



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

(21) PI 0718284-8 A2



(22) Data de Depósito: 19/10/2007
(43) Data da Publicação: 12/11/2013
(RPI 2236)

(51) Int.Cl.:
C12M 3/00
C12M 1/12
C12N 1/12

(54) Título: SISTEMA E PROCESSO PARA O
CRESCIMENTO DE CÉLULAS FOTOSSINTÉTICAS.

(57) Resumo:

(30) Prioridade Unionista: 20/10/2006 US 60/862,366

(73) Titular(es): Arizona Board Of Regents For And On Behalf Of
Arizona State University

(72) Inventor(es): Bruce E. Rittmann, Willem F.J. Vermaas

(74) Procurador(es): Dannemann, Siemsen, Bigler &
Ipanema Moreira

(86) Pedido Internacional: PCT US2007081994 de
19/10/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2008/051865de
02/05/2008

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**SISTEMA E PROCESSO PARA O CRESCIMENTO DE CÉLULAS FOTOSSINTÉTICAS**".

REFERÊNCIA CRUZADA A PEDIDOS RELACIONADOS

5 Este pedido de patente reivindica a prioridade do Pedido de Patente Provisório U.S. N° de Série 60/862.366 depositado em 20 de outubro de 2006, cuja descrição inteira é aqui especificamente incorporada como referência.

Antecedentes da Invenção

10 A. Campo da Invenção

As modalidades da presente invenção referem-se geralmente a um sistema e a um processo para o crescimento de células fotossintéticas sob condições controladas. Em particular, as modalidades da presente invenção referem-se ao uso de micro-organismos fotossintéticos para produ-
15 zir produtos tais como biocombustível.

B. Descrição da Técnica Relacionada

Dois desafios, que o mundo atualmente enfrenta, incluem a poluição em andamento do ambiente com dióxido de carbono, que contribui para o aquecimento global e o aumento do consumo dos recursos de
20 energia naturais do mundo tais como dos combustíveis fósseis. Existe um ciclo problemático em que o aumento do consumo de combustível fóssil está correlacionado com um aumento da poluição do ar pelo dióxido de carbono.

Por exemplo, foi avaliado que os Estados Unidos produz de dióxido de carbono anualmente proveniente da combustão de combustíveis
25 fósseis (ver a Publicação U.S. N° 2002/0072109). A produção global de dióxido de carbono proveniente do consumo de combustível fóssil é muito maior e avaliada como estando entre 6,2 – 7,1 bilhões de toneladas métricas (7 - 8 bilhões de tons/ano (Marland e outros, 2006). Um aumento na poluição do ar pelo dióxido de carbono pode levar a um aumento do aquecimento global,
30 que por sua vez pode aumentar a frequência e a intensidade de eventos atmosféricos extremos, tais como inundações, secas, ondas de calor, tempestades e furacões. Outras consequências do aquecimento global podem

incluir mudanças nas produção de safras, extinções de espécies e aumentos nas faixas de vetores de doença.

Foram sugeridos métodos para controle do dióxido de carbono. Por exemplo, a Publicação U.S. N° 2002/0072109 descreve um sistema de sequestro biológico em um local que possa diminuir a concentração de compostos que contenham carbono nas emissões de unidades de geração de fósfil. O sistema usa micróbios fotossintéticos, tais como algas e cianobactérias, que estejam ligadas a uma superfície de crescimento disposta em um alimentador de contenção que seja iluminada por luz solar. As cianobactérias ou as algas captam o dióxido de carbono produzido pelas unidades de geração de fósfil.

Quando ao segundo desafio, o aumento da demanda da energia global provoca uma maior demanda nos suprimentos de energia proveniente de combustível fósfil não renovável. Fontes alternativas para energia estão sendo desenvolvidas. Por exemplo, produtos agrícolas tais como milho, soja, semente de linhaça, semente de colza, cana-de-açúcar e óleo de dendê estão sendo atualmente cultivados para uso na produção de biocombustível. Também podem ser usados subprodutos biodegradáveis de indústrias tais como de agricultura, constructo e reflorestamento para produzir bioenergia. Por exemplo, palha, madeira serrada, adubo, arroz, cascas de vegetais, esgoto, resíduo biodegradável e restos de alimentos podem ser convertidos em biogás através de digestão anaeróbica.

Também têm sido tentados processos para a utilização de organismos vivos para produzir etanol. Por exemplo, a Patente U.S. N° 4.242.455 de Muller e outros descreve um processo contínuo em que uma suspensão aquosa de partículas de polímero de carboidrato, tais como grânulos e/ou cavacos e fibras de celulose, é acidificada com um ácido inorgânico forte para formar um açúcar que possa ser fermentado. O açúcar que pode ser fermentado é fermentado com pelo menos duas cepas de *Saccharomyces*. A Patente U.S. N°. 4.350.765 de Chibata e outros, descreve um processo de produção de etanol em uma alta concentração por utilização de uma *Saccharomyces* ou *Zymomonas* imobilizada e um caldo de cultura com nutrien-

tes que contêm um açúcar que pode ser fermentado. A Patente U.S. N° 4.413.058 de Arcuri e outros, descreve uma cepa de *Zymomonas mobilis*, que é usada para produzir etanol colocando o micro-organismo em uma coluna de reator contínuo e passando uma corrente de açúcar aquoso através da dita coluna.

O Pedido de Patente PCT WO/88/09379 de Hartley e outros, descreve o uso de cepas bacterianas anaeróbicas termofílica facultativas que produzem etanol por fermentação de uma ampla faixa de açúcares, inclusive celobiose e pentoses. Estas cepas bacterianas contêm uma mutação em lactato desidrogenase. Como um resultado, estas cepas, que normalmente produziram lactato sob condições anaeróbicas, em vez disso produzem etanol.

A Publicação U.S. 2002/0042111 descreve uma cianobactéria modificada geneticamente que pode ser usada para produzir etanol. A cianobactéria inclui um constructo que compreende fragmentos de DNA que codificam a piruvato descarboxilase (*pdc*) e a álcool desidrogenase (*adh*) enzimas obtidas partindo do plasmídeo pLOI295 da *Zymomonas mobilis*.

Sumário

As modalidades da presente descrição superam deficiências na técnica fornecendo um sistema e um processo versáteis e controláveis para o cultivo de células fotossintéticas. Os sistemas e os processos permitem o controle independente dos fatores que determinam as características fisiológicas dos micro-organismos fotossintéticos e a sua produção de produtos valiosos. As modalidades também minimizam o consumo de energia e de água durante a operação do sistema.

Em certas modalidades, o sistema compreende um conduto com uma superfície externa, uma superfície interna, um volume interno, um comprimento e pelo menos uma parte que permite que a luz solar passe para o volume interno durante o uso. Pelo menos uma parte do conduto pode ser exposta à luz solar durante o dia e um sistema de amortecimento térmico pode estar em relação operável para o conduto. Em exemplos não-limitativos, um sistema de fornecimento de CO₂ é configurado para fornecer

CO₂ para o volume interno durante o uso; um sistema de fornecimento de nutrientes é configurado para fornecer um ou mais nutrientes (por exemplo, nitrogênio e fósforo) para o volume interno durante o uso e um sistema de separação para remover as células do conduto durante o uso e para fazer retornar as células e a água filtrada de volta para o volume interno de uma maneira controlada. Em certas modalidades, o nutriente pode ser um componente de nitrato ou de um outro composto de nitrogênio fixo.

Em exemplos não-limitativos, o sistema de amortecimento térmico pode compreender um reservatório entre aproximadamente 0,6 metro de profundidade e 3 metros de profundidade (2 pés e 10 pés), de preferência entre 1,2 metro e 1,8 metro (quatro pés e seis pés) de profundidade e mais preferivelmente ainda em torno de 1,5 metro (cinco pés) de profundidade.

O reservatório pode estar entre 50 metros quadrados e 200 metros quadrados, de preferência entre 100 metros quadrados e 150 metros quadrados e mais preferivelmente ainda em torno de 130 metros quadrados. O reservatório pode ser formado por represas de terra em uma área quase no nível do solo. O conduto pode estar submerso mais ou menos do que 0,9 metro (três pés) abaixo da superfície do reservatórios de água e o reservatórios de água pode estar parcialmente ou completamente sombreado. As partes do conduto podem também ser subterrâneas ou protegidas contra a luz do exterior de alguma outra maneira. Um sistema de sombreado pode compreender uma lona retrátil puxada por cabos ou por transmissão por cadeia ou uma cobertura retrátil para piscina. O reservatório de água também pode ser dividido em segmentos de modo que diferentes condições de operação possam ser mantidas em diferentes segmentos. Além disso, dois ou mais reservatórios de água contendo o conduto podem ser operados em paralelo para serem aplicados para maiores taxas de produção de células fotossintéticas. O sistema de amortecimento térmico também pode compreender passadiços sobre o reservatórios de água ou outro reservatório para fluido. Os passadiços podem se situar longitudinalmente ao longo do conduto e através do conduto em centros aproximadamente a 1,8 até 2,4 metros (seis a oito pés) e podem ser suportados pelo fundo do reservatório. Os passadiços po-

dem ser usados para a manutenção e a limpeza do conduto. Em exemplos não-limitativos, o sistema pode compreender dispositivos para limpeza do conduto, tais como bolas moles arrastadas através do conduto para limpar o lado de dentro do conduto. Em certas modalidades, podem ser usados escovas, ação de vácuo ou jatos de água para limpar o lado de fora do conduto.

