



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0917278-5 B1



* B R F I O 9 1 7 2 7 8 B 1 *

(22) Data do Depósito: 21/08/2009

(45) Data de Concessão: 15/09/2020

(54) Título: INSTALAÇÃO DE CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO

(51) Int.Cl.: B01D 53/62; B01D 53/02.

(30) Prioridade Unionista: 21/08/2008 US 61/090,867.

(73) Titular(es): CARBON ENGINEERING LTD..

(72) Inventor(es): DAVID KEITH; MARYAM MAHMOUDKHANI; ALESSANDRO BIGLIOLI; BRANDON HART; KENTON HEIDEL; MIKE FONIOK.

(86) Pedido PCT: PCT US2009054626 de 21/08/2009

(87) Publicação PCT: WO 2010/022339 de 25/02/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 18/02/2011

(57) Resumo: INSTALAÇÃO DE CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO. A presente invenção refere-se a uma instalação de captura de dióxido de carbono que compreende uma embalagem formada como uma placa, e ao menos uma fonte de líquido. A placa tem faces dominantes opostas, sendo que as faces dominantes opostas permitem, pelo menos em parte, a penetração de vento de modo a permitir que o vento flua através da embalagem. A pelo menos uma fonte de líquido é orientada para direcionar o líquido absorvente de dióxido de carbono na embalagem para fluir através da placa. A placa é disposta em um fluxo de vento que tem um ângulo incidente diferente de zero com uma das faces dominantes opostas. Descreve-se, também, um método de captura de dióxido de carbono. O líquido absorvente de dióxido de carbono é aplicado em uma embalagem em uma série de pulsos. Um gás contendo dióxido de carbono é fluído através da embalagem para absorver, pelo menos em parte, o dióxido de carbono a partir do gás no líquido absorvente de dióxido de carbono.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para
"INSTALAÇÃO DE CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO".

[001] O presente pedido reivindica a prioridade ao Pedido Provisório Norte Americano com número de série U.S. 61/090.867, depositado em 21 de agosto de 2008, estando sua descrição aqui incorporada em sua totalidade a título de referência.

CAMPO TÉCNICO

[002] A presente invenção refere-se a sistemas e métodos de contato entre gases e líquidos, que incluem sistemas e métodos de captura de dióxido de carbono para recuperação de CO₂ a partir do ar atmosférico.

ANTECEDENTES

[003] Objetivando evitar alterações climáticas perigosas, o crescimento das concentrações atmosféricas de dióxido de carbono deve ser interrompido, e pode precisar ser reduzido. A concentração de dióxido de carbono, o gás estufa mais importante, aumentou de cerca de 280 ppm na fase pré-industrial para mais de 385 ppm, e agora vem crescendo mais de 2 ppm por ano alavancado pelas emissões globais de CO₂ que estão crescendo mais de 3,3% por ano (Canadell *et al.*, 2007).

[004] As tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CCS) almejam a remoção de CO₂ das grandes fontes de ponto fixo, tais como estações de força. No entanto, as fontes dispersas emitem mais da metade das emissões globais de CO₂. A captura direta de CO₂ a partir do ar ambiente, "captura aérea", é um dos poucos métodos capazes de gerenciar sistematicamente as emissões dispersas. Portanto, embora a captura aérea seja mais dispendiosa do que a captura a partir das grandes fontes de ponto fixo, continua sendo importante competir primariamente com as reduções de emissão a partir das fontes dispersas, tal como o transporte que pode

ser bastante dispendioso de mitigar.

CAPTURA AÉREA

[005] A absorção de dióxido de carbono a partir do ar atmosférico utilizando-se uma solução alcalina vem sendo explorada ao longo dos últimos cinquenta anos (Spector and Dodge 1946, Tepe and Dodge 1943). A depuração em grande escala de CO₂ a partir do ar ambiente foi sugerida primeiramente no fim da década de 90 (Lackner *et al.*, 1999). Em técnicas de depuração a úmido, o CO₂ é absorvido em uma solução de hidróxido de sódio, NaOH, e deixa para trás uma solução aquosa de hidróxido de sódio e carbonato de sódio, Na₂CO₃. Para este processo, o contactor, como o componente do sistema que proporciona os contatos entre o CO₂ e o hidróxido de sódio, tem sido até o momento um ponto de contenção. A grande torre convectiva (Lackner *et al.*, 1999), e as torres de depuração embaladas (Baciocchi *et al.*, 2006 e Zeman, 2007) são os projetos de contactor mais comumente sugeridos. Uma torre embalada equipada com Sulzer Mellapak foi proposta por Baciocchi *et al.* (2006) para absorver CO₂ a partir do ar com uma concentração de entrada de 500 ppm até uma concentração de saída de 250 ppm utilizando-se uma solução de NaOH a 2M.

[006] Uma estratégia alternativa, sugerida por Stolaroff *et al.* (2007), consiste em gerar uma aspensão fina da solução absorvente para proporcionar uma grande superfície ao fluxo de ar através de uma torre aberta. Esta estratégia pode ter o potencial de operar com uma pequena queda de pressão no ar e evita custos capitais com material de embalagem. Stolaroff *et al.* (2007) estudou a viabilidade de um contactor à base de aspensão de NaOH estimando-se os custos e os requerimentos energéticos por unidade de CO₂ capturada. A perda de água, como uma questão principal neste projeto, foi atribuída e descobriu-se que a perda de água pode ser gerenciada ajustando-se à

concentração de NaOH com a temperatura e umidade do ar, ou seja, quanto maior a concentração de hidróxido de sódio, menor será a perda de água, por exemplo, utilizando-se ~7,2M de NaOH, a 15°C e 65% de umidade relativa, elimina-se a perda de água.

[007] As torres de depuração convencionais podem ser carregadas com a embalagem estruturada, e emprega-se um fluxo de gás que é contracorrente à drenagem de líquido através da embalagem estruturada.

SUMÁRIO

[008] Descreve-se uma instalação de captura de dióxido de carbono que compreende uma embalagem formada como uma placa, e pelo menos uma fonte de líquido. A placa tem faces dominantes opostas, sendo que as faces dominantes opostas são pelo menos parcialmente penetráveis ao vento de modo a permitir que vento flua através da embalagem. Pelo menos uma fonte de líquido é orientada para direcionar o líquido absorvente de dióxido de carbono na embalagem de modo a fluir através da placa. A placa é disposta em um fluxo de vento que tem um ângulo incidente diferente de zero com uma das faces dominantes opostas.

[009] Descreve-se, também, um método de captura de dióxido de carbono. Aplica-se o líquido absorvente de dióxido de carbono na embalagem em uma série de pulsos. Um gás contendo dióxido de carbono é fluído através da embalagem para absorver pelo menos parcialmente o dióxido de carbono a partir do gás no líquido absorvente de dióxido de carbono. O gás pode fluir continuamente, mesmo quando o líquido fluir intermitentemente. Em algumas modalidades, o líquido e o gás fluem em uma geometria de fluxo transversal um em relação ao outro. Por propósitos desta descrição, o termo "fluxo transversal" significa que a direção do fluxo de gás em relação à direção do fluxo de líquido é ortogonal ou perpendicular.

[0010] Descreve-se, também, um método de captura de dióxido de carbono. O líquido absorvente de dióxido de carbono é fluído através da embalagem em uma direção de vazão média de líquido. Um gás contendo dióxido de carbono é fluído através da embalagem oblíqua ou perpendicularmente à direção de vazão média de líquido de modo a absorver pelo menos parcialmente o dióxido de carbono a partir do gás no líquido absorvente de dióxido de carbono.

[0011] Descreve-se, também, um método de colocar um líquido em contato com um gás. O líquido é aplicado na embalagem em uma série de pulsos, e o gás é fluído através da embalagem.

[0012] Descreve-se, também, um método de colocar um líquido em contato com um gás. O líquido é fluído através da embalagem em uma direção de vazão média de líquido. O gás é fluído através da embalagem oblíqua ou perpendicularmente à direção de vazão média de líquido.

[0013] Descreve-se, também, um contactor de gás e líquido, que compreende a embalagem, e pelo menos uma fonte de líquido. A embalagem é formada como uma placa, sendo que a placa tem faces dominantes opostas, sendo que as faces dominantes opostas são pelo menos parcialmente penetráveis ao vento de modo a permitir que o vento flua através da embalagem. Pelo menos uma fonte de líquido é orientada de modo a direcionar o líquido na embalagem para fluir através da placa. A placa é disposta em um fluxo de vento que tem um ângulo incidente diferente de zero com uma das faces dominantes opostas.

[0014] Descreve-se, também, um contactor de gás e líquido que compreende uma estrutura de placa e uma fonte de líquido. A estrutura de placa compreende uma embalagem. A fonte de líquido é orientada para direcionar o líquido na embalagem para fluir em uma direção de vazão média de líquido. A estrutura de placa é disposta em

um fluxo de vento que flui oblíqua ou perpendicularmente à direção de vazão média de líquido.

[0015] Descreve-se, também, um método de colocar um líquido em contato com um gás em movimento. O líquido é fluído através da embalagem, e o gás em movimento é conduzido através da embalagem em uma direção que seja pelo menos parcialmente orientada com uma direção de fluxo ambiente do gás em movimento.

[0016] Os detalhes de uma ou mais modalidades não limitantes da invenção, que podem ser abrangidos pelas reivindicações, são apresentados nos desenhos e na descrição mais adiante. Outras modalidades da invenção devem ser aparentes aos versados na técnica após a consideração da presente descrição. Por exemplo, embora esta descrição se refira em particular à remoção de carbono do ar ambiente, os métodos e produtos descritos no presente documento podem ser prontamente adaptados para remover outros componentes, tais como, por exemplo, SO_x, NO_x e compostos fluorados, a partir do ar ambiente. Uma pessoa versada na leitura deste relatório descritivo compreende qual modificação, se presente, deve ser realizada com a finalidade de capturar outros componentes, por exemplo, na escolha da fonte de líquido.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0017] Descrevem-se, agora, as modalidades com referência às figuras, sendo que as referências numéricas semelhantes denotam elementos semelhantes, a título de exemplo, e onde:

[0018] A figura 1 é uma vista em perspectiva de um contactor de placa.

[0019] A figura 2 é uma vista em elevação lateral, em seção, de um contador de placa horizontal.

[0020] A figura 3 é uma vista em perspectiva do contactor da figura 2.

[0021] A figura 4 é uma vista de cima para baixo de uma série de instalações de captura de dióxido de carbono com uma instalação de processamento central.

[0022] A figura 5 é uma vista em perspectiva, que inclui uma série de vistas explodidas, de um contactor de placa horizontal, parcialmente em seção.

[0023] As figuras 6 e 7 são gráficos que ilustram a remoção de CO₂ a partir do ar passada através de embalagem estruturada de acordo com as modalidades descritas no presente documento e bombeada com líquido absorvente em diferentes concentrações de NaOH (figura 6) e KOH (figura 7). Indica-se um fluxo contínuo pelos pontos no eixo geométrico y, enquanto a eficiência de captura após um único pulso de fluxo é ilustrada pelas linhas graficamente representadas.

[0024] A figura 8 é um gráfico que ilustra a eficácia do bombeamento pulsado do líquido absorvente através de embalagem, ilustrando-se a remoção de CO₂ por pulso em diferentes concentrações de NaOH.

[0025] A figura 9 é uma vista em elevação lateral de um contactor de placa vertical com várias placas.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[0026] O documento US 61/074.458 e os documentos relacionados US 12/488.230 e PCT PCT/US2009/047999 encontram-se aqui incorporados em suas totalidades a título de referência.

