



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

CARTA PATENTE Nº BR 102014017697-7

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

**(21) Número do Depósito:** BR 102014017697-7

**(22) Data do Depósito:** 18/07/2014

**(43) Data da Publicação Nacional:** 19/01/2016

**(51) Classificação Internacional:** B01D 53/34; B01D 53/02; B01D 53/62; C12M 1/00; C12M 1/04.

**(52) Classificação CPC:** B01D 53/34; B01D 53/02; B01D 53/62; C12M 1/00; C12M 1/04; C12M 21/02; C12M 1/002.

**(54) Título:** ADSORÇÃO DE CO<sub>2</sub> EM PELLETS DE CINZAS PARA CULTIVO MICROALGAL

**(73) Titular:** UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE-FURG. CGC/CPF: 94877586000110.  
Endereço: AV ITÁLIA, KM 8 S/N - CAMPUS CARREIROS, RS, BRASIL(BR), 96203-900

**(72) Inventor:** BRUNA DA SILVA VAZ; MICHELE GREQUE DE MORAIS; JORGE ALBERTO VIEIRA COSTA.

**Prazo de Validade:** 20 (vinte) anos contados a partir de 18/07/2014, observadas as condições legais

**Expedida em:** 13/04/2021

Assinado digitalmente por:

**Liane Elizabeth Caldeira Lage**

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



# ADSORÇÃO DE CO<sub>2</sub> EM PELLETS DE CINZAS PARA CULTIVO MICROALGAL

## RELATÓRIO DESCRITIVO

1 A presente patente refere-se ao desenvolvimento de *pellets* de cinzas de carvão mineral com adsorção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de origem termelétrica para remoção e/ou fixação desse gás através do cultivo de microalga(s) e/ou cianobactéria(s). O sequestro de CO<sub>2</sub> é uma possível opção para reduzir sua emissão sem a necessidade de reservatórios subterrâneos ou mudanças na matriz energética atual. O CO<sub>2</sub> pode ser sequestrado pela reação com materiais álcalis. As cinzas de carvão mineral são um resíduo alcalino de baixo custo para a carbonatação mineral, devido ao seu alto conteúdo de óxido de cálcio (CaO). Dessa forma, a possibilidade de recuperação e/ou reutilização desses resíduos industriais é a utilização das cinzas como um adsorvente de baixo custo.

2 As características físico-químicas das cinzas, tais como, densidade, tamanho de partícula, porosidade, capacidade de retenção de água e a área de superfície são parâmetros importantes para utilização das cinzas como adsorvente. A aglomeração pelo método de peletização pode reduzir os problemas associado com cinzas. Este processo é importante não só para remover estas partículas do ar ou da água reduzindo a poluição, mas também para reutilizá-las e/ou recuperá-las de modo que não seja necessário descarte.

3 Na geração de eletricidade, as usinas termelétricas a carvão são fontes de poluição do meio ambiente, sendo responsável pela geração significativa de gases poluentes e resíduos sólidos (cinzas). O CO<sub>2</sub> é o principal gás de efeito estufa e suas concentrações têm aumentado rapidamente desde o início da industrialização. A concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico aumentou de 280 ppm (1800) para 400 ppm (2013), sendo as usinas termelétricas responsáveis por cerca de 22% dessas emissões. Em 1997, 7,4 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> foram liberados para a atmosfera a partir de fontes antropogênicas, e até o ano

de 2100, este número tende a aumentar para 26 bilhões de toneladas. Esse acréscimo ocorreu, principalmente, devido à queima do carvão mineral associado com aumento da população e da industrialização.

4 O processo de combustão do carvão produz ainda muitos resíduos sólidos, sendo sua utilização e/ou destinação limitada. A grande quantidade de resíduos causa dificuldades nos processos de transferência de calor, separação de fases, bem como no transporte e deposição de cinzas, causando grandes problemas industriais e ambientais. Com o crescente desenvolvimento tecnológico e industrial, há constante preocupação motivada pela liberação de resíduos industriais metálicos, os quais podem causar danos em todo o ecossistema. A rápida expansão de diferentes setores industriais tem se traduzido num incremento da quantidade e complexidade de resíduos tóxicos produzidos.