Certas modalidades podem compreender um sistema de controle de fluido configurado para: remover um permeado substancialmente livre de sólidos do conduto; reciclar uma parte do permeado substancialmente livre de sólidos de volta para o conduto; remover um retentado de sólidos concentrados do sistema e reciclar uma parte do permeado substancialmente livre de sólidos de volta para o conduto.

As células fotossintéticas podem ser cianobactérias de acordo com o Pedido de Patente Provisório U.S. N° 60/853.285, intitulado "Modified Cyanobacteria", depositado em ou próximo a 20 de outubro de 2006 e com o Pedido de Patente PCT N° _____, intitulado "Modified Cyanobacteria", depositado em ou próximo a 20 de outubro de 2007, por Willem F.J. Vermaas, aqui incorporado como referência. Em exemplos não-limitativos, as cianobactérias podem ser *Synechocystis* sp. PCC 6803 ou *Thermosynechococcus elongatus* sp. BP-1.

Synechocystis sp. PCC 6803 é um organismo unicelular que apresenta um única combinação de características genéticas moleculares, fisiológicas e morfológicas altamente desejáveis. Por exemplo, esta espécie pode ser transformada espontaneamente, incorpora DNA estranho em seu genoma por recombinação dupla homóloga, cresce sob muitas condições fisiológicas diferentes (por exemplo, fotoauto/mixo/heterotroficamente) e é relativamente pequena (~ 1,5 µm de diâmetro) (Van de Meene e outros, 2006). O seu genoma completo foi sequenciado (Kaneko e outros, 1996) e foi encontrada uma alta percentagem de quadros de leitura aberta sem homólogos em outros grupos de bactérias (Fraser e outros, 2000). *Synechocystis* sp. PCC6803 é disponível pela American Type Culture Collection, número de acesso ATCC 27184 (Rippka e outros, 1979. J. Gen. Micro., 111: 1-61).

A *Thermosynechococcus elongatus* sp. BP-1 é uma cianobactéria termofílica unicelular que habita em fontes quente e tem uma temperatura de crescimento ótima de aproximadamente 55°C (Nakamura e outros, 2002). O genoma completo desta bactéria foi sequenciado. O genoma inclui um cromossomo circular de 2.593.857 pares base. Um total de 2475 genes que codificam proteína potencial, um conjunto de genes rRNA, 42 genes tRNA representando 42 espécies de tRNA e 4 genes para pequenos RNAs estruturais foi previsto.

A parte do conduto que permite que passe luz solar para o volume interno durante o uso pode ser transparente. Em certas modalidades, a parte transparente pode ser compreendida de vidro transparente ou translúcido, de cloreto de polivinila, de policarbonato ou de polietileno e o conduto pode compreender um tubo com uma seção transversal circular.

Em outras modalidades, um processo de crescimento de células compreende o cultivo das células em um volume interno de um ou mais condutos; fornecimento de CO₂ e nitrogênio fixo ao volume interno; exposição do CO₂ e do nitrogênio fixo à luz natural; moderação de quaisquer variações térmicas nos condutos e remoção das células do volume interno. Em certas modalidades as células são cianobactérias e o amortecimento das variações térmicas compreende o contato de uma superfície externa dos condutos com um fluido.

Em exemplos não-limitativos a temperatura do fluido é controlada e as taxas de fluxo através dos condutos estão entre 2 e 20 cm/segundo, mais preferivelmente entre 4 e 10 cm/segundo e mais preferivelmente ainda 5 - 10 cm/segundo. O CO₂ pode ser fornecido por um gás de processo ou por um gás de combustão e os nutrientes podem ser fornecidos por água subterrânea, amônia, nitrato ou um outro composto de nitrogênio fixo. Em exemplos não-limitativos, as células são removidas por uma membrana e os condutos estão submersos em um reservatório para fluido.

Em processos não-limitativos, o CO₂, o nitrogênio fixo e a temperatura no volume interno são mantidas a quantidades adequadas para o crescimento de cianobactérias ou de outros micro-organismos fotossintéti-

cos. Por exemplo, o CO₂ pode ser mantido em torno de 0,01% a 10%, mais preferivelmente entre 0,02% e 7% e mais preferivelmente ainda entre 0,03% e 5% no volume interno do conduto. O nitrogênio pode ser mantido em torno de 0,1 a 15 mM (milimolar), de preferência entre 0,3 e 12 mM. A temperatura
5 pode ser mantida em torno de 3 - 80 graus Celsius, de preferência de 10 - 60 graus Celsius no volume interno.

Em exemplos não-limitativos, o conduto pode ter entre aproximadamente 2,5 e 45 cm (1 e 18 polegadas) de diâmetro, mais preferivelmente entre 10 e 20 cm (4 e 8 polegadas) de diâmetro e mais preferivelmen-
10 te ainda em torno de 12,7 - 17,8 cm (5 - 7 polegadas) de diâmetro. O conduto podem ter entre 10 e 200 metros de comprimento, de preferência entre 50 e 150 metros de comprimento e mais preferivelmente ainda em torno de 100 metros de comprimento.

O sistema de amortecimento térmico pode ser configurado para
15 circular um fluido em contato com o conduto durante o uso e pode compreender um reservatório para fluido com um revestimento interno sintético em que pelo menos uma parte do conduto está submersa no reservatório para fluido. Em outras modalidades, o sistema pode compreender um suporte configurado para suporte do conduto. Os suportes podem compreender ca-
20 valetes de tubo ou folhas corrugadas e podem estar espaçadas com um intervalo de 0,6 m até 15 metros (2 a 50 pés), mais preferivelmente entre aproximadamente 1,2 e 3 metros (4 e 10 pés) e mais preferivelmente ainda em torno de 1,8 metro (6 pés). Em exemplos não-limitativos, há várias filei-
25 ras de condutos ligados aos alimentadores de distribuição em uma ou em ambas as extremidades das fileiras do conduto. Em certas modalidades, o fluxo em aproximadamente a metade das fileiras de conduto está em uma direção e o fluxo nas fileiras de conduto restantes está na direção oposta.

Em certas modalidades, o sistema de fornecimento de CO₂ pode compreender uma bomba e pode ser configurado para injetar um gás de
30 combustão ou um gás de processo para o volume interno do conduto durante o uso.

Em exemplos não-limitativos, a bomba usada para fazer circular

o fluido dentro do conduto pode ser uma bomba de elevação de ar, bomba de fluxo axial, uma bomba centrífuga, uma bomba helicoidal ou uma bomba de deslocamento positivo. Esta pode fornecer uma taxa de fluxo de aproximadamente 500 a 5.000 L/minuto, mais preferivelmente entre aproximadamente 1.000 e 3.000 L/minuto e mais preferivelmente ainda aproximadamente 2.500 L/minuto. Em exemplos não-limitativos, a bomba pode fornecer fluxo a uma carga dinâmica total de aproximadamente 0,25 a 10 metros, mais preferivelmente entre 0,5 e 5 metros e mais preferivelmente ainda de aproximadamente 1,0 metro.

Em outros exemplos, o sistema compreende um canal de distribuição ou alimentadores em relação que pode ser operada com o conduto e com o canal de distribuição ou alimentadores é configurado para receber injeção de CO₂ durante o uso. O CO₂ pode ser fornecido de algumas fontes diferentes, inclusive aquelas que fornecem um gás de combustão. O sistema de fornecimento de CO₂ também pode compreender um soprador de ar que forneça o gás contendo CO₂. O soprador de ar pode ter uma taxa de fluxo de aproximadamente 100 até 5.000 metros cúbicos por hora, porém preferivelmente entre 500 e 2.500 e mais preferivelmente ainda em torno de 1.500 metros cúbicos por hora. Em certas modalidades, o sistema de CO₂ pode ter um purificador (por exemplo, um purificador com álcali) para remover contaminantes (por exemplo, SO₂). Em um exemplo não-limitativo, pode ser usado uma luz UV light ou um filtro químico para esterilizar o ar proveniente do soprador de ar. O sistema de fornecimento de CO₂ sistema pode ser configurado para injetar CO₂ diretamente no alimentador de distribuição ou no canal.

Em certas modalidades, o sistema de fornecimento de nutriente pode ser configurado para fornecer água subterrânea para o volume interno do conduto durante o uso. Neste exemplo, é realizado um benefício sinérgico com a água subterrânea que fornece nitrogênio ao sistema e ao sistema que remove nitrogênio da água subterrânea. O sistema de fornecimento de nutriente também pode compreender um reservatório de água para armazenagem e uma bomba de medição com amônia o/u com sulfato de amônio.

Outros nutrientes, tais como fósforo, também podem ser adicionados pelo sistema de fornecimento de nutriente.