[0027] A descrição proporciona métodos para remoção de carbono e/ou de outros componentes do ar a partir do ar ambiente, e dispositivos para remoção de CO₂ ambiente e/ou de outros componentes do ar a partir do ar ambiente.

[0028] Em algumas modalidades, o método envolve direcionar o ar ambiente utilizando-se pelo menos a energia do vento, um ou mais

ventiladores, ou ambos, através de um contactor que compreende um material de embalagem; que flui intermitentemente um fluido absorvente de dióxido de carbono pela embalagem de modo a alcançar uma taxa de vazão média; e, captura CO₂ a partir do ar ambiente no líquido de tal modo que a taxa de captura de dióxido de carbono seja aumentada em relação a um método similar no qual o líquido é constantemente fluido em uma taxa de vazão média, ou de tal modo que a eficácia de limpar a superfície do material de embalagem seja aperfeiçoada em relação a um método similar no qual o líquido é constantemente fluido em uma taxa de vazão média, ou ambos. "Fluir intermitentemente" significa fluir um fluido em uma primeira taxa que seja maior que pelo menos uma segunda taxa (ou seja, variando-se o fluxo do fluido através do contactor) resultando em uma taxa de vazão média, sendo que a pelo menos uma segunda taxa pode ser igual a zero. Em algumas modalidades, pelo menos uma segunda taxa é igual a zero, e o fluxo intermitente produz uma série de pulsos.

[0029] Em algumas modalidades, o método envolve fluir intermitentemente um fluido com alta molaridade através de um contactor, e fluir ar ambiente através do contactor, capturando, assim, CO₂ a partir do ar ambiente. Em algumas modalidades, o método envolve fluir intermitentemente um fluido com alta molaridade através de um contactor em uma geometria de fluxo transversal em relação à direção do fluxo de ar ambiente, capturando, assim, CO₂ a partir do ar. Em algumas modalidades, o método envolve fluir intermitentemente um fluido com alta molaridade através de um contactor em uma direção que seja substancialmente perpendicular à direção do fluxo de ar ambiente, capturando, assim, CO₂ a partir do ar. Em algumas modalidades mencionadas neste parágrafo, o termo "fluir intermitentemente" pode ser implementado como o pulso de fluido

através do contactor (pelo material de embalagem). Por exemplo, comutar repetidamente entre a vazão de fluido brevemente em uma taxa muito alta para revestir uniformemente o material de embalagem e interromper a vazão de fluido durante um período de tempo.

[0030] Em algumas modalidades, o dispositivo é uma instalação de captura de carbono (ou outro componente do ar ambiente) que inclui pelo menos um líquido tendo uma capacidade de absorver dióxido de carbono (ou outro componente do ar ambiente); pelo menos um material de embalagem tendo uma retenção em relação ao líquido; e, pelo menos uma bomba que serve para fluir o líquido pelo material de embalagem, sendo que a bomba é configurada para variar deliberadamente a taxa de vazão de modo a produzir uma taxa de vazão média, sendo que a capacidade do líquido e a retenção do material de embalagem são escolhidas de modo a alcançar cooperativamente uma taxa de captura de dióxido de carbono aumentada em relação a uma instalação de captura de dióxido de carbono similar onde a bomba é constantemente operada na taxa de vazão média, ou aperfeiçoar a eficácia de limpeza da superfície do material de embalagem em relação a uma instalação de captura de dióxido de carbono similar onde a bomba é constantemente operada na taxa de vazão média, ou ambos.

[0031] Em algumas modalidades a instalação de captura de carbono compreende um material de embalagem tendo uma retenção suficiente que pode ser intermitentemente molhada com uma solução de captura de CO₂ (ou outro componente do ar ambiente), e a instalação de captura tem uma geometria de placa vertical. Em algumas modalidades, a instalação de captura compreende um material de embalagem capaz de ser intermitentemente molhado e usado em uma geometria de fluxo transversal, e a instalação de captura tem uma geometria de placa vertical. Em algumas

modalidades, a instalação de captura compreende um material de embalagem capaz de ser intermitentemente molhado e usado em uma geometria substancialmente perpendicular, e a instalação de captura tem uma geometria de placa vertical. Em algumas modalidades, a instalação de captura compreende, ainda, um dispositivo para remover contaminação por sujeira, por exemplo, pilotis estruturais que possam erguer a instalação de captura a partir do solo, por exemplo, pelo menos cerca de 5m fora do solo de modo que a sujeira seja soprada abaixo da instalação.

[0032] A instalação de captura de carbono pode ser construída em módulos, tal como, por exemplo, ilustrado na figura 1. Como um exemplo, cada módulo pode ter dimensões de cerca de 5m por cerca de 5m por cerca de 7m. Os módulos contêm uma embalagem e podem suportar um ventilador. Uma vez que os módulos são montados de modo a formar a instalação de captura de carbono, o material de embalagem pode essencialmente ocupar dimensões de cerca de 200m por cerca de 20m por cerca de 3m. Os módulos podem ser construídos a partir de aço. A estrutura final pode incluir um reservatório na base tendo fluido. Uma bomba é configurada para periodicamente esgotar o fluido a partir do reservatório a um distribuidor no topo da embalagem. A fase gasosa é movida através da embalagem pelo vento, por ventiladores, ou por uma combinação dos mesmos. Na modalidade ilustrada, cada módulo suporta um ventilador, resultando em uma parede de ventiladores.

[0033] A "embalagem" é um material que preenche um espaço e facilita o contato entre um fluxo de gás e um fluxo de líquido. A embalagem pode ser aleatória ou estruturada. A embalagem aleatória compreende pequenos formatos formados por um material adequado e armazenado no espaço onde ocorre o contato entre o líquido e o gás. A embalagem estruturada é qualquer embalagem que seja

projetada de modo que se encaixe a uma área de maneira sistemática e planejada que resulta em um padrão de fluxo específico tanto para o ar como para o líquido.

[0034] Em algumas modalidades, a embalagem adequada para uso no escopo da descrição tem: uma geometria de fluxo transversal para limitar ou minimizar a queda de pressão no ar por unidade de CO₂ extraída; pode ser eficientemente molhada por fluxos intermitentes de líquido; e, tem uma retenção de líquido que permite uma operação intermitente com longas durações de tempo entre a molhagem. Em algumas modalidades, a embalagem adequada para uso no escopo da descrição pode tolerar falhas de fabricação, isto é, porções significativas do material de embalagem não estão molhadas. Por propósitos desta descrição, neste contexto, o termo "significativo" significa além do valor normalmente considerado aceitável para embalagens estruturadas. Em algumas modalidades, a embalagem adequada para uso no escopo da descrição pode incluir falhas ou locais mortos que são estão molhados, desde que tais locais mortos não aumentem significativamente o arrasto por unidade de CO₂ capturada, ou, em outras palavras, o efeito dos locais mortos não interfere nos custos gerais por tonelada de CO₂ capturada ao se considerar os custos capitais e operacionais a uma extensão que deteria o uso do material de embalagem. Em algumas modalidades, o efeito dos locais mortos não aumentaria os custos gerais por tonelada de CO₂ capturada ao se considerar os custos capitais e operacionais. Em algumas modalidades, a embalagem adequada para uso no escopo da descrição inclui até cerca de 10% de locais mortos ou falhas. O uso da embalagem com falhas ou partes gasosas pode reduzir os custos capitais da embalagem.

[0035] Em algumas modalidades, o material de embalagem adequado para uso de acordo com a descrição é prontamente isento

de contaminantes transportados pelo ar. Em algumas modalidades, a limpeza deve levar vantagem em relação ao fluxo intermitente.

[0036] Em algumas modalidades, a embalagem adequada para uso em instalações de captura de carbono no escopo da descrição que são projetadas para retenção de líquido, tem uma baixa resistência ao fluxo de gás (por exemplo, cerca de 0,1 KPa (100 Pa) em fluxos de gás de 2 m/s ou menores), e/ou pode ser lavada por molhagem intermitente.

[0037] Em algumas modalidades, o material de embalagem pode ser escolhido a partir de embalagens estruturadas comerciais de baixa densidade. Sem se ater à teoria, imagina-se que a embalagem estruturada comercial de baixa densidade, que consiste em uma embalagem tendo uma alta fração vazia, tenha uma grande área para que a fase gasosa passe através impactando favoravelmente (ou seja, reduzindo) a queda de pressão na embalagem em relação à embalagem com uma baixa fração vazia. Imagina-se que uma redução na queda de pressão leve a uma diminuição na quantidade de energia consumida ao se mover a fase gasosa através da embalagem. Exemplos não limitativos de materiais de embalagem adequados incluem Bretwood AccuPak CF-1200, Brentwood XF74, Sulzer 250X, Sulzer I-ring, Montz-Pak tipo M.

[0038] Uma "placa vertical" se refere a um esboço da embalagem no qual a dimensão paralela ao fluxo de gás é menor que as dimensões perpendiculares ao fluxo de gás. Por exemplo, em algumas modalidades, a espessura da placa vertical (que é dimensão paralela ao fluxo de ar) é igual a cerca de 3m, enquanto as outras duas dimensões são iguais a cerca de 200m (comprimento) e 20m (altura).

[0039] O líquido, ou a solução de captura de CO₂, que é usado pela instalação de captura de carbono, pode ser qualquer líquido que possa remover pelo menos parte do CO₂ a partir do ar ambiente. Em

algumas modalidades, utiliza-se uma solução básica. Em algumas modalidades, utiliza-se uma solução de KOH ou NaOH. Em algumas modalidades, a solução de KOH tem uma molaridade variando de menos de 1 molar a cerca de 6 molar. Em algumas modalidades, a solução de NaOH tem uma molaridade variando de menos de 1 molar a cerca de 6 molar. A molaridade da solução pode ser escolhida com base em uma série de fatores, incluindo o local, a estrutura da embalagem, as condições operacionais, os equipamentos e o valor de CO₂ capturado. Em geral, o líquido é escolhido de modo que tenha uma capacidade suficiente para absorver CO₂ por volume de unidade para permitir um fluxo ou molhagem intermitente do material de embalagem.

[0040] Anteriormente a esta descrição, acreditava-se que uma geometria de contra fluxo em torre embalada deveria ser usada para captura de dióxido de carbono ambiente. Vide, por exemplo, H. Herzog, "Assessing the Feasibility of Capturing CO₂ from the Air" (MIT Laboratory for Energy and the Environment, 2003). Ao contrário da sabedoria convencional, mostrou-se que, em algumas modalidades, as instalações de captura de carbono proporcionam um aperfeiçoamento em um ou mais custos operacionais, custos capitais, e quedas de pressão (qualquer que não seja a embalagem) em relação às instalações convencionais de captura de carbono no ar ambiente que compreendem um material de embalagem, tendo, porém, uma geometria de torre cilíndrica que utiliza um projeto de contra fluxo, especificamente a instalação de captura de carbono de geometria de torre descrita no presente documento.

