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

(21) **BR 10 2013 021902-9 A2**

* B R 1 0 2 0 1 3 0 2 1 9 0 2 A 2 *

(22) Data de Depósito: 27/08/2013

(43) Data da Publicação: 14/04/2015
(RPI 2310)

(54) Título: MÉTODO DE PRODUÇÃO DE ETANOL E BIOGÁS, E, INSTALAÇÃO DE ETANOL PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL E BIOGÁS

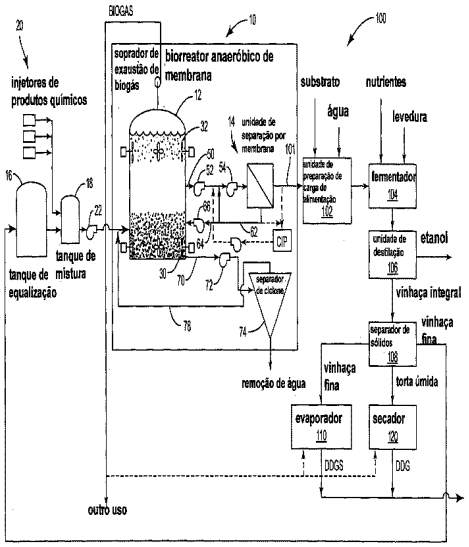
(51) Int.Cl.: C12P7/06; C12P7/14; C02F9/02; C12M1/107

(30) Prioridade Unionista: 29/08/2012 US 13/598315

(73) Titular(es): VEOLIA WATER SOLUTIONS & TECHNOLOGIES SUPPORT

(72) Inventor(es): GRAIG ROSENBERGER, TIMUR DUNAEV

(57) Resumo: MÉTODO DE PRODUÇÃO DE ETANOL E BIOGÁS, E, INSTALAÇÃO DE ETANOL PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL E BIOGÁS. Um sistema e um processo para a produção de etanol e biogás. No caso do método, uma carga de alimentação de entrada e água é direcionada para uma unidade de preparação, que libera de açúcar a partir decarga de alimentação. A carga de alimentação, incluindo o açúcar liberado, é direcionada para um fermentador que fermenta o açúcar para produzir uma cerveja que inclui etanol e carga de alimentação. A cerveja é direcionada para uma unidade de destilação que separa o etanol a partir da carga de alimentação e produz etanol e vinhaça integral. A vinhaça integral ou vinhaça fina derivada a partir da vinhaça integral é direcionada a uma unidade de biorreator anaeróbio de membrana, que inclui um digestor anaeróbico e uma unidade de separação por membranas. A vinhaça, tanto integral quanto fina, é submetida a uma digestão anaeróbica no digestor anaeróbico e isto produz licor misto que inclui sólidos em suspensão. O licor misto incluindo os sólidos em suspensão é direcionado para a unidade de separação por membrana que filtra eficazmente os sólidos em suspensão a partir do licor misto e produz uma corrente de rejeito (retido) concentrado e uma corrente de permeado para retroalimentação que é substancialmente isenta de sólidos em suspensão. A corrente de permeado para retroalimentação é então direcionada para um ponto no sistema ou método em que o permeado para retroalimentação é misturado com a carga de alimentação de entrada. (...)



"MÉTODO DE PRODUÇÃO DE ETANOL E BIOGÁS, E, INSTALAÇÃO DE ETANOL PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL E BIOGÁS"

CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção se refere a sistemas e métodos para a produção de etanol, e mais particularmente, a sistemas e métodos para a produção de etanol e biogás.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

Os produtores de etanol enfrentam muitos desafios hoje, especialmente na área de controle de custos de energia e aumento do rendimento da produção. Ultimamente, com o aumento constante dos preços da energia e uma demanda geralmente decrescente para os subprodutos de processos de etanol, esquemas operacionais convencionais estão se tornando menos econômicos.

