/L de NaNO_3 e 0,0565 g/L $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. As taxas de crescimento das algas como uma função do tempo, concentração, e intensidade da luz, medida como um fluxo de fóton, foram estimadas dos dados derivados de testes de laboratório com tanques abertos bem agitados alimentados com o gás contendo 5 % mol de
25 CO_2 e o balanceamento O_2 e N_2 em uma proporção 1:5 molar. Os resultados do experimento são mostrados na Figura 19 para taxas de isolamento de 2000, 1000, e 750 $\mu\text{E}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$, e a produtividade é tabelada na Tabela 1. Deve-se observar que os dados derivados dos testes de laboratório com tanques abertos bem agitados podem substancialmente superestimar a produtividade do reator e a recuperação do CO_2 que pode
30 ser atingida durante uma operação real dos fotobiorreatores da presente divulgação. Tal como mostrado na Figura 8, a produtividade não é uma função da concentração nesta variedade operacional. Independentemente, a taxa de crescimento pode ser prevista usando o modelo desenvolvido por Wu e Merchuk ("*A Model Integrating Fluid Dynamics in the Photosynthesis and Photoinhibition Processes*", Chemical Engineering Science 56: 3527-
35 3538) sob condições de equilíbrio, usando uma aproximação de simulação de elemento finito ("*Simulation of Algae Growth in a Bench Scale Bubble Column*", Biotechnology and Bioengineering 80(2): 156-168; e "*Simulation of Algae Growth in a Bench Scale Internal*

Loop Airlift Reator", Chemical Engineering Science 59(14): 2899-2912). O parâmetro $\mu_{\max}$ forneceu um valor médio $0,077 \text{ hora}^{-1}$ em testes em duplicata, e o parâmetro k_x é considerado como sendo $0,22 \text{ m}^2/\text{g}$ por Oswald (*The Engineering Aspect of Microalgae*. In: Laskin, I., e Lechevalier, H. A., Editores. CRC Handbook of Microbiology. Cleveland CRC Press, pp 519-552, 1977). Os modelos de productividades concordaram bem com as productividades medidas tal como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Taxa de Crescimento de Algas.		
Intensidade da Luz ($\mu\text{E}/\text{m}^2.\text{s}$)	Produtividade Medida (peso seco $\text{g}/\text{m}^2.\text{h}$)	Modelo de Produtividade Prevista (peso seco $\text{g}/\text{m}^2.\text{h}$)
2000	1,4	1,4
1000	1,1	1,1
750	0,7	0,9

O biorreator de troca gás/líquido é medida em um canal retangular de fluxo com 5 % mol CO_2 que flui acima de uma base contendo o meio de modo que a tomada de CO_2 possa ser medida pela análise de carbonato na fase líquida. Os resultados são mostrados na Figura 20, expresso como fluxo de CO_2 ($\text{mmol}/\text{m}^2.\text{s}$) contra o pH do meio. Os meios reciclados da desidratação são usados para melhorar a troca de CO_2 entre gás e líquido. A Figura 20 também mostra as taxas melhoradas de transferência de massa de gás e líquido que podem ser realizadas borrifando os meios reciclados pelo espaço superior do reator através de duas taxas de borrafo diferentes, normalizadas para a área do reator. Os resultados do experimento ilustram o aumento das taxas de transferência de CO_2 que podem ser obtidas re-injetando adequadamente o fluido da desidratação no reator. Essas altas taxas de transferência de CO_2 podem reduzir as exigências de área do bioreator em situações onde a produtividade algínica é limitada pela transferência de massa de gás. Alternativamente essas altas taxas de transferência de CO_2 podem ser usadas para aumentar as taxas de produção total de biomassa de um bioreator de tamanho fixo.

Um bioreator coberto é modelado usando o modelo de crescimento de algas discutido acima e as taxas de transferência de massa dos testes de gás e líquido. O bioreator possui uma profundidade de 20 cm e uma velocidade líquida de 20 cm/s para assegurar um alto nível de turbulência. O bioreator é suficientemente longo para que o fluxo seja essencialmente um fluxo pistonado; isto é o número de Peclet é alto. A fase líquida compreende o meio 1 mantido em pH 7,8 com uma taxa de reciclo inicial de algas para manter a concentração de algas ao final da alimentação em $0,1 \text{ g}$ de peso seco de célula/L. O gás de combustão contém 5 % mol CO_2 , e flui por canais com uma altura de borda livre de gás de 2 m. O bioreator é coberto com um filme plástico de polietileno, com uma transmissão medida da luz visível de 95 %. O meio reciclado do sistema de desidratação é

repartido com 80 % retornando ao bioreator para melhorar a taxa de transferência de massa do CO₂, e 20 % enviados para as áreas abertas do bioreator para gerar um borrito que melhora o resfriamento do líquido. Supõe-se que a temperatura ambiente de bulbo seco seja de 30 °C com uma temperatura de bulbo molhado de 25 °C. A produtividade do reator, a conversão de CO₂, as necessidades de energia para o manejo do gás de combustão e consumo de água são listados na Tabela 2 para três níveis de incidência da luz solar. A Tabela 2 mostra:

Tabela 2: Comparação do Desempenho do Biorreator a 30 °C de Temperatura Ambiente					
Exemplo	Intensidade da Luz ($\mu\text{E}/\text{m}^2.\text{s}$)	Produtividade do Reator (peso seco $\text{g}/\text{m}^2.\text{h}$)	Conversão de CO ₂ (mol%)	Necessidade de Energia (kW)	Consumo de Água ($\text{kg}/\text{m}^2.\text{h}$)
Exemplo 1	2000	1,4	60 %	1	1,1
Modalidade Atual					
	1000	1,1	50 %	1	0,5
	750	0,9	40 %	1	0,4
Exemplo 2	2000	1,4	20 %	30	1,1
Tanque de Calha					

Exemplo 2.

Este exemplo ilustra a vantagem de modalidades de fotobiorreatores aqui divulgados em comparação com um tanque convencional do tipo “calha”. A produtividade do reator, a conversão de CO₂, as exigências de energia para o manejo do gás de combustão, e o consumo de água são listados na Tabela 3 do nível mais elevado da incidência de luz solar usando as mesmas condições operacionais do Exemplo 1, baseado em valores publicados da conversão CO₂ e das taxas de evaporação. O gás de combustão é espargido a uma profundidade de 2 metros bem na calha via um soprador que comprime o gás de combustão a 0,56 kg/cm². Os resultados mostram que o bioreator híbrido realiza taxas de crescimento comparáveis, alcançando maior conversão de CO₂ e usando substancialmente menos energia. O consumo de energia do tanque de calha é significativamente mais elevado devido à sua mais baixa eficiência de captura de CO₂, necessitando fluxos de gás de combustão mais elevados por unidade de algas produzidas, e a sua mais elevada queda de pressão. O consumo de água de ambos os reatores é comparável porque ambos usam o resfriamento por evaporação para manter a temperatura do reator.

Exemplo 3.

Este exemplo ilustra a vantagem do bioreator híbrido aberto/fechado em uma temperatura ambiente mais baixa, 5 °C, em comparação com um tanque calha. O sistema dos Exemplos 1 e 2 é operado em condições idênticas, com exceção de que nenhum dos meios reciclados do Exemplo 1 é dirigido para a zona de resfriamento, e o calor de baixo nível da central elétrica do condensador do laço de resfriamento é usado para manter a temperatura bioreator. A Tabela 3 lista a produtividade e a necessidade térmica para manter 25 °C nos dois reatores. Os resultados mostram que este reator possui vantagens significantes em relação a um tanque de calha aberto.

Tabela 3: Comparação do Desempenho do Biorreator a 5 °C de Temperatura Ambiente			
Exemplo	Intensidade da Luz ($\mu\text{E}/\text{m}^2.\text{s}$)	Produtividade do Reator ($\text{g}/\text{m}^2.\text{h}$)	Carga Térmica (kW/m^2)
Exemplo 3 Fotobiorreator	1000	1,1	0,02
Exemplo 3 Tanque de Calha	1000	1,1	0,01

Exemplo 4.

Este exemplo ilustra opções para integrar a operação de desidratação ao bioreator. A *Nannochloris sp.* é cultivada no meio 1 em temperaturas do bioreator variando entre 17 °C e 27 °C, com uma taxa de incidência de luz solar variando até aproximadamente 2200 $\mu\text{E}/\text{m}^2.\text{s}$. A concentração de biomassa varia de 0.2 g/L a 10 g/L. As algas são desidratadas pela utilização das técnicas conhecidas na técnica como a flotação por ar dissolvido. A alimentação ao sistema de desidratação é misturada com o sulfato de alumínio para atingir uma concentração de 50 ppm a 300 ppm no meio, e colocada em contato com o derador de bolhas dissolvendo ar no filtrado que é reciclado para a unidade de desidratação a uma taxa de 10 %. A biomassa algínica cria um floco que possui de 4 % a 5 % em peso de sólidos. O filtrado essencialmente sem algas é reciclado para o reator, permitindo que os nutrientes não reagidos sejam devolvidos ao sistema. A reciclagem desta corrente reduz as exigências de água e de nutrientes totais. Opcionalmente uma porção ou toda da corrente de alimentação da desidratação pode entrar em contato com o gás de combustão na zona de resfriamento antes da desidratação. Para gases de combustível que contêm gases ácidos, tais como SO_2 , NO_x , e HCl , a absorção dos gases ácidos reduz o pH de uma faixa de aproximadamente 7 a 9 para uma faixa de variação preferida de 6,5 a 7,5. Nesta faixa de pH, a quantidade do sulfato de alumínio necessário para retirar a água as algas é reduzida.

Exemplo 5.

Este exemplo ilustra o uso da filtração de fluxo tangencial para a desidratação das algas. As algas do Exemplo 5 são corridas em um sistema usando filtração de fluxo tangencial em vez da flotação por ar dissolvido. O processo de filtração usa uma membrana de grau estéril e funciona a uma baixa pressão trans-membrana e baixas taxas de cisalhamento para aumentar a concentração de algas por um fator de 10 a 200. O entulho celular e os contaminantes bacterianos são concentrados com a corrente rica em algas. O esterilizado que permeia a corrente é reciclado para o reator, conservando a água e os nutrientes e reduzindo os riscos devido a reciclagem de espécies deletérias, tais como bactérias e lisados celulares.

Exemplo 6.

Este exemplo ilustra o uso de condições operacionais diferentes a montante e a jusante do ponto de reciclagem das algas para afetar modificações na composição das algas e na taxas de crescimento de algas. O bioreator do Exemplo 1 é operado com a zona de reciclo de algas localizada 2/3 abaixo o comprimento do canal do reator. O meio reciclado é usado para acrescentar o nitrato de tal modo que a concentração na extremidade de alimentação é de 0,85 g/L e a concentração na corrente de reciclo é de 0,3 g/L. Na zona a jusante da divisão da corrente de reciclo das algas, o meio reciclado contém nutrientes, tais como fosfato, mas nenhum nitrato. As algas na primeiras zona experimentam taxas de crescimento de 1,4 g/m².h, e teor de lipídio é de aproximadamente 14 % em peso. As algas na segunda região, pobre em nitrato demonstram taxas de crescimento mais baixas, mas possuem o teor de lipídios que excede os 14 % em peso.

Embora várias modalidades da invenção tenham sido aqui descritas e ilustradas, aqueles com habilidade normal na técnica apreciarão prontamente vários outros meios e estruturas para executar as funções e/ou obter os resultados ou as vantagens aqui descritas, e considera-se que cada uma dessas tais variações, modificações e melhorias está dentro do alcance da presente invenção. Mais geralmente, os versados na técnica apreciariam prontamente que todos os parâmetros, as dimensões, os materiais, e as configurações aqui descritas são destinados a servirem de exemplos e que os parâmetros reais, as dimensões, os materiais, e as configurações dependerão de aplicações específicas para as quais os ensinamentos da presente invenção são usados. Os versados na técnica reconhecerão, ou serão capazes de apurar pela utilização de uma experimentação não mais do que regular, muito equivalente às modalidades específicas da invenção aqui descrita. Por isso, deve se entender que as modalidades precedentes são apresentadas somente como forma de exemplo e que, dentro dos limites das reivindicações acrescentadas e equivalentes às mesmas, a invenção pode ser praticada de um modo diferente daquele como especificamente descrito. A presente invenção está direcionada a cada característica individual, sistema, material e/ou métodos aqui descritos. Além disso, qualquer combinação

de duas ou mais de tais características, sistemas, materiais e/ou métodos, contanto que tais características, sistemas, materiais e/ou métodos não sejam mutuamente inconsistentes, estão incluídas dentro do alcance da presente invenção. Nas reivindicações (bem como na especificação acima), todas as frases transicionais ou as frases de inclusão, tais como “compreendendo”, “incluindo”, “transporte”, “ter”, “contendo”, “composto de,” “feito de,” “formado de,” “implicando” e assim por diante devem ser interpretadas como sendo de extremidade aberta, ou seja, significando “incluindo mas não limitado a”, e por isso, abrangendo os itens listados depois do mesmo e os equivalentes do mesmo bem como itens adicionais. Só as frases transicionais ou as frases de inclusão “consistindo de” e “consistindo essencialmente de” devem ser interpretadas como frases de extremidade fechada ou semi-fechada, respectivamente. Deve entender-se que os artigos indefinidos “um” e “uma”, tal como aqui utilizados no presente relatório descritivo e nas reivindicações, a menos que claramente seja indicado ao contrário, significam “pelo menos um.”