[0041] Em algumas modalidades, os custos operacionais são aperfeiçoados aperfeiçoando-se a extração de energia a partir do vento ambiente de modo a reduzir o uso de energia, por exemplo, orientando-se o contactor a coletar mais energia a partir do vento,

sendo que a orientação é uma função das direções do vento e o equipamento de manipulação do ar. Em algumas modalidades, a placa é orientada de tal modo que a direção do vento prevalecente não seja paralela à direção do fluxo da solução de captura de carbono através do material de embalagem (isto é, a direção do vento prevalecente não seja paralela à orientação da placa). Em algumas modalidades, a extração aperfeiçoada de energia a partir do ar ambiente é realizada utilizando-se um projeto de fluxo transversal. Em algumas modalidades, a direção dos ventos prevalecentes em relação à orientação da placa varia de cerca de 80 graus a cerca de 100 graus. Em geral, a orientação é escolhida de modo a minimizar a potência média anual dos ventiladores dependendo da rosa dos ventos e da geografia local. Em algumas modalidades, a direção dos ventos prevalecentes em relação à orientação da placa é igual a cerca de 90 graus.

[0042] Em algumas modalidades, os custos operacionais são aperfeiçoados molhando-se intermitentemente, ao invés de gotejar continuamente, o material de embalagem com líquido de captura de carbono. Em algumas modalidades, o líquido de captura de carbono é pulsado tendo uma duração suficiente para lavar a solução de alguma forma usada que está capturando CO₂ em uma taxa reduzida fora da embalagem e substituí-la por uma solução nova que capturará o CO₂ em uma taxa mais rápida. Em algumas modalidades, o tempo entre os pulsos é escolhido para reduzir ou minimizar os custos de captura de CO₂, levando-se em consideração tanto a energia necessária para operar o sistema como os custos de capital usados para construir o sistema. Em algumas modalidades, onde a embalagem tem uma área superficial de admissão para o gás de cerca de 200m x 20m e uma espessura de cerca de 3m, a duração de um pulso pode variar de cerca de 30 a cerca de 60 segundos e o tempo entre os pulsos pode variar

de cerca de 1 a cerca de 20 minutos. Em algumas modalidades, a duração de um pulso pode variar de cerca de 60 a cerca de 200 segundos e o tempo entre os pulsos pode variar de cerca de 1 a cerca de 20 minutos. Em algumas modalidades, a bomba pode ficar ligada por 150 segundos e desligada por 240 segundos.

[0043] Em algumas modalidades, os custos capitais são reduzidos reduzindo-se a área afetada e o tamanho total da estrutura por unidade de capacidade.

[0044] Contactor de baixa energia para captura de CO₂ a partir do ar. Algumas modalidades descritas neste documento unem três conceitos:

1. Que as embalagens estruturadas comerciais de baixa densidade combinadas com soluções cáusticas de alta molaridade exibem quedas de pressão suficientemente baixas para torná-las mais compensadoras em termos de custos para captura de ar.

2. Quando usadas com soluções cáusticas de alta molaridade, tais embalagens podem ser operadas utilizando-se uma vazão de fluidos intermitente. Pode-se utilizar maiores vazões de fluidos (isto é, vazões de fluidos compatíveis às especificações proporcionadas pelo fabricante) para molhar a superfície que, então, exibe uma retenção suficiente para permitir a captura de CO₂ a partir do ar durante 100 segundos com uma perda mínima de eficiência de captura. Este modo de operação pode aperfeiçoar a eficiência energética geral por fatores de três ou mais geometrias de torre de contra fluxo convencionais, pelo fato de a função de bombeamento de fluidos ser essencialmente eliminada. Em algumas modalidades, pode-se demonstrar que uma "perda mínima de eficiência de captura" através de uma taxa de absorção decai menos de 30% em um intervalo de tempo de minutos. Os fabricantes de embalagem reivindicam que se o fluxo de solução cair abaixo de um determinado

limite (diferente para cada tipo de embalagem) o contato entre a solução e o gás cairá drasticamente com o resultado em muitas situações da taxa de absorção que cai através de um fator de 10 até um fator de 100. No entanto, nas modalidades de acordo com a descrição, a embalagem pode ser molhada utilizando-se os fluxos sugeridos pelas especificações do fabricante, porém, então, o fluxo pode ser desligado e a taxa de admissão ser reduzida por menos de 30% em um intervalo de tempo de minutos.

3. Configurações de contactores de grande escala tendo altas razões entre a área da embalagem e a área afetada e interação com o ar ambiente com a finalidade de minimizar ou reduzir a reciclagem de ar com baixo teor de CO₂ na entrada do contactor. Se uma matriz retangular de torres embaladas convencionais for construída, então, o ar que sai de uma unidade tendo uma concentração ambiente de CO₂ inferior seria sugado em direção a favor do vento. Então, esta torre experimentaria uma taxa de captura de CO₂ reduzida, porém, ainda custaria tanto quanto se fosse executada como a primeira torre. Em qualquer matriz de torres embaladas padrão (diferente de uma linha das mesmas) isto afetaria uma grande porção das torres e diminuiria a captura geral das instalações de CO₂ sem alteração dos custos operacionais. Se os custos para se ter posse e executar o sistema forem constantes, porém, se a taxa de captura cair, então, os custos por CO₂ capturado aumenta. As geometrias do contactor de placa apresentarão custos capitais muito menores por unidade de capacidade de depuração do ar do que poderia ser alcançado através de geometrias de "torre" convencionais.

[0045] Referindo-se às figuras 6 a 8, proporcionam-se dados laboratoriais que demonstram as duas primeiras ideias. Estes dados ilustram que a embalagem estruturada comercial (por exemplo, Sultzer

250 X) pode ser operada com NaOH ou KOH de alta molaridade, por exemplo, fluindo em pulsos que equivale a menos de, por exemplo, 10% de todo o tempo (por exemplo, operando na taxa de vazão de fluido projetada durante cerca de 30 segundos e, então, sem vazão de fluido durante cerca de 600 segundos) enquanto se alcança >80% da taxa de captura atingida pelas taxas de vazão projetadas. Os dados permitiriam que alguém escolhesse o tempo de ciclo ótimo para colocar, de modo específico, os fluidos em contato com a embalagem, e proporcionarão uma base para aperfeiçoar os projetos de embalagem para esta aplicação.

[0046] Referindo-se às figuras 6 a 8, descrevem-se dados sobre o desempenho das soluções de NaOH e KOH em uma ampla faixa de concentrações utilizando-se tanto um fluxo contínuo como um fluxo intermitente. Para quaisquer modalidades ilustradas no presente documento, o requerimento de trabalho mecânico total pode ser menor que 100 kWhr/t-CO₂ em taxas de captura maiores que 20 t-CO₂/m²-ano. Considerando-se que a geometria de placa vertical é enfatizada em porções desta descrição, descrevem-se nas modalidades do presente documento dois contactores de geometria de placa: A geometria de placa vertical (figura 1), e a geometria de placa horizontal (figuras 2, 3, e 5). Deve-se compreender que as modalidades descritas são proporcionadas por propósitos de ilustração e não devem ser construídas, de modo algum, em caráter limitativo.

[0047] Referindo-se à figura 1, ilustra-se uma instalação de captura de dióxido de carbono 10 que compreende uma embalagem 12 formada como uma placa 15, sendo que a placa 15 tem faces dominantes opostas 14, sendo que as faces dominantes opostas 14 são pelo menos parcialmente penetráveis ao vento de modo a permitir que o vento flua através da embalagem 12. Orienta-se pelo menos uma fonte de líquido 16 de modo a direcionar o líquido absorvente de

dióxido de carbono na embalagem 12 para fluir através da placa 15. A placa 15 é disposta em um fluxo de vento 18 que tem um ângulo incidente diferente de zero com uma das faces dominantes opostas 14. A embalagem 12 pode ser orientada para direcionar o fluxo de líquido absorvente de dióxido de carbono através da placa 15 em uma direção de fluxo médio 20 que seja paralela a um plano 22 definido pelas faces dominantes opostas 14. Deve-se compreender que as faces dominantes opostas 14 não precisam ser exatamente paralelas. Em uma modalidade, as faces 14 podem ser convergentes, divergentes, ou curvadas, por exemplo. A embalagem 12 pode ser orientada para permitir que o líquido absorvente de dióxido de carbono flua através da embalagem 12 pela ação da gravidade, conforme ilustrado. Em algumas modalidades, as dimensões da embalagem podem ser iguais a cerca de 200m x cerca 20m por cerca de 3m contidas em uma estrutura que mede cerca de 200m x 25m x 7m. Em algumas modalidades, as dimensões podem variar de cerca de 10m x cerca de 7m x cerca de 2m a cerca de 1000m x cerca de 50m x cerca de 15m.

[0048] Referindo-se à figura 1, o ângulo incidente diferente de zero se refere ao fato de que o fluxo de vento 18 se choca contra a face 14 em um ângulo maior que zero. Isto pode gerar um contraste com as disposições de embalagem tradicionais, onde se flui gás através de uma torre da embalagem iniciando-se a partir parte mais inferior. Em algumas modalidades, o ângulo incidente diferente de zero é ortogonal a uma das faces dominantes opostas. Deve-se compreender que o ângulo incidente diferente de zero pode estar dentro dos 10% de exatamente ortogonal. O ângulo incidente diferente de zero também pode se referir ao ângulo médio de fluxo do vento. Pode-se calcular a média do ângulo médio de fluxo do vento durante um período de tempo.

[0049] Referindo-se à figura 2, em algumas modalidades, a embalagem 12 compreende, ainda, uma embalagem estruturada. A embalagem 12 pode, por exemplo, ter de 1 a 2 metros de espessura entre as faces dominantes opostas 14. Em outras modalidades, a embalagem 12 pode ser mais espessa ou mais delgada. O termo embalagem estruturada pode se referir a uma faixa de materiais especialmente projetados para uso em colunas de absorção e destilação e reatores químicos. Tipicamente, as embalagens estruturadas consistem em um material corrugado delgado 24, tal como as placas ou gazes metálicas dispostas de modo que forcem os fluidos a tomarem trajetórias complicadas através da coluna, criando, assim, uma grande área de face para contato entre as diferentes fases. As embalagens estruturadas podem ser constituídas por lâminas corrugadas dispostas em uma relação entrecruzada de modo a criar canais de vazão para a fase gasosa. As interseções das lâminas corrugadas criam pontos de mistura para as fases líquidas e gasosas. Utilizam-se defletores de parede para evitar que o líquido e/ou o vapor contornem a parede de coluna. Girando-se cada camada de embalagem estruturada ao redor do eixo geométrico da coluna proporciona uma mistura e dispersão cruzada dos fluxos gasosos e líquidos em todas as direções.

[0050] Referindo-se à figura 1, as faces dominantes opostas 14 podem ser orientadas verticalmente. A orientação das faces 14 pode ser determinada, por exemplo, em relação ao solo. Em outras modalidades, as faces 14 podem ser orientadas em um ângulo em relação ao solo, ou seja, inclinadas. Referindo-se à figura 5, as faces dominantes opostas 14 podem ser orientadas horizontalmente. Esta modalidade tende a ter uma área afetada maior que a modalidade da placa vertical. Referindo-se à figura 9, a embalagem 12 é formada como várias placas 15. As várias placas também podem, por exemplo,

ser várias placas dispostas extremidade-a-extremidade, de modo oposto à orientação empilhada ilustrada na figura 9. Em algumas modalidades, a placa pode ser verticalmente dividida em seções, proporcionando-se, de modo efetivo, várias placas extremidade-a-extremidade umas sobre as outras. Isto pode ser necessário com o intuito de se obter uma distribuição suficientemente boa de líquido em tal razão aparente estreita (por exemplo, 20 m de altura por 1,5 de largura). Entre as seções verticais, pode existir um sistema coletor/distribuidor que coleta fluidos que fluem a partir de cima e os redistribui uniformemente à placa de embalagem abaixo. Em algumas modalidades, tal sistema coletor/distribuidor pode estar presente em qualquer placa, conforme descrito no presente documento.

