



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

(21) **PI0708702-0 A2**

(22) Data de Depósito: 08/03/2007
(43) Data da Publicação: 07/06/2011
(RPI 2109)



(51) Int.Cl.:

B01D 53/62 2006.01
B01J 10/00 2006.01
C01F 11/02 2006.01
C01F 11/18 2006.01
C04B 2/00 2006.01
C04B 7/00 2006.01
C09K 3/00 2006.01

(54) Título: **MATERIAIS E PROCESSOS PARA SEQUESTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO**

(30) Prioridade Unionista: 10/03/2006 US 60/782,325

(73) Titular(es): Douglas C. Comrie

(72) Inventor(es): Douglas C. Comrie

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

(86) Pedido Internacional: PCT US2007005976 de 08/03/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2007/106372 de 20/09/2007

(57) Resumo: MATERIAIS E PROCESSOS PARA SEQUESTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO. A presente invenção refere-se a métodos e sistemas para a seqüestração e/ou redução do dióxido de carbono presente em uma corrente fluida de efluente industrial contendo dióxido de carbono. Um material de lavagem compreendendo um primeiro componente, um segundo componente (distinto do primeiro componente) e, de preferência, água é contactado com a corrente fluida de efluente. O primeiro componente compreende uma fonte de óxido de cálcio e uma fonte de ions de metais alcalinos. O segundo componente compreende uma escória com um ou mais componentes de silicato reativos. Também se apresenta métodos de redução do dióxido de carbono da exaustão gerada por fontes de combustão, fornos de cal e/ou cimento, fornos de ferro e/ou aço e outros. Também se apresentam sistemas de redução das emissões de dióxido de carbono. Também se apresentam métodos de reciclagem de subprodutos industriais.

**Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "MATERIAIS
E PROCESSOS PARA SEQÜESTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO".**

CAMPO

A presente invenção refere-se à processos de redução de emissões e, em particular, a processos que seqüestram dióxido de carbono de correntes fluidas contendo dióxido de carbono.

ANTECEDENTES

As declarações nesta seção apenas fornecem informações fundamentais relacionadas à presente invenção e não podem constituir técnica anterior.

Acredita-se que a alteração climática global (isto é, aquecimento global) seja causada por emissões antropogênicas de gases de efeito estufa. A modelagem dos efeitos do aquecimento global prediz aumentos globais de temperatura e nos níveis dos mares, deslocamentos nos padrões climáticos e eventos climáticos mais extremos, incluindo inundações e secas. Os gases de efeito estufa incluem dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, vapor d'água, ozônio e perfluorocarbonetos/clorofluorocarbonetos. Estima-se que o dióxido de carbono representou cerca de 84% das emissões de gases de efeito estufa nos Estados Unidos em 2000. A taxa de emissões de dióxido de carbono (CO₂) e outros poluentes perigosos do ar está altamente correlacionada com o crescimento tanto econômico, quanto industrial e tem aumentado significativamente desde meados do século XIX. O CO₂ é tipicamente gerado por combustão de hidrocarbonetos, combustíveis fósseis e/ou por vários processos industriais que geram o subproduto dióxido de carbono, incluindo a fabricação de cimento, cal, ferro e aço. A Agência Norte-americana de Proteção Ambiental (EPA) e o Painel Intergovernamental das Nações Unidas Para Alteração Climática (IPCC) classificam as emissões com base na combustão de combustíveis (que incluem predominantemente veículos a motor e usinas geradoras de energia) e outras fontes industriais. 97% das emissões antropogênicas de CO₂ nos Estados Unidos são atribuídos a fontes de combustão de combustíveis fósseis, como usinas geradoras de energia, incineradores e veículos a motor. Outras fontes pontuais significativas de dióxido de carbono

incluem os fabricantes de cimento, cal e ferro/aço, todos gerando quantidades copiosas de CO₂ durante o processamento, tanto como um subproduto de reação, quanto mediante queima de combustíveis hidrocarbonáceos.

Além de ser um gás de efeito estufa indesejável, o CO₂ tem o potencial de gerar questões operacionais e econômicas, pois é um diluente sem qualquer valor combustível. É um gás ácido e pode causar problemas de corrosão na presença de água, criando ácido carbônico, que pode ser muito corrosivo para algumas ligas.

Mediante tratados internacionais, como o Protocolo de Kyoto, inúmeras nações se comprometeram a reduzir as emissões de vários gases de efeito estufa, incluindo o CO₂. Os Estados Unidos tem tradicionalmente prestado grande atenção no desenvolvimento de equipamentos para reduzir eficazmente as emissões de poluentes do ar regulamentados, como matéria em partículas, óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio. Entretanto, o desenvolvimento de tecnologia de redução para emissões não regulamentadas de CO₂ ficou defasada com relação a outras tecnologias de controle. Entretanto, como várias ações implementam regulamentos e programas de troca que restringem a geração de vários gases de efeito estufa, em particular CO₂, há uma necessidade emergente de tecnologias mais eficazes e baratas de redução de CO₂.

Os métodos existentes para a remoção de CO₂ de correntes gasosas incluem absorção/adsorção química com sistemas solventes particulares (lavagem com amina), separação por membrana, fracionamento criogênico e/ou adsorção usando crivos moleculares. Em sistemas descartáveis, o(s) material(ais) ativo(s) fará(ão) uma única passagem através do reator/lavador e será(ão), então, descartado(s). Sistemas de uso único são menos desejáveis devido às despesas e manutenção adicionais associadas ao descarte de grandes quantidades de material ativo gasto. Sistemas regenerativos são projetados para regenerar o material ativo, tornando-o adequado para subseqüentes passagens produtivas através do reator. Crivos moleculares, como zeolitas e carbono ativado, são usados em sistemas regenerativos de adsorção por oscilação de pressão (PSA) ou de adsorção por oscila-

ção de temperatura, que separam misturas gasosas por adsorção seletiva de um ou mais dos gases a alta pressão e/ou baixa temperatura, para remover os componentes indesejáveis de uma corrente gasosa. As impurezas capturadas são, então, dessorvidas por redução da pressão ou aumento da temperatura do sistema adsorvente (portanto, o sistema "oscila" de uma alta para uma baixa pressão ou de uma baixa para uma alta temperatura). A etapa de dessorção regenera o material adsorvente para reutilização durante a etapa de adsorção subsequente. Sistemas PSA tipicamente compreendem vários leitos de adsorção, através dos quais passa a corrente gasosa, permitindo a separação das espécies gasosas selecionadas. Cada um dos processos acima tem desvantagens, incluindo elevados investimentos de capital e custos operacionais, assim como uma capacidade de produção relativamente baixa e baixa eficiência de remoção em alguns casos. Esses sistemas são potencialmente proibitivos em termos de custo para várias aplicações, em particular para instalações de fabricação de alta produção que geram grandes quantidades de dióxido de carbono e outras emissões.

Assim, há necessidade de processos que reduzam as emissões de CO₂ de gases de exaustão de fontes estacionárias de maneira eficiente e, além disso, sejam eficazes em termos de custo. Além do mais, o equipamento de redução das emissões de CO₂ pode preferencialmente lidar com as altas taxas de fluxo associadas a aplicações industriais, conseguindo, ao mesmo tempo, eficiências de remoção desejáveis. De preferência, esses processos de redução são regenerativos e empregam reciclagem para incorporar iniciativas de desenvolvimento sustentável.

SUMÁRIO

Em vários aspectos, a presente invenção apresenta métodos para a seqüestração de dióxido de carbono como um poluente presente em uma corrente fluida de efluente industrial contendo dióxido de carbono. Em um aspecto, o método compreende a redução da quantidade de dióxido de carbono na corrente fluida por contato da corrente com um material de lavagem. O material de lavagem compreende um primeiro componente e um segundo componente. Em certos aspectos, a reação é conduzida na pre-

sença de água (por exemplo, em formas de suspensão ou semi-secas). O primeiro componente é distinto do segundo componente. Além disso, o primeiro componente compreende uma fonte de óxido de cálcio e uma fonte de íons de metais alcalinos, e o segundo componente compreende uma escória com um ou mais compostos de silicato reativos.

Em certas modalidades, o primeiro componente compreende um material selecionado do grupo que consiste em: poeira de forno de cimento (CKD), poeira de forno de cal (LKD), cal de beterraba, poeira de clínquer, cal extinta, cal viva e suas misturas. Em algumas modalidades, o segundo componente compreende um material selecionado do grupo que consiste em escória de alto-forno, escória de aço e suas misturas. Exemplos de material de escória adequado incluem: escória de alto-forno resfriada a ar, escória de alto-forno granulada, escória de alto-forno granulada triturada, escória de alto-forno expandida e/ou peletizada, escória de aço de oxigênio básico, escória de aço de forno Siemens-Martin, escória de aço de forno de arco elétrico e quaisquer de suas misturas. O segundo componente pode opcionalmente compreender uma escória de aço inoxidável derivada de um forno que fabrica e/ou processa aço inoxidável. Em certas modalidades, o primeiro componente compreende poeira de forno de cimento (CKD), e o segundo componente compreende uma escória de aço inoxidável. Em vários aspectos, os métodos produzem um produto compreendendo carbonato de cálcio e material de lavagem gasto. Em certas modalidades, o produto de carbonato de cálcio é reciclado como uma matéria-prima em um processo industrial. Um exemplo dessa reciclagem é o uso do produto de carbonato de cálcio como uma matéria-prima para fabricação de cimento ou fabricação de cal. O produto de carbonato de cálcio pode ser opcionalmente usado como um material fundente no processamento de ferro e/ou aço.

Em vários aspectos, uma suspensão de material de seqüestração de dióxido de carbono é fornecida para lavagem de dióxido de carbono de uma corrente fluida contendo dióxido de carbono. A suspensão compreende um primeiro componente, um segundo componente e água. O primeiro componente compreende um ou mais materiais selecionados do grupo que

consiste em: poeira de forno de cimento, poeira de forno de cal, cal de beterraba, poeira de clínquer, cal viva, cal extinta e suas misturas. O segundo componente compreende uma escória com uma fonte de silicatos reativos. A suspensão compreende partículas com um tamanho de partícula máximo médio de menos de ou igual a cerca de 500 μm e uma área de superfície média de mais de ou igual a cerca de 1.000 cm^2/g .

Em ainda outras modalidades, um material de seqüestração de dióxido de carbono é fornecido na forma de uma suspensão para lavagem de dióxido de carbono de uma corrente fluida contendo dióxido de carbono. A suspensão compreende um primeiro componente compreendendo poeira de forno de cimento (CKD) e um segundo componente compreendendo uma escória com uma fonte de silicatos reativos. A suspensão também compreende água. A suspensão compreende partículas com um tamanho de partícula máximo médio de menos de ou igual a cerca de 500 μm e uma área de superfície média de mais de ou igual a cerca de 1.000 cm^2/g .

Em outro aspecto, a invenção apresenta um sistema de redução de emissões de dióxido de carbono. O sistema compreende uma câmara de reação. A câmara de reação tem uma entrada de fluido, uma entrada de suspensão, uma zona de misturação, uma saída de fluido e uma saída de suspensão. Uma corrente efluente contendo dióxido de carbono está em comunicação de fluido com a câmara de reação e é introduzida na câmara de reação pela entrada de fluido. Além disso, uma fonte de suspensão está em comunicação de fluido com a câmara de reação. Uma suspensão da fonte de suspensão é introduzida na câmara de reação pela entrada de suspensão. Além disso, a zona de misturação proporciona uma misturação turbulenta da suspensão com a corrente efluente. A câmara de reação tem um volume que proporciona um tempo de residência suficiente para tratar a corrente efluente para reduzir a quantidade de dióxido de carbono em pelo menos cerca de 30%. A suspensão compreende um primeiro componente compreendendo uma fonte de óxido de cálcio e uma fonte de íons de metais alcalinos, um segundo componente compreendendo uma escória com uma fonte de silicatos reativos e água. Uma suspensão gasta e/ou um produto de

carbonato de cálcio é removido da câmara de reação pela saída de suspensão.

Em outras modalidades, apresenta-se um método de reciclagem de subprodutos industriais. Um material de lavagem de dióxido de carbono é formado por misturação de um primeiro componente fabricado com um segundo componente fabricado. O primeiro componente compreende uma fonte de óxido de cálcio e uma fonte de íons de metais alcalinos. O segundo componente compreende uma escória com um ou mais componentes de silicato reativos. Uma corrente efluente gerada em um processo industrial compreendendo dióxido de carbono é, então, contactada com o material de lavagem. Gera-se um produto compreendendo carbonato de cálcio que é capaz de reutilização benéfica, como em um processo industrial. Em certas modalidades, depois do contato e depois da geração, o material de lavagem está gasto, e pelo menos uma parte do material de lavagem gasto é misturada com primeiro componente fabricado fresco e segundo componente fabricado fresco.

Em vários outros aspectos, a invenção apresenta métodos de redução das emissões de dióxido de carbono de correntes efluentes geradas por fontes de combustão estacionárias (por exemplo, caldeiras, incineradores), fornos de cimento, fornos de cal, fornos de ferro e fornos de aço. Dessa maneira, vários aspectos da invenção apresentam meios eficazes para remover emissões de dióxido de carbono, controlando, dessa forma, emissões de gases de efeito estufa, também reciclando, ao mesmo tempo, pelo menos um subproduto industrial e, de preferência, múltiplos materiais de subproduto, para formar um produto utilizável.

Áreas adicionais de aplicabilidades ficarão claras com a descrição aqui apresentada. Deve-se entender que a descrição e os exemplos específicos se destinam a apenas a fins de ilustração e não pretendem limitar o âmbito da presente invenção.

30 DESENHOS

Os desenhos aqui descritos são apenas para fins de ilustração e não se destinam a limitar o âmbito da presente invenção de forma alguma.

A Figura 1 é um fluxograma de processo exemplificativo para um sistema de seqüestração de dióxido de carbono de acordo com certas modalidades da invenção;

5 A Figura 2 é uma ilustração esquemática de uma modalidade da presente invenção mostrando um sistema de redução de emissões de dióxido de carbono com um reator de torre de lavagem;

A Figura 3 é um fluxograma de processo para certas modalidades da invenção mostrando um sistema de remoção de dióxido de carbono, em que uma corrente efluente tratada que sai de um dispositivo de remoção
10 de dióxido de carbono é adicionalmente tratada com um dispositivo de controle da poluição do ar para remover um ou mais poluentes adicionais além de dióxido de carbono; e

A Figura 4 é um fluxograma de processo para certas outras modalidades da invenção mostrando um sistema de remoção de dióxido de carbono, em que uma corrente efluente é pré-tratada por um dispositivo de
15 controle da poluição do ar para remover um ou mais poluentes antes de entrar em um dispositivo de remoção de dióxido de carbono.

DESCRIÇÃO DETALHADA

A descrição a seguir é de natureza apenas exmeplificativas e
20 não pretende limitar a presente invenção, aplicação ou usos. Deve-se entender que, em todos os desenhos, números de referência correspondentes indicam partes e características iguais ou correspondentes.

Em vários aspectos, os ensinamentos da invenção apresentam um processo para redução da quantidade de dióxido de carbono gasoso
25 presente em uma corrente fluida por seqüestração ou lavagem do dióxido de carbono da fase gasosa da corrente fluida. Em certas modalidades, a corrente fluida compreende um gás e/ou vapor, mas também tem sólidos e/ou líquidos carregados, como partículas, gotículas líquidas e/ou aerossóis carregados. Em várias modalidades, a corrente fluida é uma corrente efluente ou
30 uma corrente de exaustão gerada em um processo industrial. A corrente fluida é contatada com um material de lavagem ou seqüestração de dióxido de carbono para remover dióxido de carbono. Após contato com o material de

lavagem, a quantidade de dióxido de carbono presente na corrente fluida é reduzida. Em certas modalidades, o dióxido de carbono reage com o material de lavagem para formar um produto útil que será descrito em maiores detalhes abaixo.