5 A cinza de carvão é um dos resíduos sólidos de maior geração no Brasil em termos de volume. No Brasil, sete usinas termelétricas dos Estados do sul do país produzem aproximadamente 3 milhões de toneladas de cinzas a cada ano. Somente pequena porcentagem de cinzas é reaproveitada na indústria da construção civil (menos de 30%). O restante é disposto de maneira inadequada em aterros. Com isso ocorrem sérios danos à saúde humana e ao meio ambiente devido à lixiviação de íons metálicos tóxicos presentes em sua composição química. O armazenamento em larga escala de cinzas ocupa muito espaço de terra agrícola, aproximadamente 113 milhões de m<sup>2</sup>, e pode resultar em degradação ambiental no futuro. Visto que os cátions metálicos, mesmo em baixas concentrações, podem tornar-se tóxicos para os seres vivos, faz-se imprescindível a pesquisa de métodos para diminuir os níveis de contaminação causados pela presença desses metais.

6 Os micro-organismos são capazes de afetar a especiação dos metais, devido a sua capacidade ativa ou mediadora nos processos de mobilização ou imobilização, que influenciam o equilíbrio das espécies metálicas entre as fases líquida e sólida. Muitos micro-organismos, incluindo algas, possuem capacidade de remover metais pesados do meio ambiente. Células, produtos excretados, parede celular e polissacarídeos tem potencial para remover

metais de soluções que os contem. Dessa forma, a grande quantidade de minerais nas cinzas pode substituir, em parte, os nutrientes necessários para cultivo de microalgas.

7 Os processos biológicos também tornam-se alternativa interessante no combate à poluição e geração de novos produtos. Nesses processos o metabolismo microbiano degrada e remove poluentes, bem como transforma matérias-primas gerando produtos menos nocivos ao meio ambiente. Existem diversos micro-organismos atuantes, como bactérias, fungos, algas e microalgas. Neste cenário, destacam-se às microalgas, com inúmeras investigações biotecnológicas devido a sua importância econômica, nutricional e ecológica e à capacidade de duplicação da biomassa microalgal em 24 h.

8 Muitas tentativas têm sido aplicadas para reduzir o CO<sub>2</sub> atmosférico. Tratamentos físicos e químicos podem ser utilizados, através do emprego de fontes de energia renováveis ou de sequestro de carbono. Um dos métodos mais indicados para redução de CO<sub>2</sub> é a utilização de microalgas. As microalgas são responsáveis por mais de 50% da fotossíntese do planeta, necessitando de CO<sub>2</sub> para crescer e apresentando potencial em assimilar este gás. A capacidade fotoautotrófica desses micro-organismos converte o CO<sub>2</sub> em biomassa.

9 Além de minimizar os problemas ambientais, o uso de fontes alternativas como o CO<sub>2</sub> e as cinzas reduz os custos com esses nutrientes. As microalgas crescem rapidamente e podem ser prontamente incorporadas em sistemas de engenharia, como fotobiorreatores. Além da capacidade de fixar CO<sub>2</sub>, as microalgas possuem matéria orgânica rica em minerais, vitaminas, lipídios, pigmentos e proteínas, apresentando grande aplicabilidade industrial e/ou comercial. As microalgas tem sido alvo de muitas investigações biotecnológicas visando além da utilização como alimento e fonte de biocompostos químicos, a captura e utilização de CO<sub>2</sub> atmosférico contribuindo na redução do aquecimento global.

10 Alguns exemplos de microalga(s) e/ou cianobactéria(s) que pode(m) ser cultivada(s) com CO<sub>2</sub> adsorvido em *pellets* de cinzas são: *Spirulina* sp LEB 18, *Spirulina platensis* paracas, *Spirulina platensis* LEB 52, *Chlorella* sp., *Chlorella*

*fusca* LEB 111, *Chlorella kessleri* LEB 113, *Chlorella homosphaera*, *Chlorella minutíssima* LEB 114, *Chlorella minutíssima*, *Chlorella vulgaris* LEB 112, *Chlorella vulgaris* LEB104, *Chlorella vulgaris* LEB 106, *Nostoc elipsosporum*, *Nostoc muscorum*, *Nanochloropsis oculata*, *Scenedesmus actus* LEB 116, *Scenedesmus obliquuos* LEB 117, *Synechocystis salina* LEB 118, *Cyanobium*, *Selenastrum capricornutum* LEB 119, *Synechococcus nidulans* LEB 115, *Synechococcus nidulans* LEB 52, *Jaaguinema geminatum* LEB 120, *Pediastrum boryanum*, *Tetraselmis suecica*, *Dunaliella salina*, *Schyzochitrium*, bem como outros gêneros e espécies de microalgas e/ou cianobactérias.