[0051] Referindo-se à figura 1, pelo menos uma fonte de líquido 16 pode compreender, ainda, pelo menos uma bomba 26. A bomba 26 pode ter vários tubos de distribuição 28, controlados por uma válvula (não mostrada), com a finalidade de aplicar seletivamente líquido em várias seções da embalagem 12. Pelo menos uma bomba 26 pode ser configurada para suprimir o líquido absorvente de dióxido de carbono em uma série de pulsos.

[0052] Referindo-se à figura 1, pelo menos um ventilador 30 pode ser orientado de modo a influenciar o fluxo de vento através pelo menos em uma seção de uma das faces dominantes opostas 14 da embalagem 12. O ventilador 30 pode ser reversível. Em algumas modalidades, o ventilador 30 pode evitar que o fluxo de vento que já fluiu através da embalagem 12 circule de volta à embalagem 12. Referindo-se à figura 5, em algumas modalidades, pelo menos um ventilador 30 pode direcionar o fluxo de vento à embalagem 12. Referindo-se à figura 1, pelo menos um ventilador 30 pode compreender, ainda, vários ventiladores, sendo cada um desses orientado de modo a influenciar o fluxo de vento através de pelo

menos uma porção respectiva da embalagem 12. Em algumas modalidades, entende-se que a porção respectiva seja a porção da embalagem 12 que teria maior influência sobre o fluxo de ar através do ventilador 30, por exemplo, a embalagem 12 mais adjacente ou mais próxima ao ventilador 30. Pelo menos um ventilador 30 pode ser proporcionado como parte de uma parede do ventilador 32 adjacente a pelo menos uma das faces dominantes opostas 14. Deve-se compreender que as paredes do ventilador (não mostradas) podem estar localizadas adjacentes a cada uma das faces 14. No presente documento, compreende-se que o termo adjacente signifique próximo a, e pode incluir modalidades (tais como aquelas ilustradas nas figuras) onde a parede do ventilador 32 fica afastada, porém, adjacente à face 14. Referindo-se à figura 1, a parede do ventilador 32 pode ser adjacente a uma das faces dominantes opostas 14 através das quais o fluxo de vento 18 sai da embalagem 12. Na parede do ventilador 32, os ventiladores individuais podem ser separados por um material impermeável. Os ventiladores 30 criam uma queda de pressão ao longo da parede 32, que direciona o fluxo através da embalagem 12. Em algumas modalidades, a parede do ventilador 32 é projetada de tal modo que, no caso onde um ventilador falhar, e essencialmente bloquear seu respectivo fluxo, o fluxo através da embalagem 12 seja quase, se não completamente, não afetado. Isto pode ser realizado espaçando-se estreitamente os ventiladores adjacentes, e espaçando-se a parede do ventilador 32 a partir da embalagem 12, por exemplo.

[0053] Referindo-se à figura 2, a instalação 10 pode compreender, ainda, guias de vento 34 orientados para direcionarem o fluxo de vento 18 na embalagem 12. A instalação 10 pode compreender, ainda, guias de vento 36 orientados para direcionar o fluxo de vento 18 para fora da embalagem 12. Os guias de vento 34 e 36 podem, por exemplo, ser

claraboias. Conforme ilustrado na figura 2, os guias de vento 34 e 36 podem ser independentemente controláveis. Na modalidade da figura 2, o fluxo de vento 18 é direcionado a partir da direita para esquerda. Portanto, os guias de vento superiores 34 são abertos, com os guias de vento inferiores 34 fechados. De modo similar, os guias de vento superiores 36 são fechados, enquanto os guias de vento inferiores 36 são abertos. Portanto, o fluxo de vento 18 tem um fluxo líquido a partir dos guias de vento superiores 24 até os guias de vento inferiores 36, passando através da embalagem 12 no processo. Referindo-se à figura 2, a instalação 10 pode fazer parte de uma estrutura pelo menos parcialmente delimitada 38. Por causa da natureza das modalidades descritas no presente documento, sendo aquelas que podem envolver o processamento de grandes volumes de vento, pode ser importante blindar a instalação 10 contra os elementos, incluindo animais e insetos. Os guias de vento 36 e 34 podem auxiliar nisto, junto a uma estrutura circundante adaptada para seletivamente permitir a entrada e o processo do fluxo de vento. Em algumas modalidades, um revestimento protetor (não mostrado) pode ser proporcionado sobre a embalagem 12 de modo a evitar a intrusão de animais, porém, permitir que o fluxo de vento passe através. Referindo-se à figura 1, pode-se proporcionar um dispositivo de limpeza 40 que serve para limpar as paredes da estrutura pelo menos parcialmente delimitada 38. O dispositivo de limpeza 40 pode, conforme ilustrado, por exemplo, ser um defletor que gira ao redor de um eixo geométrico para limpar a parte externa da parede do ventilador 32, por exemplo. Os guias de vento 34 e 36 podem ser horizontalmente orientados, por exemplo.

[0054] Referindo-se à figura 2, a instalação 10 pode compreender, ainda, pelo menos uma passagem para vento 42 estendida através das faces dominantes opostas 14 para distribuir seletivamente um fluxo de vento a uma das faces dominantes opostas 14. Referindo-se à

figura 2, a passagem para vento 42 pode ter um ventilador 30 fixado de modo a influenciar o fluxo de ar através da passagem para vento 42. A passagem para vento 42 permite que o vento se desloque através das faces 14, onde o mesmo é liberado na bacia 44, onde o vento é livre para passar pela embalagem 12 através da face 14A, saindo da embalagem 12 através da face 14B. Desta forma, o fluxo de vento pode ser induzido a fluir através das faces horizontais 14 de uma placa horizontal da embalagem 12. As passagens para vento 42 podem, por exemplo, ser dutos de ar tendo 10 m de altura. Na modalidade ilustrada, as passagens para vento 42 são dutos verticais onde o ar de admissão rico em CO₂ se move para baixo. Esses dutos podem revestir ~1/5 da área superficial (por exemplo, um tubo com diâmetro de ~1,2 m disposto em uma grade com espaçamentos de 5 metros).

[0055] Referindo-se à figura 1, pode-se proporcionar um escoadouro 46 para coletar o líquido absorvente de dióxido de carbono que fluiu através da embalagem 12. Referindo-se à figura 2, o escoadouro é ilustrado como uma bacia 44. A bacia 44 pode, por exemplo, ser uma bacia revestida com concreto que captura o hidróxido e contém suportes para manter a embalagem. Referindo-se à figura 5, pode existir um vão 60, conforme ilustrado, entre a embalagem 12 e a base 44 que pode ter ~1 a 1,5 m, por exemplo. Em algumas modalidades (não mostradas), o escoadouro 46 pode ser um tubo ou uma série de condutos, por exemplo, que transportam o líquido diretamente a partir da embalagem 12. Este tipo de sistema pode envolver um aparelho de afunilamento ou drenagem designado para concentrar a drenagem do líquido em um único tubo, ou em uma rede de tubos. O líquido em contato pode, então, ser recirculado através da embalagem, ou pode ser reciclado e, então, recirculado. Referindo-se à figura 4, em algumas modalidades, a instalação 10

compreende, ainda, um sistema de reciclagem 48 que serve para regenerar o líquido absorvente de dióxido de carbono usado. O sistema de reciclagem pode, por exemplo, ser qualquer um dos sistemas descritos no Apêndice A, que forma parte deste relatório descritivo, que sirvam para reciclar o líquido absorvente de dióxido de carbono usado. Conforme descrito no Apêndice A, o líquido absorvente de dióxido de carbono pode compreender uma solução de hidróxido, por exemplo, uma solução de hidróxido de sódio. De preferência, a fonte de líquido 16 fornece o líquido absorvente de dióxido de carbono reciclado.

[0056] Referindo-se às figuras 1 e 2, ilustra-se um método de captura de dióxido de carbono. O líquido absorvente de dióxido de carbono é aplicado na embalagem 12 em uma série de pulsos. Referindo-se à figura 9, cada pulso 50 pode envolver, por exemplo, um curto período durante o qual se fornece o líquido à embalagem 12 através da fonte de líquido 16. Cada pulso não precisa ser uma aplicação transiente aguda, porém, pode ser um período de tempo durante o qual o líquido estiver sendo fornecido. Um gás contendo dióxido de carbono, por exemplo, o ar ilustrado pelo fluxo de vento 18, é fluído através da embalagem 12 para absorver pelo menos parcialmente o dióxido de carbono a partir do gás no líquido absorvente de dióxido de carbono. A aplicação pode compreender, ainda, bombeamento. O fluxo pode compreender, ainda, fluir o gás contendo dióxido de carbono através da embalagem pelo menos quando o líquido absorvente de dióxido de carbono não estiver sendo aplicado. Referindo-se à figura 1, o fluxo de gás pode ser controlado utilizando-se os ventiladores 30, por exemplo. Referindo-se à figura 2, o fluxo de gás pode ser controlado utilizando-se os ventiladores 30 e os guias de vento 34 e 36. Referindo-se às figuras 1 e 2, o fluxo do gás pode ser pelo menos restrito quando o líquido absorvente de

dióxido de carbono estiver sendo aplicado. Referindo-se à figura 1, pode-se prever pelos ventiladores 30 da parede de ventiladores 32 a interrupção do repuxo e extração do fluxo de vento através da embalagem 12 quando o pulso de líquido estiver sendo fornecido à embalagem 12.

[0057] Em algumas modalidades, a série de pulsos tem uma razão cíclica de 1 a 50%. Em outras modalidades, tal como aquela graficamente ilustrada na figura 9, a razão cíclica pode ser 5%, por exemplo. A razão cíclica se refere à razão entre a duração de um pulso de líquido aplicado e a duração total de um ciclo. Por exemplo, uma razão cíclica de 50% significa que o fluido está fluindo apenas a metade do tempo em que a instalação se encontra operacional. Isto significa que o pulso é executado de 1 a 50% do tempo em que o sistema se encontra operacional, e, portanto, uma razão cíclica de 1% significa que para cada segundo que o fluido está fluindo, o mesmo se encontra desligado por 100 segundos. Em valores mais realísticos, o mesmo fica ligado por 30 segundos e desligado por 3000 segundos e uma razão cíclica de 50% significa que a bomba seria executada por 30 segundos e ficaria desligada pelos próximos 30 segundos. Em algumas modalidades, a série de pulsos tem um tempo inativo de 10 a 1000 segundos. Em outras modalidades, a série de pulsos tem um tempo inativo de 100 a 10000 segundos.