5 Em vários aspectos, o material de lavagem compreende um primeiro componente, um segundo componente e água. O primeiro componente é distinto do segundo componente. Em várias modalidades, o primeiro componente compreende uma fonte de óxido de cálcio e uma fonte de íons de metais alcalinos. O segundo componente compreende uma escória com
10 um ou mais componentes de silicato reativos. O material de lavagem reage com dióxido de carbono para formar um produto compreendendo carbonato de cálcio e material de lavagem gasto.

 Em várias modalidades, o primeiro componente do material de lavagem compreende óxido de cálcio (CaO). Além disso, é preferível que o
15 primeiro componente também compreenda uma fonte de íons de metais alcalinos, como íons sódio e/ou potássio, por exemplo. Em certas modalidades, o primeiro componente compreende um material que é gerado ou fabricado em um processo industrial. Conforme será descrito em maiores detalhes abaixo, algumas modalidades empregam uma reutilização benéfica de
20 materiais gastos, que, de outra forma, seriam descartados, armazenados ou lançados em aterros. Entretanto, várias fontes adequadas de óxido de cálcio e íons de metais alcalinos podem ser materiais de ocorrência natural, como minerais, ou podem ser produtos comerciais fabricados. Em vários aspectos, o primeiro componente compreende um material selecionado do grupo que
25 consiste em poeira de forno de cimento, poeira de forno de cal, cal de beterraba, poeira de clínquer, cal extinta, cal viva e quaisquer de suas misturas. Essas misturas englobam qualquer combinação de dois ou mais componentes. Em certas modalidades, o primeiro componente compreende um material selecionado do grupo que consiste em poeira de forno de cimento, poeira de
30 forno de cal, cal de beterraba e suas misturas. Em outras modalidades, o primeiro componente compreende poeira de forno de cal. Em certas modalidades, o primeiro componente compreende poeira de forno de cimento. Es-

ses materiais não-limitativos são fontes adequadas de óxido de cálcio e íons de metais alcalinos para uso nos materiais de lavagem. O primeiro componente pode compreender outras fontes de óxido de cálcio e íons de metais alcalinos, incluindo, a título de exemplo, lama de instalações de tratamento de águas servidas, lama de polpa e papel, subprodutos da fabricação de carboneto de cálcio e outros materiais que forneçam óxido de cálcio e íons de metais alcalinos, conforme conhecidos por aqueles versados na técnica.

Conforme apreciado por aqueles versados na técnica, muitas das fontes de óxido de cálcio e íons de metais alcalinos podem ter composições variadas, dependendo do processo particular em que são preparadas; as composições específicas de matérias-primas e combustíveis que são empregados na fabricação da fonte; as condições e duração de armazenamento ou guarda do material; assim como vários outros fatores.

Com relação a isso, em algumas modalidades, o primeiro componente compreende, de preferência, um ou mais ingredientes ativos selecionados do grupo que consiste em: CaO , K_2O , Na_2O e suas misturas. Em certas modalidades, o primeiro componente compreende um ou mais ingredientes ativos selecionados do grupo que consiste em: CaO , Na_2O , K_2O e suas misturas, em que a quantidade total dos ingredientes ativos presentes no material de lavagem é de cerca de 30% a cerca de 60% em peso. O primeiro componente compreende opcionalmente compostos ativos adicionais além do óxido de cálcio e óxidos alcalinos, e esses ingredientes ativos não se restringem aos acima citados.

Em certos aspectos, o primeiro componente compreende óxido de cálcio (CaO) em mais de ou igual a cerca de 30% em peso. Conforme aqui usado, todas as porcentagens estão com base no peso, a menos que indicado de outra forma. Deve-se notar que as composições químicas dos vários materiais aqui descritos são expressas em termos de óxidos simples, calculadas a partir de análise elementar, tipicamente determinada por técnicas de fluorescência de raios X. Embora os vários óxidos simples possam estar e freqüentemente estejam presentes em compostos mais complexos no material, a análise do óxido é um método útil para expressar a concentra-

dos de compostos de interesse nas respectivas composições.

Em algumas modalidades, o primeiro componente compreende cal livre (CaO livre) em mais de ou igual a cerca de 3% em peso. "Cal livre" refere-se ao óxido de cálcio livre (CaO livre) prontamente disponível em um material para reação de hidratação com água. Cal não extinta, também chamada de cal viva, contém uma alta concentração de cal desidratada (livre) ou óxido de cálcio (CaO) que pode sofrer reação com água, isto é, extinção. Em contraste, uma cal extinta ou hidratada já foi reagida com água para formar Ca(OH)_2 . O teor de cal livre é frequentemente usado como um indicador da reatividade de materiais contendo óxido de cálcio. Em certas modalidades da invenção, a cal livre pode ser de cerca de 5% ou mesmo mais.

Em algumas modalidades, o primeiro componente compreende, de preferência, uma quantidade de fonte de íons alcalinos na forma de óxido de sódio (Na_2O) e/ou óxido de potássio (K_2O) em mais de ou igual a cerca de 1% em peso. Deve-se notar que alguns íons de metais alcalinos formam complexos com vários ânions complexos, como sulfatos, entretanto, uma análise típica do teor alcalino expressa os óxidos de metais alcalinos e sulfatos individualmente. Em certas modalidades, a quantidade de fonte de íons alcalinos na forma de óxido de sódio (Na_2O) e/ou óxido de potássio (K_2O) é maior que ou igual a cerca de 3% em peso; opcionalmente maior que ou igual a cerca de 4% em peso. O teor alcalino de vários materiais pozzolânicos e/ou cimentícios também pode ser expresso como um equivalente de sódio (Na_2O_e) que leva em consideração a presença tanto de Na_2O , quanto K_2O calculados pela equação:

$$z = x + (0,658 \cdot y) \quad (\text{EQN. 1})$$

em que z é o equivalente de sódio Na_2O_e , x é a porcentagem em peso de Na_2O presente na composição, e y é a porcentagem em peso de K_2O presente na composição. Esses equivalentes de sódio Na_2O_e podem variar de mais de 0,01%, a maior que ou igual a cerca de 1% em peso, opcionalmente maior que ou igual a cerca de 2% em peso, opcionalmente maior que ou igual a cerca de 3% em peso e em algumas modalidades, maior que ou igual

a cerca de 5% em peso.

Conforme será discutido em maiores detalhes abaixo, os íons de metais alcalinos promovem condições de reação desejáveis para o material de lavagem, como proporcionar um alto pH, que se acredita que proporcione uma taxa de reação mais rápida e favoreça a formação de produtos preferidos na reação do material de lavagem com dióxido de carbono.

Em certas modalidades, o primeiro componente tem uma composição conforme apresentada na Tabela I, excluindo-se impurezas e diluentes.

10 Tabela I

Óxido	Peso Aproximado %
Óxido de cálcio (CaO)	30 - 45
Sílica (SiO ₂)	10 - 20
Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)	2 - 7
Óxido de ferro (Fe ₂ O ₃)	1 - 3
Óxido de magnésio (MgO)	0,5 - 3
Sulfato (SO ₃)	1 - 15
Óxido de sódio (Na ₂ O)	0,1 - 1
Óxido de potássio (K ₂ O)	0,1 - 15

Em algumas modalidades, o primeiro componente compreende, de preferência, poeira de forno de cimento (CKD), que se refere genericamente a um subproduto gerado em um forno de cimento ou equipamento de processamento relacionado durante a fabricação de cimento portland. O cimento portland pode ser fabricado em um forno de processo a úmido ou seco. Embora os processos a úmido e seco sejam diferentes, ambos os processos aquecem a matéria-prima em estágios. Matérias-primas de fabricação de cimento compreendem fontes de cálcio, sílica, ferro e alumina e normalmente incluem calcário, assim como vários outros materiais, como argila, areia e/ou cascalho, por exemplo.

O primeiro estágio da fabricação de cimento é um estágio de pré-aquecimento que expulsa qualquer umidade das matérias-primas, remove a água de hidratação e eleva a temperatura do material até aproximada-

mente 800°C (aproximadamente 1,500°F). O segundo estágio é o estágio de calcinação, que em geral ocorre entre cerca de 800°C e 1.100°C (aproximadamente 1,500°F e 2.000°F), em que o calcário (CaCO_3) é convertido em cal (CaO) por expulsão do dióxido de carbono (CO_2) em uma reação de calcinação. As matérias-primas são, então, aquecidas a uma temperatura máxima entre cerca de 1.400°C e 1.650°C (aproximadamente 2,500°F e 3.000°F) na zona de queima, onde substancialmente derretem e se fundem, formando, assim, compostos inorgânicos, como silicato de tricálcio, silicato de dicálcio, aluminato de tricálcio e aluminoferrita de tetracálcio. Uma análise típica de produtos de cimento portland mostra que contêm aproximadamente 65 - 70% de CaO , 20% de SiO_2 , 5% de Al_2O_3 , 4% de Fe_2O_3 , com menores quantidades de outros compostos, como óxidos de magnésio, enxofre, potássio, sódio e outros. A matéria-prima derretida é resfriada para solidificar como um produto intermediário em pequenos grumos, conhecidos como "clínquer", que é subsequentelemente removido do forno. O clínquer é, então, finamente triturado e misturado com outros aditivos (como retardador do endurecimento, gesso), para formar cimento portland, que pode ser, então, misturado com agregados e água para formar concreto.

Genericamente, CKD compreende uma combinação de diferentes partículas geradas em diferentes áreas do forno, equipamento de pré-tratamento e/ou sistemas de manipulação de material, incluindo, por exemplo, poeira de clínquer, poeira de material parcial ou completamente calcinado e poeira matéria-prima (hidratada e desidratada). Conforme percebido por aqueles versados na técnica, a composição da CKD varia com base nas matérias-primas e combustíveis usados, condições de fabricação e processamento e localização de pontos de coleta de CKD no processo de fabricação de cimento. CKD pode incluir poeira ou matéria em partículas coletada das correntes efluentes do forno (isto é, exaustão), efluente de resfriador de clínquer, efluente de pré-calcinador, dispositivos de controle da poluição do ar e outros. Poeira de resfriador de clínquer se refere à poeira coletada nas áreas de resfriamento de clínquer do forno e tem tipicamente uma composição química que é muito similar ao cimento portland.

Embora composições de CKD variem em diferentes fornos, CKD normalmente tem pelo menos algumas propriedades cimentíceas e/ou pozzolânicas, devido à presença da poeira de clínquer e materiais calcinados. Composições típicas de CKD compreendem compostos contendo silício, como silicatos, incluindo silicato de tricálcio, silicato de dicálcio; compostos contendo alumínio, como aluminatos, incluindo aluminato de tricálcio; e compostos contendo ferro, como ferritas, incluindo aluminoferrita de tetracálcio. CKD em geral compreende quantidades relativamente elevadas de óxido de cálcio (CaO). Composições de CKD exemplificativas compreendem

5 como silicatos, incluindo silicato de tricálcio, silicato de dicálcio; compostos contendo alumínio, como aluminatos, incluindo aluminato de tricálcio; e compostos contendo ferro, como ferritas, incluindo aluminoferrita de tetracálcio. CKD em geral compreende quantidades relativamente elevadas de óxido de cálcio (CaO). Composições de CKD exemplificativas compreendem

10 óxido de cálcio em cerca de 10 a cerca de 60% em peso, opcionalmente cerca de 25 a cerca de 50% em peso e, opcionalmente, cerca de 30 a cerca de 55% em peso. Em algumas modalidades, CKD compreende uma concentração de cal livre de cerca de 1 a cerca de 10%, opcionalmente de cerca de 1 a cerca de 5% e, em algumas modalidades, cerca de 3 a cerca de 5%. Além disso, CKD tipicamente compreende íons dos metais alcalinos sódio e

15 potássio, respectivamente em cerca de 0,1 a cerca de 10% em peso e opcionalmente cerca de 0,2 a cerca de 5% em peso. CKD pode compreender íons de metais alcalinos adicionais, íons de metais alcalino-terrosos e enxofre, entre outros. CKD também compreende tipicamente sílica (SiO₂) em cerca de 10 a cerca de 20% em peso, alumina (Al₂O₃) em cerca de 2 a cerca de 7% em peso e óxido de ferro (Fe₂O₃) em cerca de 1 a cerca de 3% em peso.

20 óxido de ferro (Fe₂O₃) em cerca de 1 a cerca de 3% em peso.

Poeiras de CKD exemplificativas têm faixas de densidade relativa de cerca de 2,6 a 2,8, um tamanho de partícula máximo de cerca de 0,30 mm (300 µm) e fineza Blaine (área de superfície específica) variando de cerca de 4.600 a cerca de 14.000 cm²/g.

25 área de superfície específica) variando de cerca de 4.600 a cerca de 14.000 cm²/g.

Em certas modalidades, o primeiro componente do material de lavagem da invenção compreende cal (isto é, cal viva) ou poeira de forno de cal (LKD). LKD é um subproduto da fabricação de lime. LKD é uma poeira ou matéria em partículas coletada de um forno de cal ou equipamento de processamento associado. A cal fabricada pode ser classificada como cal de

30 cal fabricada pode ser classificada como cal de alto cálcio ou cal dolomítica, e LKD varia com base nos processos que a forma. A cal é freqüentemente produzida por uma reação de calcinação con-

duzida por aquecimento de matéria-prima calcítica, como carbonato de cálcio (CaCO_3), para formar cal livre CaO e dióxido de carbono (CO_2). Cal de alto cálcio tem uma alta concentração de óxido de cálcio e tipicamente algumas impurezas, incluindo compostos contendo alumínio e contendo ferro.

- 5 Cal de alto cálcio é tipicamente formada a partir de carbonato de cálcio de alta pureza (cerca de 95% de pureza ou mais). O teor típico de óxido de cálcio em um produto de LKD derivado do processamento de cal de alto cálcio é similar à concentração de óxido de cálcio no próprio produto de cal e pode ser maior que ou igual a cerca de 75% em peso, opcionalmente maior que
- 10 ou igual a cerca de 85% em peso e, em alguns casos, maior que ou igual a cerca de 90% em peso. Em algumas fabricações de cal, dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) é decomposta por aquecimento para gerar principalmente óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO), formando, assim, o que é conhecido como cal dolomítica. Na cal ou LKD gerada por processamento
- 15 de cal dolomítica, o óxido de cálcio pode estar presente em mais de ou igual a cerca de 45% em peso, opcionalmente maior que ou igual a cerca de 50% em peso e, em certas modalidades, maior que ou igual a cerca de 55% em peso. Embora tanto a cal, quanto LKD variem com base no tipo de processamento de cal empregado, em geral têm concentrações relativamente altas
- 20 de cal livre. Quantidades típicas de cal livre nesses produtos de cal ou LKD são de cerca de 10 a cerca de 50%, opcionalmente cerca de 20 a cerca de 40%.