Em certas modalidades, um sistema de fornecimento de nutriente adiciona nitrogênio, fósforo e/ou outros minerais por meio de sistemas de alimentação em pacote tipicamente usados em plantas de tratamento de água de rejeito de indústrias. O sistema de fornecimento de nutriente pode compreender um tanque com mistura, um tanque de aeração e uma bomba de medição automatizada. O sistema de fornecimento de nutriente pode ser usado para adicionar nutrientes ou minerais, tais como amônia, sulfato de amônio e ácido fosfórico.

Em outros exemplos não-limitativos, o sistema de separação compreende uma membrana. Em modalidades específicas, a membrana pode ser um sistema de membrana para ultrafiltração, de fibra oca tal como um sistema Zenon[®] ou um sistema de membrana de folha plana submerso, tal como um sistema Kubota[®]. Em certas modalidades, um sistema de separação (ou de desidratação) irá concentrar sólidos de uma faixa de 20-10.000 mg/L até uma faixa de 1.000 – 50.000 mg/L, mais preferivelmente desde 100 - 300 mg/L até 5.000 – 25.000 mg/L e mais preferivelmente ainda de desde 200 mg/L até 10.000 mg/L. O sistema de separação pode circular água permeada e sólidos concentrados de volta para o sistema da reação e pode ser um sistema em um único estágio ou em multiestágio.

Em modalidades específicas, o separador irá receber fluido proveniente do conduto e irá retornar separadamente sólidos concentrados de volta para o conduto, remover sólidos concentrados do sistema para processamento adicional, remover água permeada filtrada (livre de sólidos) do sistema e retorna água permeada filtrada para o conduto. Este conjunto de fluxos de ida e de volta do separador torna possível controlar independentemente a concentração dos sólidos (isto é, dos micro-organismos fotossintéticos) dentro do conduto, a concentração dos sólidos removidos do separador para processamento adicional e o retorno para o conduto e a taxa de crescimento específica dos micro-organismos fotossintéticos dentro do conduto.

Em certas modalidades, os sólidos concentrados removidos do

sistema podem ser transportados para um reservatório de água para armazenagem para desidratação adicional. Uma segunda etapa de desidratação pode concentrar o produto de um por cento de sólidos até 5 - 50 por cento de sólidos, mais preferivelmente de desde 10 - 25 por cento e mais preferivelmente ainda de 15 - 20 por cento de sólidos. Isto pode ser realizado usando-se uma centrífuga, uma centrífuga decantadora (também conhecida como uma centrífuga em espiral ou uma centrífuga de rotor sólido). Certos exemplos não-limitativos podem compreender filtros adicionais da mesma forma. Em certas modalidades, pode ser usado um sistema de floculação (por exemplo, um sistema de polímero) para capturar sólidos na centrífuga e a centrífuga pode ser dimensionada de modo que possa ser conseguir processamento de sólidos durante um único turno de trabalho.

Certas modalidades não limitativas compreendem um sistema de processamento para a conversão dos sólidos recuperados em biocombustíveis (por exemplo, biodiesel) ou em outros produtos valiosos, incluindo uma célula residual semi-seca ou seca "fraturada" que poderia ser um combustível de queima e tem outros usos possíveis. Em certas modalidades, o processamento do produto compreende a lise ou a fratura das células. Podem ser empregados vários processos de fratura, inclusive, porém não limitados a: tratamentos térmicos; tratamentos por ondas sonoras; abrasão mecânica (por exemplo, por bombas de deslocamento positivo); pressurização e despressurização súbita; abrasão e fratura auxiliadas pela adição de meios inertes; campo elétrico pulsado; tratamento com ácido ou com álcali. Em certas modalidades, os métodos de processamento adicionais podem ser realizados depois da fratura. Por exemplo, extração direta com solvente ou com CO₂ supercrítico do óleo ou de outros produtos provenientes dos sólidos podem ser realizados. Isto pode ser seguido pela produção de biodiesel do óleo e desidratação de fragmentos de restos de célula até aproximadamente 10 - 80 por cento de sólidos, mais preferivelmente desde 30 - 60 por cento e mais preferivelmente aproximadamente 50 por cento de sólidos. Em outros exemplos não-limitativos, as células podem ser secas até 80 por cento ou mais de sólidos, mais preferivelmente 90 por cento ou mais e mais preferi-

velmente ainda próximo de 100 por cento de sólidos seguido por extração por solvente ou por CO₂ supercrítico do óleo para a produção de biodiesel. Em outras modalidades, um produto que contenha aproximadamente vinte por cento de sólidos pode ser tratado com calor, álcali e etanol para produzir um produto biodiesel. Podem ser usados vários métodos de secagem nas modalidades; por exemplo, secagem solar ou secagem mecânica pode ser usada para secar o produto.

É considerado que qualquer modalidade discutida neste relatório descritivo pode ser implementada em relação a qualquer método ou sistema da invenção e vice-versa. Além disso, os sistemas da invenção podem ser usados para se conseguir os métodos da invenção.

O termo "conduto" ou qualquer variação do mesmo, quando usado nas reivindicações e/ou no relatório descritivo, inclui qualquer estrutura através da qual um fluido pode ser transportado. Exemplos não-limitativos de conduto incluem canos, tubulação, canais ou outras estruturas fechadas.

O termo "reservatório" ou qualquer variação do mesmo, quando usado nas reivindicações e/ou no relatório descritivo, inclui qualquer estrutura do corpo capaz de reter fluido. Exemplos não-limitativos de reservatório incluem reservatórios, tanques, lagos, pipas ou outras estruturas similares.

Os termos "em torno de" ou "aproximadamente" são definidos como estando próximos como entendido por um versado na técnica e em uma modalidade não limitativa os termos são definidos para estarem dentro de 10%, de preferência dentro de 5%, mais preferivelmente dentro de 1% e mais preferivelmente ainda dentro de 0,5%.

Os termos "inibição" ou "redução" ou qualquer variação destes termos, quando usados nas reivindicações e/ou no relatório descritivo, inclui qualquer diminuição mensurável ou inibição completa para se conseguir um resultado desejado.

O termo "eficaz," como aquele termo é usado no relatório descritivo e/ou nas reivindicações, significa adequado para realizar um resultado desejado, esperado ou pretendido.

O uso da palavra "um" ou "uma" quando usado em associação

com o termo "compreendendo" nas reivindicações e/ou no relatório descritivo pode significar "um (a)," mas também é coerente com o significado de "um (a) ou mais," "pelo menos um (a)" e "um (a) ou mais do que um (a)."

5 O uso do termo "ou" nas reivindicações é empregado para significar "e/ou" a não ser se explicitamente indicado para se referir a alternativas apenas ou as alternativas são mutuamente exclusivas, embotada a descrição confirme uma definição que se refere apenas a alternativas e "e/ou."

10 Como usado neste relatório descritivo e/ou na(s) reivindicação(ões), as palavras "compreendendo" (e qualquer forma de compreender, tal como "compreendem" e "compreendem"), "tendo" (e qualquer forma de ter, tal como "têm" e "tem"), "incluindo" (e qualquer forma de incluir, tal como "inclui" e "incluem"), ou "contendo" (e qualquer forma de conter, tal como "contém" e "contêm") são inclusivas ou não são limitadas a e não excluem elementos adicionais, não citados ou das etapas do processo.

15 Outros objetivos, características e vantagens da presente invenção tornar-se-ão evidentes pela descrição detalhada a seguir. Devia ser entendido, no entanto, que a descrição detalhada e os exemplos, embora indiquem modalidades específicas da invenção, são fornecidas para fins de ilustração apenas. Adicionalmente, é considerado que as mudanças e as modificações dentro do espírito e do âmbito da invenção irão se tornar evidentes
20 para os versados na técnica por esta descrição detalhada.

Breve Descrição das Figuras

Descrição das Modalidades Ilustrativas

25 Referindo-se inicialmente à Figura 1, um sistema 100 para o desenvolvimento de células fotossintéticas compreende um sistema de amortecimento térmico 120, um sistema de fornecimento de CO₂ 140, um sistema de fornecimento de nutriente 160 e um sistema de separação 180. Referindo-se adicionalmente à Figura 2, uma vista parcial da seção transversal do sistema 100 compreende um fluido para umidificação 129 externo em um
30 reservatório para fluido 121, um conduto 122, um suporte para conduto 123, um alimentador de distribuição 124, um revestimento 125 e um passadiço 126. Para fins de esclarecimento, somente um conduto 122 é apresentado

na Figura 2. Em uma modalidade apresentada, um fluido interno 139 compreende células 127 que crescem dentro de um volume interno 128 do conduto 122, que consiste de um material que transmite a luz 131 para o fluido interno 139 dentro do volume interno 128. Como apresentado nesta modalidade, um tubo para remoção de fluido 137 permite que o fluido interno 139 e as células fotossintéticas 127 sejam drenados ou removidos do volume interno 128. Também apresentado na Figura 2, um tubo de CO₂ 132 e um tubo de suprimento de nutriente 133 estão acoplados ao alimentador de distribuição 124. A modalidade apresentada na Figura 2 compreende um tubo de entrada de fluido 134 que fornece o fluido externo 129 para o reservatório 121 e um tubo de saída de fluido 135 que permite que o fluido externo 129 saia para o reservatório 121.