[0058] Referindo-se à figura 1, a etapa de aplicar pode compreender, ainda, aplicar o líquido absorvente de dióxido de carbono em uma primeira porção da embalagem 12 em uma primeira série de pulsos, e aplicar o líquido absorvente de dióxido de carbono em uma segunda porção da embalagem 12 em uma segunda série de pulsos. Isto pode ser previsto aplicando-se líquido através dos tubos de distribuição 28A e 28B à embalagem 12. Devido ao fato de os tubos 28A e 28B apenas alimentarem uma porção (ou seja, a porção mais à

esquerda) da embalagem 12, apenas esta porção terá líquido aplicado à mesma. O líquido pode, então, ser seletivamente aplicado à porção direita da embalagem 12 aplicando-se líquido através dos tubos 28C e 28D. A primeira e a segunda série de pulsos podem ser sincronizadas, assincronizadas, completamente diferentes, ou sincronizadas fora de fase entre si, por exemplo, permitindo que os fluidos sejam fornecidos intermitentemente a partir de uma bomba continuamente em operação. Nessas modalidades, o fluxo de gás pode compreender, ainda, pelo menos restringir o fluxo do gás contendo dióxido de carbono através da primeira porção da embalagem quando o líquido absorvente de dióxido de carbono não estiver sendo aplicado, e pelo menos restringir o fluxo do gás contendo dióxido de carbono através da segunda porção da embalagem quando o líquido absorvente de dióxido de carbono não estiver sendo aplicado. Portanto, enquanto a primeira porção tiver um líquido sendo aplicada a ela, por exemplo, a porção esquerda da face 14 quando o líquido estiver sendo aplicado através dos tubos 28A e 28B, o fluxo de gás pode ser restrito ou interrompido através da porção esquerda da face 14. Isto pode ser realizado reduzindo-se, interrompendo-se, ou até mesmo revertendo-se os ventiladores 30A e 30B, por exemplo. De modo similar, enquanto a segunda porção tiver um líquido sendo aplicado a ela, por exemplo, a porção direita da face 14 quando líquido estiver sendo aplicado através dos tubos 28C e 28D, o fluxo de gás pode ser restrito ou interrompido através da porção direita da face 14. Isto pode ser realizado reduzindo-se, interrompendo-se, ou até mesmo revertendo-se os ventiladores 30D e 30E, por exemplo.

[0059] Em algumas modalidades, a primeira série de pulsos e a segunda série de pulsos são escalonadas. Referindo-se à figura 2, isto pode ser vantajoso, quando a porção esquerda da face 14 tiver líquido sendo aplicado a ela conforme descrito anteriormente, e quando a

porção direita e as porções centrais não. De modo similar, quando o suprimento de líquido à porção esquerda for cessado, a fonte de líquido 16 pode, então, aplicar líquido à porção central ou direita, por exemplo. Desta forma, a fonte de líquido 16 pode carregar ciclicamente o líquido a todo o volume da embalagem 12 de maneira mais eficiente, ao invés de carregar continuamente o líquido a todo o volume da embalagem 12. Referindo-se à figura 5, pode-se imaginar, ainda, um exemplo disto, com uma placa horizontal da embalagem 12. Nesta modalidade, o fluxo de vento através de qualquer um dos vários tubos de vento 42 pode ser controlado, com a finalidade de obter o mesmo efeito alcançado anteriormente com a modalidade da placa vertical. Referindo-se à figura 2, ilustra-se uma modalidade onde apenas um tubo de vento 42A tem vento sendo direcionado ao longo do mesmo. Isto pode ser alcançado pela atuação seletiva do ventilador 30A, por exemplo. Portanto, a embalagem 12 que estiver mais próxima da saída do tubo de vento 42A pode ter um fluxo de gás alimentado à mesma.

[0060] Em algumas modalidades, o período de repouso do ciclo da série de pulsos pode ser menor ou igual ao tempo que se leva para o líquido absorvente de dióxido de carbono interromper a drenagem a partir da embalagem após um pulso. Deve-se compreender que este não é o tempo necessário para que todo o pulso seja removido da embalagem 12, visto que parte do líquido sempre será deixada como resíduo no interior da embalagem 12. Em outras modalidades, o período de repouso do ciclo da série de pulsos pode ser menor ou igual ao tempo que se leva para que um pulso de líquido absorvente de dióxido de carbono perca de 70 a 80 % da capacidade de absorção de dióxido de carbono.

[0061] Referindo-se à figura 1, a embalagem pode ser orientada para fluir o líquido absorvente de dióxido de carbono através da

embalagem 12 em uma direção de vazão média de líquido 20. O fluxo pode compreender, ainda, o fluxo de gás através da embalagem 12 oblíqua ou perpendicularmente à direção de vazão média de líquido 20. Conforme descrito anteriormente, isto é vantajoso uma vez que o fluxo de gás pode ter uma direção de vazão diferente, e uma que não seja contracorrente à direção de vazão média de líquido 20 do líquido. Portanto, uma área superficial maior da embalagem pode ser usada para uma vantagem completa, aumentando consideravelmente a quantidade de vento ou gás que pode entrar em contato com o líquido na embalagem 12 através de um curso de tempo enquanto se permite que o líquido passe através e seja drenado a partir da embalagem 12. Nessas modalidades, uma placa não é totalmente necessária, de fato, outros formatos de embalagem 12 são previstos, incluindo, mas sem limitar-se a, um formato cuboide, cilíndrico, e quaisquer outros vários formatos. Referindo-se à figura 1, em algumas modalidades, o fluxo de gás compreende, ainda, o fluxo de gás através da embalagem 12 perpendicularmente à direção de vazão média de líquido 20. Deve-se compreender que a perpendicularidade exata não consiste em uma exigência. O fluxo pode compreender, ainda, o fluxo de gás através de pelo menos uma das faces dominantes opostas 14, por exemplo, através de ambas as faces 14 conforme indicado.

[0062] Conforme descrito anteriormente, esses métodos podem envolver reciclar o líquido absorvente de dióxido de carbono. Da mesma forma, conforme descrito anteriormente, os métodos podem envolver influenciar o fluxo de gás através da embalagem. A influência pode compreender, por exemplo, evitar que o gás que já fluiu através da embalagem 12 circule de volta à embalagem 12. A influência pode compreender, ainda, conduzir o fluxo de gás em uma direção que seja pelo menos parcialmente orientada com uma direção de fluxo de vento ambiente. Isto pode ser realizado utilizando-se ventiladores 30, que

podem ser reversíveis com a finalidade de realizar esta função. Além disso, esses métodos podem envolver direcionar o fluxo de gás para dentro ou para fora da embalagem, utilizando-se, por exemplo, claraboias, conforme descrito anteriormente.

[0063] Referindo-se à figura 1, em algumas modalidades, os ventiladores 30 podem ser reversíveis para que permitam que o fluxo seja conduzido na direção do campo de vento ambiente, sendo mais eficiente do que induzir um fluxo que seja contra a direção do vento predominante. Referindo-se à figura 4, a orientação das placas 15 pode ser tal onde o vento predominante 18 seja perpendicular à placa 15, e se encontre na direção na qual a parede de ventiladores (não mostrada) funciona de modo mais eficiente. O projeto da embalagem pode utilizar placas verticalmente orientadas. Isto pode ser uma modificação da embalagem estruturada convencional projetada para permitir, por exemplo, direções ortogonais de vazão de líquido e gás. A embalagem pode servir para uma vazão de fluxo intermitente com a finalidade de maximizar a retenção de líquido absorvente no interior do material de embalagem. Referindo-se à figura 1, conforme descrito anteriormente, a parede de ventiladores 32 pode ser dividida em seções, de tal modo que a velocidade do fluxo possa ser reduzida ou interrompida quando o fluido estiver fluindo para minimizar a perda de fluidos. As seções podem ser operadas assincronamente de tal modo que apenas uma seção de cada vez esteja recebendo a vazão de fluidos permitindo que as bombas de fluido operem continuamente. Por exemplo, se a vazão de fluido for necessária durante 100 segundos em 1000, uma dessas pode ter 11 seções e direcionaria o fluido em uma delas de cada vez.

[0064] Comparada à geometria de placa horizontal, a placa vertical: minimiza área afetada e o tamanho total da estrutura por unidade de capacidade de modo a reduzir os custos capitais, reduz a

velocidade de pico, aperfeiçoa a eficiência, e permite que a embalagem seja operada em velocidades de pico maiores, reduzindo ainda mais os custos capitais.

[0065] Conforme descrito anteriormente, algumas modalidades podem convocar o uso de claraboias para permitir que o fluxo seja conduzido na direção do vento ambiente sem alterar a operação dos ventiladores. Referindo-se à figura 5, o projeto da embalagem pode utilizar um fluxo coaxial ou um fluxo de contracorrente, enquanto ainda se beneficia da grande área superficial da placa de modo a aumentar a quantidade de fluxo de vento através da placa. A geometria de fluxo permite que se obtenha um fluxo uniforme através de uma grande placa horizontal montada acima de um reservatório de fluidos enquanto mantém as velocidades do ar abaixo de cerca de 5 m/s. A limitação da velocidade do ar determina a razão entre a altura das estruturas e sua largura. De modo específico, a razão altura/largura é aproximadamente igual à velocidade relativa do ar durante a embalagem/velocidade relativa do ar na saída. Comparada à geometria de placa vertical, a placa horizontal tem uma área afetada maior, e pode ter custos maiores, porém, apresenta a vantagem de que pode utilizar uma embalagem e uma distribuição de fluidos mais convencionais.

[0066] Referindo-se à figura 4, ilustra-se um esboço mostrando uma grade milha X milha (por exemplo, estradas em uma savana Norte-Americana) com 8 unidades de captura cada uma tendo, por exemplo, instalações de área afetada 10 300 X 50 m e uma estação de processamento central 48 com tubulações de conexão 56. Espera-se que um sistema desta magnitude capture de 1 a 5 megatons de CO₂ por ano.

[0067] Referindo-se à figura 3, ilustra-se uma vista de uma unidade completa, por exemplo, 50 m de largura, por 300 de

comprimento, por 20 m de altura. Em algumas modalidades, a altura das placas pode ser igual a 10 a 30 m. Se o vento estiver soprando da direita para esquerda, pode-se abrir as claraboias de tal modo que o ar de entrada flua para dentro na parte inferior direita e para fora na parte superior esquerda. (Isto é o oposto do que se mostra na seção transversal ilustrada na figura 2). O telhado 58 pode ser áspero, tipo o desenho em ziguezague mostrado no presente documento que é estruturalmente eficiente. Em algumas modalidades, o telhado 58 não precisa repelir água, apenas precisa ser à prova de cargas de vento. Referindo-se à figura 5, a fonte de líquido pode, por exemplo, ser um sistema de distribuição de fluidos no topo da embalagem 12.

[0068] Referindo-se à figura 1, ilustra-se outro método de captura de dióxido de carbono. O líquido absorvente de dióxido de carbono é fluido através da embalagem 12 em uma direção de vazão média de líquido 20, um gás contendo dióxido de carbono é fluido através da embalagem 12 oblíqua ou perpendicularmente à direção de vazão média de líquido 20 para absorver pelo menos parcialmente o dióxido de carbono a partir do gás no líquido absorvente de dióxido de carbono. O fluxo de líquido absorvente de dióxido de carbono através da embalagem 12 pode compreender, ainda, aplicar o líquido absorvente de dióxido de carbono na embalagem 12 em uma série de pulsos. A série de pulsos foi descrita em detalhes ao longo do presente documento, e não precisa ser descrita a partir deste ponto. Conforme descrito anteriormente, o fluxo de gás pode compreender, ainda, fluir o gás através da embalagem 12 perpendicularmente à direção de vazão média de líquido 20.