11 O processo de produção de *pellets*, denominado peletização, consiste na aglomeração de pós finos de substância ativa e excipientes em pequenas unidades esféricas, assim denominadas *pellets*. Os desenhos anexos apresentam o equipamento de ensaio em leito fixo para adsorção de CO<sub>2</sub> e os fotobiorreatores com *pellets* de cinzas enriquecidos com CO<sub>2</sub> para biofixação por microalga(s) e/ou cianobactéria(s), objeto da presente patente. A Figura 1 apresenta o diagrama esquemático do equipamento de ensaio em leito fixo. A Figura 2 apresenta o diagrama esquemático dos fotobiorreatores tubulares verticais (FTV) (Figura 2.1) e horizontais (FTH) (Figura 2.2), fotobiorreatores do tipo *erlenmeyers* (Figura 2.3) e do tipo *raceway* (Figura 2.4) com *pellets* de cinzas livres e imobilizados. De conformidade com o quanto ilustram as figuras acima relacionadas, o modelo de *pellets* de cinzas com adsorção de CO<sub>2</sub> de origem termelétrica para remoção e/ou fixação desse gás através do cultivo de microalga(s) e/ou cianobactéria(s), objeto da presente patente, consiste em *pellets* de cinzas de carvão mineral desenvolvidos pelo processo de peletização ou por extrusão. Nesses processos a cinza em pó e umidificada, com uma proporção de cinzas/água R = 3,16 g/mL, é comprimida a altas pressões (acima de 1000 bar), sendo modelada sob a forma de cilindros. A extrusão ou peletização tem início com a alimentação da massa umidificada no interior do equipamento, onde a massa é forçada em alta pressão a passar por matriz ou placa de orifícios de raio e comprimento definidos. A adsorção de CO<sub>2</sub> é realizada com equipamento de ensaio em leito fixo, com a zona de adsorção do gás contida em tubo de aço inoxidável (1). Os *pellets* de cinzas (2)

ficam dispostos no centro do reator suportado por lâ de vidro (3). O gás CO<sub>2</sub> (4) é alimentado (5) de forma a passar através dos *pellets*. A vazão do gás é controlada utilizando controlador de fluxo (rotâmetro) (6). Os *pellets* são dispostos nos fotobiorreatores tubulares verticais (7), tubulares horizontais (8), *erlenmeyer* (9) e *raceway* (10) no meio de cultivo (11) e entre as microalgas (12), livres (13) ou imobilizados (14). A imobilização é realizada com suporte inerte poroso e permeável (15), como alginato, k-carragena, pectina, materiais cerâmicos, vidro ou sílica, nanofibras de polímeros naturais ou sintéticos.

12 Assim a utilização de cinzas em *pellets* como agente de adsorção, proporciona muitas vantagens para todo o processo. Estes incluem a liberação fácil do gás contido nos *pellets* após a saturação, estabilização de *pellets* saturados e, no caso de utilização de coluna de adsorção, o mínimo risco para o entupimento em comparação com a cinza na forma de pó fino. Salientam-se as suas ótimas propriedades de escoamento, devido, principalmente, à forma esférica, estreita distribuição de tamanho de partículas, superfície suscetível ao revestimento por película com interesse à liberação controlada ou sustentada, incorporação de grande quantidade de substância e/ou composto ativo e grande dispersão no meio.

13 Desta forma o cultivo de microalgas com *pellets* de cinzas enriquecidos com CO<sub>2</sub> de origem termelétrica aumenta a disponibilidade do gás no meio, proporcionando maior capacidade de biofixação/utilização por microalga(s) e/ou cianobactéria(s). Além disso, contribui para reduzir os custos com nutrientes do meio de cultivo e as alterações que ocorrem na natureza devido ao descarte desses resíduos sólidos e emissão dos efluentes gasosos.