Na modalidade apresentada, uma bomba 136 faz circular o fluido externo 129 através do reservatório 121 por meio do tubo de entrada 134 e do tubo de saída 135. Em certas modalidades, o sistema de amortecimento térmico 120 compreende o reservatório para fluido 121 e o fluido externo 129. Em outras modalidades o sistema de amortecimento térmico 120 também compreende a bomba 136, o tubo de entrada 134 e o tubo de saída 135 e outro equipamento de controle associado, tal como os dispositivos de controle de temperatura e de fluxo.

O reservatório 121 pode ser dividido em segmentos de fluxo 151, 152 e 153. Cada segmento de fluxo 151-153 pode ser ainda dividido em seções de fluxo opostas 154-159 e em seções terminais 161-163. Por exemplo, o fluido interno 139 pode escoar do alimentador de distribuição 124 através da seção de escoamento 155, da seção terminal 161 e de volta através da seção de escoamento 154 para o alimentador de distribuição 124. Em uma modalidade, bombas de elevação de ar (que não aparecem na figura) próximas ao (ou que fazem parte do) alimentador de distribuição 124 fornecem força motriz para fazer circular o fluido interno 139. Uma bomba pode ser fornecida no terminal de entrada de cada seção de escoamento 154-159 ou cada segmento 151 - 153 pode usar uma única bomba para fazer circular o fluxo de fluido interno 139 dentro do segmento. Em certas modalidades,

um gás que contém CO₂ pode ser injetado no ar que aciona as bombas de fluxo de ar. Em outras modalidades, um gás que contenha CO₂ pode ser injetado diretamente para o alimentador de distribuição 124 ou para dentro do tubo de suprimento de nutriente 133.

5 Em certas modalidades, o sistema de fornecimento de CO₂ 140 pode compreender um tubo 132 que forneça um gás que compreenda CO₂ para o volume interno 128 do conduto 122. Em um exemplo não-limitativo, o tubo 132 pode estar acoplado a um gás de combustão. Em uma modalidade não limitativa específica, o tubo 132 pode estar acoplado a uma abertura de
10 gás de processo proveniente de uma estação de força. O sistema de fornecimento de CO₂ 140 também pode compreender um equipamento associado com o tubo 132; por exemplo, o sistema de fornecimento de CO₂ 140 pode compreender um equipamento usado para regular o fluxo de CO₂ e/ou remover substâncias indesejadas da corrente de suprimento de CO₂.

15 Em certas modalidades, o sistema de fornecimento de nutriente 160 pode compreender um tubo de suprimento de nutriente 133 que fornece nutrientes e minerais para o volume interno 128 do conduto 122. Em um exemplo não-limitativo, o tubo 133 pode transmitir um nitrogênio gasoso ou água subterrânea contendo nitratos para o volume interno 128. O sistema de
20 fornecimento de nutriente 160 também pode compreender um equipamento associado ao tubo 133; por exemplo, o sistema de fornecimento de nitrogênio 160 pode compreender um equipamento usado para regular o fluxo de nutrientes e/ou remover substâncias indesejadas da corrente de suprimento de nitrogênio.

25 O sistema de separação 180 compreende o equipamento usado para separar células fotossintéticas 127 do fluido interno 139. Na modalidade específica apresentada nas Figuras 1 e 2, o sistema de separação 180 compreende o tubo de remoção de líquido 137, um separador de membrana 181 e uma bomba de reciclagem 183. O sistema de separação 180 pode ser se-
30 guido de uma bomba de alimentação 182, um injetor de polímero 184, uma centrífuga 185 e um secador 186.

Durante a operação do sistema 100, as células 127 são cultiva-

das no volume interno 128 através de fotossíntese. O tubo de CO₂ 132 fornece CO₂ para o alimentador de distribuição 124 ou a montante do alimentador de distribuição. O tubo de fornecimento de nutriente 133 fornece nutrientes e minerais para o alimentador de distribuição 124, que está acoplada
5 ao volume interno 128 do conduto 122. Pelo menos uma parte do conduto 122 está submersa no fluido externo 129, que amortece as flutuações térmicas ou as variações de volume interno 128. A temperatura do fluido externo 129 pode ser mantida por um mecanismo de controle de temperatura tal como por um trocador de calor (que não aparece nas Figuras 1 ou 2) ou por
10 um sistema de resfriamento para uma estação de força de combustão. Em certas modalidades, o fluido externo 129 é mantido a uma temperatura desejada e/ou tem um calor específico mais alto do que o ar atmosférico. O fluido externo 129 pode reduzir as flutuações térmicas de volume interno 128 causadas por fatores tais como mudanças nas temperaturas externas devido a
15 padrões climáticos naturais ou variações do dia para a noite. Em certas modalidades, a redução das variações térmicas pode promover o crescimento das células 127, o que é realizado por uma reação de luz 131 e o CO₂ e o nitrogênio fornecido pelos tubos 132 e 133, respectivamente.

Como apresentado na modalidade da Figura 1, o fluido interno
20 139 (que compreende as células 127) pode ser removido do volume interno 128 pelo tubo de remoção de líquido que está acoplado ao separador de membrana 181. Em certas modalidades, o separador 181 é uma membrana do tipo Zenon que remove as células 127 do fluido externo 139. Na modalidade apresentada na Figura 1, uma parte 187 do fluido 139 é reciclada de
25 volta para o alimentador de distribuição 124 pela bomba de reciclagem 183 e uma parte que contém sólidos 188 é alimentada para a centrífuga 185 pela bomba de alimentação 182.

Na modalidade apresentada, o injetor de polímero 184 injeta polímero na parte que contém sólidos 188 antes que esta alcance a centrífuga
30 185. Em certas modalidades, uma corrente de produto 189 que sai da centrífuga 185 compreende 15 – 20% de sólidos. Na modalidade apresentada na Figura 1, uma parte da corrente do produto 189 pode ser alimentada ao se-

cador 186. A corrente do produto 189 pode ser convertida em uma biomassa 190 e então em biocombustível ou biodiesel por meio de técnicas tal como lise ou extração com hexano.

Referindo-se agora à Figura 3, é apresentada uma modalidade que compreende um sistema de desenvolvimento de célula 200 integrado com uma estação de força 300. O sistema 200 compreende um reservatório para fluido 221 e uma série de condutos 222 similar aquela do sistema 100 apresentado nas Figuras 1 e 2. Na modalidade da Figura 3, são fornecidos CO₂ e fluido para amortecimento térmico por sistemas existentes comumente encontrados em estações de força. A estação de força 300 compreende uma turbina 320 que é acionada por um suprimento de vapor d'água 321 fornecido por uma caldeira 310. Em certas modalidades, o vapor d'água de exaustão 329 proveniente da turbina 320 é condensado por um condensador 330 e reciclado de volta para a caldeira 310 por meio de uma bomba de reciclagem 322. Na modalidade apresentada, a caldeira 310 produz um gás de combustão ou um gás de processo 311 (que contém CO₂) que é enviado para o sistema 200 e usado na produção de células. Na modalidade da Figura 3, pode ser usado um purificador 315 para remover alguns gases, inclusive SO₂, do gás de processo 311.

Na modalidade apresentada na Figura 3, a estação de força 300 compreende uma torre de resfriamento 340 que fornece água para resfriamento 345 para o condensador 330. A água para resfriamento 345 sai da torre de resfriamento 340 a uma certa temperatura (aproximadamente 27°C (80°F) na modalidade apresentada) e passa através do condensador 330, onde a temperatura é aumentada até uma temperatura mais alta (aproximadamente 43°C (110°F) na modalidade apresentada) antes de retornar à torre de resfriamento 340. A torre de resfriamento 340 então esfria a água para resfriamento 345 até uma temperatura mais baixa e uma bomba 349 na torre de resfriamento faz circular a água para resfriamento 345 através do condensador 330.

Em certas modalidades, uma primeira válvula de controle 341 é acoplada à saída da água para resfriamento (onde a água para resfriamento

345 está a uma temperatura mais baixa) e uma segunda válvula de controle 342 é acoplada ao retorno da água para resfriamento (onde a água para resfriamento 345 está a uma temperatura mais alta). As válvulas de controle 341 e 342 também podem estar acopladas a uma linha de fornecimento 344 que fornece um fluido externo 229 (neste exemplo, uma mistura de água para resfriamento 345 proveniente das linhas de fornecimento e de retorno do condensador) para o sistema 200. Pode ser usado um sistema de controle (não mostrado) para controlar a temperatura de fluido externo 229 por abertura ou fechamento das válvulas de controle 341 e 342. A temperatura do fluido externo 229 pode ser controlada a qualquer temperatura entre a temperatura da saída da água para resfriamento (no exemplo apresentado, 27°C (80°F)) e a temperatura de retorno da água para resfriamento (43°C (110°F) no exemplo apresentado). Por exemplo, se a válvula 342 estivesse aberta e a válvula 343 estivesse completamente fechada, a temperatura do fluido externo 229 seria a temperatura de saída da água para resfriamento. Se a válvula 343 estivesse aberta e a válvula 342 completamente fechada, a temperatura do fluido externo 229 seria a temperatura de retorno da água para resfriamento. Se ambas as válvulas 342 e 343 estiverem parcialmente abertas, a temperatura do fluido externo 229 estaria em algum ponto entre as temperaturas de saída e de retorno da água para resfriamento. Na modalidade apresentada na Figura 3, o fluido externo 229 pode ser circulado através do reservatório para fluido 221 de modo que ele entrasse em contato com o conduto 222 e reduzisse as variações térmicas do conduto 222. Uma bomba 236 bombeia o fluido externo 229 de volta para a torre de resfriamento 340.