Além disso, produtos de LKD e cal tipicamente compreendem íons dos metais alcalinos sódio e potássio nas respectivas quantidades de

25 cerca de 0,01 a cerca de 1% em peso e opcionalmente cerca de 0,03 a cerca de 0,25% em peso. Cal e/ou LKD pode compreender íons de metais alcalinos adicionais, íons de metais alcalino-terrosos (como o MgO acima descrito) e enxofre, entre outros. LKD também compreende sílica (SiO_2) em cerca de 1 a cerca de 10% em peso, alumina (Al_2O_3) em cerca de 0,1 a cerca de

30 5% em peso e óxido de ferro (Fe_2O_3) em cerca de 0,5 a cerca de 2% em peso. LKDs exemplificativas têm uma densidade relativa variando de cerca de 2,6 a 3,0, um tamanho de partícula máximo de cerca de 2 mm (2.000 μm) e

fineza Blaine (área de superfície específica) variando de cerca de 1.300 a cerca de 10.000 cm²/g.

Outro material exemplificativo para uso como um primeiro componente do material de lavagem da presente invenção é um subproduto de cal de refino de açúcar. Cal é usada na produção de açúcar derivado de cana-de-açúcar, beterrabas, seiva de bordo e sorgo. Por exemplo, cana-de-açúcar e beterrabas são colhidas e processadas com água para formar um suco bruto, que tem um baixo pH e contém impurezas dissolvidas. O suco de açúcar contém, portanto, sacarose, polpa, vários não-açúcares, por exemplo, sais orgânicos e inorgânicos, aminoácidos, corantes e substâncias de alto peso molecular, como proteínas e pectina. Cal hidratada é adicionada ao suco para elevar o pH e para reagir com as impurezas para formar compostos orgânicos insolúveis de cálcio que podem ser removidos. Em um método de purificação de açúcar convencional, adicionam-se cal (CaO) e dióxido de carbono (CO₂), o que resulta na formação de um precipitado (lama) consistindo em carbonato de cálcio e parte dos componentes não-açúcar acima mencionados. A lama com a água removida compreende óxido de cálcio (CaO), normalmente na forma hidratada (Ca(OH)₂). O suco de açúcar pode ser adicionalmente refinado sucessivamente dessa maneira. Beterrabas tendem a requerer a maior quantidade de refino com cal, e o subproduto de lama é geralmente chamado de "cal de beterraba." Entretanto, o uso do termo "cal de beterraba" é apenas representativos da classe de subprodutos de cal do processamento de açúcar que são adequados para uso nos materiais de lavagem da invenção.

Na cal de beterraba, o óxido de cálcio pode estar presente em mais de ou igual a cerca de 25% em peso, opcionalmente maior que ou igual a cerca de 30% em peso e, em certas modalidades, maior que ou igual a cerca de 40% em peso. A cal de beterraba também compreende tipicamente íons de metais alcalinos, como sódio e potássio, respectivamente presentes em cerca de 0,01% em peso ou mais; opcionalmente maior que ou igual a cerca de 0,05% em peso, opcionalmente maior que ou igual a cerca de 0,1% em peso e, em algumas modalidades, maior que ou igual a cerca de 1% em

peso da composição.

Assim, o primeiro componente do material de lavagem pode compreender qualquer fonte adequada de óxido de cálcio e íons de metais alcalinos. O primeiro componente pode compreender opcionalmente um único material adequado ou misturas de materiais adequados que forneçam

5 óxido de cálcio e íons de metais alcalinos nas concentrações desejadas.

Materiais de escória são subprodutos industriais da fabricação de metais. Em várias modalidades, o segundo componente do material de lavagem compreende um material de escória que fornece um silicato reativo.

10 Silicatos estão tipicamente em forma tetraédrica, que pode estar unida em cadeias, cadeias duplas, folhas, redes tridimensionais e outras formas de polimerização ("geo-polímero"). Um silicato compreende átomos de silício e oxigênio com um ou mais metais e/ou hidrogênio. Genericamente, o silício e oxigênio estão na forma de Si_xO_y , em que x é genericamente 1 ou 2, e y pode variar de 2 a 7 (isto é, SiO_2 , SiO_3 , SiO_4 e Si_2O_7). Embora muitos silicatos sejam insolúveis ou estáveis em água, acredita-se que condições básicas e temperaturas aumentadas facilitem uma maior solubilidade e/ou reatividade de certos compostos de silicato na presença de água. A solubilidade em água e/ou reatividade do composto de silicato na presença de água depende

15 de inúmeros fatores, incluindo os cátions com os quais o ânion silicato foram complexos (por exemplo, elementos de íons metálicos alcalinos do Grupo IA e NH_4^+ tendem a formar silicatos solúveis em água).

20

Certas espécies de silicato são mais reativas com espécies iônicas e podem exibir maior solubilidade em água, em que se acredita que esses silicatos se ionizem para formar íons SiO^- . Por exemplo, os silicatos podem formar várias estruturas cristalinas, variando de fases cristalinas e altamente ordenadas (por exemplo, quartzo) a fases cripto-cristalinas (por exemplo, estruturas cristalinas extremamente finas, como calcedônia) a fases amorfas ou estruturas vítreas não cristalinas (por exemplo, opala). Acredita-se que estruturas de retículo amorfo permitam maior ataque iônico e degradação da rede do silicato. Assim, fases altamente ordenadas e bem cristalizadas são estáveis e não reativas, ao passo que retículos de silicato cripto-

25

30

cristalinos e amorfos são suscetíveis a ataque devido às estruturas de retículo desordenadas e abertas, portanto, esses silicatos são reativos.

De acordo com várias modalidades da invenção, o segundo componente do material de lavagem compreende silicatos reativos. Embora não limitado a qualquer teoria pela qual os presentes ensinamentos operem, acredita-se que certas fases cristalinas de silicato de dicálcio ($2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$, tipicamente expresso abreviadamente como C_2S) e silicato de tricálcio ($3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$, tipicamente expresso abreviadamente como C_3S), em particular as fases cristalinas $\gamma\text{-C}_2\text{S}$, $\beta\text{-C}_2\text{S}$ e C_3S , sejam silicatos reativos que possam se formar em materiais de escória e, portanto, reagir adequadamente com dióxido de carbono na presença de água. Composto de silicato reativo significa que mais de 10% dos compostos de silicato totais presentes em um material reagirão com dióxido de carbono na presença de água a 25°C (77°F) e pressão ambiente a pH maior que ou igual a cerca de 9.

Além disso, de acordo com várias modalidades da invenção, esses compostos de silicato têm maior reatividade em água quando o pH é básico. De preferência, o pH do material de lavagem é maior que ou igual a cerca de 7, mais preferivelmente maior que ou igual a cerca de 9 e, em algumas modalidades, de cerca de 11 até cerca de 14, para intensificar a solubilidade do composto de silicato. Na prática, o pH nesses sistemas normalmente não excede cerca de 13. Temperaturas aumentadas também aumentam a solubilidade de compostos de silicato em água. De acordo com várias modalidades da invenção, é preferível que a escória da segunda composição compreenda mais de ou igual a cerca de 5% de silicatos reativos, opcionalmente maior que ou igual a cerca de 10%; opcionalmente maior que ou igual a cerca de 15% de silicatos reativos em peso.

Vários materiais de escória compreendem silicatos de cálcio. De preferência, pelo menos uma parte desses silicatos de cálcio é reativa com dióxido de carbono e/ou óxido de cálcio na presença de água nos materiais de lavagem das várias modalidades da invenção. Conforme acima descrito, o primeiro componente do material de lavagem compreende, de preferência, tanto uma fonte de óxido de cálcio, quanto íons de metais alcalinos, o que

proporciona um pH alcalino ou básico ao material de lavagem para intensificar a solubilidade dos compostos de silicato reativos.

A título de fundamento, escórias são genericamente compostos de subproduto gerados pela fabricação e processamento de metais. O termo "escória" engloba uma ampla variedade de materiais de subproduto, tipicamente compreendendo uma grande parte dos subprodutos não metálicos da fabricação e processamento de metais ferrosos e/ou aço. Genericamente, agentes de formação de escória, ou materiais fundentes, são adicionados aos fornos para remover impurezas da matéria-prima de minério de ferro, sucata de aço, ferro e/ou aço em fusão durante o processamento. Materiais fundentes típicos são o calcário (CaCO_3) e/ou dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). Forma-se uma escória em fusão quando o silicato em fusão flutuando no topo do forno esfriar, formando silicatos e óxidos complexos. A composição da escória depende do metal que está sendo processado no forno e frequentemente contém sulfetos metálicos e átomos de metais em uma forma elementar. A composição e as propriedades da escória também variam com base no tipo de forno e no tratamento de pós-processamento, que pode afetar não apenas a composição química, mas a cristalinidade, desenvolvimento de fase e morfologia de superfície, o que pode ter impacto sobre a reatividade. Por exemplo, conforme acima discutido, é preferível que uma ou mais fases do silicato reativo sejam formadas na escória, como $\gamma\text{-C}_2\text{S}$, $\beta\text{-C}_2\text{S}$ e C_3S . Além disso, o tamanho de partícula, porosidade e área de superfície da escória tem impacto sobre a reatividade, pois materiais de menor tamanho de partícula, maior porosidade e, portanto, maior área de superfície permitem uma maior invenção a CO_2 e água para facilitar uma maior reação.

Alto-fornos processam minério de ferro para formar ferro-gusa refinado. Escórias de alto-forno são em geral formadas em três tipos principais: resfriada ao ar, granulada e peletizada (ou expandida). A escória de alto-forno resfriada ao ar é formada permitindo-se que a escória em fusão resfrie de maneira relativamente lenta sob condições ambientais, enquanto o resfriamento final pode ser acelerado com um processo de resfriamento, como pulverização com água. Escória granulada é formada por resfriamento

brusco da escória em água, formando, assim, pequenas partículas de vidro de estrutura desordenada. Essa escória granulada frequentemente é tritura-
da ainda mais, aumentando, dessa forma, as propriedades cimentíceas do
material. Escória peletizada ou expandida é resfriada através de um jato de
5 água, o que leva a uma rápida geração de vapor, desenvolvendo extensas
estruturas de vesículas no material.

Escórias de aço são formadas durante o processo adicional de ferro-gusa e outros materiais de aço em fornos de fabricação de aço. Fornos de aço típicos incluem os fornos de processo de oxigênio básico (BOF), for-
nos de Siemens-Martin (OHF) e fornos de arco elétrico (EAF). A maior parte
10 do aço é atualmente fabricada em fábricas de aço integradas usando uma
versão do processo de oxigênio básico ou em fábricas de aço especializadas
que usam um processo de forno de arco elétrico. Processos de forno Sie-
mens-Martin são menos comuns. Em um processo de oxigênio básico e-
15 xemplificativo, escória e fundentes são carregados em um conversor (forno).
Abaixa-se uma lança no conversor, e se injeta oxigênio a alta pressão. O
oxigênio se combina com e remove as impurezas na carga. Essas impure-
zas consistem em carbono, como monóxido de carbono gasoso, e silício,
manganês, fósforo e algum ferro como óxidos líquidos, que se combinam
20 com cal e/ou dolomita para formar a escória de aço. Ao término da operação
de refino, o aço líquido é vertido em um colherão, ao passo que a escória de
aço é retida no recipiente e subsequente vazada em um pote de escó-
ria separado.

Muitas qualidades diferentes de aço podem ser produzidas, e as
25 propriedades da escória de aço podem se alterar significativamente com ca-
da qualidade. As qualidades de aço podem ser classificadas como alta, mé-
dia e baixa, dependendo do teor de carbono do aço. Aços de alta qualidade
têm alto teor de carbono. Para reduzir a quantidade de carbono no aço, são
necessários maiores níveis de oxigênio no processo de fabricação de aço.
30 Isso também requer a adição de níveis aumentados de material fundente
para a remoção de impurezas do aço aumentar a formação de escória.

A escória de forno de aço tipicamente contém quantidades muito

maiores de óxido de dicálcio e de cálcio. Há vários tipos diferentes de escória de aço produzidos durante o processo de fabricação de aço, incluindo escória de forno (ou bica), escória de ancinho, escórias sintéticas (ou de colherão) e escória de fosso (ou despojamento). A escória de aço produzida durante o estágio primário da produção de aço é chamada de escória de forno ou escória de bica. Depois de ser escoado do forno, o aço em fusão é transferido em um colherão para refino adicional, a fim de remover impurezas adicionais ainda conditas no aço, o que gera escórias de aço adicionais pela nova adição de fundentes ao colherão para derreter. Essas escórias são combinadas com qualquer material transportado da escória do forno e auxiliam na absorção de produtos de desoxidação (inclusões), isolamento térmico e proteção do refratário do colherão. As escórias de aço produzidas nesse estágio da fabricação de aço são genericamente chamadas de escórias de ancinho e colherão. A escória de fosso e a escória de despojamento são outros tipos de escória comumente encontradas em operações de fabricação de aço. Normalmente consistem na escória de aço que cai sobre o piso da fábrica em vários estágios da operação, ou a escória que é removida do colherão depois de vazada. O estágio de refino em colherão normalmente envolve uma adição de material fundente comparativamente elevada, e as propriedades dessas escórias sintéticas freqüentemente são significativamente diferentes das da escória de forno. Essas escórias são freqüentemente ricas em óxido de cálcio e silicatos e são bem adequadas como um material para o segundo componente do material de lavagem, particularmente quando essas escórias sintéticas não podem em geral ser recicladas como agregados devido à expansão in situ.

Deve-se notar que o segundo componente pode compreender uma combinação de escórias originadas de diferentes localizações do forno e/ou processamento ou podem incluir combinações de escórias de diferentes fornos ou processos. O termo forno engloba tanto conversores de ferro, quando de aço. Genericamente, escórias de alto-forno se referem àquelas geradas em fornos de minério de ferro, e escórias de aço são aquelas geradas por qualquer processo de formação ou refino de aço, incluindo escórias

de aço inoxidável, conforme será descrito em maiores detalhes abaixo. Dependendo da localização de onde se originam no processo e processamento subsequente, muitas das escórias têm diferentes distribuições de tamanhos de partículas, diferentes mineralogias e formações cristalinas. Essas escórias podem ser adicionalmente trituradas para se conseguirem distribuições de tamanhos de partículas e/ou finezas (área de superfície) desejáveis.

Escórias exemplificativas compreendem compostos contendo cálcio, compostos contendo silício, compostos contendo alumínio, compostos contendo magnésio, compostos contendo ferro, compostos contendo manganês e/ou composto contendo enxofre. Em certas modalidades da invenção, o(s) material(ais) de escória do segundo componente é(são) selecionado(s) para compreender óxido de cálcio em cerca de 25 a cerca de 60%, opcionalmente cerca de 30 a cerca de 50% e opcionalmente cerca de 30 a cerca de 45% em peso. Em várias modalidades, o segundo componente compreende dióxido de silício (SiO_2) em mais de ou igual a cerca de 25% em peso; opcionalmente maior que ou igual a cerca de 30% em peso; opcionalmente maior que ou igual a cerca de 35% em peso. Deve-se notar que a quantidade de SiO_2 presente na composição reflete uma análise de óxido simples (conforme acima discutido no contexto do primeiro componente) e não reflete necessariamente a concentração de silicatos reativos, que podem formar uma parte da quantidade total de SiO_2 presente no material. Em certas modalidades, o segundo componente também compreende óxido de cálcio (CaO) em mais de ou igual a cerca de 25%; opcionalmente maior que ou igual a cerca de 30% em peso; opcionalmente maior que ou igual a cerca de 35% em peso. Conforme acima discutido, o óxido de cálcio e o óxido de silício estão tipicamente presentes na forma de silicatos de cálcio, entretanto, com base na análise de óxido simples global, estão presentes nas respectivas quantidades de mais de ou igual a cerca de 25% em peso. Em certas modalidades, o segundo componente compreende um ou mais ingredientes ativos selecionados de CaSiO_3 , CaO e suas misturas, em que a quantidade total do ingrediente ativo presente no segundo componente é de cerca de 35 a cerca de 90% em peso.