Tal como aqui utilizado no relatório descritivo e nas reivindicações, a frase “pelo menos um”, em referência para uma lista de um ou mais elementos, deve ser entendida como significando que pelo menos um elemento selecionado de um ou mais dos elementos na lista de elementos, mas não necessariamente incluindo pelo menos um de cada ou todos os elementos especificamente listados dentro da lista de elementos e não excluindo nenhuma combinação de elementos na lista de elementos. Esta definição também permite que os elementos possam estar presentes opcionalmente diferentes daqueles elementos especificamente identificados dentro da lista de elementos a que a frase “pelo menos um” se refere, quer esteja relacionado ou não com aqueles elementos especificamente identificados. Assim, como um exemplo não restritivo, “pelo menos um de A e B” (ou, equivalentemente, “pelo menos um de A ou B,” ou, equivalentemente “pelo menos um de A e/ou B”) pode se referir, em uma modalidade, a pelo menos um, opcionalmente incluindo mais de um, A, sem B presente (e opcionalmente incluindo elementos diferentes de B); em outra modalidade, em que pelo menos um, B, sem A presente (e opcionalmente incluindo elementos diferentes de A); em ainda outra modalidade, pelo menos um, opcionalmente incluindo mais de um, A, e pelo menos um, opcionalmente incluindo mais de um, B (e opcionalmente incluindo outros elementos); etc. Nos casos onde o presente relatório descritivo e um documento incorporado pela referência e/ou aqui mencionado incluam divulgações conflitantes, e/ou uso inconsistente da terminologia, e/ou os documentos incorporados/referidos usam ou definem termos diferentemente de como eles são usados ou definidos no presente relatório descritivo, o presente relatório descritivo deve exercer o controle.

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema fotobiorreator compreendendo:

diversas seções fotobiorreatoras interconectáveis que, quando unidas em conjunto, formam pelo menos uma unidade fotobiorreatora longitudinalmente orientada do sistema fotobiorreator, as seções fotobiorreatoras cada uma compreendendo um canal de fluxo líquido e uma cobertura clara e transparente que forma um espaço superior gasoso entre a cobertura e o canal de fluxo líquido; **CARACTERIZADO** pelo fato de que

a cobertura é construída e arrumada para cobrir pelo menos uma porção substancial do canal de fluxo de líquido e é configurada para ser capaz de fornecer o espaço superior gasoso mesmo quando uma pressão de gás dentro da unidade fotobiorreatora for menor do que a pressão atmosférica que rodeia a seção fotobiorreatora.

2. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que um primeiro subconjunto de diversas seções fotobiorreatoras inteconectáveis compreende uma funcionalidade diferente de um segundo subconjunto de diversas seções fotobiorreatoras inteconectáveis.

3. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o sistema fotobiorreator compreende diversas unidades fotobiorreatoras.

4. Sistema, de acordo com a reivindicação 3, **CARACTERIZADO** pelo fato de que as diversas unidades fotobiorreatoras são arrumadas em paralelo.

5. Sistema, de acordo com a reivindicação 4, **CARACTERIZADO** pelo fato de que as diversas unidades fotobiorreatoras cada uma inclui o mesmo número de seções.

6. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o canal de fluxo líquido contém um meio líquido compreendendo organismos fototróficos.

7. Sistema, de acordo com a reivindicação 6, **CARACTERIZADO** pelo fato de que os organismos fototróficos compreendem algas.

8. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a entrada de gás é unida a uma fonte de gás inútil possuindo uma concentração elevada de CO₂.

9. Sistema, de acordo com a reivindicação 8, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o gás inútil compreende um gás de combustão.

10. Sistema fotobiorreator capaz de suportar o crescimento de organismos fototróficos usando um gás contendo níveis elevados do gás carbônico, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:

pelo menos uma seção fotobiorreatora construída e arrumada para transportar um fluxo do meio líquido compreendendo os organismos fototróficos no mesmo; a seção fotobiorreatora compreendendo:

uma cobertura construída e arrumada para cobrir pelo menos uma porção

substancial do meio líquido dentro da seção fotobiorreatora e além disso construída e arrumada para fornecer um espaço superior gasoso abaixo da cobertura e acima do meio líquido, a cobertura sendo capaz de fornecer o espaço superior gasoso mesmo quando uma pressão de gás dentro do fotobiorreator for menor do que a pressão atmosférica que rodeia a seção fotobiorreatora;

uma entrada de líquido para fornecer o meio líquido à seção fotobiorreatora;

uma saída de líquido a partir da qual o meio líquido compreendendo os organismos fototróficos no mesmo a partir da seção fotobiorreatora;

uma entrada de gás para fornecer o gás contendo uma concentração elevada do gás carbônico no espaço superior gasoso;

uma saída de gás da mesma para remover o gás contendo gás carbônico em uma concentração menor do que na entrada de gás; e

um soprador fluidicamente unido à saída de gás capaz de criar um fluxo de gás pelo espaço superior gasoso da entrada de gás até a saída de gás.

11. Sistema fotobiorreator, de acordo com a reivindicação 10, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o sistema fotobiorreator compreende pelo menos uma unidade fotobiorreatora compreendendo diversas seções interligadas.

12. Sistema fotobiorreator, de acordo com a reivindicação 1. **CARACTERIZADO** pelo fato de que o sistema fotobiorreator compreende diversas unidades fotobiorreatoras.

13. Sistema fotobiorreator de acordo com a reivindicação 10, **CARACTERIZADO** adicionalmente pelo fato de que compreende um meio líquido compreendendo algas no mesmo.

14. Fotobiorreator, de acordo com a reivindicação 10, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a entrada de gás é unida a uma fonte de gás inútil possuindo uma concentração elevada de CO₂.

15. Fotobiorreator, de acordo com a reivindicação 14, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o gás inútil é um gás de combustão.

16. Sistema fotobiorreator, **CARACTERIZADO** adicionalmente pelo fato de que compreende:

pelo menos uma unidade fotobiorreatora longitudinalmente estendida compreendendo pelo menos uma seção fotobiorreatora, a unidade fotobiorreatora sendo construída e arrumada para transportar um fluxo do meio líquido compreendendo os organismos fototróficos no mesmo; a unidade fotobiorreatora compreendendo:

pelo menos uma cobertura construída e arrumada para cobrir pelo menos uma porção substancial do meio líquido dentro da unidade fotobiorreatora e construída e arrumada para fornecer um espaço superior gasoso abaixo da cobertura e acima do meio líquido, a cobertura sendo capaz de fornecer o espaço superior gasoso mesmo quando uma

pressão de gás dentro do espaço superior gasoso do fotobiorreator for menor do que a pressão atmosférica que rodeia a unidade fotobiorreatora;

uma primeira entrada de líquido construída e arrumada para fornecer um meio líquido à unidade fotobiorreatora;

5 uma primeira saída de líquido pela qual o meio líquido é removido da unidade fotobiorreatora;

uma segunda saída de líquido posicionada entre a primeira entrada de líquido e a primeira saída de líquido, da qual o meio líquido é removido da unidade fotobiorreatora; e

10 um canal fluidicamente interligando a segunda saída de líquido à unidade fotobiorreatora em uma posição que está a montante da segunda saída de líquido para permitir o retorno e reciclar do meio líquido dentro da unidade fotobiorreatora.

17. Sistema fotobiorreator, de acordo com a reivindicação 16, também compreendendo uma segunda entrada de líquido, diferente da primeira entrada de líquido, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o canal fluidicamente interliga a segunda saída de líquido à segunda entrada de líquido.

18. Sistema fotobiorreator, de acordo com a reivindicação 16, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a unidade fotobiorreatora compreende uma única, alongada seção fotobiorreatora.

19. Sistema fotobiorreator, de acordo com a reivindicação 16, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a unidade fotobiorreatora compreende diversas seções fotobiorreatoras interligadas.

20. Sistema fotobiorreator, de acordo com a reivindicação 16, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a segunda saída de líquido fluidicamente interliga a seção fotobiorreatora à qual ele se associa a uma seção fotobiorreatora diferente.

21. Sistema fotobiorreator, de acordo com a reivindicação 20, **CARACTERIZADO** pelo fato de que as duas seções fluidicamente interligadas possuem funções diferentes.

22. Método para cultivar organismos fototróficos em um sistema fotobiorreator, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:

30 o fornecimento de meio líquido compreendendo os organismos fototróficos no mesmo a uma primeira entrada de líquido de uma unidade fotobiorreatora longitudinalmente estendida, compreendendo pelo menos uma seção fotobiorreatora, de tal modo que o meio líquido flui em direção a uma primeira saída de líquido, a unidade fotobiorreatora possuindo pelo menos uma cobertura rigidamente apoiada;

35 o fluxo de um gás contendo uma concentração elevada de gás carbônico por cima do meio líquido;

a remoção de uma porção do meio líquido da unidade fotobiorreatora em uma posição de remoção localizada entre a primeira entrada de líquido e a primeira saída de

líquido; e

retornar pelo menos um pouco da porção retirada de meio líquido para a unidade fotobiorreatora em uma posição a montante da posição de remoção.

23. Método, de acordo com a reivindicação 22, **CARACTERIZADO** adicionalmente pelo fato de que compreende partes móveis do meio líquido no espaço superior gasoso para aumentar o contato interfacial do gás com o meio líquido para facilitar uma transferência melhorada de calor e/ou de massa.

24. Método, de acordo com a reivindicação 22, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o retorno de pelo menos uma parte da porção retirada de meio líquido para a unidade fotobiorreatora em uma posição a montante da posição de remoção, compreende o retorno do inóculo para uma posição a montante.

25. Sistema fotobiorreator capaz de suportar o crescimento de organismos fototróficos usando um gás contendo uma concentração elevada do gás carbônico, compreendendo:

pelo menos uma seção fotobiorreatora construída e arrumada para transportar um fluxo do meio líquido compreendendo os organismos fototróficos no mesmo; a seção fotobiorreatora compreendendo:

uma cobertura construída e arrumada para cobrir pelo menos uma porção substancial do meio líquido dentro da seção fotobiorreatora e construída e arrumada para fornecer um espaço superior gasoso abaixo da cobertura e acima do meio líquido, o espaço superior gasoso sendo mantido em uma pressão que é diferente da pressão atmosférica;

uma entrada de líquido configurada para fornecer o meio líquido à seção fotobiorreatora;

uma saída de líquido pela qual o meio líquido é removível da seção fotobiorreatora;

e

uma saída de gás pela qual o gás contendo gás carbônico em uma concentração menor do que na entrada de gás é removível da seção fotobiorreatora; **CARACTERIZADO** pelo fato de que

a seção fotobiorreatora compreende uma primeira porção da seção fotobiorreatora na qual a cobertura fornece o espaço superior gasoso por cima de uma primeira porção do meio líquido, e também compreende uma segunda porção, diferente da seção fotobiorreatora na qual uma segunda porção do meio líquido é exposta ao gás do lado de fora do espaço superior gasoso para facilitar o resfriamento pela evaporação do meio líquido.

26. Sistema fotobiorreator, de acordo com a reivindicação 25, **CARACTERIZADO** pelo fato de que na segunda porção da seção fotobiorreatora, o fluxo do meio líquido é exposto à atmosfera.

27. Sistema fotobiorreator, de acordo com a reivindicação 26, **CARACTERIZADO** adicionalmente pelo fato de que compreende meios para aumentar o contato interfacial do meio líquido com a atmosfera.

28. Sistema fotobiorreator, de acordo com a reivindicação 26, **CARACTERIZADO** adicionalmente pelo fato de que compreende um pulverizador que aumenta o contato interfacial do meio líquido com a atmosfera.