A integração do sistema 200 com o equipamento e com os sistemas existentes na estação de força 300 permite maior eficiência do sistema 200. Por exemplo, o gás de processo ou o gás de combustão 311 pode fornecer uma fonte de CO₂ existente que requeira despesas mínimas de capital ou de energia para se recuperar. Além disso, a estação de força 300 pode fornecer uma fonte para água para resfriamento 345 que pode ser usada como um fluido para o amortecimento das variações térmicas no con-

duto 222. Novamente, este sistema pode ser incorporado com custos mínimos. Embora a integração com uma estação de força possa aumentar a eficiência de operação, fica entendido que outras modalidades não utilizam tal integração.

5 Referindo-se agora à Figura 4, uma modalidade alternativa de um sistema 400 para o desenvolvimento de células fotossintéticas compreende aspectos similares à modalidade descrita anteriormente, com certas revisões para o processo e o equipamento. Os elementos que são equivalentes àqueles na modalidade descrita anteriormente são números de referência equivalentes fornecidos.

10 Os elementos do sistema 400 que são equivalentes aos elementos do sistema 100 são números de referência equivalentes fornecidos. No entanto, na modalidade apresentada, o sistema 400 compreende um arranjo diferente de tubulação e bombeamento comparado ao sistema 100. Por exemplo, o sistema 400 pode compreender uma bomba para alimentação de nutrientes 489 que pode ser usada para fornecer o fluxo dentro do sistema de fornecimento de nutriente 160. O sistema 400 também pode compreender bombas adicionais em comunicação fluida com o separador de membrana 181. Por exemplo, o sistema 400 pode compreender uma bomba de separação de alimentação 482 que bombeia o fluido interno 139 proveniente do volume interno de um conduto (por exemplo, o volume interno 128 do conduto 122) para o sistema de separação 180.

20 Na modalidade apresentada, o sistema 400 também pode compreender uma bomba para alimentação de sólidos 483 que pode ser usada para alimentar os sólidos separados do separador de membrana 481 para a centrífuga 185 (ou para o equipamento de processamento associado). O sistema 400 também pode compreender uma bomba para retorno de sólidos 484 que possa ser usada para reciclar os sólidos do separador de membrana 481 de volta para a linha de fornecimento de nutrientes 133. Além disso, a modalidade apresentada compreende uma bomba de reciclagem de permeado filtrado 485 que pode bombear o fluido filtrado de volta para o volume interno de um conduto (por exemplo, o volume interno 128 do conduto 122).

O sistema 400 também pode compreender um escoadouro 486 de permeado ou de líquido.

O sistema 400 como apresentado compreende segmentos de escoamento 151, 152 e 153 (com seções de fluxo em oposição 154-159 e seções terminais 161-163), similares ao sistema 100. É entendido que outras modalidades possam ter menos ou mais segmentos de fluxo. Em certas modalidades, o sistema 400 pode ter apenas um segmento de fluxo. Também é entendido que o sistema 400 pode compreender qualquer localização para injeção de CO₂ em comunicação fluida com o volume interno do conduto ou outra localização de fotossíntese.

Referindo-se agora à Figura 5, um diagrama esquemático ilustra uma modalidade de um sistema 500 para o desenvolvimento de células fotossintéticas que seja similar às modalidades descritas anteriormente. A não ser se for declarado de outra maneira, os elementos do sistema 500 são equivalentes aos elementos denominados similarmente e numerados similarmente em modalidades descritas anteriormente. Neste diagrama esquemático, o sistema 500 compreende seções de fluxo em oposição 551 e 552 e partes de acoplamento 524 e 561 (que permitem que a seção de fluxo 551 esteja em comunicação fluida com a seção de fluxo 552). As seções de fluxo 551 e 552 compreendem recintos ou conduto 522, em que ocorre a fotossíntese descrita anteriormente. Está entendido que o termo "conduto" como usado neste caso deve ser considerado amplamente e inclui qualquer recipiente capaz de reter fluido. Neste exemplo de modalidade, o sistema 500 compreende um sistema de amortecimento térmico 520, um sistema de fornecimento de CO₂ 540, um sistema de fornecimento de nutriente 560 e um sistema de controle de temperatura 565. O sistema 500 também compreende um sistema de separação 580 que compreende um clarificador ou um separador de membrana 581, que separa o retentado de sólidos concentrados ou a biomassa colhida 590 do efluente 591.

No exemplo de modalidade apresentado, o sistema 500 compreende uma bomba de alimentação de nutrientes 589 que pode ser usada para fornecer o escoamento dentro do sistema de fornecimento de nutriente

560, assim como uma bomba de separação de alimentação 582 que alimenta o material da biomassa para o sistema de separação 580. O sistema 500 também pode compreender o sistema de esterilização 587 que pode ser usado para esterilizar os nutrientes antes que eles entrem no conduto 522 e uma bomba de recirculação interna 588 usada para fazer circular o fluido nas seções de escoamento 551 e 552. Além disso, o sistema 500 pode compreender uma bomba de retorno de sólidos 584 que pode ser usada para reciclar os sólidos do separador de membrana 581 de volta para o conduto 522. Na modalidade apresentada, o sistema 500 pode compreender uma bomba de reciclagem de permeado filtrado 585 que pode bombear o fluido filtrado de volta para o volume interno de um conduto 522. O sistema 500 também pode compreender um escoadouro 586 de permeado ou de líquido.

Exemplo

Em um exemplo específico não-limitativo, um sistema para o desenvolvimento de células compreende um reservatório que tem 130 metros quadrados e 1,5 m (5 pés) de profundidade para uso como um sistema de amortecimento térmico. O reservatório é formado com diques em uma área geralmente no nível do solo e tem um revestimento de membrana sintética. Aproximadamente 540 tubos de PVC paralelos transparentes com 100 metros de comprimento, com 15,2 cm de diâmetro se estendem através do tanque. Os tubos são submersos aproximadamente 0,9 m até 1,2 m (3 a 4 pés) abaixo da superfície. Os tubos estão sustentados pelo fundo do reservatório por cavaletes para tubos e cada extremidade dos tubos estão em comunicação fluida com um alimentador.

O reservatório está dividido em três segmentos, com cada segmento dividido em duas seções em contracorrente. O fluxo interno de fluido no tubo escoar de um alimentador de distribuição e através do reservatório através de uma seção do tubo. O fluido então entra em um segundo alimentador, onde ele é dirigido em direção a uma segunda seção do tubo que escoar em contracorrente à primeira seção do tubo. Depois da saída da segunda seção do tubo, o fluido entra de novo na primeiro alimentador e continua o ciclo. Pelo fato de que cada segmento é independente dos outros segmen-

tos, podem ser mantidas diferentes condições de operação dentro de cada segmento do reservatório (se desejado). Por exemplo, um segmento do reservatório pode estar na sombra, ao passo que os outros segmentos podem não estar na sombra. Além disso, diferentes vazões ou níveis de nutriente
5 podem ser mantidos em diferentes segmentos para determinar condições de operação ótimas.

A força motriz para o escoamento interno do fluido é fornecida por uma série de bombas de elevação de ar incorporadas no primeiro alimentador. Neste exemplo, há 12 bombas (quatro em cada segmento) que
10 fornecem 2.500 L/minuto de fluxo a um metro de altura de carga dinâmica. As bombas estão ligadas a um soprador de ar que fornece aproximadamente 1,500 metros cúbicos/hora de fluxo de ar. O ar proveniente do soprador de ar é injetado com o CO₂ gasoso obtido de um gás de processo em uma planta adjacente ou em outra instalação para produção.

Além disso, é usado um nutriente e um sistema de fornecimento de mineral para adicionar os nutrientes ao fluido interno dos tubos por meio de um dos alimentadores. Este sistema é um sistema de embalagem que é tipicamente encontrado em plantas de tratamento de esgoto industrial. O sistema inclui tanques de misturação, tanques de armazenagem e bom-
15 bas de medição automatizadas para adicionar nutrientes tais como amônia, sulfato de amônio e ácido fosfórico ao fluido interno. O nível de nutrientes pode ser controlado independentemente para cada segmento.

O escoamento externo do lado de fora do fluido do tubo é dotado de um sistema de circulação no reservatório. Este sistema pode ser incorpo-
25 rado ao sistema de fornecimento de água para resfriamento da planta existente para fornecer um fluido com temperatura controlada para o tanque. A água para resfriamento da planta age para amortecer quaisquer flutuações de temperatura que resultem de variações nas condições atmosféricas. A água para resfriamento proveniente da planta é bombeada para dentro do
30 reservatório e escoam transversalmente através das fileiras de tubos. A água para resfriamento é então bombeada do reservatório de volta para a planta de modo que a temperatura possa ser reduzida pela torre de resfriamento.