Em certas modalidades, o segundo componente compreendendo uma escória tem uma composição conforme apresentada na Tabela II, excluindo-se impurezas e diluentes.

Tabela II

Óxido/Metal	Peso Aproximado %
Óxido de cálcio (CaO)	35 – 55
Sílica (SiO ₂)	10 – 35
Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)	0,1 – 10
Óxido de ferro (FeO) (70 – 80% FeO e 20 – 30 Fe ₂ O ₃)	0,1 – 40
Óxido de magnésio (MgO)	3 – 10
Óxido de manganês (MnO)	3 – 10
Sulfato (SO ₃)	0,01 – 15
Fosfato (P ₂ O ₅)	0,01 – 1
Ferro metálico	0,5 – 10

- 5 Um exemplo de uma escória adequada geralmente com propriedades cimentíceas e sílica reativa é escória de alto-forno granulada triturada (GGBFS). A taxa de resfriamento da escória é tipicamente baixa o suficiente para que vários compostos cristalinos sejam em geral formados, incluindo compostos predominantes, como silicato de dicálcio, silicato de tricálcio, ferrita de dicálcio, meriwinita, aluminado de cálcio, óxido de cálcio-magnésio ferro, cal livre e magnésia livre. Acredita-se que a cal livre e a magnésia sejam responsáveis pela expansão da maioria das escórias de aço quando expostas à umidade, tornando-as tipicamente inadequadas para muitas aplicações, como agregados. Entretanto, no contexto da presente invenção, esses materiais de outra forma indesejáveis podem ser reciclados e empregados para um uso benéfico.
- 10
- 15

Escórias de aço inoxidável são materiais particularmente preferidos para o segundo componente de certas modalidades da invenção, pois tipicamente compreendem concentrações mais elevadas de cal livre e/ou magnésio livre e concentrações relativamente elevadas de silicatos, particularmente na forma cristalina de silicato reativo de γ -C₂S. Durante o desenvol-

20

vimento do cristal e a transição de fase, acredita-se que essa fase γ -C₂S cause instabilidade no retículo cristalino do C₂S, o que causa fragmentação na forma de pó fino devido à auto-pulverização.

Conforme percebido por aqueles versados na técnica, quantida-

5 des variáveis de elementos, como níquel, cromo, molibdênio e manganês, podem ser adicionadas ao ferro refinado para formar aço: quanto maiores as quantidades desses elementos que forem incluídas, maior a qualidade do aço. Esses elementos tendem a se incorporar nos compostos presentes na escória que é usada para refinar os metais. Em geral, aço inoxidável contém

10 pelo menos cerca de 10,5% de cromo. Um aço austenítico típico tem cromo em mais de ou igual a cerca de 16% e níquel em mais de ou igual a cerca de 8%. Aço inoxidável compreende carbono até cerca de 1,7% em peso. Qualidades mais altas de aço inoxidável normalmente têm menores teores de carbono e podem conter molibdênio e manganês, entre outros. A título de

15 exemplo, um aço inoxidável austenítico 304 de baixa qualidade tem carbono (C) em menos de ou igual a 0,08%, cromo (Cr) entre cerca de 17 e 19,5%, níquel (Ni) de cerca de 8 a 10,5%, manganês (Mn) em menos de ou igual a cerca de 2%, e nenhum molibdênio (Mo). Outro aço de maior qualidade e-

20 xemplificativo é o 316L, em que o carbono (C) está presente em menos de ou igual a 0,03%, cromo (Cr) em cerca de 17%, níquel (Ni) em cerca de 9%, manganês (Mn) em cerca de 2% e molibdênio (Mo) em cerca de 2,5%. "L" designa baixo teor de carbono. Um aço inoxidável austenítico de maior qua-

25 lidade é o 317LMN, que tem carbono (C) em menos de ou igual a 0,03%, cromo (Cr) entre cerca de 16,5 e 18,5%, níquel (Ni) de cerca de 13,5 a 17,5%, manganês (Mn) de cerca de 1 to 2% e molibdênio (Mo) de cerca de 4 a 5%. No 317LMN, as designações "M" e "N" indicam que a composição contém níveis aumentados de molibdênio e níquel, respectivamente. Escó-

30 rias de aço inoxidável tendem a incorporar esses vários elementos e também compreendem uma elevada quantidade de silicatos reativos e/ou solú-

veis em água, que são altamente desejáveis para lavagem de materiais em várias modalidades da invenção.

O segundo componente também pode compreender outras fon-

tes de silicatos reativos, além da escória acima descrita, contanto que contribuam com os ingredientes ativos desejáveis e/ou necessários acima discutidos. Por exemplo, outros exemplos adequados incluem poeira de alto-forno (cúpula) coletada de dispositivos de controle da poluição do ar ligados a alto-fornos, como a torta de filtro de anteparo de cúpula. Outra fonte de subproduto industrial adequada são cinzas de lama de remoção de tinta de papel. Conforme reconhecido por aqueles versados na técnica, há muitos subprodutos de processos de fabricação/industriais diferentes que são possíveis como uma fonte de silicatos reativos do material de lavagem da invenção.

5 Muitos desses subprodutos bem conhecidos compreendem alumina e/ou sílica também. Combinações de quaisquer dos produtos fabricados exemplificativos e/ou subprodutos industriais são consideradas para uso em certas modalidades da invenção.

10

Assim, os materiais de lavagem da invenção compreendem o

15 primeiro componente compreendendo uma fonte de óxido de cálcio e uma fonte de íons de metais alcalinos e o segundo componente compreende uma escória compreendendo silicatos reativos. Em certas modalidades, a razão do primeiro componente para o segundo componente no material de lavagem é de cerca de 10:1 a cerca de 1:10. Em certas modalidades, a razão do

20 primeiro componente para o segundo componente na suspensão é de cerca de 3:4 a cerca de 4:3. Embora não limitado a qualquer teoria particular, acredita-se que uma taxa de reação aumentada e uma conversão de reação mais elevada de dióxido de carbono com óxido de cálcio e silicatos ocorra em um material de lavagem quando a quantidade molar de cálcio disponível

25 é mais elevada que a de silício disponível. Assim, quando os ingredientes ativos no material de lavagem são óxido de cálcio e dióxido de silício, a razão molar de cálcio (Ca) para silício (Si) no material de lavagem é, de preferência, de cerca de 1:1 a cerca de 10:1 em certas modalidades para facilitar a reação com dióxido de carbono.

30 Os materiais de lavagem de várias modalidades compreendem, de preferência, água. A água facilita o transporte, solubilização e ionização dos vários compostos ativos da presente invenção. Em várias modalidades,

o material de lavagem é fornecido na forma de uma suspensão. A suspensão é formada por combinação de água com os primeiro e segundo componentes aqui descritos. Uma suspensão é uma mistura de compostos solúveis e partículas insolúveis em suspensão. A quantidade de água na suspensão varia de 5% ou 10% no lado inferior até 90% ou 95% em peso no lado superior. Em várias modalidades, a suspensão tem um teor de água maior que ou igual a cerca de 15% em peso ou maior que ou igual a cerca de 20% em peso; em certas modalidades maior que ou igual a cerca de 30% em peso; e, em algumas modalidades, maior que ou igual a cerca de 40% em peso. Em certas modalidades, o teor de água do material de lavagem é de cerca de 15% a cerca de 85% em peso e, em modalidades exemplificativas, a suspensão contém de 20% a 85%, de 30% a 85%, de 40% a 85%, ou de 50% a 85% de água. Em várias modalidades, a suspensão contém 80% ou menos em peso de água ou 70% ou menos em peso de água. Quando o teor de água aumenta, a viscosidade da suspensão diminui, tornando, portanto mais fáceis o bombeamento e manipulação. Em certos aspectos, a suspensão tem uma viscosidade que permite bombeamento e transporte de massa como um líquido através de várias partes do sistema.

Quando o material de lavagem está em uma forma de suspensão e tem um teor de água relativamente alto, o transporte de massa de dióxido de carbono da corrente gasosa para a fase líquida/sólida da suspensão é aumentado, o que é desejável, particularmente em aplicações em que a corrente fluida tenha uma alta velocidade. Além disso, os materiais de lavagem da presente invenção têm tipicamente propriedades cimentíceas e/ou pozzolânicas. Conforme reconhecido por aqueles versados na técnica, a quantidade de água presente em um sistema determina a quantidade de formação da fase cimentícea, portanto, o grau de resistência, endurecimento e aglomeração. Por exemplo, o concreto de preferência minimiza o teor de água para aumentar a resistência e a dureza, por exemplo, as razões de água para cimento portland no concreto variam, de preferência, de menos de 0,35 a cerca de 0,40, com uma quantidade mínima de 0,25 requerida para completar as reações de hidratação de compostos de cimento. Uma compo-

sição de concreto típica é de cerca de 7 a 15% de cimento, 14 a 21% de água e o restante agregados. Para estabilização de perdas, um desenvolvimento completo de resistência e dureza é desejável para evitar a lixiviação de vários metais. Para essa estabilização de perdas, sugeriu-se que a razão de água para sólidos deva ser de cerca de 0,125 para uma reação de pega e endurecimento apropriada de silicatos reativos. Assim, na presença de quantidades relativamente elevadas de água, os materiais têm menos propensão a pegar, endurecer e aglomerar. Portanto, várias modalidades da invenção apresentam um teor de água relativamente alto, para evitar o endurecimento, pega e aglomeração, de modo que os materiais sejam capazes de circular como um material de lavagem em um sistema de redução de dióxido de carbono.

Em algumas modalidades, o sistema de manipulação de material de lavagem no dispositivo de lavagem pode ter pontos de agitação. Além disso, certas modalidades podem incluir centrífugas, filtros, telas e/ou regiões de sedimentação para remover quaisquer particulares maiores, para evitar o acúmulo de partículas aglomeradas maiores no equipamento e linhas de manipulação de material de lavagem. Em algumas modalidades, emprega-se um agente plastificante para minimizar a aglomeração em potencial e para aumentar a fluidez do material de lavagem. Agentes plastificantes adequados incluem açúcar (sacarose), superplastificantes usados em aplicações de concreto (como plastificantes poliméricos, como éteres de policarboxilato, polímeros e copolímeros à base de naftaleno e/ou melamina) e combustível diesel. Agentes plastificantes são bem-conhecidos na técnica, e vários compostos adequados podem ser usados nos materiais de lavagem da invenção, incluindo aqueles conhecidos ou desenvolvidos na técnica.

Em certas modalidades, uma suspensão de material de seqüestração de carbono para lavagem de dióxido de carbono de uma corrente fluida contendo dióxido de carbono consiste essencialmente em um primeiro componente compreendendo um ou mais materiais selecionados do grupo que consiste em: poeira de forno de cimento, poeira de forno de cal, cal de beterraba, poeira de clínquer, cal viva, cal extinta e suas misturas. Nessas

modalidades, a suspensão também consiste essencialmente em um segundo componente compreendendo uma escória com uma fonte de silicatos reativos e também água. Em certas modalidades, a escória é uma escória de aço inoxidável. Em outras modalidades da invenção, o material de lavagem pode consistir essencialmente em um primeiro componente compreendendo poeira de forno de cimento e um segundo componente compreendendo uma escória com uma fonte de silicatos reativos e água, como escória de aço inoxidável.

Em certas modalidades, a suspensão de material de lavagem compreende um primeiro componente entre cerca de 15 e cerca de 50% em peso, o segundo componente em cerca de 15 a cerca de 50% em peso e água em cerca de 15 a cerca de 50% em peso da composição de material de lavagem total.

Em modalidades em que o material de lavagem esteja em uma forma de suspensão, a suspensão compreende, de preferência, partículas com um tamanho de partícula máximo médio de menos de ou igual a cerca de 500 μm e uma área de superfície média de mais de ou igual a cerca de 1.000 cm^2/g . Em algumas modalidades, as partículas têm uma área de superfície média de mais de ou igual a cerca de 4.000 cm^2/g ; opcionalmente maior que ou igual a cerca de 7.000 cm^2/g e, em algumas modalidades, maior que 10.000 cm^2/g . Além disso, as partículas da suspensão têm um diâmetro de tamanho de partícula máximo médio de menos de ou igual a cerca de 300 μm , em algumas modalidades, e menos de ou igual a cerca de 100 μm , em outras modalidades. Tamanhos de partículas menores tendem a ter maiores áreas de superfície, o que promove a reação dos ingredientes ativos, minimiza os efeitos de sedimentação das partículas da suspensão e minimiza o entupimento do equipamento de manipulação e processamento. Com relação a isso, as partículas em suspensão têm características desejáveis para reação com o dióxido de carbono na corrente efluente e para transporte e processamento (prevenindo sedimentação e outros). Esses tamanhos de partículas e áreas de superfície podem ser conseguidos por seleção do primeiro componente e do segundo componente para terem essas

propriedades desejadas ou por processamento adicional dos materiais por moagem ou trituração, por exemplo, por misturação dos primeiro e segundo componentes em um moinho de bolas para reduzir o tamanho de partícula. A suspensão também pode ser processada em um misturador, agitador, moinho de argamassa ou moinho de suspensão para se conseguir uma mistura suficiente do primeiro componente, segundo componente e água.

A Figura 1 representa um fluxograma de processo de um sistema de remoção de dióxido de carbono de acordo com uma modalidade da invenção. Um primeiro componente 10, um segundo componente 12 e água 14 são combinados para formar um material de lavagem fresco 16. O material de lavagem fresco 16 pode ser armazenado em um tanque antes do uso em um reator 20. O material de lavagem fresco 16 é introduzido no reator 20 e é contatado com uma corrente efluente 22 contendo dióxido de carbono para lavar e remover o dióxido de carbono. O reator 20 compreende uma zona de misturação 24, em que o material de lavagem fresco 16 e a corrente efluente 22 são combinados, de preferência com fluxo turbulento. O material de lavagem 16 reage com o dióxido de carbono para formar um produto 26 coletado no reator 20. O produto 26 compreende carbonato de cálcio e material de lavagem gasto. O produto 26 sai do reator 20 e entra em um separador 28, em que o produto de carbonato de cálcio 30 é separado do material de lavagem gasto 32.

Conforme acima discutido, acredita-se que os compostos ativos sejam silicatos reativos e óxido de cálcio. Embora não limitativo dos presentes ensinamentos, acredita-se que o material de lavagem sofra os seguintes mecanismos de reação. A água e o dióxido de carbono formam ânions carbonato em uma solução de pH básico. Os ânions carbonato reagem com íons cálcio na presença de silicatos reativos para formar carbonato de cálcio. O material de lavagem gasto 16 compreende os silicatos reativos. Os íons de metais alcalinos conferem uma alcalinidade desejável à solução, o que promove a reação do dióxido de carbono com o óxido de cálcio e silicatos, e também se acredita que favoreça a formação de produtos de silicato reativos nos materiais de lavagem gastos. O material de lavagem gasto 32 ainda

contém silicatos reativos e desejavelmente elevada quantidade de íons de metais alcalinos, que ajudam a manter o pH. Acredita-se que a reação de carbonatação reduza o pH (para condições mais neutras) do material de lavagem, assim, é desejável a alcalinidade do primeiro componente.

5 Em certas modalidades, o sistema de lavagem é contínuo e regenerativo. Assim, depois do contato na zona de mistura 24 do reator 20, a composição de lavagem gasta 32 é separada do produto. O material de lavagem gasta 32 é opcionalmente devolvido à fonte de material de lavagem fresco 16. Dessa maneira, o material de lavagem gasta 32 pode ser combinado com material de lavagem fresco 16 antes do contato subsequente com a corrente fluida contendo dióxido de carbono. Assim, uma parte do material de lavagem gasta 32 pode ser reciclada para o material de lavagem fresco 16, desejavelmente fornecendo tanto silicatos reativos, quanto alcalinidade para promover uma suspensão de material de lavagem de pH básico. O material de lavagem gasta 32 também pode ser removido do sistema para descarte 34.