29. Sistema fotobiorreator, de acordo com a reivindicação 25, **CARACTERIZADO** pelo fato de que pelo menos uma seção fotobiorreatora compreende diversas seções fotobiorreatoras interligadas para formar pelo menos uma unidade fotobiorreatora.

30. Sistema fotobiorreator, de acordo com a reivindicação 29, **CARACTERIZADO** adicionalmente pelo fato de que compreende diversas unidades fotobiorreatoras.

31. Sistema fotobiorreator capaz de suportar o crescimento de organismos fototróficos usando um gás contendo uma concentração elevada do gás carbônico, compreendendo:

pelo menos uma seção fotobiorreatora construída e arrumada para transportar um fluxo do meio líquido compreendendo os organismos fototróficos no mesmo e um fluxo de gás contendo uma concentração elevada do gás carbônico; a seção fotobiorreatora compreendendo:

uma entrada de líquido construída e arrumada para fornecer pelo menos o meio líquido à seção fotobiorreatora;

uma saída de líquido pela qual o meio líquido é removível da seção fotobiorreatora;

uma entrada de gás construída e arrumada para fornecer o gás contendo uma concentração elevada do gás carbônico à seção fotobiorreatora;

uma saída de gás pela qual o gás contendo gás carbônico em uma concentração menor do que na entrada de gás é removível da seção fotobiorreator;

uma cobertura construída e arrumada para cobrir pelo menos uma porção substancial do fluxo do meio líquido dentro da seção fotobiorreatora e construída e arrumada para fornecer um espaço superior gasoso abaixo da cobertura e acima do meio líquido;

CARACTERIZADO pelo fato de que a seção fotobiorreatora inclui uma porção da seção fotobiorreatora onde o meio líquido é exposto ao gás do lado de fora do espaço superior gasoso para facilitar o resfriamento pela evaporação do meio líquido, e

em que o sistema fotobiorreator compreende um controlador configurado para controlar a quantidade do resfriamento pela evaporação do meio líquido na porção da seção fotobiorreatora onde o meio líquido é exposto ao gás do lado de fora do espaço superior gasoso.

32. Sistema fotobiorreator, de acordo com a reivindicação 31, **CARACTERIZADO**

pelo fato de que a taxa de fluxo do meio líquido à porção da seção fotobiorreatora onde o fluxo do meio líquido é exposto ao gás do lado de fora do espaço superior gasoso é controlável pelo controlador.

33. Sistema fotobiorreator, de acordo com a reivindicação 31, também compreendendo um dispositivo de aumento de transferência de calor construído e arrumado para aumentar a proporção entre a superfície e o volume do meio líquido que flui através da porção da seção fotobiorreatora onde o fluxo do meio líquido é exposto ao gás do lado de fora do espaço superior gasoso.

34. Fotobiorreator, de acordo com a reivindicação 33, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o dispositivo de aumento de transferência de calor compreende um pulverizador ou um aspersor.

35. Método para retirar o gás carbônico de uma corrente efluente de gás contendo concentrações elevadas de gás carbônico, o método sendo **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:

o direcionamento da corrente efluente de gás por uma zona de resfriamento;

resfriar a corrente efluente de gás na zona de resfriamento usando um líquido de resfriamento;

direcionar a corrente efluente de gás resfriado a um sistema fotobiorreator, a corrente efluente de gás sendo contactada com o meio líquido compreendendo organismos fototróficos suspensos no mesmo, de tal modo que os organismos fototróficos usem o gás carbônico da corrente efluente de gás para fotossíntese;

remoção de pelo menos uma parte do meio líquido compreendendo organismos fototróficos suspensos no mesmo do sistema fotobiorreator;

direcionar o meio líquido a um sistema de desidratação;

extrair a água da suspensão de organismos fototróficos para produzir a biomassa desidratada e o líquido de resfriamento; e

direcionar o líquido de resfriamento para a zona de resfriamento.

36. Método de acordo com a reivindicação 35, também compreendendo soma de líquido que flui da zona de resfriamento ao meio líquido dirigido ao sistema de desidratação no ato de direção.

37. Método, de acordo com a reivindicação 35, **CARACTERIZADO** adicionalmente pelo fato de que compreende a adição do líquido que flui da zona de resfriamento para o meio líquido no fotobiorreator.

38. Método para retirar o gás carbônico de uma corrente efluente de gás contendo uma concentração elevada do gás carbônico, o método sendo **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:

direcionar da corrente efluente de gás por uma zona de resfriamento;

retirar o meio líquido compreendendo os organismos fototróficos no mesmo de um sistema fotobiorreator;

resfriar a corrente efluente de gás na zona de resfriamento usando o meio líquido removido do sistema fotobiorreator; e

5 direcionar o gás resfriado a um sistema fotobiorreator, o gás resfriado sendo colocado em contato com o meio líquido compreendendo os organismos fototróficos no mesmo de tal modo que os organismos fototróficos usem o gás carbônico do gás para fotossíntese.

10 39. Método, de acordo com a reivindicação 38, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o sistema fotobiorreator do qual o meio líquido é removido pelo ato de remover é o mesmo do sistema fotobiorreator ao qual o gás resfriado é direcionado pelo ato de direcionar.

15 40. Método, de acordo com a reivindicação 38, **CARACTERIZADO** pelo fato de que no ato da remoção, o meio líquido é removido de uma primeira seção fotobiorreatora e em que no ato de direcionamento, o gás resfriado é direcionado para uma segunda seção fotobiorreatora diferente do sistema fotobiorreator.

41. Método, de acordo com a reivindicação 38, **CARACTERIZADO** adicionalmente pelo fato de que compreende a entrega do líquido que flui da zona de resfriamento a um sistema de desidratação.