A temperatura do reservatório pode ser mantida a qualquer temperatura entre a temperatura da água para resfriamento que sai da torre de resfriamento da planta (tipicamente em torno de 27°C (80 graus F) e a temperatura da água para resfriamento que retorna para a torre de resfriamento da planta de
5 outro equipamento da planta (tipicamente em torno de 43°C (em torno de 110 graus F).

Os passadiços são colocados acima do nível do reservatório o que permite que o pessoal acesse várias áreas do sistema. Os passadiços se situam longitudinalmente e transversalmente através dos tubos, para
10 permitir que sejam realizadas as atividades de manutenção, tal como limpeza dos tubos.

Durante a operação, as células de cianobactérias (de acordo com o Pedido de Patente Provisório U.S. N° de Série 60/853.285, intitulado "Modified Cyanobacteria", depositado em ou próximo a 20 de outubro de
15 2006 por Willem F.J. Vermaas) são cultivados no fluido interno dentro do tubo. O tubo de PVC transparente permite que a luz natural passe através da parede do tubo e expõe o fluido interno à luz natural. Além disso, a transparência da água para resfriamento no reservatório também é mantida para permitir que a luz natural passe através do tanque. A luz natural, CO₂, nitrogênio fixo e outros nutrientes existentes dentro do fluido interno dos tubos fornecem os elementos necessários para que ocorra a fotossíntese, como
20 explicado mais completamente no Pedido de Patente Provisório U.S. depositado em ou próximo a 20 de outubro de 2006 por Vermaas intitulado "Modified Cyanobacteria." Além disso, o fluido externo pode ser usado para reduzir as flutuações térmicas e manter uma faixa de temperatura ótima para o crescimento das cianobactérias. Como um resultado, as células cianobacterianas são cultivadas eficientemente dentro do tubo.

Dentro de cada segmento, há tubos para remoção de líquido que permitem que o fluido interno seja drenado dos tubos e/ou dos alimentadores. O fluido interno é inicialmente passado através de uma membrana
30 Zenon® ou Kubota® que aumenta a concentração de sólido de desde aproximadamente 200 mg/L até aproximadamente 1 por cento de sólidos. As

bombas e os tubos são fornecidos para remover o permeado filtrado do sistema, para fazer retornar o permeado filtrado para o fotobiorreator, para remover o sólido concentrado para desidratação adicional e para a recuperação do produto e a reciclagem de sólidos concentrados de volta para o fotobiorreator.

Um sistema de floculação é usado para injetar o polímero no fluxo de sólidos colhidos, que podem então ser enviados para um reservatório para armazenagem (se necessário) ou para uma centrífuga de cuba sólida, em que a concentração do sólido é aumentada até em torno de 15 - 20 por cento de sólidos.

Os sólidos podem então ser enviados para um secador (se necessário) e convertidos a uma biomassa. A biomassa desidratada pode então ser processada por meio de lise ou de fratura das células por meio de tratamentos térmicos ou com ondas sonoras; abrasão mecânica; pressurização e despressurização; abrasão e fratura por adição de meios inertes; campo elétrico pulsado ou por tratamento com álcali ou com ácido.

Após a fratura, um processamento adicional pode incluir extração direta com solvente ou com CO₂ supercrítico do óleo dos sólidos, seguido por produção de biodiesel com o óleo. Além disso, os restos de fragmentos de célula podem ser desidratados até aproximadamente 50 por cento de sólidos. O produto desejado, tais como óleos para biocombustível, pode então ser extraído. Como uma alternativa, as células podem ser secas até próximo de 100 por cento de sólidos, seguido por extração com solvente ou com CO₂ supercrítico do óleo para a produção de biodiesel. Outros processamentos ainda incluem o tratamento do produto com 20 por cento de sólido com calor, álcali e etanol para produzir diretamente um produto biodiesel. A secagem do produto pode ser realizada por meio de equipamento mecânico de secagem solar.

Pode ser necessária uma fonte de água de reposição para substituir o fluido interno do processo perdido durante a produção das cianobactérias no tubo. A água filtrada removida do sistema pode ser descarregada para uma água receptora, para uma instalação de tratamento de água des-

cartada ou para um outro uso vantajoso. Depois que os tubos são cheios inicialmente, a quantidade de fluido de reposição será mínima porque a maior parte da água é recuperada e reciclada dentro do sistema. O sistema inclui um pequeno medidor de água de rejeito para controlar impurezas inorgânicas ou orgânicas que se formaram na água do processo. A água descartada podia ser enviada para uma planta de tratamento remoto.

Pode ser necessário drenar periodicamente completamente o fluido interno do processo dos tubos para realizar a manutenção do sistema. Um segundo reservatório menor que é revestido e inferior em elevação do que o reservatório principal pode ser usado para receber o fluido interno do processo antes de este ser enviado para o tratamento.

Os parâmetros de operação do sistema podem ser controlados por Controladores Lógicos Programáveis ("Programmable Logic Controllers" (PLCs) que permitiriam que o sistema funcionasse automatizado durante períodos de tempo. Os PLCs podem ser usados para entrada de dados, assim como para transmitir as condições de operação para o pessoal do local remoto. É recomendável que o pessoal do local remoto esteja presente durante o período diurno e que o sistema funcione automatizado durante toda a noite.

Todos os sistemas e/ou os métodos descritos e reivindicados neste relatório descritivo podem ser realizados e executados sem experimentação indevida à luz da presente descrição. Embora os sistemas e os métodos desta invenção tenham sido descritos em termos das modalidades preferidas, será evidente para os versados na técnica que podem ser aplicadas variações aos sistemas e/ou métodos e nas etapas ou na sequência de etapas do método aqui descrito sem sair do conceito, do espírito e do âmbito da invenção. Mais especificamente, será evidente que outros tipos de equipamento podem ser usados em lugar dos tipos de equipamento específico aqui descrito enquanto seriam conseguidos os mesmos resultados ou similares. Todos tais substitutos similares e modificações evidentes para os versados na técnica são considerados como estando dentro do espírito, do âmbito e do conceito da invenção como definido pelas reivindicações anexas.

Referências

As referências a seguir até a extensão em que elas fornecem um exemplo de procedimento ou outros detalhes suplementares aos aqui apresentados, são especificamente incorporados neste caso como referên-

5 cia.

Publicação U.S. N°. 2002/0072109

Pat. U.S. N°. 4.242.455

Pat. U.S. N°. 4.350.765

Pat. U.S. N°. 4,413,058

10 Pedido de Patente PCT N°. WO/88/09379

Publicação U.S. N°. 2002/0042111

Pedido de Patente Provisório U.S.S. N°. 60/853.285, intitulado "Modified Cyanobacteria", depositado em ou próximo a 20 de outubro de 2006 por Willem F.J. Vermaas

15 Pedido de Patente PCT N°. _____, intitulado "Modified Cyano-
bacteria", depositado em ou próximo a 20 de outubro de 2007, por Willem
F.J. Vermaas.

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema para o desenvolvimento de células fotossintéticas que compreende:

5 pelo menos um conduto que compreende uma superfície externa, uma superfície interna, um volume interno, um comprimento e pelo menos uma que parte que permita que a luz solar passe para dentro do volume interno durante o uso, em que pelo menos uma parte de pelo menos um conduto esteja exposta à luz solar durante o dia;

10 um sistema de amortecimento térmico em relação que possa ser operada a pelo menos um conduto;

um sistema de fornecimento de CO₂ configurado para fornecer CO₂ ao volume interno durante o uso;

um sistema de fornecimento de nutriente configurado para fornecer nutrientes ao volume interno durante o uso e

15 um sistema de separação configurado para remover as células fotossintéticas de pelo menos um conduto durante o uso.

2. Sistema de acordo com a reivindicação 1, que também compreende um sistema de controle de fluido configurado para:

20 remover um permeado substancialmente livre de sólidos do conduto;

reciclar uma parte do permeado substancialmente livre de sólidos de volta para o conduto;

remover um retentado de sólidos concentrada do sistema e

25 reciclar uma parte do permeado substancialmente livre de sólidos de volta para o conduto.

3. Sistema de acordo com a reivindicação 1, em que o nutriente é um componente de nitrato ou de um outro composto de nitrogênio fixo.

4. Sistema de acordo com a reivindicação 1, em que as células fotossintéticas são também definidas como cianobactérias.

30 5. Sistema de acordo com a reivindicação 1, que também compreende um sistema de fornecimento mineral configurado para fornecer minerais ao volume interno durante o uso.

6. Sistema de acordo com a reivindicação 1, em que a parte que permite que a luz solar passe para dentro do volume interno durante o uso é transparente.

5 7. Sistema de acordo com a reivindicação 6, em que a parte transparente consiste de vidro, de cloreto de vinila transparente ou de um outro polímero.

8. Sistema de acordo com a reivindicação 1, em que pelo menos um conduto compreende um tubo com uma seção transversal circular.