 Em certas modalidades, o material de lavagem gasta 32 e/ou material de lavagem fresco 16 são monitorizados para determinar quanta reciclagem ou, alternativamente, purga do material de lavagem (mediante descarte) é necessária. Por exemplo, o material de lavagem gasta 32 e/ou a mistura de material de lavagem gasta e fresco pode ser monitorizada em pontos representativos 36 e 38 quanto ao teor de íons alcalinos do material de lavagem gasta. Se o teor de íons alcalinos for baixo demais ou alto demais, isto é, se o teor de íons alcalinos se desviar de um ponto predeterminado, uma parte do material de lavagem gasta é, então, removida. Por exemplo, se a concentração de íons de metais alcalinos for baixa demais, a alcalinidade desejada pode ser baixa demais para reciclagem. Além disso, se o teor de íons de metais alcalinos for alto demais, o material de lavagem gasta 32 pode ser purgado. A quantidade predeterminada pode ser usada em um sistema de controle e pode ser determinada por observação empírica do sistema e/ou por cálculos que modelem o sistema. Da mesma forma o pH do material de lavagem gasta 32 e/ou a mistura de o material de lavagem

gasto com material de lavagem fresco pode ser monitorizada em pontos representativos 36 e 38. Se o pH exceder um ponto predeterminado, uma parte do material de lavagem gasto 32 é removida mediante descarte 34. As faixas de pH predeterminadas podem ser determinadas por observação empírica e/ou cálculo. Conforme anteriormente descrito, em certos aspectos, o material de lavagem que contata o dióxido de carbono tem um pH básico de mais de ou igual a cerca de 7, de preferência maior que ou igual a cerca de 9 e, em algumas circunstâncias, maior que ou igual a cerca de 11.

Conforme acima descrito, é preferível que o material de lavagem 16 contacte a corrente fluida 22 em uma zona de mistura turbulenta 24 do reator 20. Em modalidades em que o material de lavagem é uma suspensão, a corrente de suspensão de alta energia contacta a corrente gasosa e efetua transferência de massa. A zona de mistura 24 proporciona, de preferência, uma elevada área de superfície para conseguir uma transferência de massa suficiente. Em instalações de fabricação típicas, as correntes efluente ou de exaustão de vários processos têm taxas de fluxo variando de cerca de 285 m³/min (cerca de 10.000 ft³/min (acfm)) a cerca de 28.000 m³/min (cerca de 1.000.000 acfm). Entretanto, conforme percebido por aqueles versados na técnica, essas taxas de fluxo podem variar com base na capacidade da instalação e no tipo de processo e são difíceis de generalizar. Por exemplo, a exaustão de forno de uma instalação de fabricação de cimento típica normalmente está entre cerca de 2.800 m³/min (cerca de 100.000 acfm) e cerca de 11.000 m³/min (cerca de 400.000 acfm), e taxas de fluxo de exaustão de caldeiras típicas podem variar de cerca de 2.800 m³/min (100.000 acfm) a cerca de 17.000 m³/min (600.000 acfm). Assim, em certas modalidades, o reator 20 é capaz de processar taxas de fluxo de gás de exaustão industriais típicas.

Em certas modalidades, o contato ocorre em condições de pressão ambiente. Em várias modalidades, o contato do material de lavagem 16 e a corrente fluida efluente 22 ocorre em um ambiente em menos de ou igual a cerca de 100°C (212°F) à pressão ambiente, para evitar a evaporação da água na suspensão. Com relação a isso, a corrente efluente 22 pode preci-

sar ser resfriada, por exemplo, por um trocador de calor mostrado como 40 na Figura 1, antes do contato com o material de lavagem, ou a pressão do sistema pode precisar ser aumentada para evitar uma evaporação indesejável da água. Em algumas modalidades, o contato ocorre em um ambiente de
5 menos de ou igual a cerca de 75°C (aproximadamente 170°F); opcionalmente menos de ou igual a cerca de 40°C (aproximadamente 100°F). Em algumas modalidades, o contato do material de lavagem com a corrente fluida ocorre sob condições de pressão ambiente e temperatura ambiente. Essas modalidades podem requerer o resfriamento da corrente efluente antes do
10 contato, conforme é sabido por aqueles versados na técnica e discutido acima. Assim, o efluente tratado 44 sai do reator 20 com uma quantidade reduzida de dióxido de carbono em comparação com a quantidade inicial de dióxido de carbono presente na corrente efluente não tratada 22. Em certos aspectos, a eficiência de remoção do reator 20 é maior que 20%, opcionalmente maior que 30%. Em certos aspectos, a eficiência de remoção é otimizada para ser maior que 50%; opcionalmente maior que 75%; opcionalmente maior que 90% e, em algumas modalidades, maior que 95%.

Depois da reação do dióxido de carbono na corrente efluente 22 com o material de lavagem 16, um produto 26 compreendendo carbonato de cálcio e material de lavagem gasto é gerado. Embora alguma água possa
20 ser perdida durante o contato e a reação, uma grande parte da água permanecerá no produto 26. Em algumas modalidades, esse produto 26 pode ser agitado para evitar aglomeração e/ou endurecimento dos materiais de silicato. O carbonato de cálcio pode ser, então, processado mediante um separador 28 do material de lavagem gasto, por exemplo, por filtração. Em certas
25 modalidades, o carbonato de cálcio 30 tem uma reutilização benéfica e pode ser empregado como uma matéria-prima em outro processo, de modo que é reciclado. Em algumas modalidades, o teor de água do produto de carbonato de cálcio separado 30 pode estar alto demais. O produto de carbonato de cálcio pode ser separado da água para se conseguir um teor de umidade
30 desejável, dependendo do uso final. Por exemplo, essa separação do carbonato de cálcio pode ser conseguida por evaporação, separação e/ou por fil-

tração (não mostrado na Figura 1). Assim, um equipamento adequado pode incluir aquecedores, centrífugas, filtros de tela, prensas de filtro, filtros de disco rotativo, filtros a vácuo e outros, conforme se sabe na técnica. Quando o material de lavagem gasto 32 é separado no separador 28, pode ser preparado para descarte 34 ou pode ser reciclado por reintrodução no material de lavagem fresco 16. Para essa reciclagem, pode ser desejável agitar a mistura periodicamente durante o transporte (fluxo não laminar) e também adicionar água para reduzir a viscosidade e intensificar o bombeamento (não mostrado na Figura 1).

10 Em algumas modalidades, o contato do material de lavagem ocorre em um reator de leito fluidizado, um reator de leito em suspensão, um lavador de venturi, um lavador de torre de pulverização, um reator de lavador acondicionado, um reator de tanque com agitação contínua (CSTR), e/ou quaisquer de suas combinações. Em certas modalidades que usam uma
15 suspensão de material de lavagem viscosa, o contato ocorre em um reator de leito em suspensão, um lavador de torre de pulverização e/ou um CSTR. Em outras modalidades, particularmente em que o material de lavagem compreende partículas semi-secas, pode-se usar um reator de leito fluidizado ou um lavador de venturi. A relação dos reatores acima é não limitativa,
20 pois outros reatores adequados bem conhecidos na técnica são considerados pela presente invenção.

 Reatores de leito fluidizado suspendem partículas sólidas em jatos de gás que sopram para cima durante o processo de reação e são bem-conhecidos na técnica. Por exemplo, leitos fluidizados atmosféricos usam um sorvente para capturar o enxofre gerado pela combustão de combustíveis fósseis. Em certos aspectos, o fluido deve fluir para cima e ter uma
25 velocidade de fluido suficiente para levantar as partículas mediante forças de atrito. Dessa maneira, consegue-se uma mistura turbulenta dos sólidos e gases. Em certos aspectos da invenção, a corrente efluente pode compreender água suficiente (ou a água pode ser adicionada antes do reator na
30 corrente efluente ou no material de lavagem, caso necessário) para permitir a reação com um material de lavagem semi-seco em um reator de leito flui-

dizado.

A lavagem a úmido em geral usa uma corrente líquida de alta energia para contatar a corrente gasosa e efetuar a transferência de massa. Em reatores de tanque com agitação contínua (CSTR), um ou mais reagentes fluidos são introduzidos em um reator de tanque equipado com um ou mais propulsores. O propulsor agita os reagentes, para assegurar uma mistura adequada. O efluente é continuamente removido do tanque. CSTRs freqüentemente contêm anteparos e múltiplas entradas e/ou pontos de remoção de efluente, para garantir a homogeneidade da mistura. Além disso, o fluido/gás efluente pode ser injetado no CSTR em inúmeras localizações dentro do reator, para intensificar a mistura e as interfaces de gás/líquido/sólido.

Reatores de lavagem a úmido freqüentemente são usados em processos de dessulfurização de gás queimado. Há vários tipos principais de lavadores a úmido, incluindo um lavador de venturi, um lavador de torre acondicionada e um lavador de torre de pulverização. Um lavador de venturi é uma seção de duto convergente/divergente. A seção convergente acelera a corrente fluida a alta velocidade. Quando a corrente de suspensão é injetada no gargalo ou ponto de velocidade máxima, a turbulência causada pela alta velocidade do gás atomiza o líquido em pequenas partículas e/ou gotículas, que criam a área de superfície necessária para que ocorra a transferência de massa. Quanto maior a queda de pressão no venturi, menores as partículas atomizadas e maior a área de superfície.

Um reator de lavador acondicionado consiste em uma torre com pequenos objetos colocados dentro. Esses objetos podem ter a forma de selas, anéis ou formatos especializados, que são projetados para maximizar a área de contato entre o gás de exaustão e o líquido. Torres acondicionadas tipicamente operam a quedas de pressão muito menores que um lavador de venturi e tipicamente proporcionar uma eficiência de remoção de poluentes mais elevada. Em certos aspectos, o líquido/suspensão tem uma baixa viscosidade quando usado nesse reator.

A maioria dos lavadores a úmido é projetada como uma torre de

pulverização. Um reator de lavador de torre de pulverização tem um desenho relativamente simples, que consiste em uma torre com bocais de pulverização, que geram as gotículas para contato superficial. Uma torre de pulverização é um reator particularmente adequado para uso de um lavador de suspensão, pois essas torres em geral evitar o entupimento do material.

A torre é tipicamente projetada para que, à carga máxima, a velocidade de gás superficial média não exceda a velocidade de gás projetada. Para a maioria das torres de pulverização, a velocidade de gás média varies de cerca de 2,4 a 4 m/s (8 a 13 ft/s) com base nas condições de saída do lavador; entretanto, a presente invenção não se limita a qualquer velocidade particular. O efluente/gás queimado entra no reator absorvente por uma entrada de fluido lateral. O desenho da torre é influenciado pelo material de lavagem, o nível de remoção de CO_2 desejado, um compromisso entre a potência do ventilador e a potência da bomba de recirculação de suspensão, assim como vários outros fatores bem conhecidos por aqueles versados na técnica. Bocais de pulverização são convencionalmente usados em lavadores a úmido, e esses bocais auxiliam no controle da misturação da suspensão de material de lavagem com o gás efluente. As pressões operacionais tipicamente variam entre cerca de 34 e 138 kPa (5 e 20 psi), embora a invenção não se limite a essas pressões exemplificativas. Bocais de pulverização sem obstruções internas são favorecidos para minimizar o entupimento por detritos aprisionados. Um grande tanque no fundo da torre de pulverização/câmara de reação normalmente é chamado de tanque de reação ou tanque de recirculação. O volume desse tanque permite que vários processos químicos e físicos se completem. O contato de gás-líquid-sólido nas torres permite uma alta eficiência de remoção de poluentes e a maximização da utilização de reagente. O gás segue as paredes da câmara de reação até a extremidade traseira das saídas do absorvedor na parte de trás do absorvedor.

Conforme mostrado na Figura 2, em certas modalidades, um sistema de redução de emissões de dióxido de carbono compreende um reator de torre de lavagem 100 que compreende uma câmara de reação

102. A câmara de reação 102 está em comunicação de fluido com uma entrada de fluido/passagem de entrada 104, mostrada aqui como um duto de descida. A entrada de fluido 104 permite o ingresso de uma corrente fluida efluente na câmara de reação 102. A corrente fluida efluente 106 é, de preferência, gerada a montante em um forno, um incinerador, uma caldeira ou um forno de calcinação e compreende dióxido de carbono. Uma fonte de suspensão 108 compreende uma suspensão 110 com um primeiro componente compreendendo uma fonte de óxido de cálcio e uma fonte de íons de metais alcalinos; um segundo componente compreendendo uma escória com uma fonte de silicatos reativos; e água. A fonte de suspensão 108 está em comunicação de fluido com uma entrada de suspensão 112a disposta na câmara de reação 102, que alimenta a suspensão 108 para a câmara de reação 102. Deve-se notar que, em modalidades alternativas, a suspensão 110 pode ser introduzida na passagem de entrada 104 com a corrente efluente 106, por exemplo, em uma entrada de suspensão alternativa 112b. Além disso, em certas modalidades, a suspensão 110 podem ser introduzida em ambas as entradas de suspensão 112a e 112b. A fonte de suspensão 108 em geral compreende um tanque de armazenamento (não mostrado) e um sistema de bombeamento 113.

20 A câmara de reação 102 também compreende uma zona de mistura 114 disposta na câmara de reação 102. A zona de mistura 114 é projetada para misturar de maneira turbulenta a corrente fluida efluente 106 e a suspensão 110. A zona de mistura 114 também pode conter meios adicionais para efetuar a turbulência, por exemplo, anteparos ou placas estriadas 116 (por razões de simplicidade, apenas mostradas em uma pequena parte da zona de mistura, mas que podem se estender por toda a zona de mistura 114) para aumentar as oportunidades de interface entre o gás efluente 106 e a suspensão 110 dentro do reator 100. Além disso, a câmara de reação 102 é dimensionada, ou tem um volume, suficiente para proporcionar um tempo de residência que permita o tratamento da corrente efluente para reduzir a quantidade de dióxido de carbono em uma quantidade adequada, que é de pelo menos cerca de 30% em uma modalidade preferida. O tempo de resi-

dência se refere genericamente a $\tau = \frac{\text{volume do reator}}{\text{taxa de fluxo do gás}}$, que indica o tempo

médio que uma molécula está dentro de um reator 100. Assim, de acordo com certos aspectos da invenção, a câmara de reator 102 é dimensionada para ter um volume que permita que o fluido efluente 106 tenha um tempo
 5 de residência suficiente para reagir com a suspensão de material de lavagem 110. Conforme percebido por aqueles versados na técnica, esses volumes podem ser determinados pela taxa de fluxo do fluido efluente a ser tratado.

O sistema de reator 100 também compreende uma passagem
 10 de saída de fluido 118 em comunicação de fluido com a câmara de reação 102, para permitir a saída da corrente de efluente tratado 120 da câmara de reação 102. Um grande reservatório 124 no fundo 126 da câmara de reação 102 é normalmente chamado de tanque de reação ou tanque de recirculação. Esse reservatório 124 é dimensionado para permitir que as reações
 15 desejadas de seqüestração de carbono se completem, sem permitir a pega ou endurecimento da suspensão gasta/produto coletado aí. Embora não mostrado, o reservatório 124 compreende opcionalmente um equipamento de agitação, como telas ou bombas de agitação, por exemplo, que também atendem ao objetivo de evitar a pega do material de lavagem gasto. Uma
 20 saída de suspensão/passagem de remoção 122 está em comunicação de fluido com a câmara de reator 102 para remover a suspensão gasta e/ou um produto de carbonato de cálcio 128. Embora não mostrado na Figura 2, a solução de suspensão gasta pode ser separada do carbonato de cálcio e, então, recirculada para uma fonte de suspensão 108.