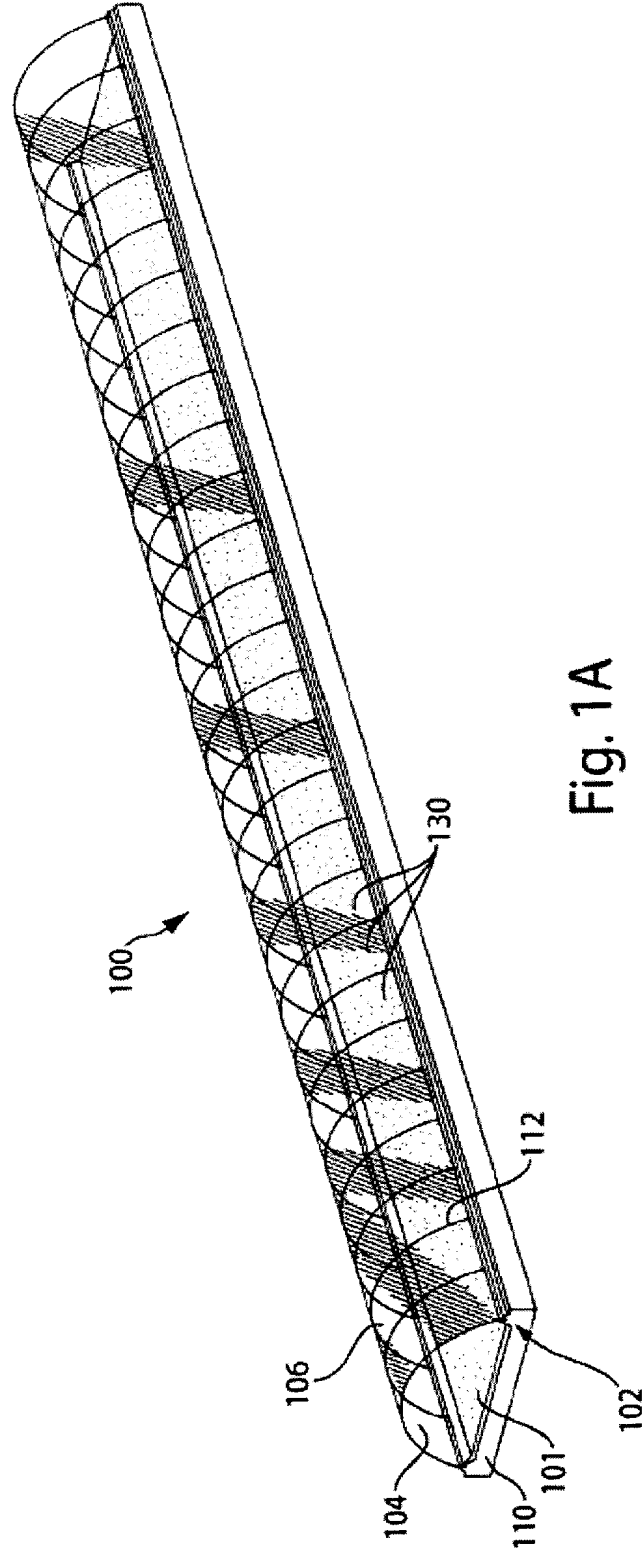


Fig. 1A

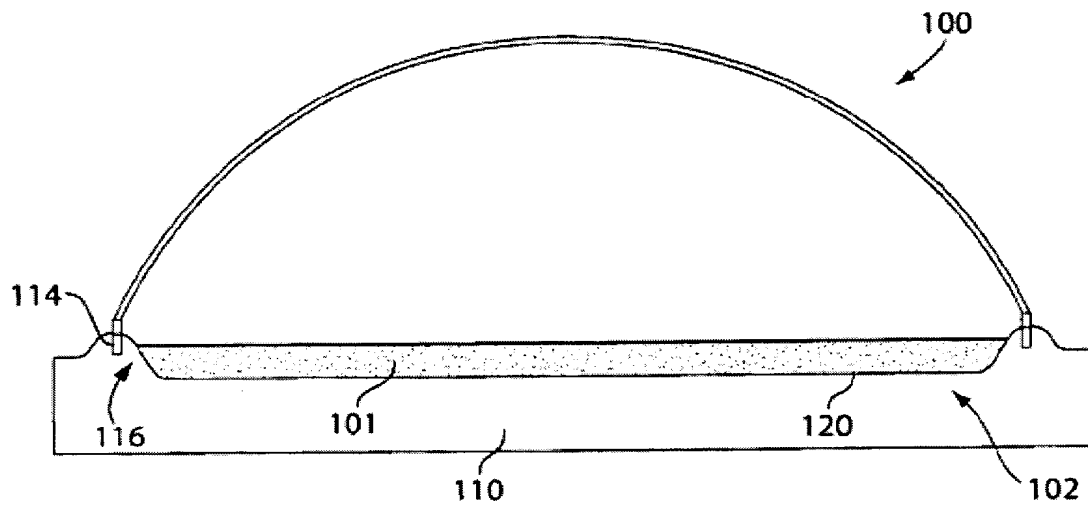


Fig. 1B

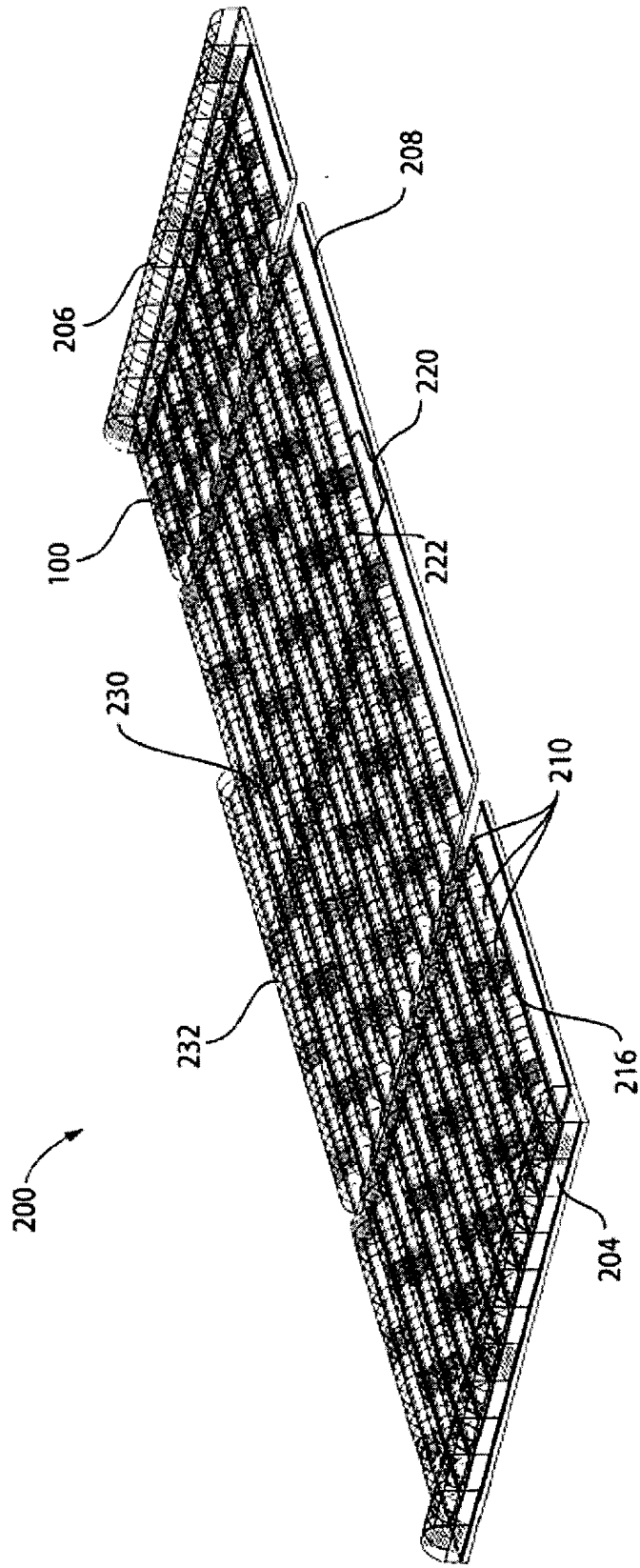


Fig. 2

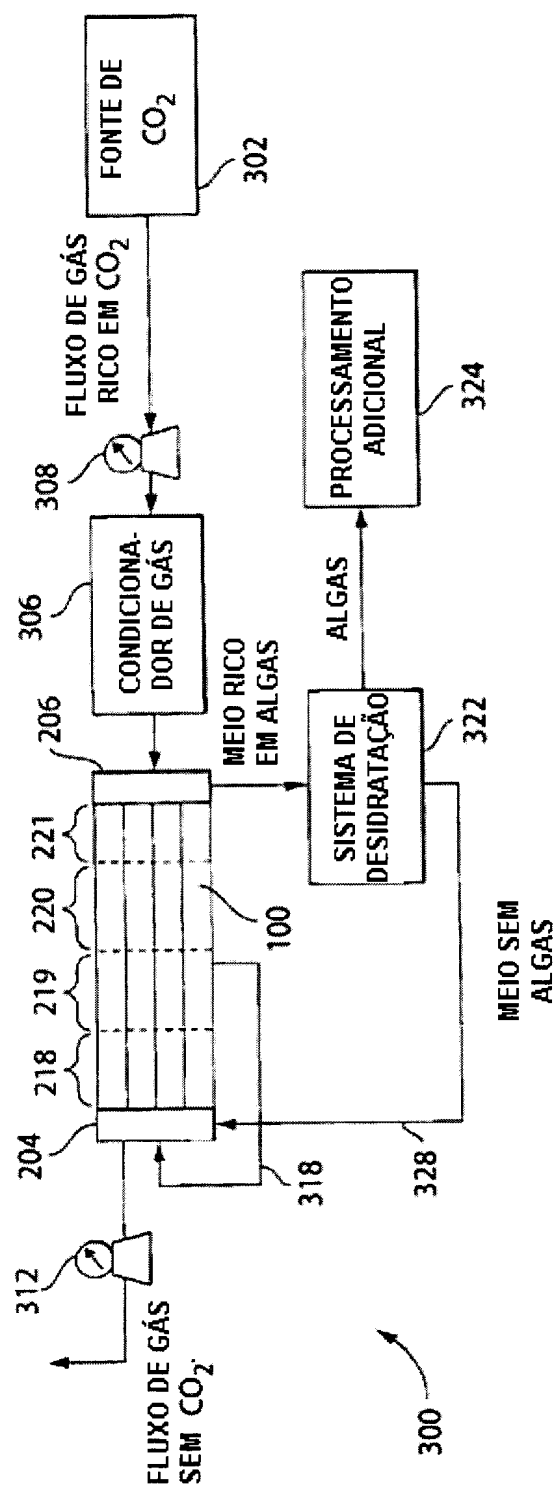


Fig.3

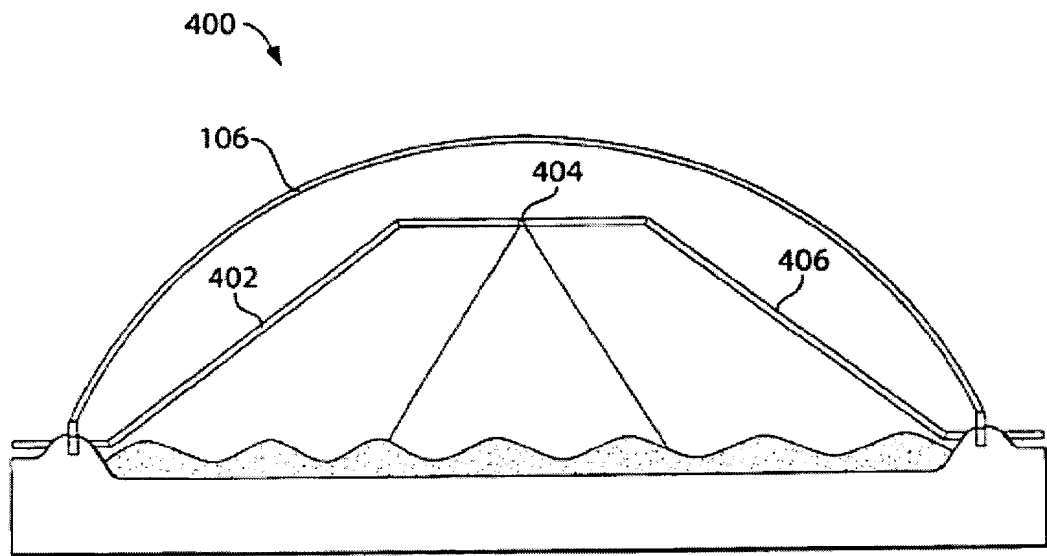


Fig. 4

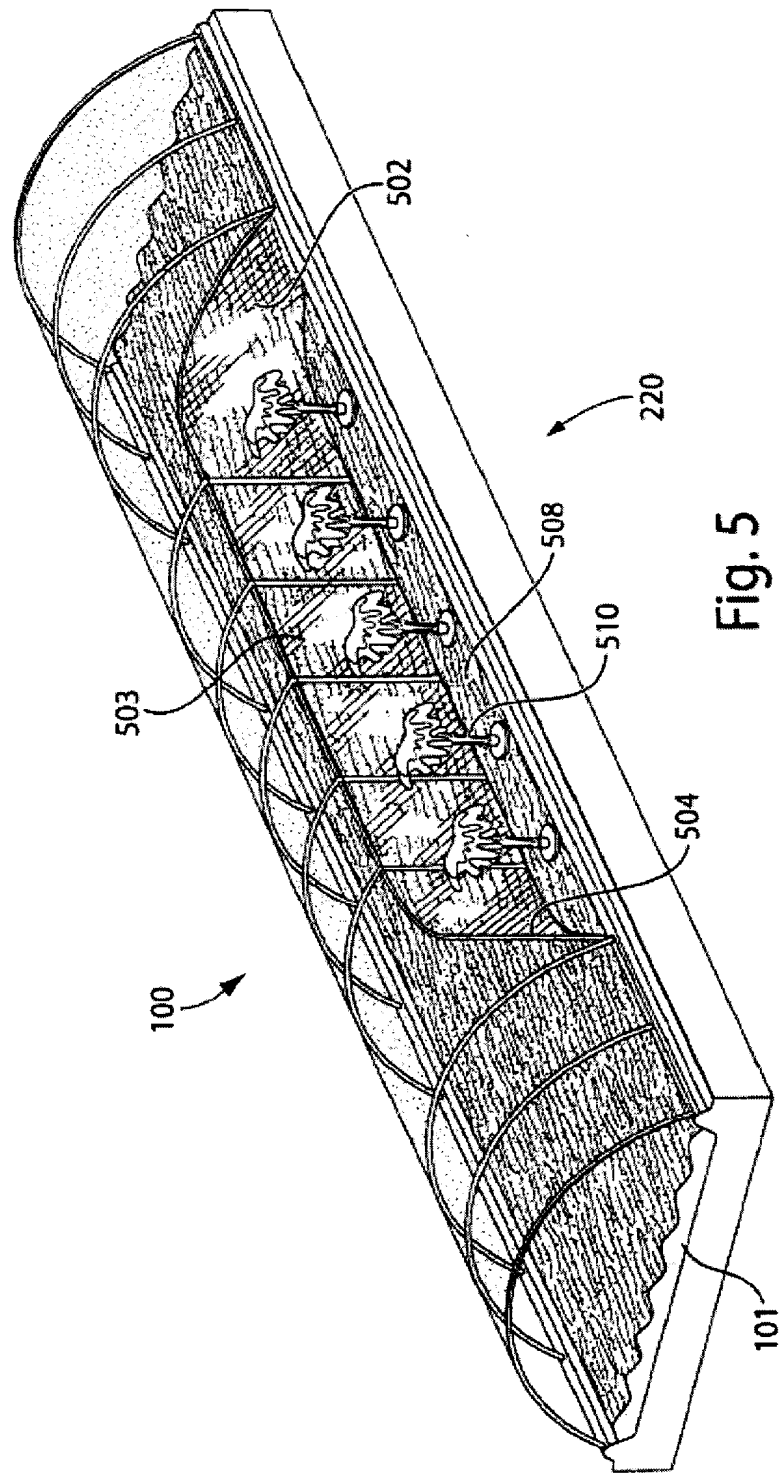


Fig. 5

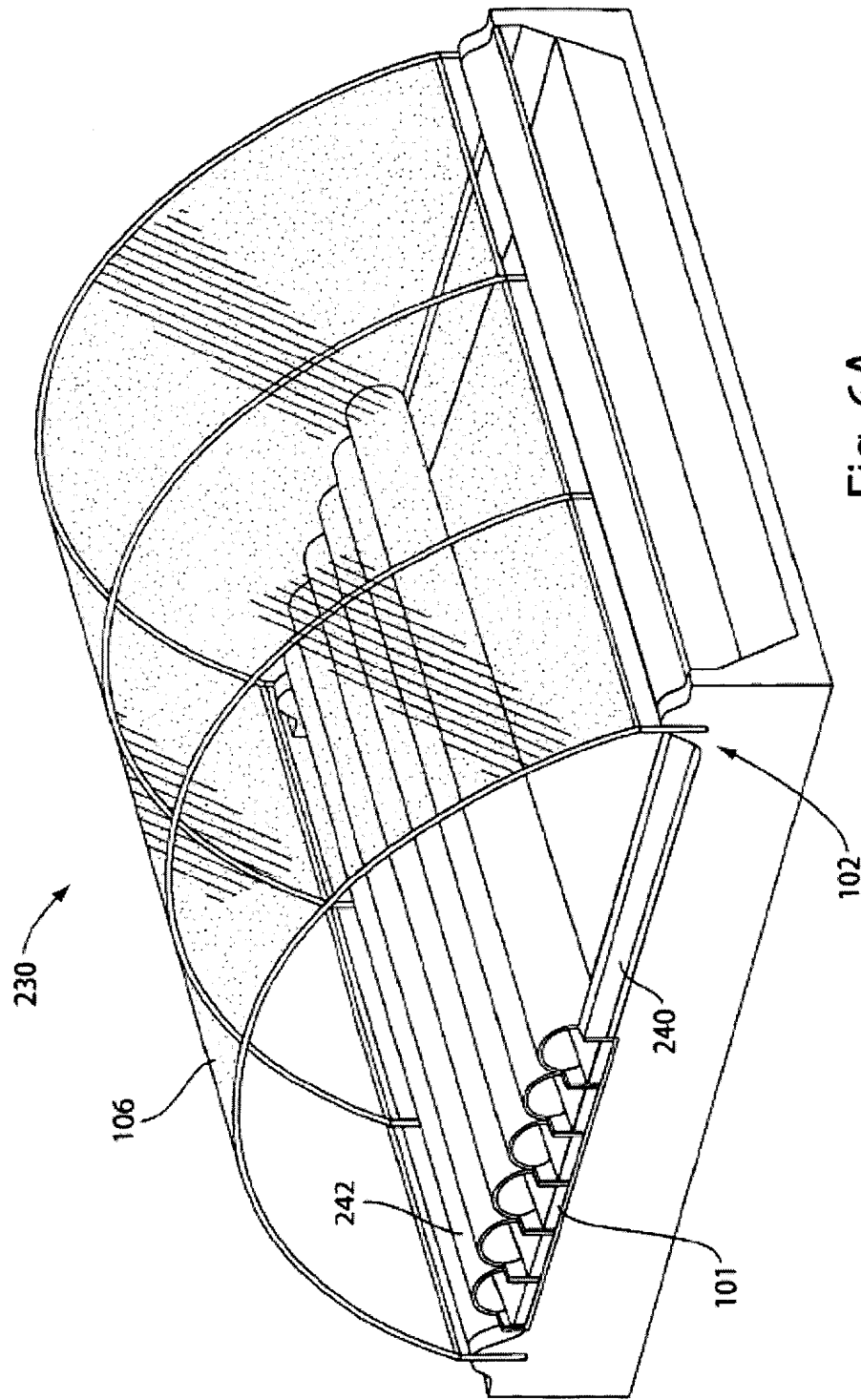


Fig. 6A

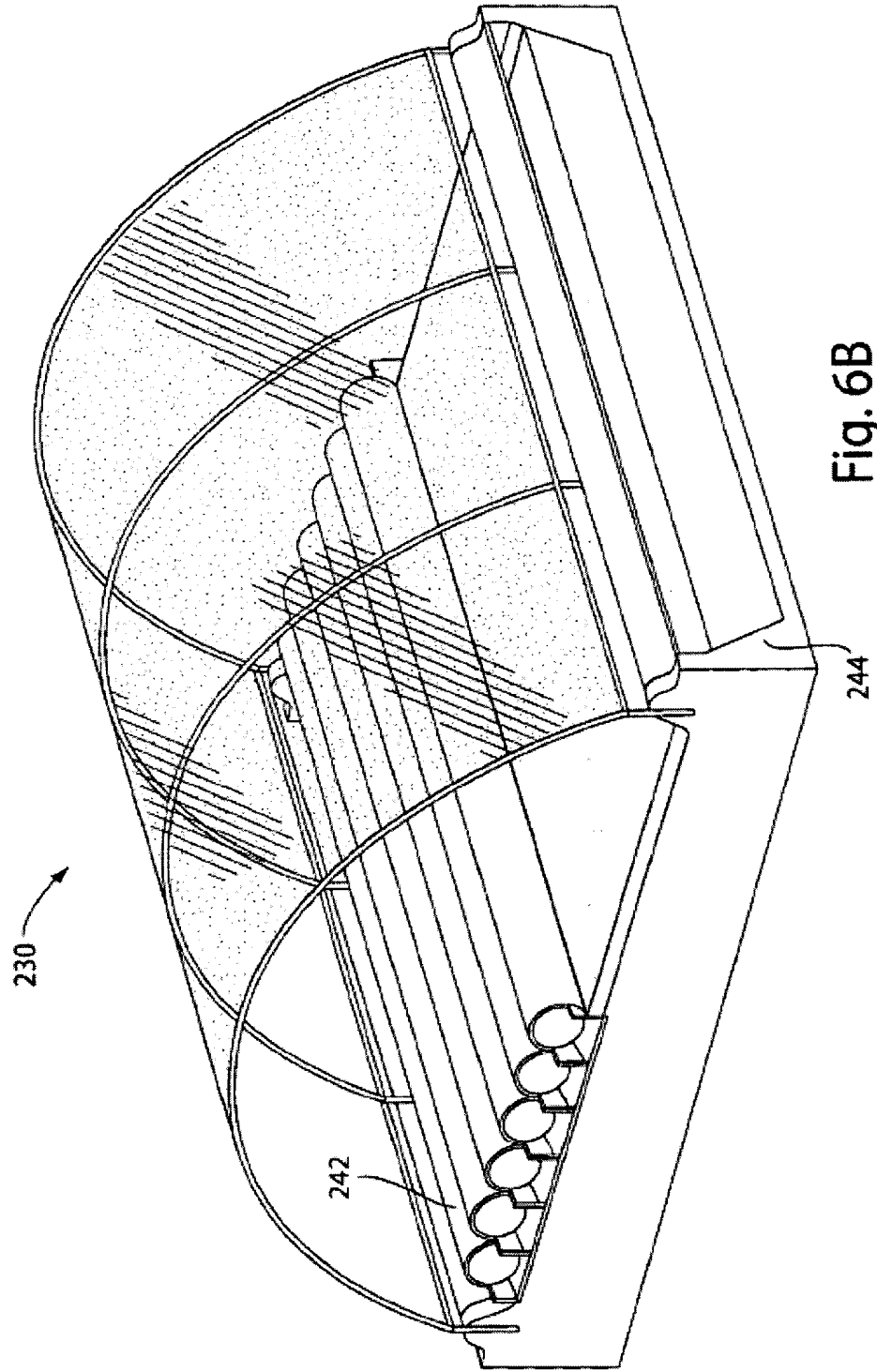


Fig. 6B

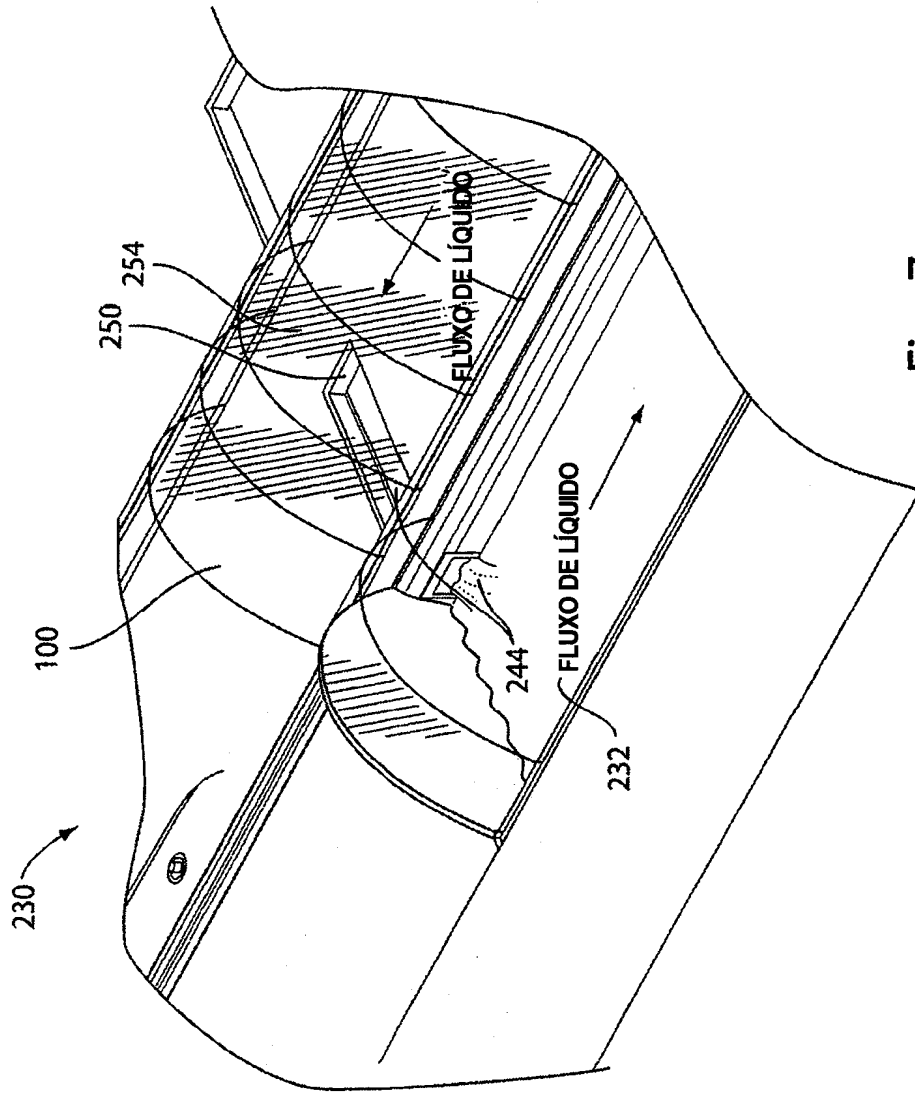


Fig. 7

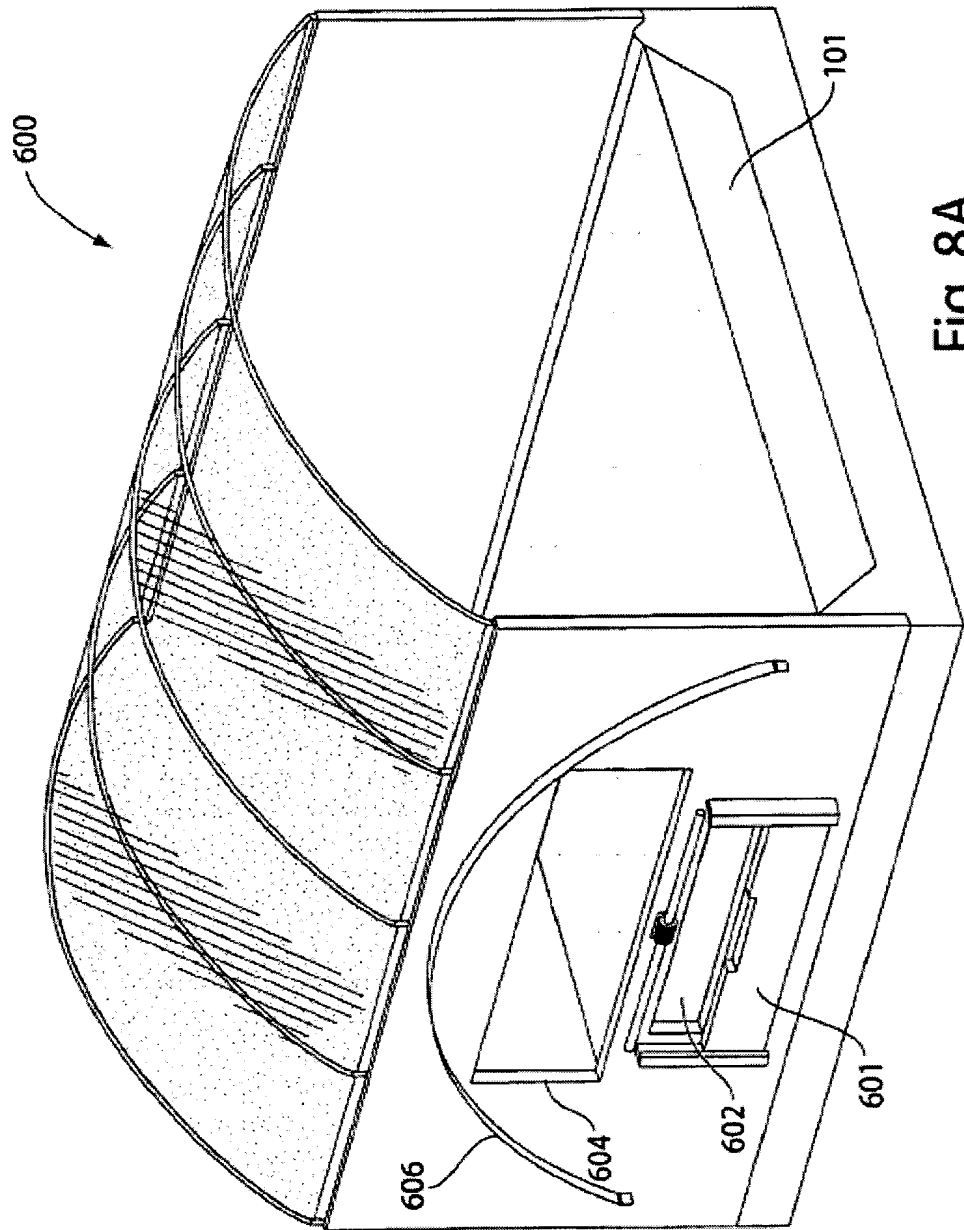