[0069] Descreve-se, também, um método de colocar um líquido em contato com um gás que compreende aplicar o líquido na embalagem 12 em uma série de pulsos e fluir o gás através da embalagem 12. Referindo-se à figura 8, após o pulso 50 ter sido

aplicado, a inclinação descendente de cada um dos perfis indica que o CO₂ ainda está sendo absorvido pela lenta drenagem ou pelo líquido estagnado. Isto ilustra que este projeto de embalagem 12 é altamente eficiente, porque o mesmo continua a colocar, de modo eficaz, o gás em contato com o líquido, sem a necessidade de um bombeamento constante. Referindo-se às figuras 6 e 7, a eficiência de captura de CO₂ é ilustrada e contrastada ao fluxo contínuo (indicado pelos pontos no eixo geométrico y), e com um pulso único de fluxo (ilustrado pelas linhas representadas graficamente). A escala de tempo é o tempo após o desligamento do fluxo pulsado. As linhas de inclinação descendente mostram a queda gradual na eficiência de captura durante 200 a 1000 segundos, porém, ilustra que o líquido ainda tem uma alta eficiência de captura, mesmo após a passagem de centenas de segundos. Embora este método também seja previsto para algumas das modalidades do presente documento, este não é tão eficiente quanto o método pulsado, já que requer uma ação de bombeamento muito maior. Portanto, o método pulsado pode ser aplicado a qualquer contactor de gás e líquido, porque já se provou que proporciona um contato suficiente de gás e líquido apesar de uma falta de bombeamento contínuo. Uma aplicação exemplificadora disto pode ser proporcionada como uma unidade de depuração em uma refinaria, por exemplo. Deve-se compreender que o contactor de gás e líquido pode ter todas as características da instalação de captura de dióxido de carbono, conforme descrito no presente documento.

[0070] Descreve-se, ainda, um método de colocar um líquido em contato com um gás que compreende fluir o líquido através da embalagem em uma direção de vazão média de líquido, e fluir o gás através da embalagem oblíqua ou perpendicularmente à direção de vazão média de líquido. Pode-se prever este método conforme realizado pelas modalidades nas figuras. De modo similar ao contactor

de gás e líquido, os resultados das figuras 6 a 8 confirmam que este método pode ser aplicado a qualquer sistema de contato de gás e líquido. Tendo-se o gás fluído através da embalagem em um ângulo, a estrutura de tal contactor que emprega este método seria consideravelmente simplificada, visto que a entrada e a saída de gás estarão em diferentes locais na embalagem, então, a fonte de líquido e o escoadouro. Este contrasta aos sistemas anteriores que fornecem gás em uma direção de contracorrente ao fluxo de líquido. Deve-se compreender que este método pode ter todas as características dos métodos de captura de dióxido de carbono descritos no presente documento. Por exemplo, o fluxo de líquido através da embalagem pode compreender, ainda, aplicar o líquido na embalagem em uma série de pulsos. Além disso, o fluxo de gás pode compreender, ainda, fluir o gás através da embalagem perpendicularmente à direção de vazão média de líquido.

[0071] Referindo-se à figura 1, descreve-se, também, um contactor de gás e líquido (ilustrado pela instalação 10). Referindo-se à figura 1, o contactor (ilustrado pela instalação 10) compreende a embalagem 12 formada como uma placa 15, sendo que a placa 15 tem faces dominantes opostas 14, sendo que as faces dominantes opostas 14 são pelo menos parcialmente penetráveis ao vento de modo a permitir que o vento flua através da embalagem 12. Pelo menos uma fonte de líquido 16 é orientada para direcionar o líquido na embalagem 12 a fluir através da placa 15. A placa é disposta em um fluxo de vento 18 tendo um ângulo incidente diferente de zero com uma das faces dominantes opostas 14. De modo semelhante ao contactor de gás e líquido e o método descrito anteriormente, os resultados a partir das figuras 6 a 8 confirmam que este método pode ser aplicado a qualquer contactor de gás e líquido. Deve-se compreender que este contactor de gás e líquido pode ter todas as características da instalação de

captura de dióxido de carbono e do contactor descrito no presente documento.

[0072] Referindo-se à figura 1, descreve-se, também, um contactor de gás e líquido (ilustrado pela instalação 10), que compreende uma estrutura de placa 15 que compreende a embalagem 12 e uma fonte de líquido 16 orientada para direcionar o líquido na embalagem 12 de modo a fluir em uma direção de vazão média de líquido 20. A estrutura de placa é disposta em um fluxo de vento 18 que flui oblíqua ou perpendicularmente à direção de vazão média de líquido 20. De modo semelhante ao contactor de gás e líquido e aos métodos descritos anteriormente, os resultados a partir das figuras 6 a 8 confirmam que este método pode ser aplicado a qualquer contactor de gás e líquido. Deve-se compreender que este contactor de gás e líquido pode ter todas as características da instalação de captura de dióxido de carbono e do contactor descrito no presente documento.

[0073] Referindo-se à figura 1, descreve-se um método de colocar um líquido em contato com um gás em movimento (ilustrado como o fluxo de vento 18). O método compreende fluir o líquido através da embalagem 12, e conduzir o gás em movimento através da embalagem 12 em uma direção de condução (ilustrada como 18B, que é igual à direção de vento 18 nesta modalidade) que é pelo menos parcialmente orientado com uma direção de fluxo ambiente 18 do gás em movimento. Na modalidade mostrada, o gás fluente é o vento, e a direção de fluxo ambiente é a direção de vento ambiente 18. Este método pode compreender, ainda, reverter a direção de condução 18B quando a direção de fluxo ambiente 18 for revertida. A reversão da direção do ventilador (ou mais geralmente, a reversão do fluxo forçado de ar através da embalagem) em tal modo que conduza o ar com uma direção de vetor que seja pelo menos parcialmente orientada com o vento ambiente 18 reduz a potência necessária do ventilador. Além

disso, isto reduz a quantidade de ar com baixo teor de CO₂ que é reciclado de volta à entrada do sistema, aperfeiçoando, assim, sua eficiência. Portanto, é vantajoso alinhar a embalagem de tal modo que uma das faces dominantes opostas 14 seja aproximadamente perpendicular ao vento predominante, com a finalidade de maximizar a eficiência dos ventiladores.

[0074] No presente documento, o fluxo de vento é compreendido como um gás em movimento contendo CO₂.

GERAÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO

[0075] O carbono que é sequestrado a partir de um gás que compreende dióxido de carbono utilizando-se os métodos descritos no presente documento pode ser igualado, por exemplo, a um crédito ambiental, tal como um crédito de carbono. Os créditos de carbono são usados para proporcionar um incentivo à redução de emissões de gases estufa igualando-se às emissões anuais totais e permitindo-se que o mercado atribua um valor monetário a uma unidade negociável. Conforme usados no presente documento, os créditos de carbono incluem créditos de carbono conforme definido por provisões no momento do preenchimento, porém, não se limitam a esses. Os créditos de carbono também se referem a qualquer tipo de moedas, ações, contratos, notas tangíveis ou intangíveis ou outra unidade negociável ou comercializável usada para calcular uma quantidade de carbono sequestrado, uma quantidade de emissões de gases estufa reduzida, ou qualquer outro tipo de atividades neutras de carbono ou negativas de carbono. Pode-se aplicar um conceito semelhante de créditos ambientais, por exemplo, para a implementação de melhores práticas relacionadas a práticas terrestres ambientais.

[0076] Os créditos de carbono podem ser obtidos, por exemplo, aplicando-se e recebendo-se um certificado para a quantidade de emissões de carbono reduzidas (por exemplo, a quantidade de

carbono sequestrado, a quantidade de CO₂ e outros gases estufa não liberados na atmosfera). A qualidade dos créditos pode se basear em parte nos processos de validação e na sofisticação das companhias de tesouro ou desenvolvimento que atuam como patrocinadoras aos projetos de carbono. Vide, por exemplo, a Publicações de Patente U.S. N^{os} 2002/0173979 e 2007/0073604 para métodos representativos de verificar e avaliar os créditos de carbono. Os créditos de carbono podem ser trocados entre negócios ou comprados e vendidos em mercados nacionais ou internacionais a um preço de mercado prevalecente. Além disso, as companhias podem vender créditos de carbono para consumidores comerciais e individuais que estejam interessados em compensar voluntariamente suas áreas afetadas de carbono. Essas companhias podem, por exemplo, adquirir os créditos a partir de um fundo de investimentos ou uma companhia de desenvolvimento de carbono que agregou os créditos a partir de projetos individuais.

[0077] O processo de aplicar para obter e/ou validar um ou mais créditos de carbono pode incluir ou não adotar as medidas atuais. Simplesmente a título de exemplo, cada transferência de créditos de carbono na Europa é validade pelo ETS, e cada transferência internacional é validada pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC).

[0078] Nas reivindicações, o termo "que compreende" é usado em seu sentido inclusivo e não exclui outros elementos estando presentes. O artigo indefinido "um" antes de um recurso de reivindicação não exclui mais de um recurso estando presente. Cada um dos recursos individuais descritos no presente documento pode ser usado em uma ou mais modalidades e não deve ser construído, apenas em virtude de ser descrito no presente documento, como essencial a todas as modalidades, conforme definido pelas reivindicações.

REIVINDICAÇÕES

1. Instalação de captura de dióxido de carbono (10) para remoção de dióxido de carbono do ar ambiente, compreendendo:

pelo menos um líquido tendo uma capacidade de absorver dióxido de carbono;

pelo menos um material de embalagem estruturado (12) definindo uma pluralidade de passagens de fluxo (42), o material de embalagem estruturado (12) posicionado para receber um fluxo de ar ambiente em uma direção de uma primeira face dominante oposta (14A) , através da pluralidade de passagens de fluxo (42), e para uma segunda face dominante (14B) oposta à primeira face dominante (14A);

pelo menos um ventilador (30) posicionado para influenciar o fluxo de ar ambiente através de pelo menos uma seção da primeira ou da segunda face dominante oposta (14) do material de embalagem estruturado (12), o ventilador (30) posicionado para circular o fluxo de ar ambiente compreendendo dióxido de carbono atmosférico através da pluralidade de passagens de fluxo (42) do material de embalagem estruturado (12); e

caracterizada pelo fato que compreende pelo menos uma bomba (26) e uma válvula de controle, em combinação, que aplica o líquido sobre o material de embalagem estruturado (12) a uma primeira taxa de vazão do líquido durante uma primeira porção de um tempo de duração, a primeira porção compreendendo um tempo de duração suficiente para substituir uma porção anterior do líquido no material de embalagem estruturado (12) com uma nova porção do líquido que possui uma maior taxa de absorção de dióxido de carbono que a porção anterior do líquido, e a bomba (26) e a válvula de controle, em combinação, aplicam o líquido sobre o material de embalagem estruturado (12) a uma segunda taxa de vazão do líquido

aplicado durante uma segunda porção do tempo de duração de modo que o líquido absorva uma porção do dióxido de carbono atmosférico a um ciclo de serviço predeterminado baseado no tempo de duração.

2. Instalação de captura de dióxido de carbono (10), de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que o material de embalagem (12) é formado como uma placa (15), e o material de embalagem (12) é orientado para direcionar a vazão do líquido através da placa (15) em uma direção de vazão média (20) que seja paralela a um plano (22) definido pelas primeira e segunda faces dominantes opostas (14).

3. Instalação de captura de dióxido de carbono (10), de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que o material de embalagem (12) é orientado para permitir que o líquido absorvente de dióxido de carbono flua através do material de embalagem (12) pela ação da força de gravidade.

4. Instalação de captura de dióxido de carbono (10), de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que o material de embalagem (12) compreende uma pluralidade de lâminas corrugadas.

5. Instalação de captura de dióxido de carbono (10), de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que as primeira e a segunda faces dominantes opostas (14) do material de embalagem (12) são verticalmente orientadas.

6. Instalação de captura de dióxido de carbono (10), de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que o material de embalagem (12) tem uma espessura, definida pela distância entre as faces dominantes opostas (14), variando de cerca de 1 metro a cerca de 3 metros.