## **ADSORÇÃO DE CO<sub>2</sub> EM PELLETS DE CINZAS PARA CULTIVO MICROALGAL**

### **REIVINDICAÇÕES**

1 – PROCESSO DE ADSORÇÃO DE CO<sub>2</sub> EM PELLETS DE CINZAS PARA CULTIVO MICROALGAL, caracterizado pela etapa de desenvolver *pellets* a partir de cinzas de carvão mineral de origem termelétrica pelo processo de peletização ou extrusão, e etapa de adsorção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de origem termelétrica nos *pellets* de cinzas por meio de equipamento de ensaio em leito fixo com a zona do gás contida em tubo de aço inoxidável (1), com os *pellets* (2) dispostos no centro do reator suportados por lã de vidro (3) e o gás disposto em cilindro industrial (4) e sendo alimentado pela parte superior do tubo (5) com controle da vazão do gás utilizando controlador de fluxo (rotâmetro) (6); para remoção e/ou fixação do gás CO<sub>2</sub> através do cultivo de microalga(s) e/ou cianobactéria(s);

2 – Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela utilização de CO<sub>2</sub> de gases de combustão originados durante a queima de carvão mineral e vegetal, petróleo, derivados do petróleo, etanol, madeira inteira ou em pedaços e papel, celulose e resíduos da industrialização de papel e celulose;

3 – Processo de acordo com as reivindicações 1 e 2, caracterizado pela disposição dos *pellets* de cinzas em fotobiorreatores e/ou biorreatores e/ou reatores tubulares verticais ou horizontais ou raceway ou erlenmeyer (7) para cultivo de microalga(s) e/ou cianobactéria(s);

4 – Processo de acordo com as reivindicações 1, 2 e 3, caracterizado pela disposição dos *pellets* de cinzas, em fotobiorreatores tubulares verticais ou horizontais ou raceway ou erlenmeyer, livres (13) ou imobilizados (14) para cultivo de microalga(s) e/ou cianobactéria(s);

5 – Processo de acordo com as reivindicações 1, 2, 3 e 4, caracterizado pela disposição dos *pellets* livres no meio de cultivo líquido (11) para cultivo de microalga(s) e/ou cianobactéria(s);

6 – Processo de acordo com as reivindicações 1, 2, 3, 4 e 5, caracterizado pela imobilização dos *pellets* de cinzas com suporte inerte (15) como alginato, k-carragena, pectina, materiais cerâmicos, vidro ou sílica, nanofibras de poli (ácido glicólico) (PGA), poli (ácido láctico) (PLA), poli (caprolactona) (PCL), óxido de polietileno (PEO) e polímeros de origem microbiana, também denominados biopolímeros, os polihidroxialcanoatos (PHAs) e/ou poli-3-hidroxi-butarato (PHB) de origem microalgal;

7 – Processo de acordo com as reivindicações 1, 2, 3, 4, 5 e 6, caracterizado pelo uso de microalgas e/ou cianobactérias *Spirulina* (sp, sp LEB 18, *platensis*, *platensis* LEB 52, *platensis paracas*, *maxima*, *major*, *subsalsa*, *geitleri*, *subtilissima*, *labyrinthiformis*), *Skeletonema* sp, *Chaetoceros* sp, *Chlorella* (sp, *fusca* LEB 111, *kessleri* LEB 113, *vulgaris*, *vulgaris* LEB 112, *vulgaris* LEB 104, *vulgaris* LEB 106, *kessleri*, *pyrenoidosa*, *mannophila*, *protothecoides*, *salina*, *homosphaera*, *stigmatophora*, *luteoviridis*, *regularis*, *ellipsoidea*, *variegata*, *sorokiniana*, *emersonii*, *minutissima*, *minutissima* LEB 114), *Nostoc elipsosporum*, *Nostoc muscorum*, *Nanochloropsis oculata*, *Scenedesmus* (sp, *actus* LEB 116, *obliquuos* LEB 117, *bijugatus*, *incrassatulus*, *ocultus*, *quadricauda*, *dimorphus*), *Synechocystis salina* LEB 118, *Cyanobium*, *Selenastrum capricornutum* LEB 119, *Synechococcus nidulans* LEB 115, *Synechococcus nidulans* LEB 52, *Jaaguinema geminatum* LEB 120, *Pediastrum boryanum*, *Tetraselmis suecica*, *Dunaliella salina*, *Schyzochitrium*, *Anacystis* sp (*nidulans*, *cyanea*, *thermalis*), *Porphyridium cruentum*, *Cryptothecodinium cognii*, *Euglena* sp (*gracilis*), *Cryptothecodinium cohnii*, *Haematococcus pluvialis*, *Anabaena* sp (*variabilis*, *cylindrica*, *hassali*, *planctonica*), *Dunaliella* sp (*salina*, *bardawil*, *tertioleta*), *Chlamydomonas* sp (*reinhardtii*), *Trichodesmium*, *Microcoleus*, *Ankistrodesmus* sp (*densus*, *braunii*, *falcatus*, *fusiformis*, *gracilis*), *Isochrysis galbana* (Parke), *Tetraselmis* sp (*tetrathele*, *suecia*), *Oscillatoria* sp (*limnetica*, *curviceps*, *splendida*), *Emiliania*, *Monoraphidium*, *Rhodobacter*, *Synechococcus*, *Cyanobium*, *Botryococcus braunii*, bem como outros gêneros e espécies de microalgas e/ou cianobactérias;



8 – Processo de acordo com as reivindicações 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, caracterizado pelo uso de microalgas e/ou cianobactérias para a remoção ou fixação de CO<sub>2</sub> e/ou outros gases formadores do efeito estufa.