25 A Figura 3 representa uma modalidade de um sistema de remoção de dióxido de carbono muito parecida com a mostrada na Figura 1, mas compreendendo um ou mais dispositivos de controle da poluição do ar 50 (APCDs) que tratam adicionalmente a corrente efluente 44 depois de sair do reator 20. Conforme percebido por aqueles versados na técnica, a corrente
 30 efluente compreende um ou mais poluentes adicionais, além do CO₂. Por exemplo, além do dióxido de carbono, poluentes comum do ar encontrados em correntes efluentes de caldeiras, fornos de calcinação, fornos e incinera-

dores incluem monóxido de carbono, ácido clorídrico, clorofluorocarbonetos, óxidos nitrosos, óxidos de enxofre, matéria em partículas, compostos orgânicos voláteis, compostos em aerossol, mercúrio, chumbo, amônia, ozônio e suas misturas e equivalentes. Assim, em algumas modalidades, o reator 20
5 pode servir para remover incidentalmente uma parte desses outros poluentes; entretanto, considera-se que APCDs 50 adicionais possam ser requeridos para reduzir um ou mais poluentes adicionais a concentrações aceitáveis. APCDs 50 exemplificativos típicos incluem precipitadores eletrostáticos, filtros de bolsa, ciclones, lavadores de carbono ativado, lavadores de dessulfurização de gás queimado, oxidadores térmicos, adsorvedores de oscilação
10 de pressão, reatores catalíticos seletivos, reatores não catalíticos seletivos e outros.

Em certas modalidades, como aquelas mostradas na Figura 4, o sistema de remoção de dióxido de carbono também compreende um ou
15 mais dispositivos de controle da poluição do ar 60 (APCDs) para pré-tratar a corrente efluente 22 antes de entrar no reator 20. Assim, pode-se remover qualquer poluente adicional que possa causar reações adversas ou indesejáveis com o material de lavagem ou corrosão ou dano às peças do equipamento.

20 Em certos aspectos, a presente invenção apresenta um método de redução de emissões de dióxido de carbono de uma instalação de fabricação de cimento. O método compreende a reação de matérias-primas de fabricação de cimento (contendo fontes de cálcio, silício, alumínio e ferro) em um forno para produzir clínquer e uma corrente efluente compreendendo
25 dióxido de carbono. Pelo menos uma parte da corrente efluente é contatada com um material de lavagem como aqueles descritos nas modalidades anteriores acima. Gera-se um produto que compreende carbonato de cálcio e uma composição de lavagem gasta. Qualquer um dos processos das modalidades acima descritas pode ser utilizado para as presentes modalidade.
30 Por exemplo, antes do contato do efluente com o material de lavagem, a corrente efluente pode ser processada em um ou mais dispositivos de controle da poluição do ar (APCDs) para remover um ou mais poluentes do ar. Calcá-

rio ou carbonato de cálcio é a matéria-prima principal na fabricação tanto de cal, quanto de cimento. Em certas modalidades, o produto compreendendo carbonato de cálcio é benéficamente reutilizado como uma matéria-prima para produzir clínquer e/ou cal. Assim, na fabricação de cimento, o carbonato de cálcio gerado é subsequente combinado com as matérias-primas para produzir o clínquer.

O material de lavagem gasto pode ser reciclado, conforme anteriormente descrito acima. Em algumas modalidades, os métodos também compreendem a geração de poeira de forno de cimento (CKD) durante a reação das matérias-primas. O material de lavagem pode compreender pelo menos uma parte da poeira de forno de cimento (CKD) gerada. A CKD pode ser coletada por um APCD de matéria em partículas (por exemplo, bolsas ou ESP) e, então, introduzido no material de lavagem. Entretanto, também se considera que, em certas modalidades, a corrente efluente contate o material de lavagem antes de entrar no dispositivo de controle de material em partículas, assim, as partículas de CKD são carregadas na corrente efluente e podem suplementar o material de lavagem como uma fonte de íons cálcio e íons de metais alcalinos. Conforme acima descrito, em certos aspectos preferidos, o primeiro componente compreende poeira de forno de cimento (CKD), e o segundo componente compreende escória de aço inoxidável.

Alguns cimentos fabricados são designados como de baixa alcalinidade e, portanto, as matérias-primas para sua fabricação também têm de ter um teor de álcalis relativamente baixo. Se os íons de metais alcalinos se distribuem no produto de carbonato de cálcio, pode ser necessário reduzir a concentração de íons alcalinos no produto de carbonato de cálcio para promover a distribuição no produto de lavagem gasto. Dessa maneira, o material de lavagem gasto e/ou produto de carbonato de cálcio pode ser monitorizado quanto ao teor de íons alcalinos para evitar um acúmulo de álcali indesejável no forno ou produto de clínquer.

Em outras modalidades da invenção, apresenta-se um método para a redução de emissões de dióxido de carbono de uma instalação de fabricação de cimento e/ou cal. O material de lavagem é contatado com pelo

menos uma parte of uma corrente efluente compreendendo dióxido de carbono. A corrente efluente é gerada em um forno de calcinação. O material de lavagem compreende um primeiro componente, um segundo componente distinto do primeiro componente e água, como em qualquer uma das modalidades anteriormente descritas. O método também compreende a geração de um produto compreendendo carbonato de cálcio e um material de lavagem gasto. O produto de carbonato de cálcio é, então, reutilizado como uma matéria-prima no forno. Em algumas modalidades, a reação das matérias-primas também compreende a geração de poeira de forno de cimento (CKD) ou poeira de forno de cal (LKD), e o material de lavagem compreende pelo menos uma parte da poeira de forno de cimento (CKD) ou poeira de forno de cal (LKD) gerada.

A presente invenção também apresenta modalidades para reduzir emissões de dióxido de carbono de uma instalação de fabricação de ferro e/ou aço. O método compreende o contato de um material de lavagem com pelo menos uma parte de uma corrente efluente compreendendo dióxido de carbono que é gerado em um forno de um processo de fabricação de ferro e/ou aço. O forno pode ser qualquer um dos acima descritos no contexto das fontes de escória, como um alto-forno (processamento de minério de ferro), um forno Siemens-Martin (processamento de aço), um forno de processo de oxigênio básico (processamento de aço) ou um forno de arco elétrico (processamento de aço). O material de lavagem compreende um primeiro componente, um segundo componente distinto do primeiro componente e água, como acima descrito. Gera-se um produto compreendendo carbonato de cálcio, que pode ser reutilizado como uma matéria-prima em um processo industrial. Em certas modalidades, o segundo componente compreende uma escória gerada no processo de fabricação de ferro e/ou aço. Além disso, o produto de carbonato de cálcio pode ser reciclado e usado como um material fundente no processo de fabricação de ferro e/ou aço. Em outras modalidades, o carbonato de cálcio pode ser usado como uma matéria-prima em qualquer indústria que empregue carbonato de cálcio como uma matéria-prima, como na fabricação de cimento e cal.

Em ainda outras modalidades, apresentam-se métodos de redução das emissões de dióxido de carbono de uma fonte de combustão de hidrocarboneto, como uma caldeira de usina de energia ou um incinerador. Uma fonte de combustão de hidrocarboneto compreende todas as fontes pontuais estacionárias que queimam hidrocarbonetos que formem dióxido de carbono, incluindo as instalações que queimam combustíveis fósseis (por exemplo, carvão, metano), combustíveis sintéticos (por exemplo, coque de petróleo, gás de síntese, etanol) ou qualquer outra variedade de hidrocarbonetos. O processo compreende o contato de um material de lavagem com pelo menos uma parte de uma corrente efluente compreendendo dióxido de carbono que é gerado pela combustão do combustível fóssil. O material de lavagem é qualquer um dos acima descritos. Gera-se, portanto, um produto compreendendo carbonato de cálcio que pode ser reutilizado como uma matéria-prima em um processo industrial.

Em várias modalidades, a presente invenção apresenta métodos de reciclagem de subprodutos industriais que, de outra forma, seria armazenados, lançados em aterros ou descartados. Por exemplo, em certas modalidades, apresenta-se um método de reciclagem de subprodutos industriais. Um material de lavagem de dióxido de carbono é formado por misturação de um primeiro componente fabricado com um segundo componente fabricado. O primeiro componente compreende uma fonte de óxido de cálcio e uma fonte de íons de metais alcalinos. O segundo componente compreende uma escória com um ou mais componentes de silicato reativos. Uma corrente efluente gerada em um processo industrial compreendendo dióxido de carbono é, então, contatada com o material de lavagem. Gera-se um produto compreendendo carbonato de cálcio que é capaz de reutilização benéfica como em um processo industrial. Em algumas modalidades, depois do contato e depois da geração, o material de lavagem está gasto, e pelo menos uma parte do material de lavagem gasto é misturada com o primeiro componente fabricado fresco e o segundo componente fabricado fresco.

Dessa maneira, os métodos e materiais de lavagem da invenção ajudam em iniciativas de desenvolvimento sustentável, que incluem o equilí-

brio das atuais necessidades de crescimento e desenvolvimento com a necessidade de proteger do ambiente natural e humano para as futuras gerações. Além disso, os métodos e sistemas da invenção proporcionam emissões reduzidas de dióxido de carbono para várias fontes pontuais estacionárias que, além de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, permite que essas fontes pontuais cumpram vários regulamentos, para receber um benefício econômico e comercial mediante programas de troca de créditos de emissão de dióxido de carbono e para reduzir a corrosão em potencial e ineficiências relacionadas à presença de dióxido de carbono em correntes efluentes.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de remoção de dióxido de carbono de uma corrente fluida compreendendo dióxido de carbono, o método compreendendo:

5 a redução da quantidade de dióxido de carbono na corrente fluida por contato da corrente fluida com um material de lavagem compreendendo um primeiro componente, um segundo componente e água, em que o primeiro componente é distinto do segundo componente, o primeiro componente compreende uma fonte de óxido de cálcio e uma fonte de íons de metais alcalinos, e o segundo componente compreende uma escória com um
10 ou mais compostos de silicato reativos.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, compreendendo adicionalmente a geração de um produto compreendendo carbonato de cálcio.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que o primeiro componente compreende um material selecionado do grupo que consiste
15 em: poeira de forno de cimento, poeira de forno de cal, cal de beterraba, poeira de clínquer, cal extinta, cal viva e suas misturas.

4. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que o segundo componente compreende um material selecionado do grupo que consiste em escória de alto-forno, escória de aço e suas misturas.

20 5. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que o segundo componente compreende um material selecionado do grupo que consiste em: escória de alto-forno resfriada a ar, escória de alto-forno granulada, escória de alto-forno granulada triturada, escória de alto-forno expandida e/ou peletizada, escória de aço de forno de oxigênio básico, escória de aço de
25 forno Siemens-Martin, escória de aço de forno de arco elétrico e suas misturas.

6. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que o primeiro componente compreende poeira de forno de cimento (CKD), e o segundo componente compreende uma escória de aço inoxidável.

7. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que a razão do
30 primeiro componente para o segundo componente no material de lavagem é de cerca de 10:1 a cerca de 1:10.

8. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que a razão molar

de cálcio (Ca) para silício (Si) no material de lavagem é de cerca de 1:1 a cerca de 10:1.

9. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que água no material de lavagem está presente de cerca de 15% em peso a cerca de 85% em peso.

10. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que o primeiro componente compreende um ou mais ingredientes ativos selecionados do grupo que consiste em: CaO, Na₂O, K₂O e suas misturas, em que a quantidade total de ingrediente ativo presente no material de lavagem é de cerca de 30% a cerca de 60% em peso.

11. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que o segundo componente compreende um ou mais ingredientes ativos selecionados do grupo CaSiO₃, CaO e suas misturas, em que a quantidade total do dito ingrediente ativo presente no segundo componente é de cerca de 35% a cerca de 90% em peso.

12. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que os íons de metais alcalinos contribuem para aumentar o pH do material de lavagem e, dessa forma, aumentar a taxa de reação do dióxido de carbono com o material de lavagem.

13. Método, de acordo com a reivindicação 1, compreendendo um processo contínuo.

14. Método, de acordo com a reivindicação 13, em que a corrente fluida é continuamente contactada com a composição de lavagem para atingir a quantidade reduzida de dióxido de carbono, e, depois do contato, uma composição de lavagem gasta é gerada, em que o método também compreende a combinação da composição de lavagem gasta com material de lavagem fresco antes do contato subsequente com a corrente fluida.

15. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que a corrente fluida compreendendo dióxido de carbono é uma corrente efluente gerada por uma fonte de combustão.

16. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que a corrente fluida é gerada por um ou mais de: caldeiras, fornos, incineradores, fornos

de cimento, fornos de cal ou suas combinações.

17. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que o contato ocorre em um reator de leito fluidizado, um reator de leito em suspensão, um lavador Venturi, um lavador de torre de pulverização, um reator de lavador compactado, um reator de tanque com agitação contínua e suas combinações.

18. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que, após o contato, a quantidade de dióxido de carbono é menor que ou igual a cerca de 50% da quantidade inicial de dióxido de carbono antes do contato.

19. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que o segundo componente compreende dióxido de silício (SiO_2) em mais de ou igual a cerca de 25% em peso.

20. Método, de acordo com a reivindicação 19, em que o segundo componente também compreende óxido de cálcio (CaO) em mais de ou igual a cerca de 35% em peso.

21. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que o segundo componente compreende:

20 sílica (SiO_2) de cerca de 10 a cerca de 35% em peso;
óxido de cálcio (CaO) de cerca de 35 a cerca de 55% em peso;
óxido de magnésio (MgO) de cerca de 3 a cerca de 10% em peso;
óxido de ferro (FeO) de cerca de 0,1 a cerca de 40% em peso; e
alumina (Al_2O_3) de cerca de 0,1 a cerca de 10% em peso.

22. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que o primeiro componente compreende óxido de cálcio (CaO) em mais de ou igual a cerca de 30% em peso.

23. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que o primeiro componente compreende uma quantidade de fonte de íons alcalinos na forma de óxido de sódio (Na_2O) e/ou óxido de potássio (K_2O) em mais de ou igual a cerca de 1% em peso.

24. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que o primeiro componente compreende:

óxido de cálcio (CaO) de cerca de 30 a cerca de 45% em peso;

sílica (SiO_2) de cerca de 10 a cerca de 20% em peso;
 alumina (Al_2O_3) de cerca de 2 a cerca de 7% em peso;
 óxido de ferro (Fe_2O_3) de cerca de 1 a cerca de 3% em peso;
 óxido de magnésio (MgO) de cerca de 0,5 a cerca de 3% em

5 peso;

sulfato (SO_3) de cerca de 1 a cerca de 15% em peso;
 óxido de sódio (Na_2O) de cerca de 0,1 a cerca de 1% em peso; e
 óxido de potássio (K_2O) de cerca de 0,1 a cerca de 15% em peso.

25. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que a corrente
 10 efluente compreende um ou mais poluentes do ar adicionais além do dióxido
 de carbono, em que o contato com o material de lavagem reduz a quantidade
 de um ou mais poluentes do ar adicionais na corrente efluente.