7. Instalação de captura de dióxido de carbono (10), de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que o pelo menos um ventilador (30) é adaptado para controlar seletivamente

uma velocidade ou uma direção do ventilador (30) com base em uma direção do vento (18) incidente sobre o material de embalagem (12).

8. Instalação de captura de dióxido de carbono (10), de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que o pelo menos um ventilador (30) é proporcionado como parte de uma parede do ventilador (32) adjacente a pelo menos uma dentre a primeira e a segunda faces dominantes opostas (14) do material de embalagem (12).

9. Instalação de captura de dióxido de carbono (10), de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que compreende ainda estruturas modulares contendo o material de embalagem (12), a instalação de captura de dióxido de carbono (10) compreendendo uma pluralidade de estruturas moleculares que são conectadas umas às outras.

10. Instalação de captura de dióxido de carbono (10), de acordo com a reivindicação 6, caracterizada pelo fato de que compreende ainda estruturas modulares contendo o material de embalagem (12), em que cada estrutura modular tem dimensões de cerca de 5 metros por cerca de 5 metros por cerca de 7 metros, e as estruturas modulares são interconectadas de modo a resultar em uma instalação de captura de dióxido de carbono (10) na qual o material de embalagem (12) ocupa um espaço tendo dimensões de cerca de 200 metros por cerca de 20 metros por cerca de 3 metros.

11. Instalação de captura de dióxido de carbono (10), de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que o líquido compreende uma solução de hidróxido.

12. Instalação de captura de dióxido de carbono (10), de acordo com a reivindicação 11, caracterizada pelo fato de que a solução de hidróxido compreende uma solução de hidróxido de sódio.

13. Instalação de captura de dióxido de carbono (10), de

acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a segunda taxa de vazão é substancialmente zero.

14. Instalação de captura de dióxido de carbono (10), de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que o ciclo de serviço predeterminado está entre 1 e 50%, de modo que a primeira porção do tempo de duração está entre 1% do tempo de duração e 50% do tempo de duração.

15. Instalação de captura de dióxido de carbono (10), de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que o pelo menos um ventilador (30) é orientado para influenciar o fluxo de vento (18) através de pelo menos uma porção do material de embalagem (12) durante a segunda porção do tempo de duração.

16. Instalação de captura de dióxido de carbono (10), de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que o líquido e o material de embalagem (12) são configurados para cooperativamente alcançar uma retenção de líquido que proporciona uma taxa de captura de dióxido de carbono aumentada em relação àquela da instalação de captura de dióxido de carbono (10) operando com a bomba (26) e a válvula de controle constantemente em uma taxa de vazão igual a uma taxa de vazão média das primeiras e segundas taxas de vazão.

17. Instalação de captura de dióxido de carbono (10), de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que as primeiras e segundas porções de tempo de duração possuem valores distintos.

18. Instalação de captura de dióxido de carbono (10), de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a bomba (26) e a válvula de controle, em combinação, circulam o líquido através de um sistema de distribuição de líquido e para o material de embalagem estruturado (12).