Fig. 8A

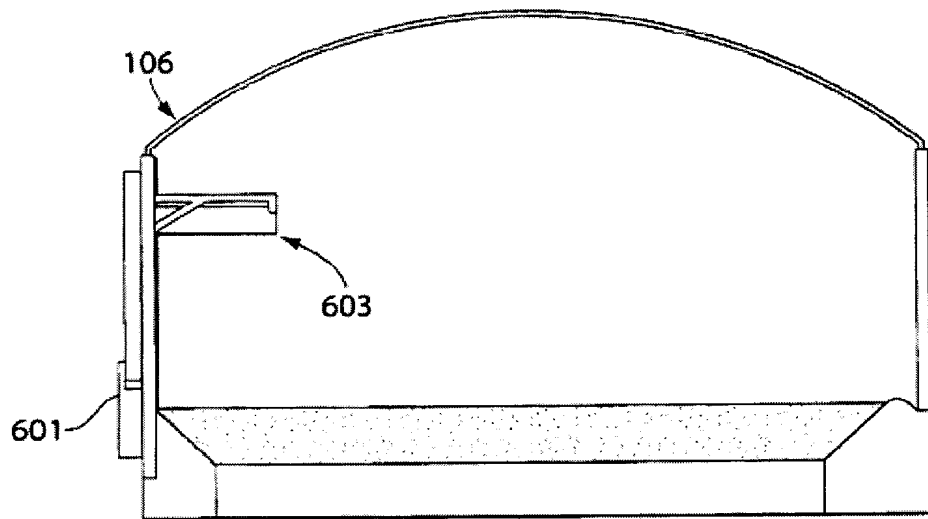


Fig. 8B

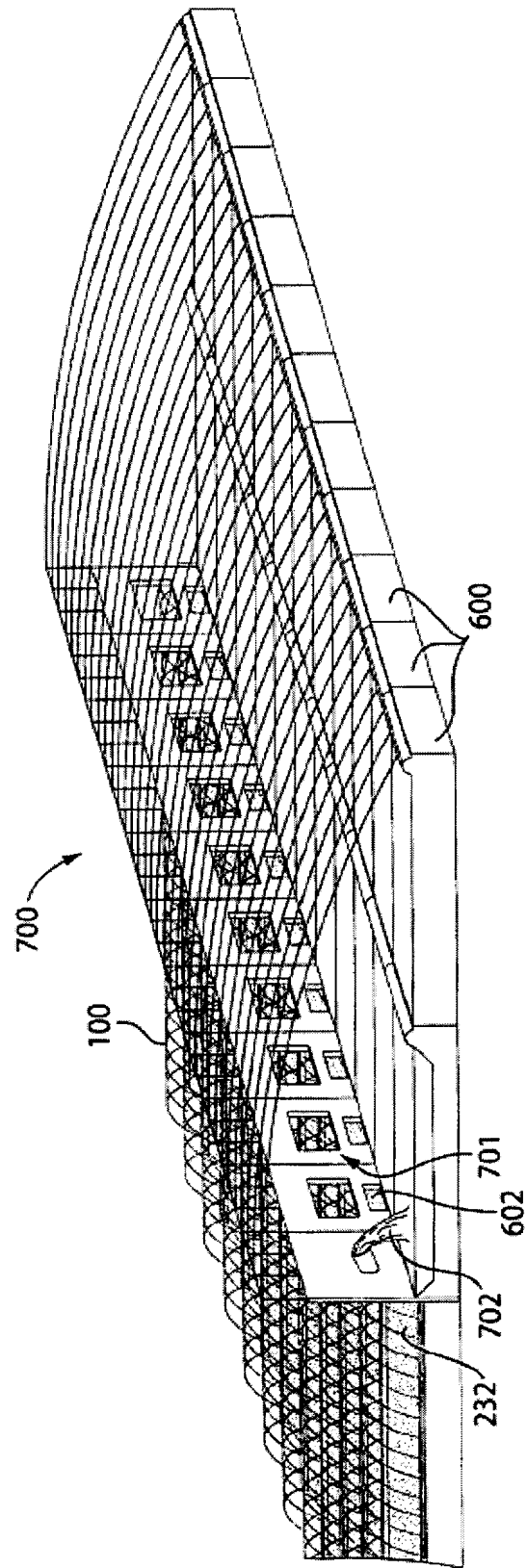


Fig. 9

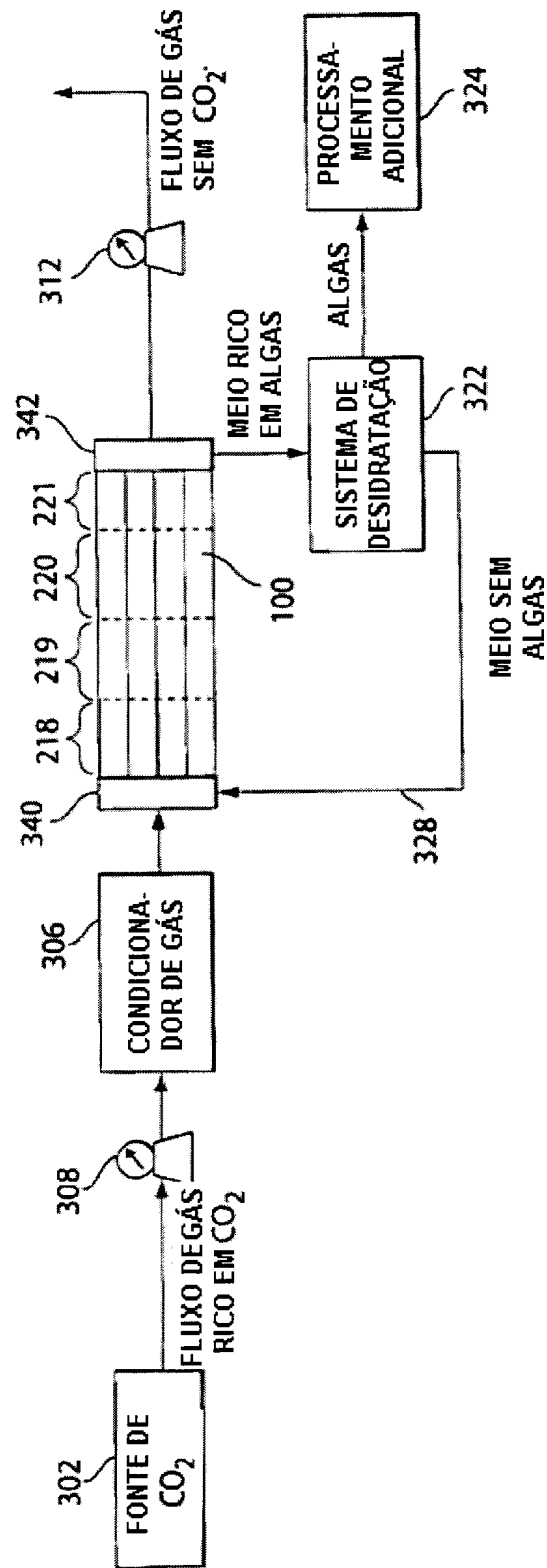


Fig. 10

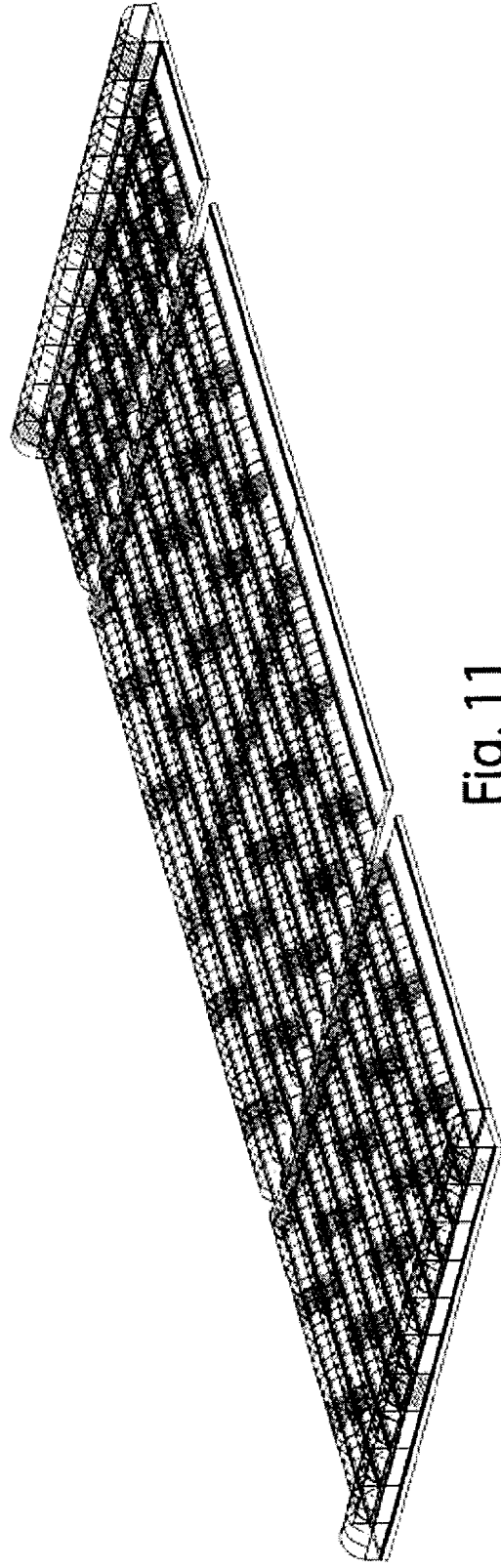


Fig. 11

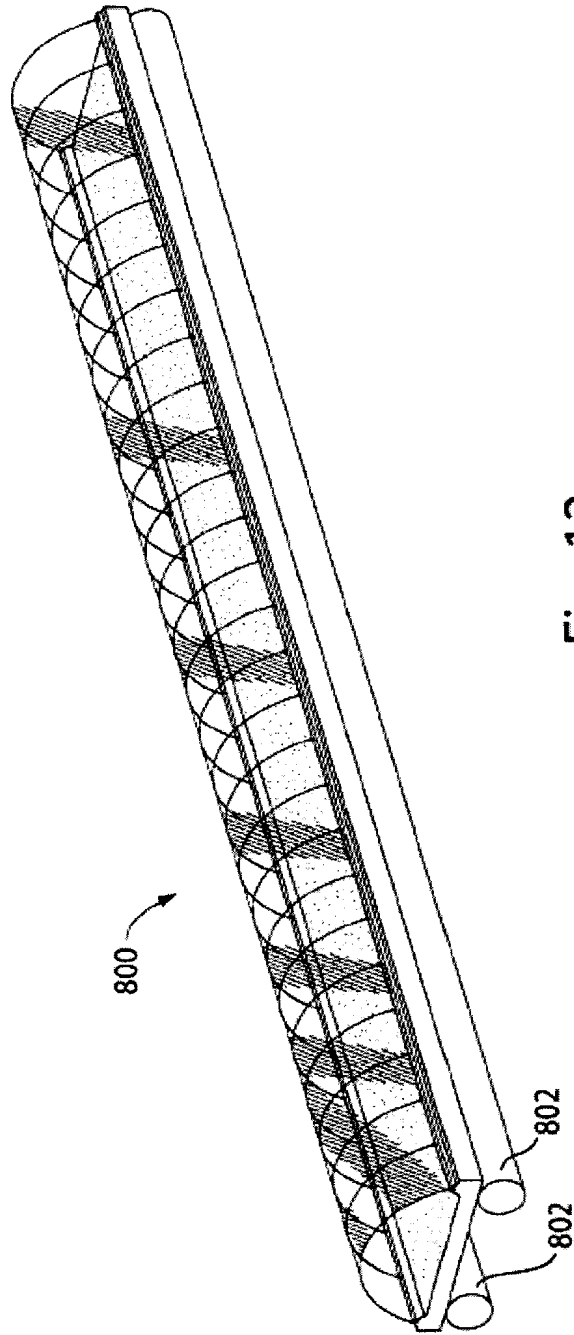


Fig. 12

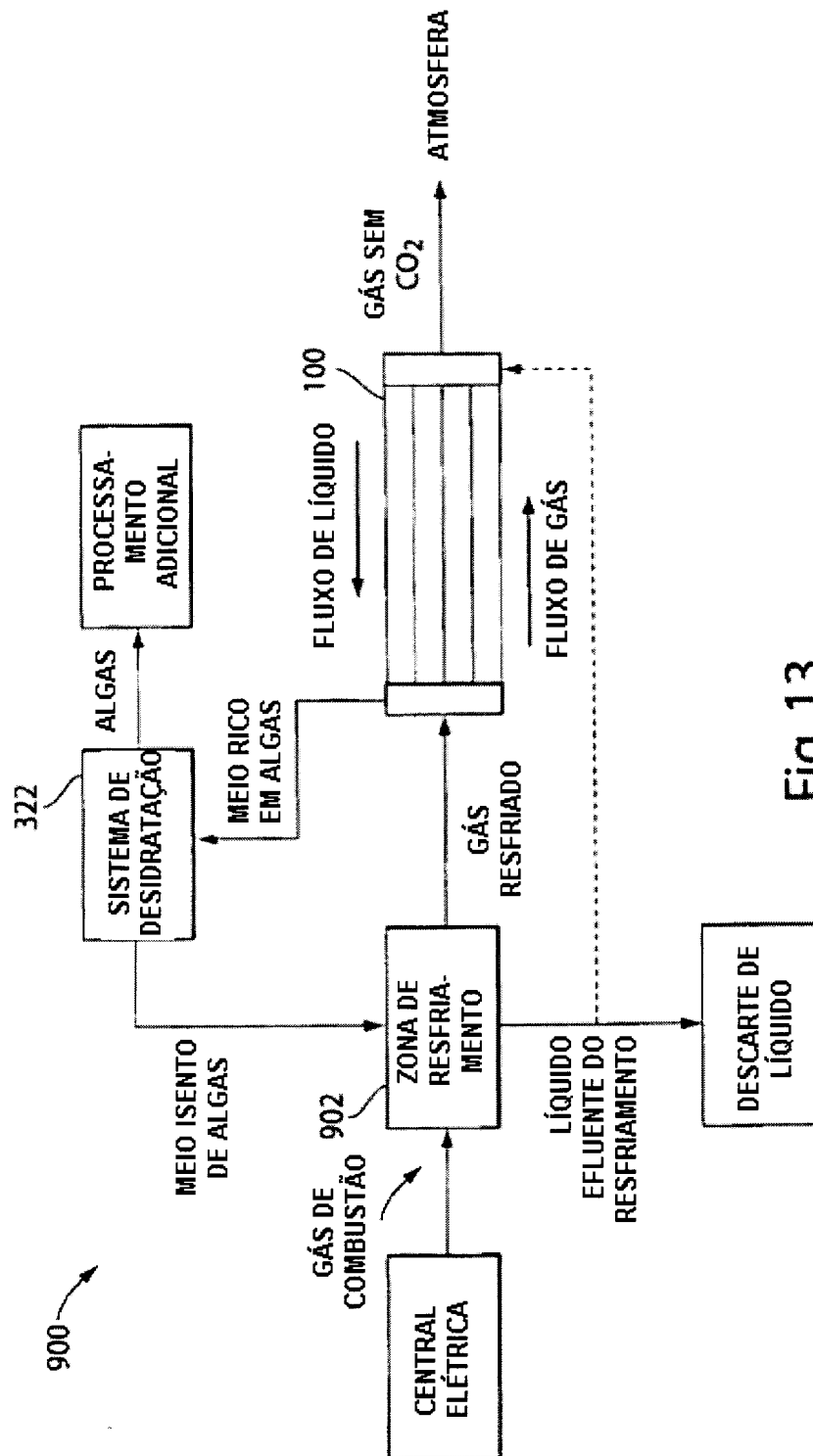


Fig. 13

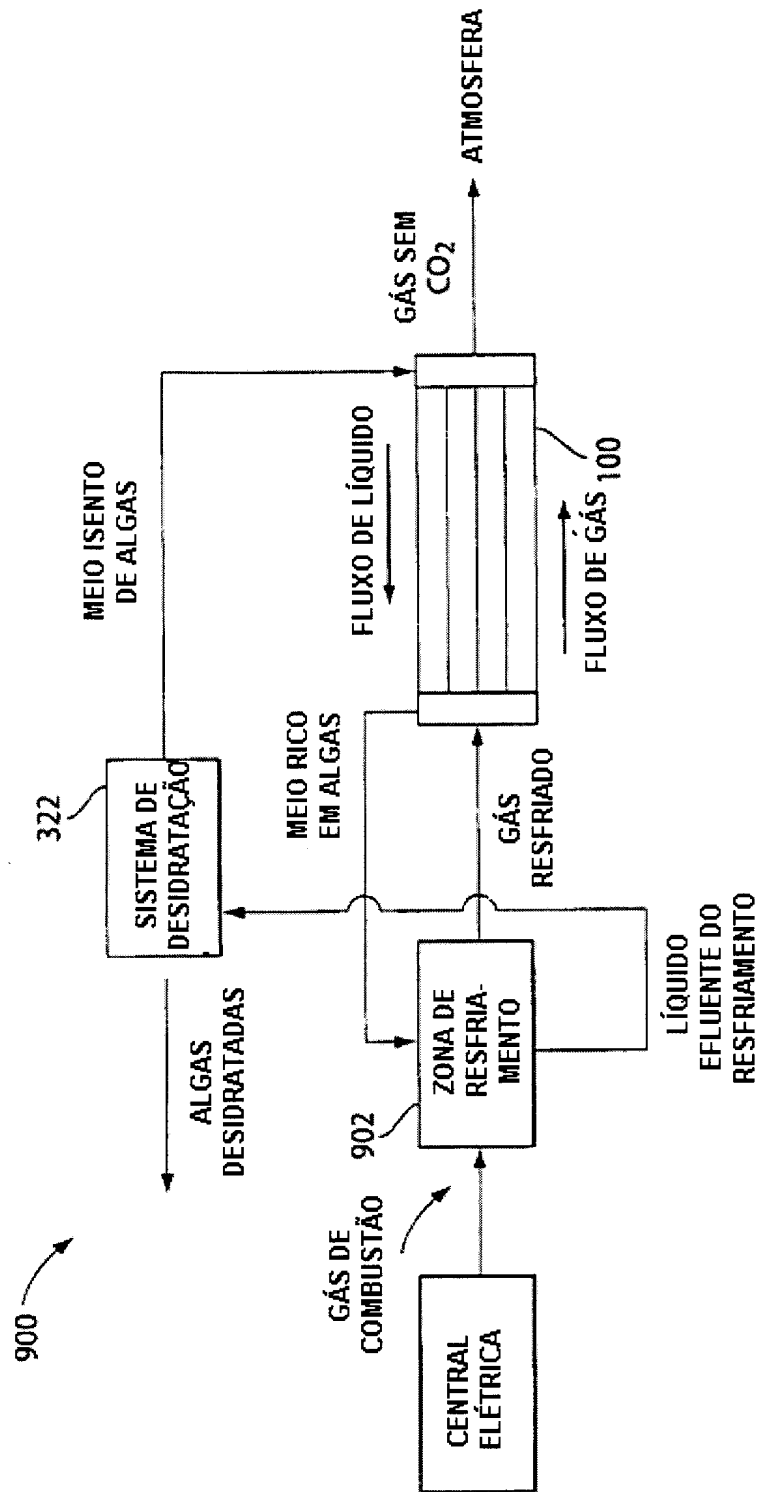


Fig. 14

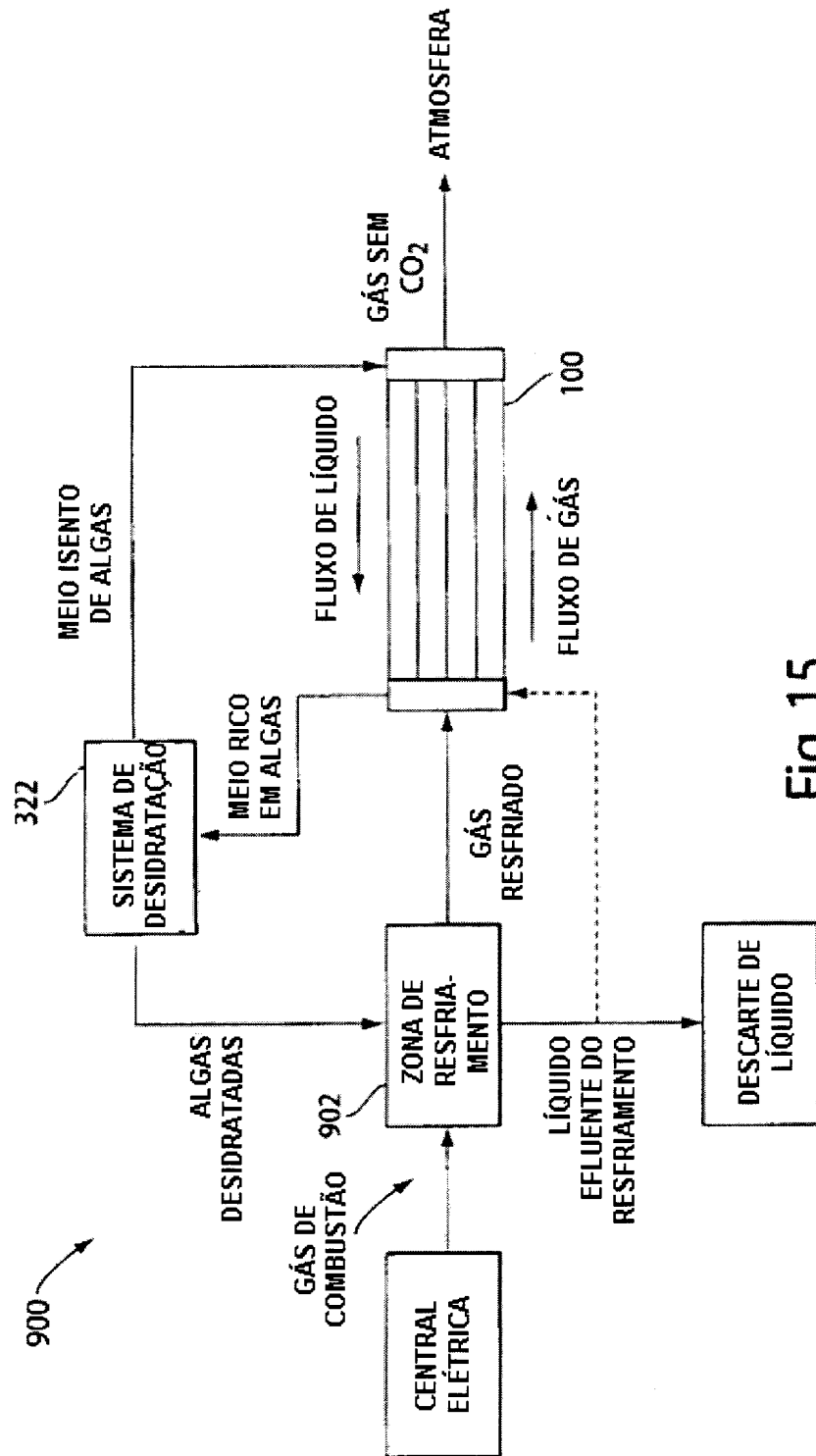


Fig. 15

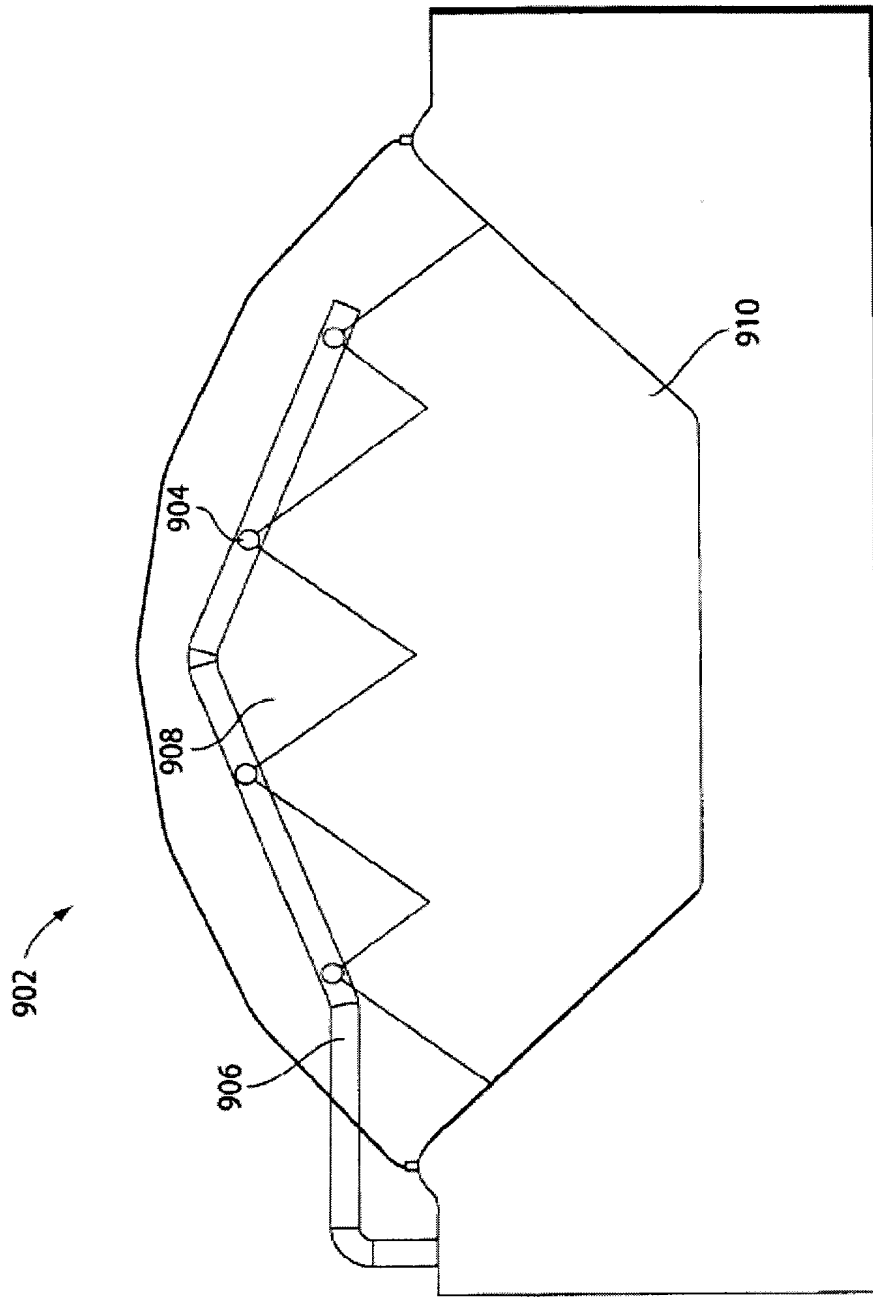