26. Método, de acordo com a reivindicação 25, em que o um ou
 mais poluentes do ar adicionais são selecionados do grupo que consiste em:
 15 monóxido de carbono, clorofluorcarbonetos, ácido clorídrico, óxidos nitro-
 sos, óxidos de enxofre, matéria em partículas, compostos orgânicos voláteis,
 compostos em aerossol, mercúrio, chumbo, amônia, ozônio e suas misturas.

27. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que o contato
 ocorre em condições de pressão ambientais.

20 28. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que o contato
 ocorre a menos que ou igual a cerca de 100°C .

29. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que o material
 de lavagem tem um pH de 9 ou mais.

25 30. Suspensão de material de seqüestração de dióxido de car-
 bono para lavagem de dióxido de carbono de uma corrente fluida contendo
 dióxido de carbono, a suspensão compreendendo:

um primeiro componente compreendendo um ou mais materiais
 selecionados do grupo que consiste em: poeira de forno de cimento, poeira
 de forno de cal, cal de beterraba, poeira de clínquer, cal viva, cal extinta e
 30 suas misturas;

um segundo componente compreendendo uma escória com uma
 fonte de silicatos reativos; e

água, em que a suspensão compreende partículas com um tamanho de partícula máximo médio de menos de ou igual a cerca de 500 μm e uma área de superfície média de mais de ou igual a cerca de 1.000 cm^2/g .

31. Material, de acordo com a reivindicação 30, em que as partículas têm uma área de superfície média de mais de ou igual a cerca de 4.000 cm^2/g .

32. Material, de acordo com a reivindicação 30, em que as partículas têm uma área de superfície média de mais de ou igual a cerca de 7.000 cm^2/g .

33. Material, de acordo com a reivindicação 30, em que as partículas têm um diâmetro de tamanho de partícula máximo médio de menos de ou igual a cerca de 300 μm .

34. Material, de acordo com a reivindicação 30, em que as partículas têm um diâmetro de tamanho de partícula máximo médio de menos de ou igual a cerca de 100 μm .

35. Material, de acordo com a reivindicação 30, em que o primeiro componente compreende poeira de forno de cimento (CKD).

36. Material, de acordo com a reivindicação 30, em que o segundo componente compreende uma escória de aço inoxidável.

37. Material, de acordo com a reivindicação 30, em que a razão do primeiro componente para o segundo componente na suspensão é de cerca de 10:1 a cerca de 1:10.

38. Material, de acordo com a reivindicação 30, em que a razão do primeiro componente para o segundo componente na suspensão é de cerca de 3:4 a cerca de 4:3.

39. Material, de acordo com a reivindicação 30, em que água está presente na suspensão de cerca de 15% a cerca de 85% em peso.

40. Material de seqüestração de dióxido de carbono na forma de uma suspensão para lavagem de dióxido de carbono de uma corrente fluida contendo dióxido de carbono, a suspensão compreendendo:

um primeiro componente compreendendo poeira de forno de cimento (CKD);

um segundo componente compreendendo uma escória com uma fonte de silicatos reativos; e

água, em que a suspensão compreende partículas com um tamanho de partícula máximo médio de menos de ou igual a cerca de 500 μm e uma área de superfície média de mais de ou igual a cerca de 1.000 cm^2/g .

41. Material, de acordo com a reivindicação 40, em que a razão do primeiro componente para o segundo componente na suspensão é de cerca de 10:1 a cerca de 1:10.

42. Material, de acordo com a reivindicação 40, em que a razão do primeiro componente para o segundo componente na suspensão é de cerca de 3:4 a cerca de 4:3.

43. Sistema de redução das emissões de dióxido de carbono, compreendendo:

uma câmara de reação com uma entrada de fluido, uma entrada de suspensão, uma zona de misturação, uma saída de fluido e uma saída de suspensão; em que a corrente efluente contendo dióxido de carbono está em comunicação de fluido com a câmara de reação e é introduzida na câmara de reação pela entrada de fluido; uma fonte de suspensão está em comunicação de fluido com a câmara de reação, e uma suspensão da fonte de suspensão é introduzida na câmara de reação pela entrada de suspensão; a zona de misturação proporciona uma misturação turbulenta da suspensão com a corrente efluente; em que a câmara de reação tem um volume que proporciona um tempo de residência suficiente para tratar a corrente efluente para reduzir a quantidade de dióxido de carbono em pelo menos cerca de 30%; em que a suspensão compreende um primeiro componente compreendendo uma fonte de óxido de cálcio e uma fonte de íons de metais alcalinos, um segundo componente compreendendo uma escória com uma fonte de silicatos reativos, e água; e em que a suspensão gasta e/ou o produto de carbonato de cálcio é removido da câmara de reação pela saída de suspensão.

44. Sistema, de acordo com a reivindicação 43, em que a câmara de reator é selecionada do grupo que consiste em: um reator de leito flui-

dizado, um reator de leito em suspensão, um lavador Venturi, um lavador de torre de pulverização, um reator de lavador compactado, um reator de tanque com agitação contínua e suas combinações.

45. Sistema, de acordo com a reivindicação 43, compreendendo
5 adicionalmente uma usina para criar a suspensão.

46. Sistema, de acordo com a reivindicação 43, compreendendo
adicionalmente um ou mais dispositivos de controle da poluição do ar
(APCDs) em comunicação de fluido com a entrada de fluido, em que os um
ou mais APCDs tratam a corrente efluente contendo dióxido de carbono an-
10 tes de passarem pela entrada de fluido da câmara de reação.

47. Sistema, de acordo com a reivindicação 43, compreendendo
adicionalmente um ou mais dispositivos de controle da poluição do ar
(APCDs) em comunicação de fluido com a saída de fluido, em que os um ou
mais APCDs também processam a corrente efluente tratada depois de saí-
15 rem pela saída de fluido.

48. Método de redução de emissões de dióxido de carbono de
uma instalação de fabricação de cimento, o método compreendendo:

a reação de uma matéria-prima de fabricação de cimento para
produzir clínquer e uma corrente efluente compreendendo dióxido de carbono;

20 o contato de pelo menos uma parte da corrente efluente com um
material de lavagem de dióxido de carbono compreendendo um primeiro
componente, um segundo componente distinto do primeiro componente e
água, em que o primeiro componente compreende uma fonte de óxido de
cálcio e uma fonte de íons de metais alcalinos, o segundo componente com-
25 preende uma escória com um ou mais componentes de silicato reativos, e

a geração de um produto compreendendo carbonato de cálcio e
uma composição de lavagem gasta.

49. Método, de acordo com a reivindicação 48, compreendendo
adicionalmente a reutilização do carbonato de cálcio gerado como o produto
30 para produzir clínquer, em que uma parte da matéria-prima de fabricação de
cimento compreende o carbonato de cálcio.

50. Método, de acordo com a reivindicação 48, compreendendo

adicionalmente a reciclagem da composição de lavagem gasta gerada como o produto, em que uma parte do material de lavagem compreende a composição de lavagem gasta.

51. Método, de acordo com a reivindicação 50, compreendendo
5 adicionalmente a monitorização do teor de íons alcalinos da composição de lavagem gasta, em que uma parte da composição de lavagem gasta é removida quando o teor de íons alcalinos se desvia de um ponto prodeterminado.

52. Método, de acordo com a reivindicação 50, compreendendo
adicionalmente a monitorização do pH da composição de lavagem gasta, em
10 que uma parte da composição de lavagem é removida quando o pH se desvia de um ponto predeterminado.

53. Método, de acordo com a reivindicação 48, em que a reação
das matérias-primas também compreende a geração de poeria de forno de
cimento (CKD), e o material de lavagem compreende pelo menos uma parte
15 da poeria de forno de cimento (CKD) gerada.

54. Método, de acordo com a reivindicação 48, em que a geração
do produto compreendendo carbonato de cálcio compreende a separação
da composição de lavagem gasta dos sólidos de carbonato de cálcio.

55. Método, de acordo com a reivindicação 48, em que a geração
20 do produto compreendendo carbonato de cálcio compreende a separação da água dos sólidos de carbonato de cálcio.

56. Método, de acordo com a reivindicação 48, em que o carbonato de cálcio gerado é subsequëntemente combinado com as matérias-primas para produzir o clínquer.

25 57. Método de redução de emissões de dióxido de carbono de uma instalação de fabricação de cimento e/ou cal, o método compreendendo:

o contato de um material de lavagem com pelo menos uma parte de uma corrente efluente compreendendo dióxido de carbono que seja gerada em um forno, em que o material de lavagem compreende um primeiro
30 componente, um segundo componente distinto do primeiro componente e água, em que o primeiro componente compreende uma fonte de óxido de cálcio e uma fonte de íons de metais alcalinos, o segundo componente com-

preende uma escória com um ou mais componentes de silicato reativos; e
a geração de um produto compreendendo carbonato de cálcio e
uma composição de lavagem gasta; e

5 a reutilização do carbonato de cálcio como uma matéria-prima
no forno.

58. Método, de acordo com a reivindicação 57, compreendendo
adicionalmente a reação de um matéria-prima no forno para produzir um
produto de fabricação, a corrente efluente e poeira de forno de cimento
(CKD) ou poeira de forno de cal (LKD), em que o material de lavagem com-
10 preende pelo menos uma parte da poeira de forno de cimento (CKD) ou po-
eira de forno de cal (LKD) gerada.

59. Método, de acordo com a reivindicação 57, em que a gera-
ção do produto compreendendo carbonato de cálcio compreende a separa-
ção do material de lavagem gasto dos sólidos de carbonato de cálcio.

15 60. Método de redução de emissões de dióxido de carbono de
uma instalação de fabricação de ferro e/ou aço, o método compreendendo:

o contato de um material de lavagem com pelo menos uma parte
de uma corrente efluente compreendendo dióxido de carbono que seja gera-
da em um forno de um processo de fabricação de ferro e/ou aço, em que o
20 material de lavagem compreende um primeiro componente, um segundo
componente distinto do primeiro componente e água, em que o primeiro
componente compreende uma fonte de óxido de cálcio e uma fonte de íons
de metais alcalinos, o segundo componente compreende uma escória com
um ou mais componentes de silicato reativos; e

25 a geração de um produto compreendendo carbonato de cálcio
que possa ser reutilizado como uma matéria-prima em um processo industri-
al.

61. Método, de acordo com a reivindicação 60, em que o primei-
ro componente compreende um material selecionado do grupo que consiste
30 em: poeira de forno de cimento, poeira de forno de cal, cal de beterraba, po-
eira de clínquer, cal extinta, cal viva e suas misturas, e o segundo compo-
nente compreende uma escória gerada no processo de fabricação de ferro

e/ou aço.

62. Método, de acordo com a reivindicação 60, compreendendo adicionalmente o uso do carbonato de cálcio como um fundente no processo de fabricação de ferro e/ou aço.

5 63. Método, de acordo com a reivindicação 60, compreendendo adicionalmente o uso do carbonato de cálcio como uma matéria-prima em um processo de fabricação de cimento ou cal.

64. Método, de acordo com a reivindicação 60, em que o segundo componente compreende um material selecionado do grupo que consiste
10 em escória de alto-forno, escória de aço e suas misturas.

65. Método, de acordo com a reivindicação 60, em que o segundo componente compreende um material selecionado do grupo que consiste em: escória de alto-forno resfriada a ar, escória de alto-forno granulada, escória de alto-forno granulada triturada, escória de alto-forno expandida e/ou
15 peletizada, escória de aço de forno de oxigênio básico, escória de aço de forno Siemens-Martin, escória de aço de forno de arco elétrico e suas misturas.

66. Método de redução de emissões de dióxido de carbono de uma fonte de combustão de combustíveis de hidrocarbonetos, o método
20 compreendendo:

o contato de um material de lavagem com pelo menos uma parte de uma corrente efluente compreendendo dióxido de carbono que seja gerado em uma câmara de combustão, em que o material de lavagem compreende um primeiro componente, um segundo componente distinto do primeiro
25 componente e água, em que o primeiro componente compreende uma fonte de óxido de cálcio e uma fonte de íons de metais alcalinos, o segundo componente compreende uma escória com um ou mais componentes de silicato reativos; e

a geração de um produto compreendendo carbonato de cálcio
30 que possa ser reutilizado como uma matéria-prima em um processo industrial.

67. Método, de acordo com a reivindicação 66, em que o primeiro componente compreende um material selecionado do grupo que consiste

em: poeira de forno de cimento, poeira de forno de cal, cal de beterraba, poeira de clínquer, cal extinta, cal viva e suas misturas, e o segundo componente compreende a escória de alto-forno, escória de aço e suas misturas.

5 68. Método, de acordo com a reivindicação 66, compreendendo adicionalmente o uso do carbonato de cálcio como uma matéria-prima em um ou mais de fabricação de cimento, fabricação de cal, fabricação de ferro ou fabricação de aço.

10 69. Método, de acordo com a reivindicação 66, em que o segundo componente compreende um material selecionado do grupo que consiste em: escória de alto-forno resfriada a ar, escória de alto-forno granulada, escória de alto-forno granulada triturada, escória de alto-forno expandida e/ou peletizada, escória de aço de forno de oxigênio básico, escória de aço de forno Siemens-Martin, escória de aço de forno de arco elétrico e suas misturas.

15 70. Método de reciclagem de subprodutos industriais, compreendendo:

a misturação de um primeiro componente fabricado compreendendo uma fonte de óxido de cálcio e uma fonte de íons de metais alcalinos com um segundo componente fabricado que compreende uma escória com
20 um ou mais componentes de silicato reativos para formar um material de lavagem;

o contato de uma corrente efluente gerada em um processo industrial que compreende dióxido de carbono com o material de lavagem; e

25 a geração de um produto compreendendo carbonato de cálcio que possa ser reutilizado em um processo industrial.

71. Método, de acordo com a reivindicação 70, em que, após o contato e após a geração, o produto também compreende a composição de lavagem gasta, e a misturação compreende a misturação de pelo menos uma parte da composição de lavagem gasta com o primeiro componente
30 fabricado e o segundo componente fabricado.

72. Método, de acordo com a reivindicação 70, em que o primeiro componente fabricado compreende um material selecionado do grupo que

consiste em: poeira de forno de cimento, poeira de forno de cal, cal de beterraba, poeira de clínquer, cal extinta, cal viva e suas misturas.

73. Método, de acordo com a reivindicação 70, em que o segundo componente fabricado compreende um material selecionado do grupo
5 que consiste em escória de alto-forno, escória de aço e suas misturas.

74. Método, de acordo com a reivindicação 70, em que o segundo componente fabricado compreende um material selecionado do grupo que consiste em: escória de alto-forno resfriada a ar, escória de alto-forno granulada, escória de alto-forno granulada triturada, escória de alto-forno
10 expandida e/ou peletizada, escória de aço de forno de oxigênio básico, escória de aço de forno Siemens-Martin, escória de aço de forno de arco elétrico e suas misturas.