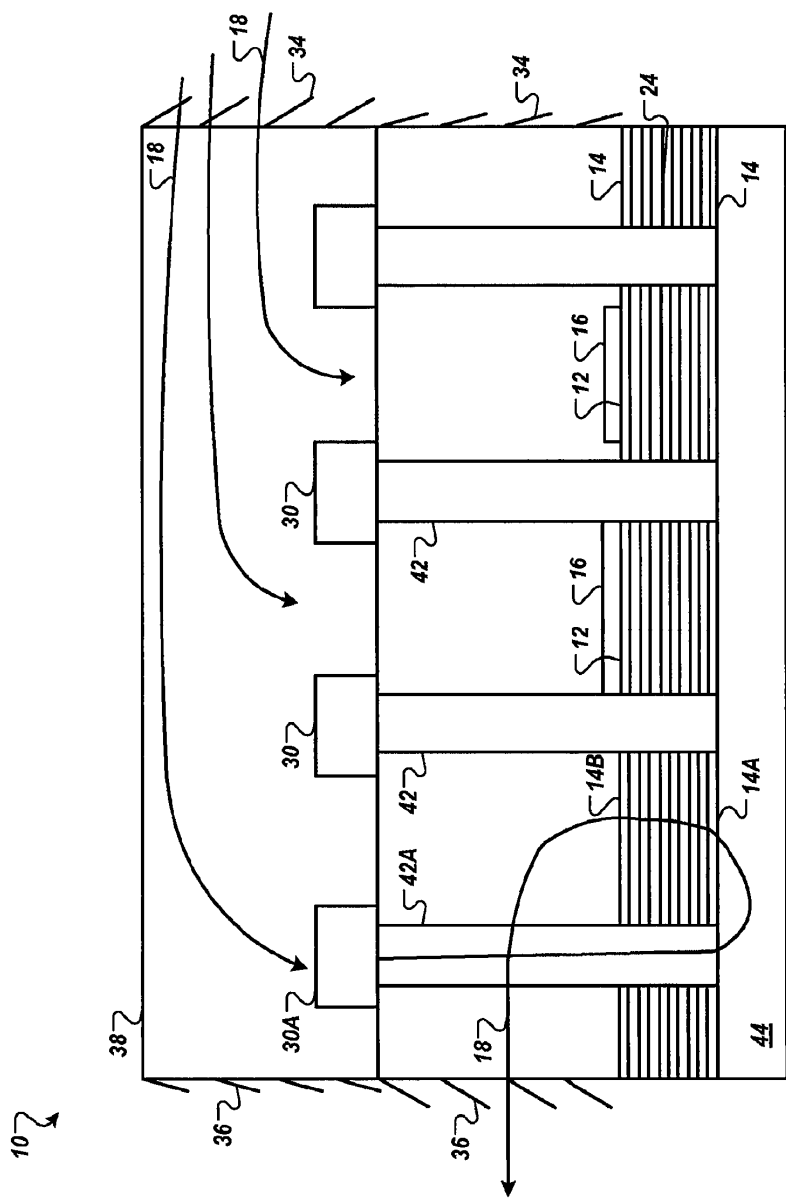


FIG. 2

3/8

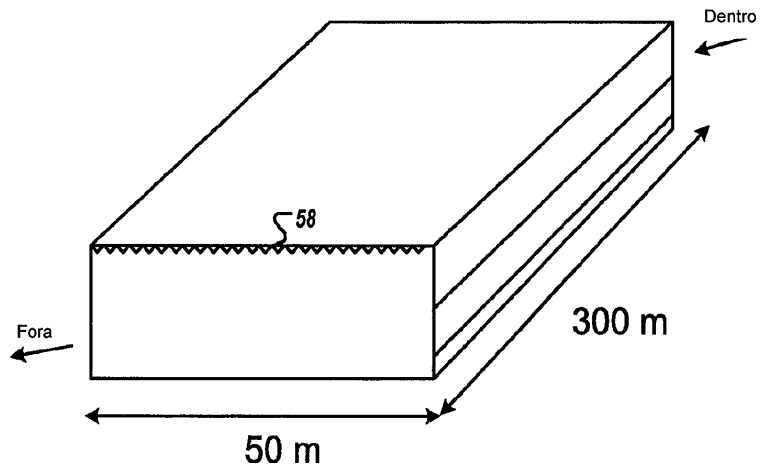


FIG. 3

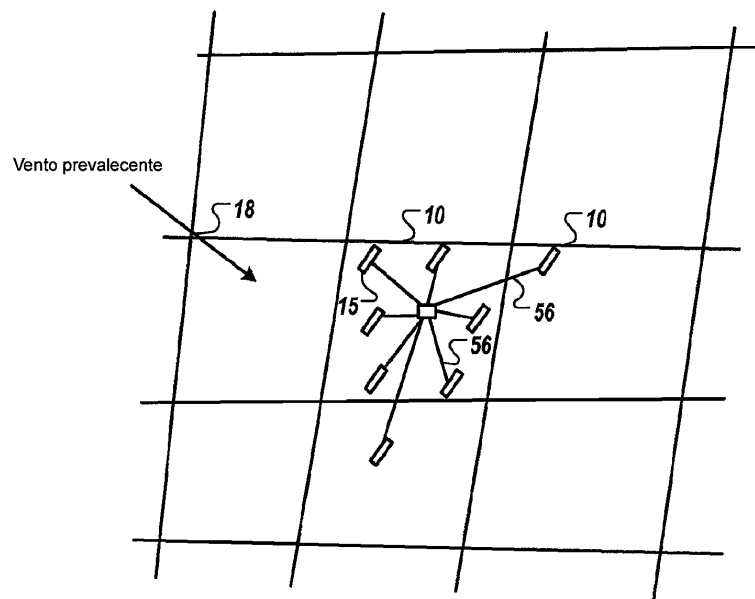


FIG. 4

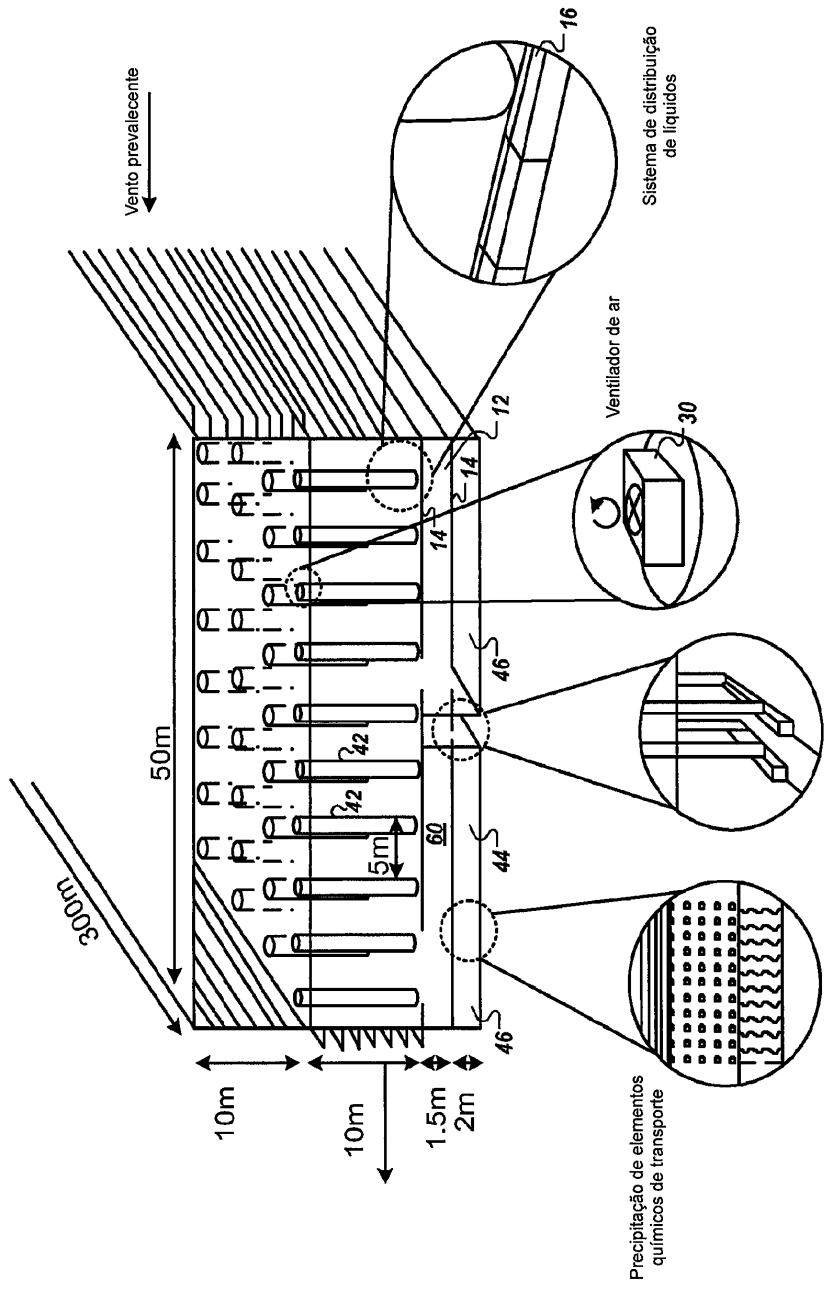


FIG. 5

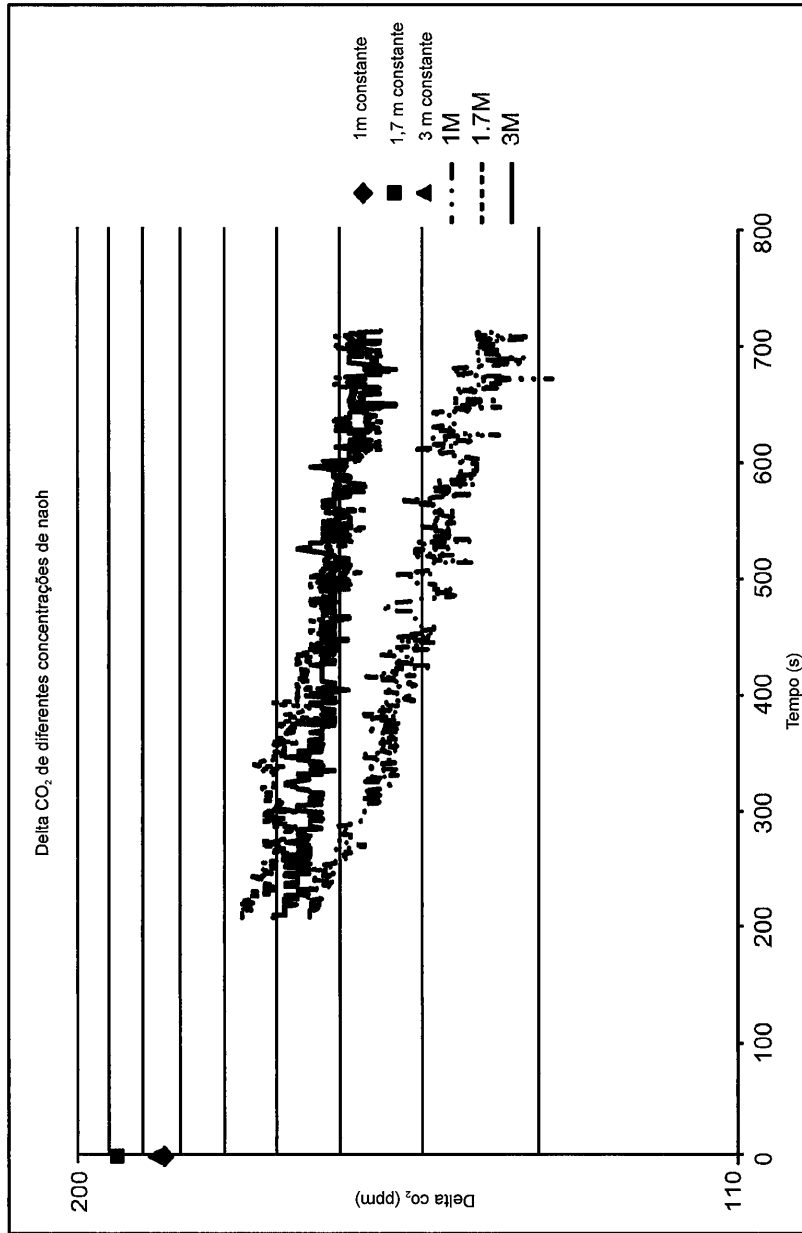


FIG. 6

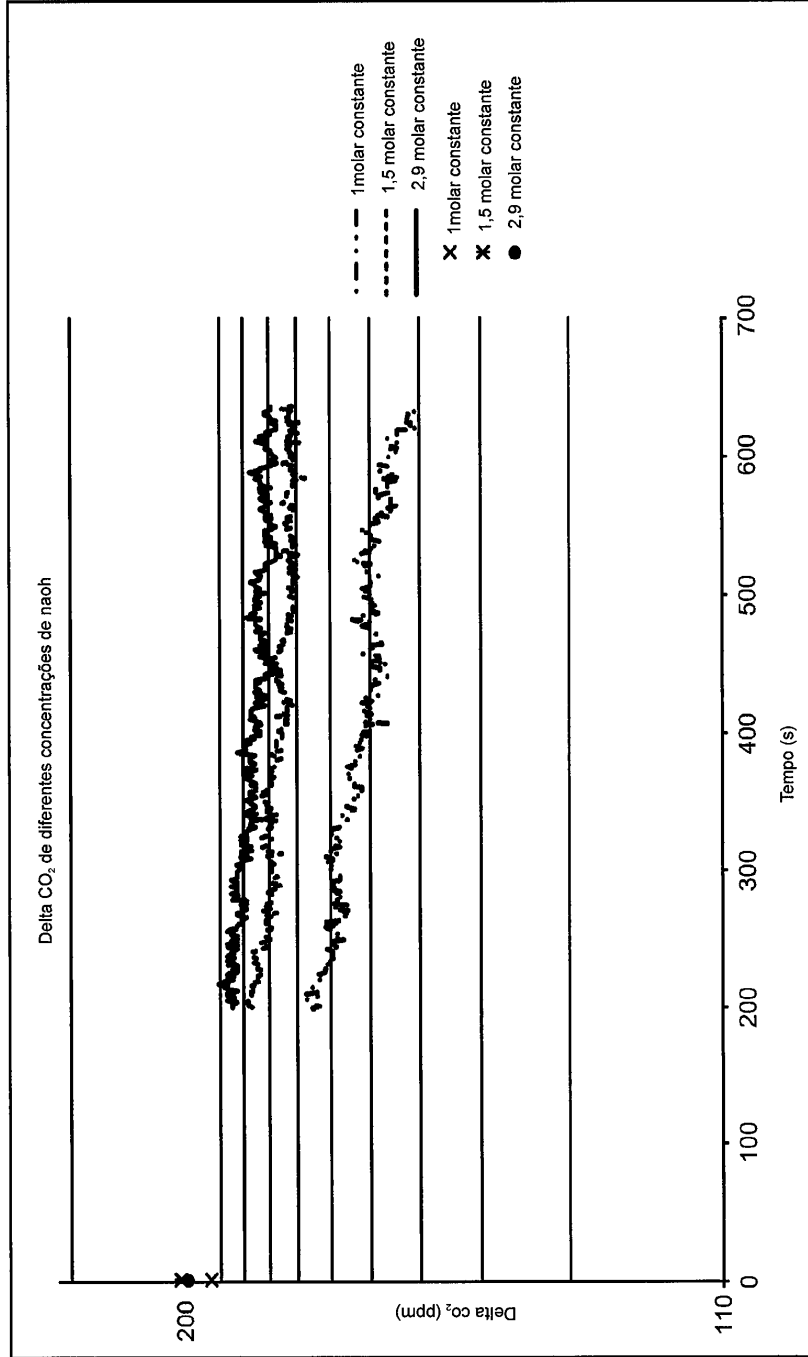


FIG. 7

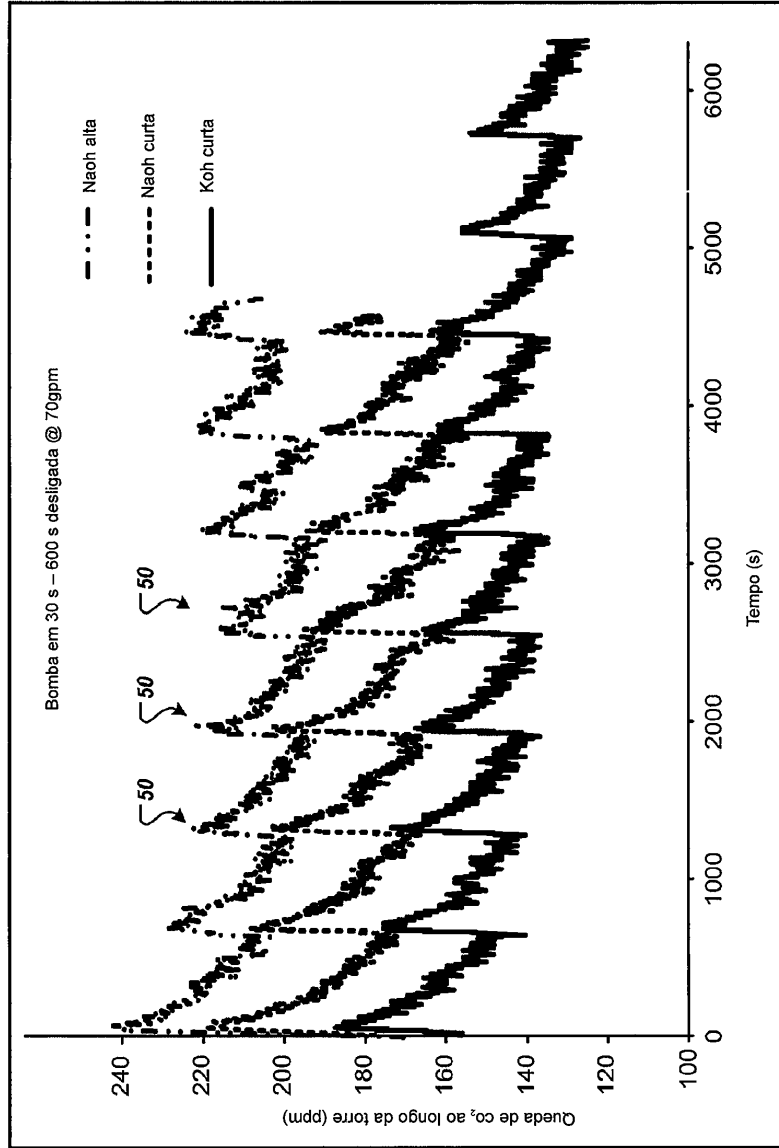


FIG. 8

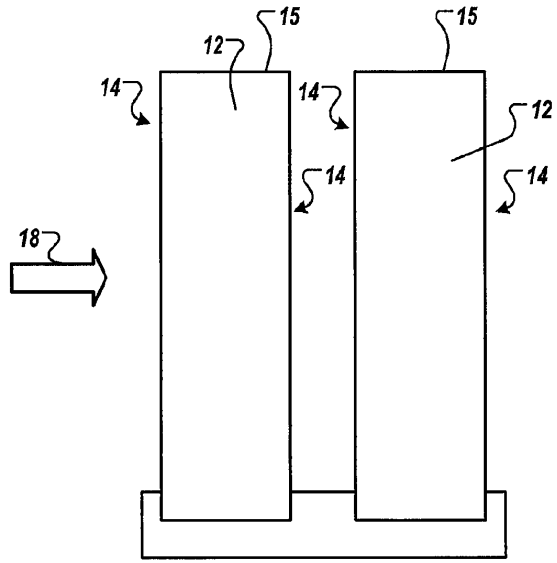


FIG. 9