10 9. Sistema de acordo com a reivindicação 8, em que o tubo tem aproximadamente 2,5 até 25 cm (quatro a dez polegadas) de diâmetro.

10. Sistema de acordo com a reivindicação 1, em que pelo menos um conduto tem pelo menos 30 metros (cem pés) de comprimento.

15 11. Sistema de acordo com a reivindicação 1, em que o sistema de amortecimento térmico é configurado para circular um fluido em contato com pelo menos um conduto durante o uso.

12. Sistema de acordo com a reivindicação 1, em que o sistema de amortecimento térmico compreende um reservatório para fluido em que pelo menos uma parte de pelo menos um conduto está submerso no reservatório para fluido.

20 13. Sistema de acordo com a reivindicação 12, em que o reservatório para fluido é revestido internamente com um revestimento sintético.

14. Sistema de acordo com a reivindicação 12, que também compreende um suporte configurado para suportar pelo menos um conduto.

25 15. Sistema de acordo com a reivindicação 12, que também compreende um passadiço acima do reservatório para fluido.

16. Sistema de acordo com a reivindicação 1, em que o sistema de fornecimento de CO₂ é configurado para injetar gás de processo em um líquido em comunicação fluida com o volume interno durante o uso.

30 17. Sistema de acordo com a reivindicação 1, em que o sistema de fornecimento de CO₂ compreende um compressor para gás.

18. Sistema de acordo com a reivindicação 1, que também compreende uma bomba configurada para circular um fluido dentro do conduto.

19. Sistema de acordo com a reivindicação 18, em que a bomba é um compressor de ar.

20. Sistema de acordo com a reivindicação 1, que também compreende um canal de distribuição em relação que pode ser operada com pelo menos um conduto.

21. Sistema de acordo com a reivindicação 20, em que o canal de distribuição é configurado para receber injeção de CO₂ durante o uso.

22. Sistema de acordo com a reivindicação 1, que também compreende um alimentador de distribuição em relação que pode ser operada com pelo menos um conduto.

23. Sistema de acordo com a reivindicação 22, em que o alimentador de distribuição está configurada para receber injeção de CO₂ durante o uso.

24. Sistema de acordo com a reivindicação 1, em que o sistema de fornecimento de CO₂ compreende um compressor de ar.

25. Sistema de acordo com a reivindicação 1, em que o sistema de fornecimento de nutriente é configurado para fornecer águas subterrâneas ao volume interno durante o uso.

26. Sistema de acordo com a reivindicação 1, em que o sistema de fornecimento de nutriente compreende um tanque para armazenagem e uma bomba de medição.

27. Sistema de acordo com a reivindicação 1, em que o sistema de fornecimento de nutriente compreende amônia ou sulfato de amônio.

28. Sistema de acordo com a reivindicação 1, em que o sistema de separação compreende um separador de membrana.

29. Sistema de acordo com a reivindicação 28, em que o separador de membrana compreende uma primeira configurada para remover um retentado de sólido concentrado do sistema, uma segunda saída configurada para remover um permeado do sistema substancialmente livre de sólido, uma terceira saída configurada para reciclar um retentado de sólido concentrado para o conduto e uma quarta saída configurada para reciclar um permeado substancialmente livre de sólido para o conduto.

30. Processo de desenvolvimento de células fotossintéticas que compreende:

cultivar as células fotossintéticas em um volume interno de um ou mais condutos;

5 fornecer CO₂ e nutrientes ao volume interno;
 expor o CO₂ e os nutrientes à luz natural;
 amortecer as variações térmicas nos condutos e
 remover as células do volume interno.

10 31. Processo de acordo com a reivindicação 30, em que as células também são definidas como cianobactérias.

32. Processo de acordo com a reivindicação 30, em que os nutrientes compreendem nitrogênio fixo.

15 33. Processo de acordo com a reivindicação 30, em que o amortecimento das variações térmicas compreende o contato de uma superfície externa dos condutos com um fluido.

34. Processo de acordo com a reivindicação 33, em que a temperatura do fluido é controlada.

35. Processo de acordo com a reivindicação 30, em que o CO₂ é fornecido por um gás de processo.

20 36. Processo de acordo com a reivindicação 30, em que os nutrientes compreendem nitrogênio fixo fornecido por água subterrânea.

37. Processo de acordo com a reivindicação 30, em que os nutrientes compreendem nitrogênio fixo fornecido por amônia.

25 38. Processo de acordo com a reivindicação 30, em que os nutrientes compreendem nitrogênio fixo fornecido por nitrato de amônio.

39. Processo de acordo com a reivindicação 30, em que as células fotossintéticas são removidas por uma membrana.

40. Processo de acordo com a reivindicação 30, em que os condutos estão submersos em um reservatório para fluido.

30 41. Processo de acordo com a reivindicação 30, em que o CO₂ no volume interno é mantido em uma quantidade adequada para o crescimento de cianobactérias.

42. Processo de acordo com a reivindicação 30, em que o CO₂ no volume interno é mantido em torno de 0,03% até 5%.

43. Processo de acordo com a reivindicação 30, em que os nutrientes no volume interno são mantidos em uma quantidade adequada para o crescimento de cianobactérias.

44. Processo de acordo com a reivindicação 30, em que os nutrientes no volume interno compreendem nitrogênio fixo mantido em torno de 0,5 – 10 mM.

45. Processo de acordo com a reivindicação 30, em que a temperatura no volume interno é mantida a um nível adequado para o crescimento de cianobactérias.

46. Processo de acordo com a reivindicação 30, em que a temperatura no volume interno é mantida em torno de 10 - 60 graus Celsius.