Fig. 16

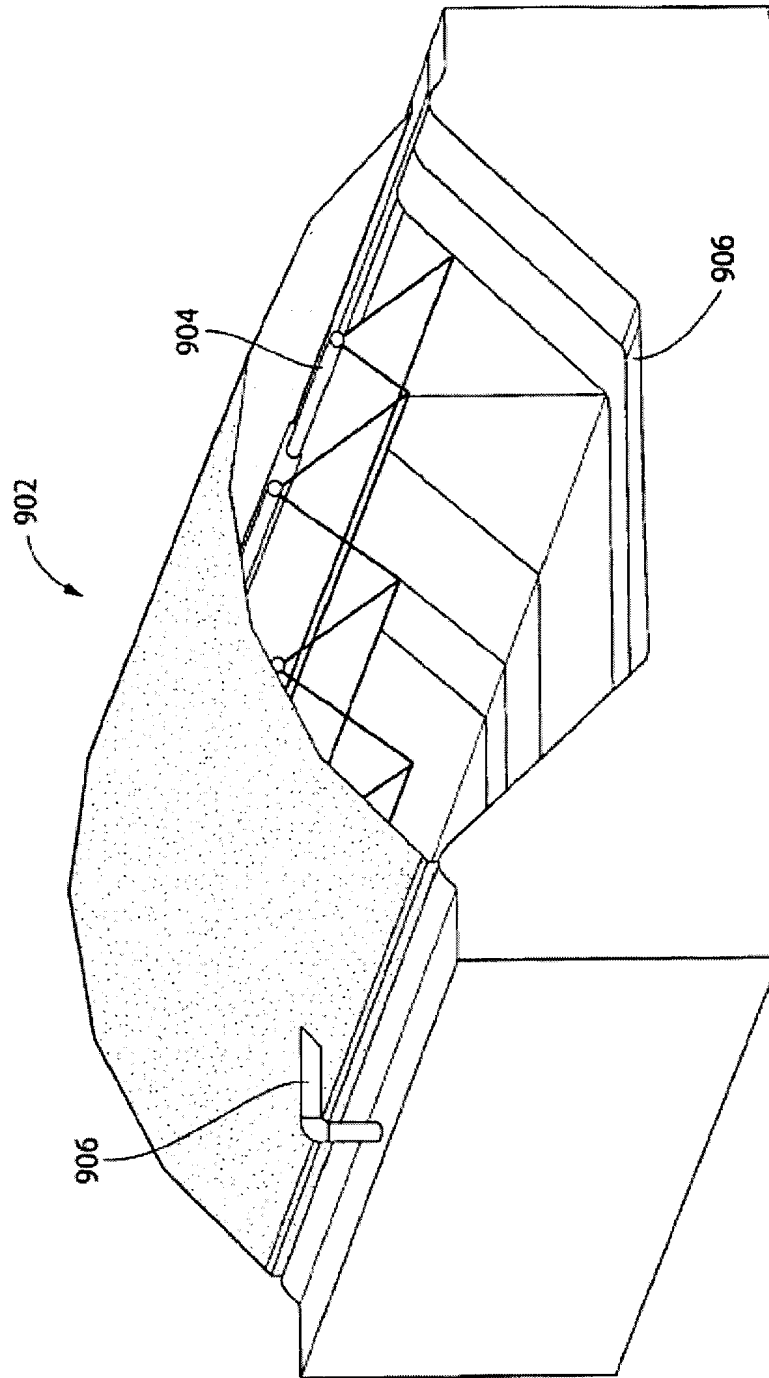


Fig. 17

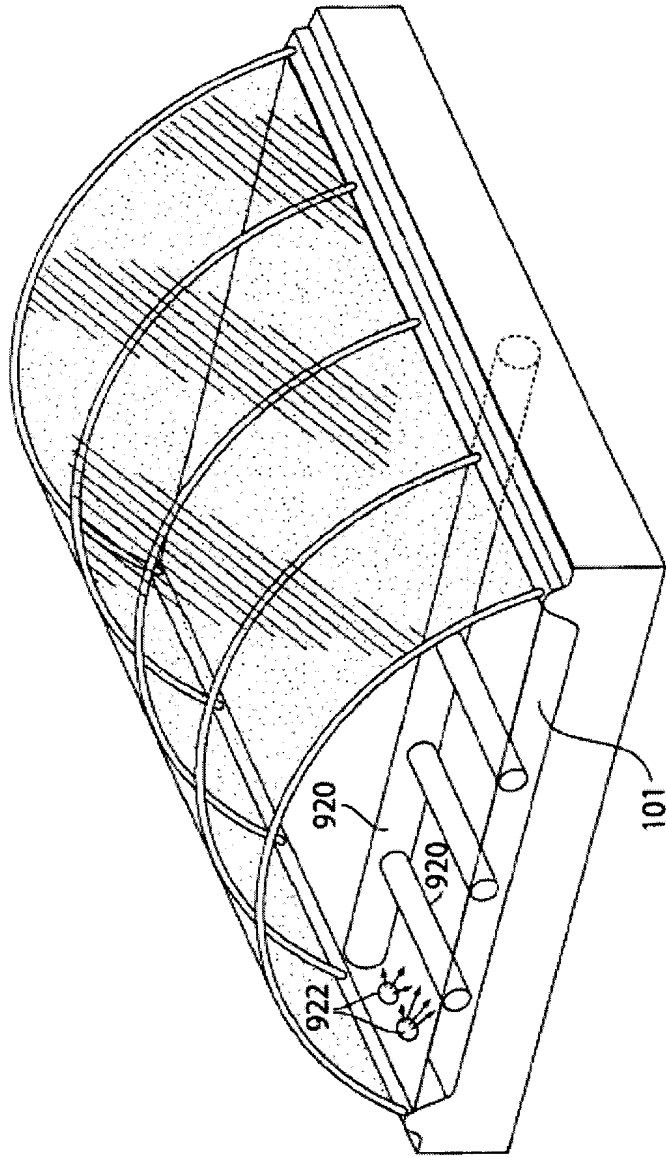


Fig. 18

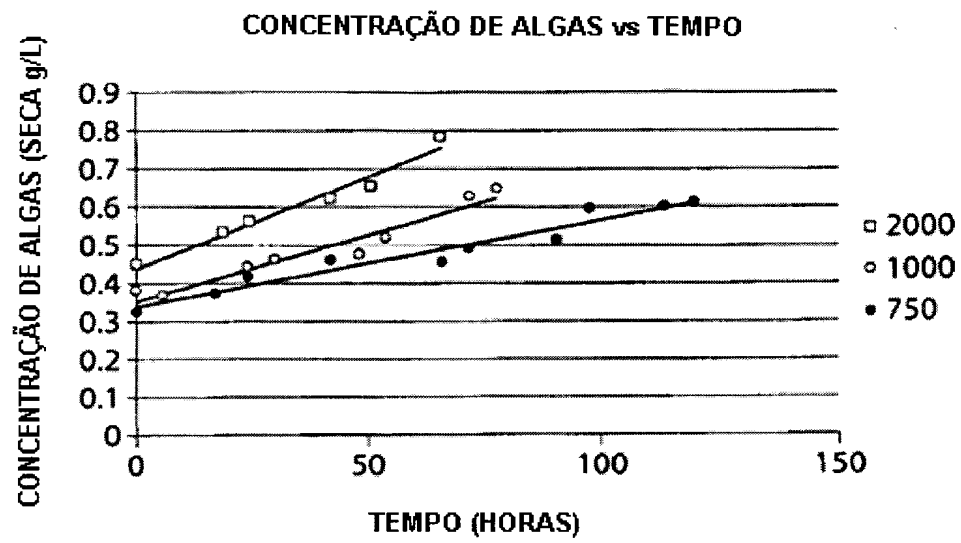


Fig. 19

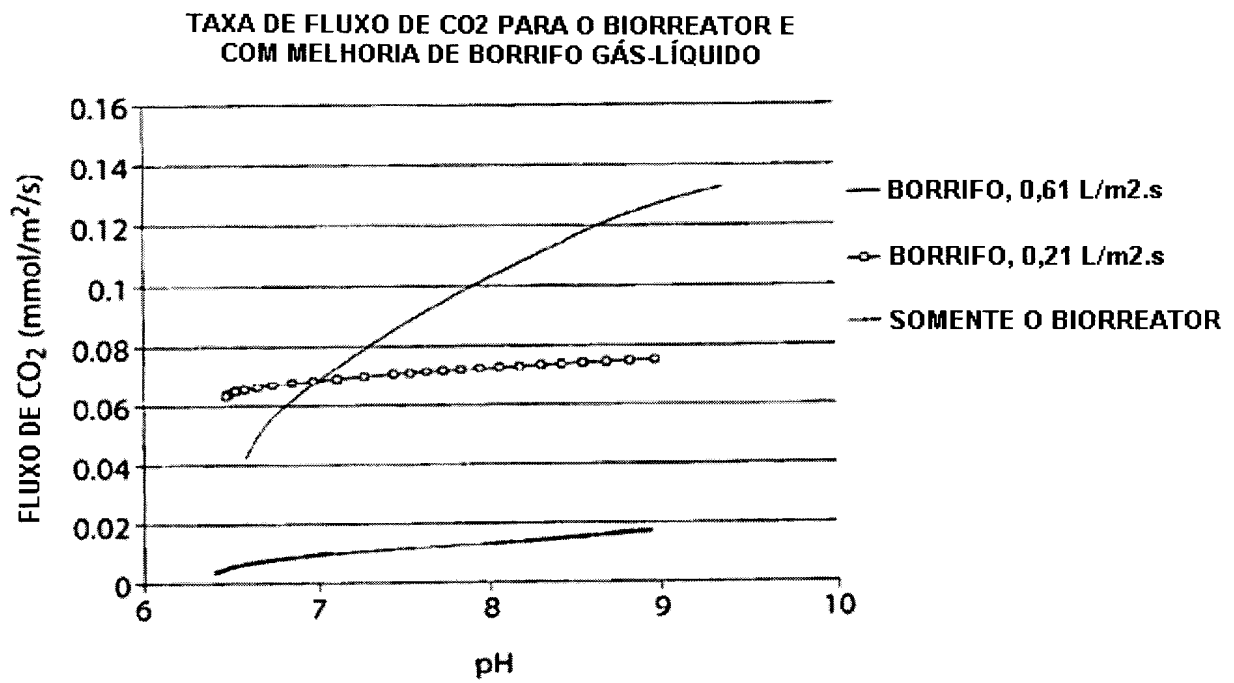


Fig. 20

RESUMO

“SISTEMAS DE FOTOBIORREACTORES E MÉTODOS PARA TRATAMENTO DE GÁS ENRIQUECIDO COM CO₂ E PRODUÇÃO DE BIOMASSA”

5 Certas modalidades e os aspectos da presente invenção se referem a um fotobiorreator incluindo unidades fotobiorreadoras cobertas pelas quais fluem uma corrente de meio líquido e uma corrente de gás. O meio líquido compreende pelo menos uma espécie do organismo fototrófico no mesmo. Certos métodos para usar o sistema fotobiorreator como parte de um sistema para a geração de combustível e/ou um processo de tratamento de gás ou um sistema para pelo menos parcialmente remover certos 10 poluentes indesejáveis de uma corrente de gás. Em certas modalidades, uma porção do meio líquido é desviada de uma unidade fotobiorreadora e reintroduzida a montante da posição de desvio. Em certas modalidades, o sistema fotobiorreator divulgado, os métodos para usar tais sistemas, e/ou aparelhos para tratamento de gás e métodos aqui fornecidos podem ser usados como parte de um método e sistema integrado de combustão, em que os 15 organismos fotosintéticos usados dentro do fotobiorreator são colhidos do fotobiorreator, processados e usados como uma fonte de combustível para um sistema de combustão, tal como uma central elétrica.