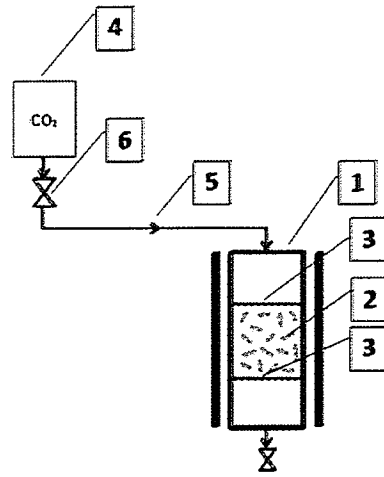


Figura 1

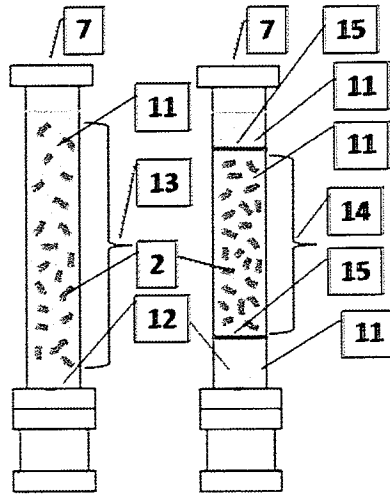


Figura 2.1 Vista frontal do FTV

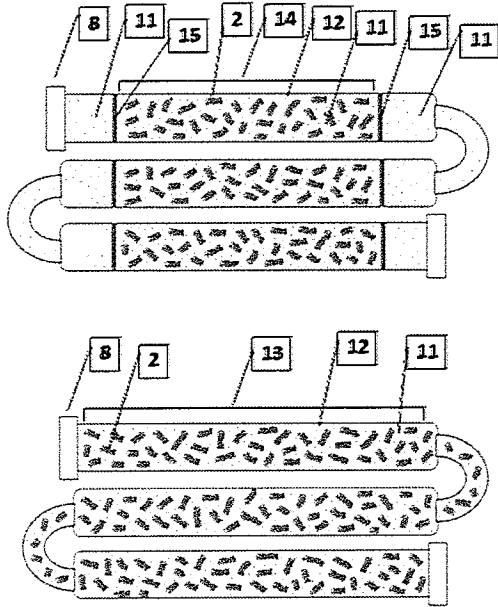


Figura 2.2 Vista frontal FTH

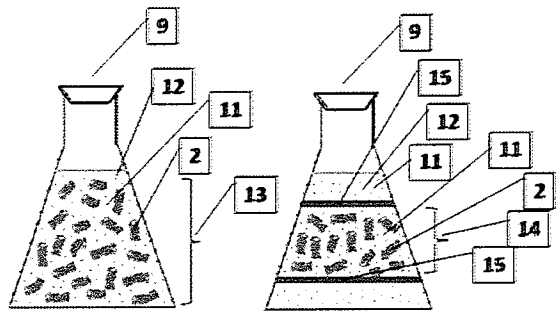


Figura 2.3 Vista frontal erlenmeyer

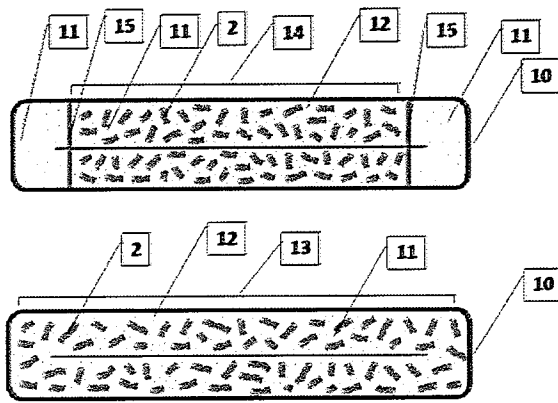


Figura 2.4 Vista superior raceway