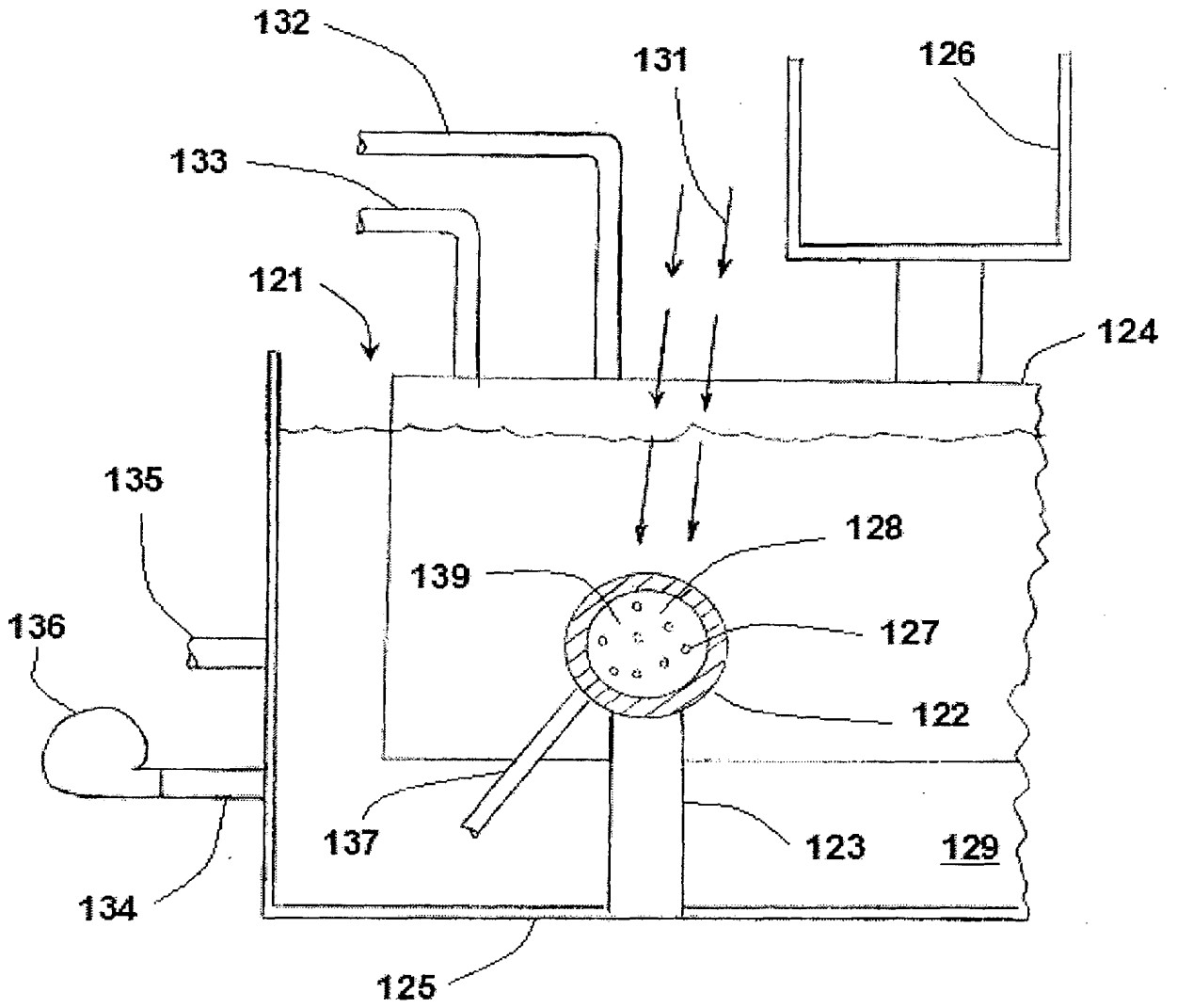


FIG. 2

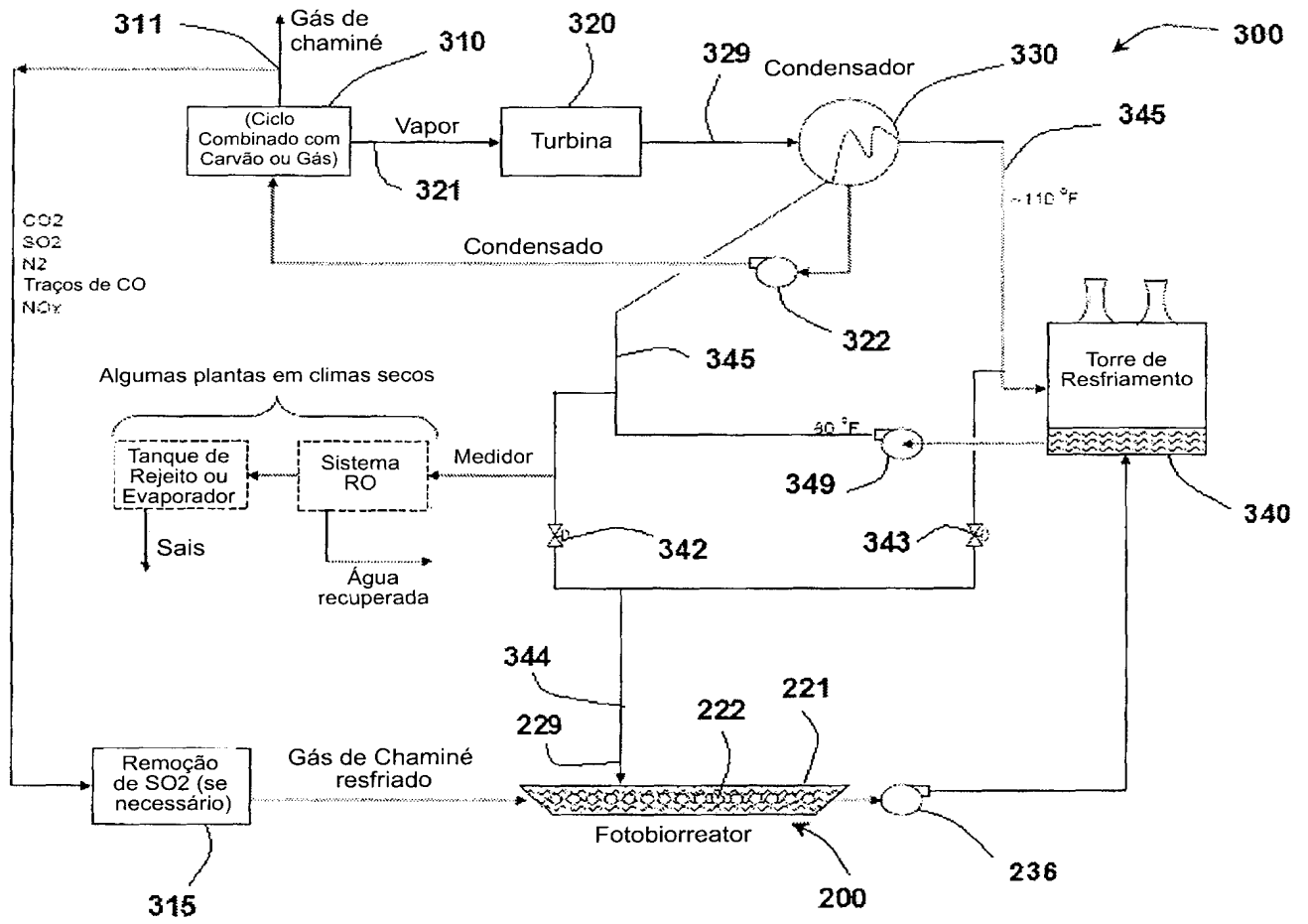


FIG. 3

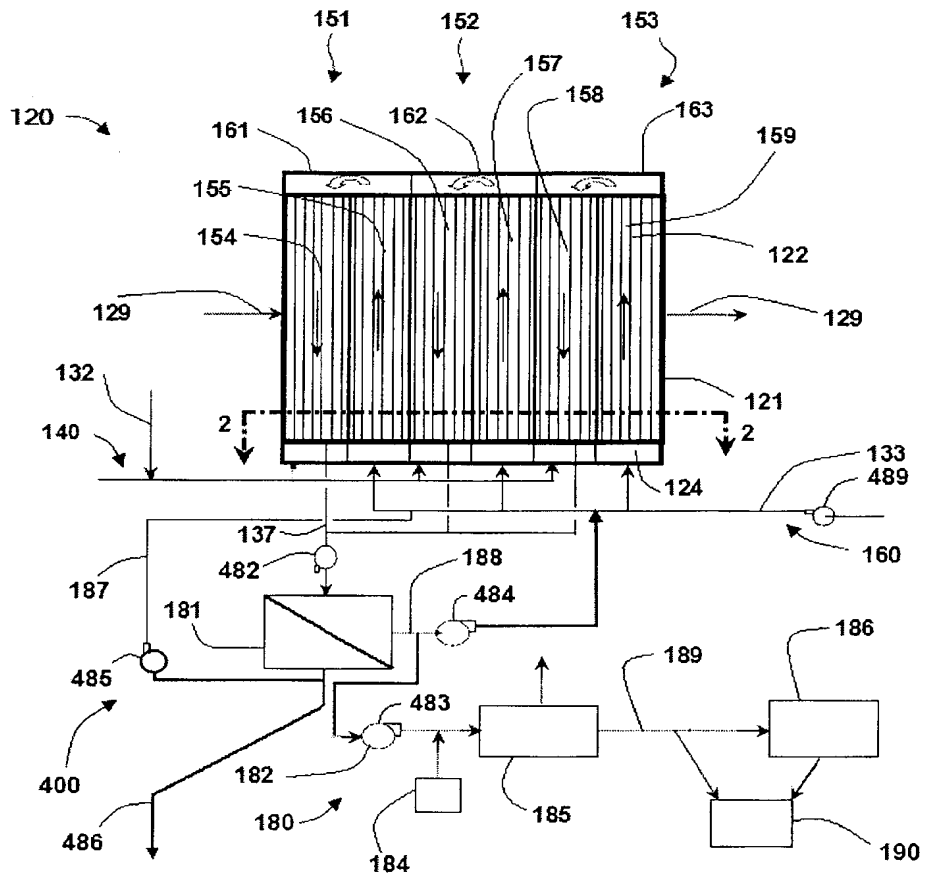


FIG. 4

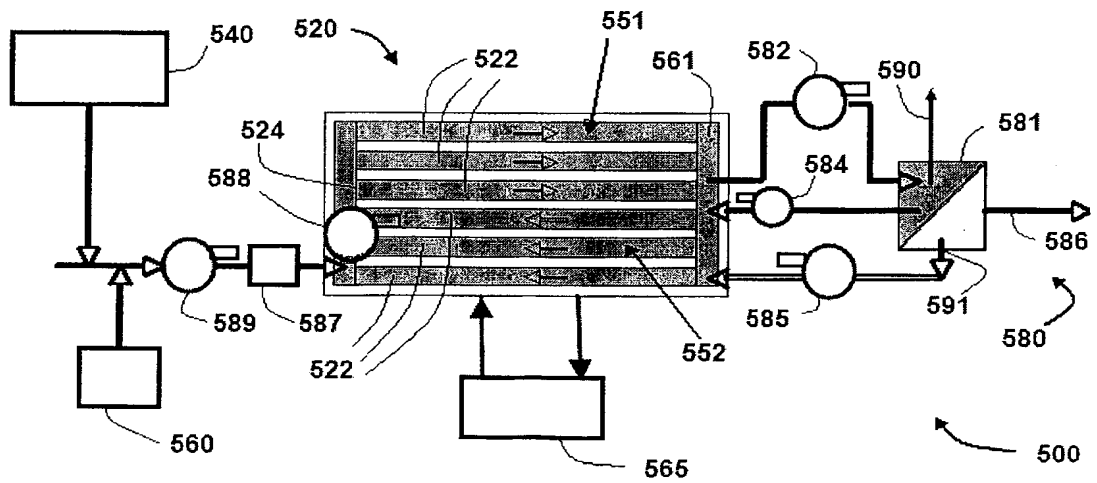


FIG. 5

RESUMO

Patente de Invenção: **"SISTEMA E PROCESSO PARA O CRESCIMENTO DE CÉLULAS FOTOSSINTÉTICAS"**.

5 A presente invenção refere-se a um sistema e um processo, que são descritos para o desenvolvimento de células fotossintéticas em conduto. O sistema e o processo fornecem luz, CO₂ e nutrientes às células. O sistema e o processo também moderam as variações térmicas no conduto.