75. Método, de acordo com a reivindicação 70, em que o primeiro componente fabricado compreende poeira de forno de cimento, e o segundo componente compreende uma escória de aço inoxidável.
15

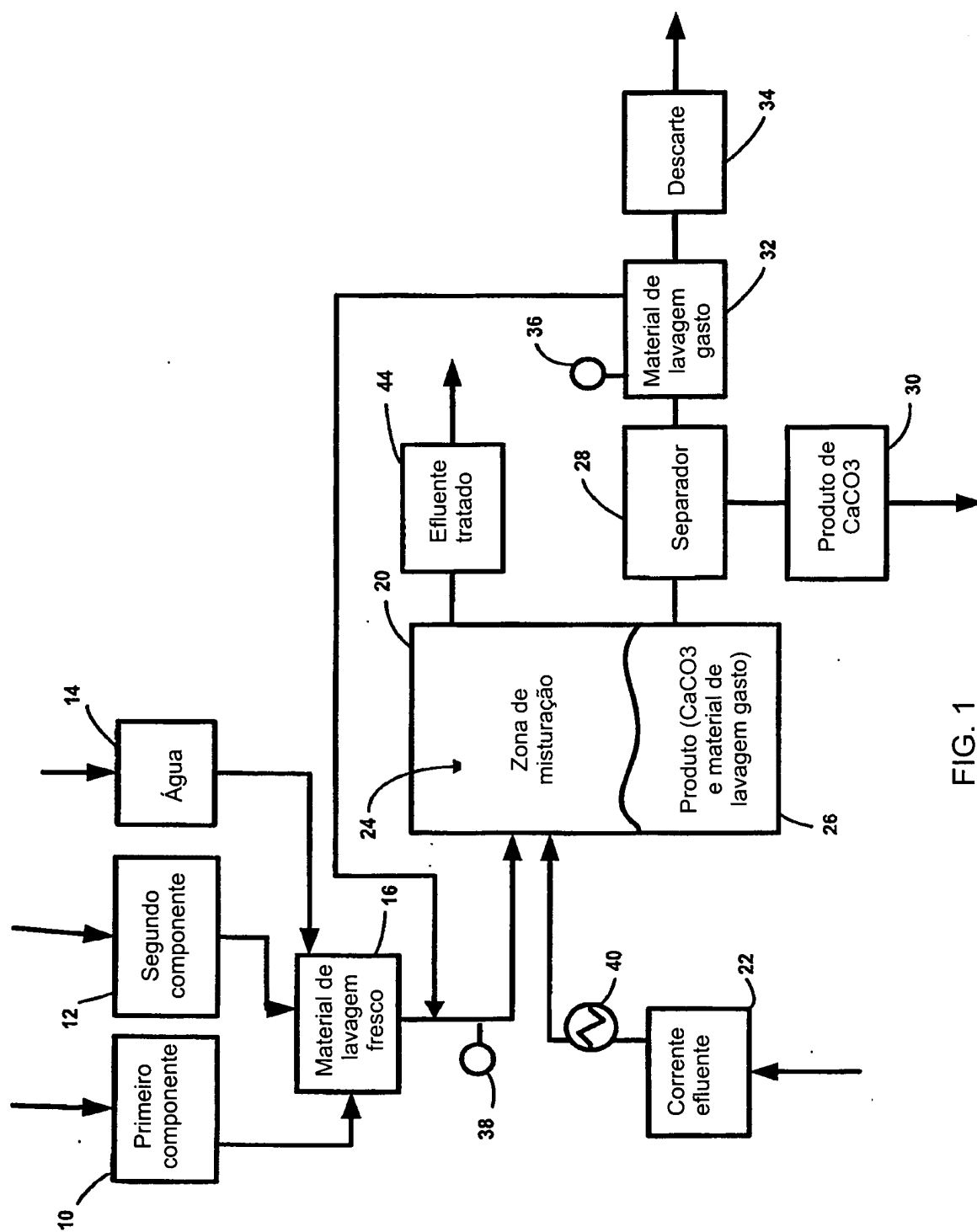
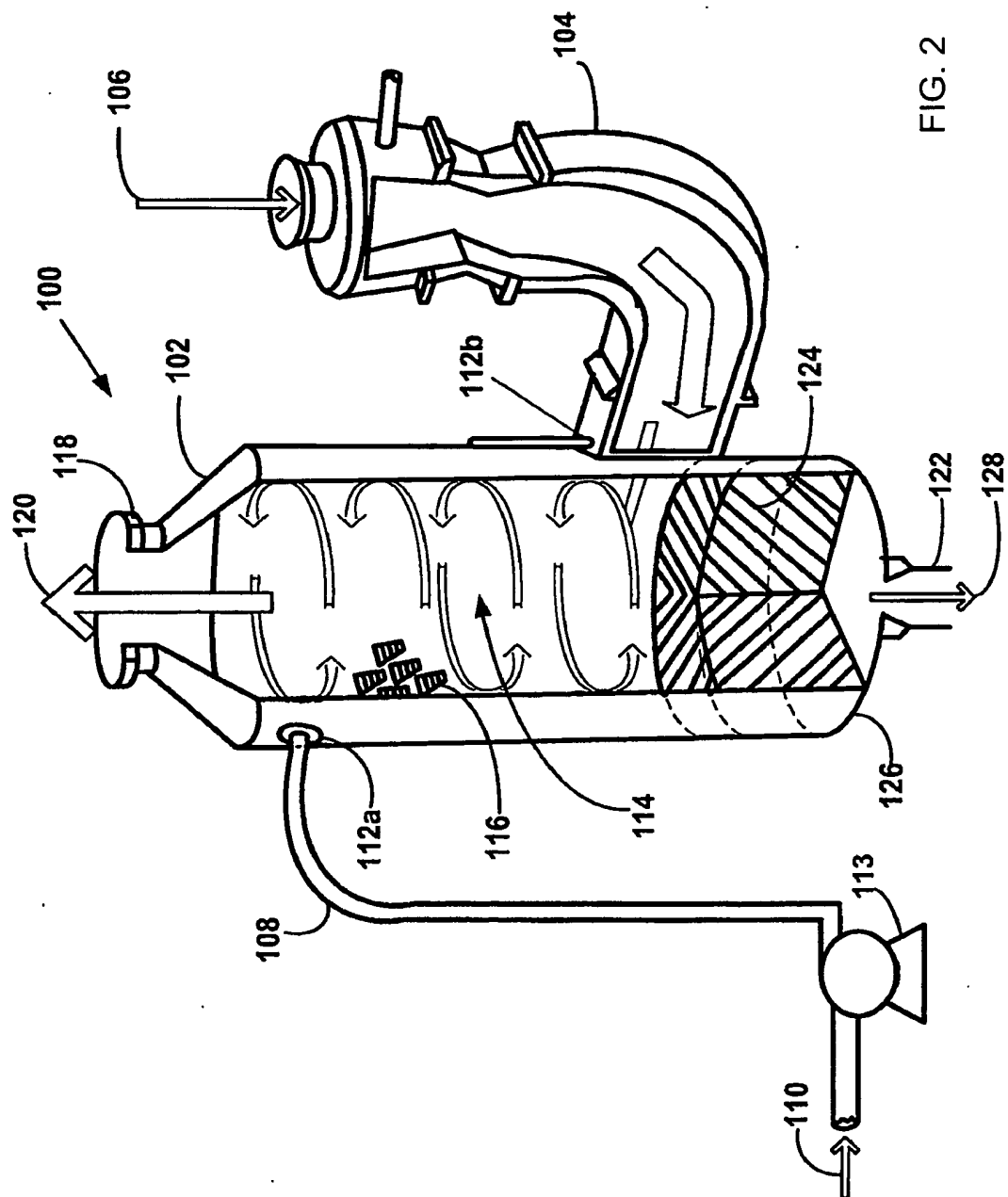


FIG. 1



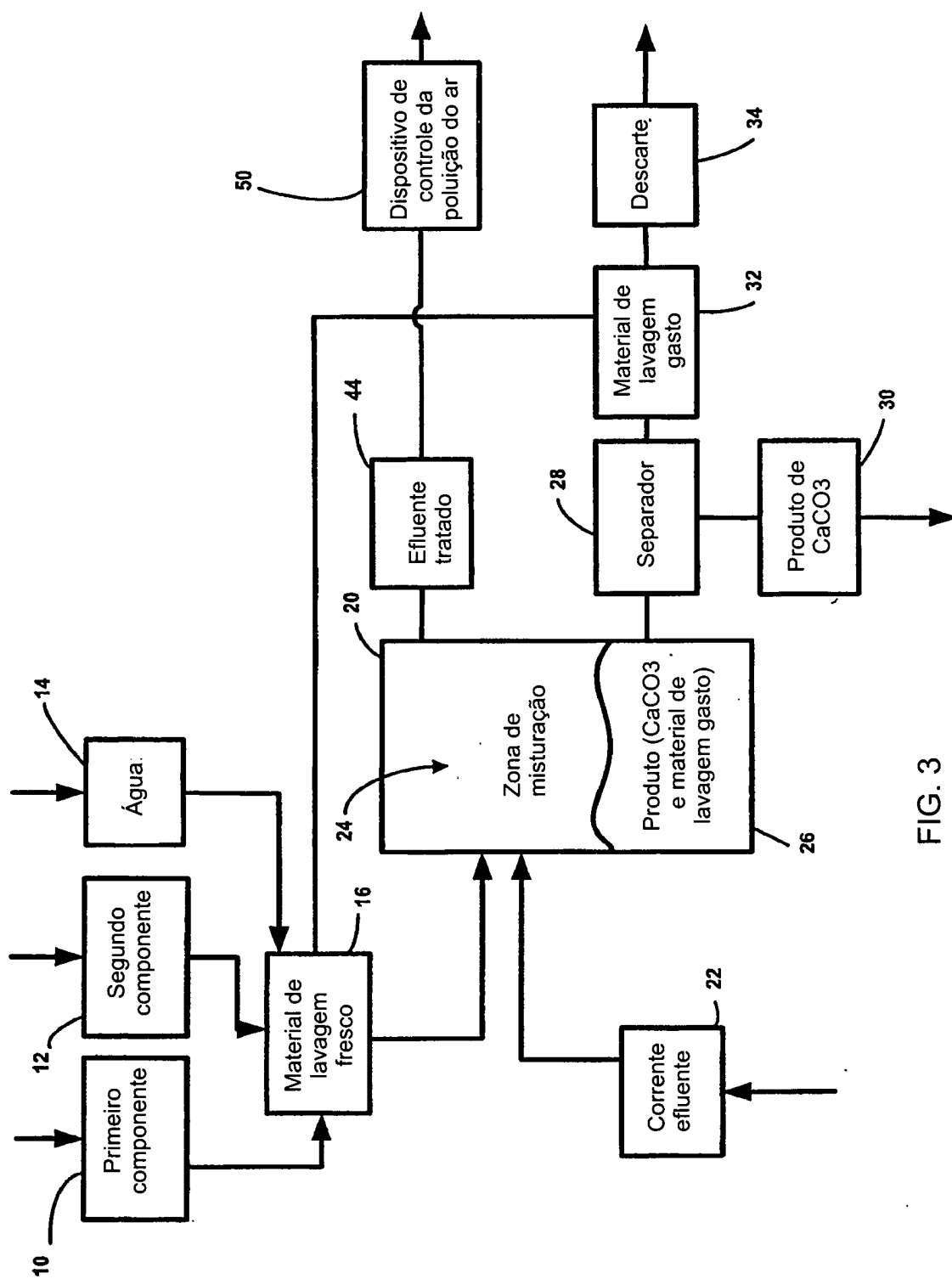


FIG. 3

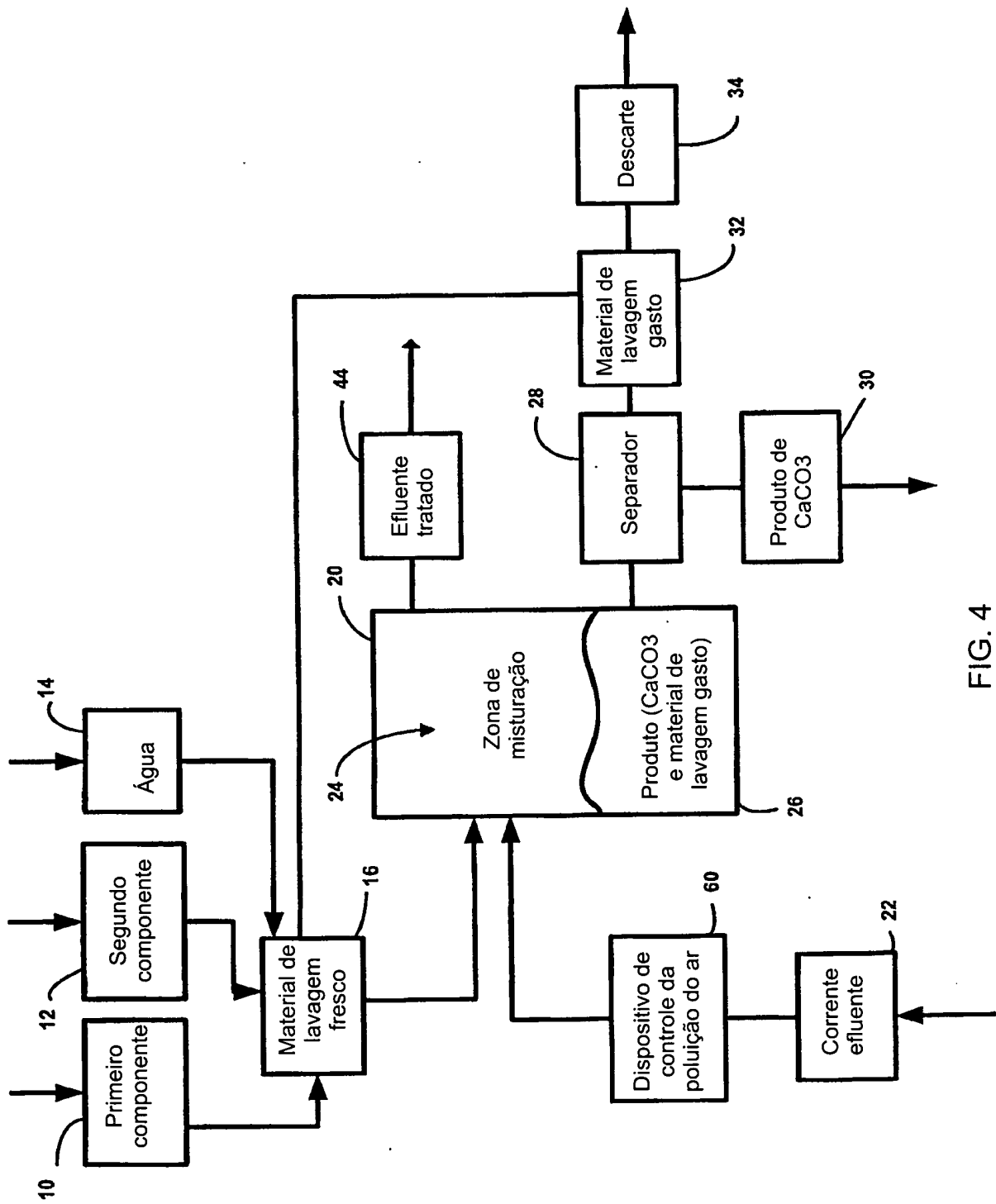


FIG. 4

RESUMO

Patente de Invenção: "MATERIAIS E PROCESSOS PARA SEQÜESTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO".

A presente invenção refere-se a métodos e sistemas para a se-
 5 qüestração e/ou redução do dióxido de carbono presente em uma corrente
 fluida de efluente industrial contendo dióxido de carbono. Um material de
 lavagem compreendendo um primeiro componente, um segundo componen-
 te (distinto do primeiro componente) e, de preferência, água é contactado
 com a corrente fluida de efluente. O primeiro componente compreende uma
 10 fonte de óxido de cálcio e uma fonte de íons de metais alcalinos. O segundo
 componente compreende uma escória com um ou mais componentes de
 silicato reativos. Também se apresenta métodos de redução do dióxido de
 carbono da exaustão gerada por fontes de combustão, fornos de cal e/ou
 cimento, fornos de ferro e/ou aço e outros. Também se apresentam sistemas
 15 de redução das emissões de dióxido de carbono. Também se apresentam
 métodos de reciclagem de subprodutos industriais.