Para reduzir as necessidades de água do processo de fermentação empregado em uma instalação de etanol, a vinhaça fina de uma centrífuga ou um separador de sólidos é retornada ao reator ou vaso de fermentação. É virtualmente impossível remover 100% dos sólidos em uma operação com centrífuga convencional. Isto significa que os sólidos em suspensão, incluindo o que é referido como material não ativo, é retornado ao reator de fermentação. Quando o material não ativo é retornado aos reatores de fermentação, isto significa que isto limita a capacidade do material ativo que pode ser adicionado a cada batelada de fermentação. Material não ativo significa material ou matéria que não fermentável ou substancialmente não fermentável.

Isto é conhecido para utilizar reatores de tanque completamente agitados convencionais para o tratamento anaeróbio de vinhaça. Embora estes subsistemas produzam energia a partir do corrente de retroalimentação, reatores de tanque completamente agitados inerentemente adicionam massa biológica ao material sendo tratado. Para assegurar que os

sólidos adicionados não inibem a etapa de fermentação, uma pasteurização do efluente do reator de tanque completamente agitado é necessária. Isso contribui para reduzir a complexidade do processo e aumenta o custo.

Por isso, há uma necessidade de um sistema e processo de etanol que irá remover totalmente os sólidos totais em suspensão da vinhaça integral ou fina que irá por sua vez aumentar a capacidade efetiva de cada batelada de fermentação. Além disso, existe uma necessidade de um sistema ou processo de etanol que irá reduzir o custo da energia para produzir os subprodutos, tais como grão seco de destilaria (DDG) e xarope de grão seco de destilaria (DDGS). Existe uma necessidade de sistemas e processos em uma instalação de etanol para produzir um excedente de energia e, potencialmente, aumentar a eficiência global de produção de uma instalação de etanol.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

A presente invenção se refere a um processo de produção de etanol que usa um biorreator anaeróbico de membrana. Vinhaça integral ou fina é direcionada para um digestor anaeróbico formando uma parte do biorreator anaeróbico de membrana. No digestor anaeróbico, sólidos associados com a vinhaça integral ou fina são anaerobiamente digeridos para formar licor misto e biogás. O licor misto possuindo uma concentração de sólidos em suspensão é direcionado para uma unidade de separação por membrana que filtra o licor misto e produz uma corrente de rejeito concentrado (retido), e um permeado para retroalimentação que é virtualmente livre de sólidos em suspensão. O permeado para retroalimentação é direcionado de volta e misturado com carga de alimentação ou substrato de entrada. Uma vez que o permeado para retroalimentação é virtualmente livre de sólidos em suspensão, segue-se que o permeado para retroalimentação não contribui com sólidos em suspensão não ativos para o fermentador. Isto significa que a concentração de sólidos em suspensão no fermentador retroalimentado não limita ou reduz a capacidade

do fermentador.

Além disso, o digestor anaeróbico produz biogás que pode ser utilizado para acionar evaporadores, secadores e outro equipamento que possa ser utilizado em um processo de etanol para produzir subprodutos. Outros objetivos e vantagens da presente invenção se tornarão evidentes e óbvios a partir de um estudo da seguinte descrição e dos desenhos anexos, que são meramente ilustrativos de tal invenção.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A Figura 1 é uma ilustração esquemática da instalação de etanol e método de produção de etanol e subprodutos.

A Figura 2 é uma vista esquemática de um processo alternativo de produção de etanol.

A figura 3 é uma representação esquemática de ainda um outro processo alternativo de produção de etanol.

DESCRIÇÃO DE FORMAS DE REALIZAÇÃO EXEMPLIFICATIVAS

Com referência adicional aos desenhos, um sistema de produção de etanol ou instalação de etanol é aí mostrado e indicado geralmente pelo número 100. Antes de discutir o processo de produção de etanol, pode ser benéfico analisar os componentes básicos do sistema para a instalação. Com referência à Figura 1, é provido uma unidade de preparação de carga de alimentação ou substrato 102. Tal como será discutido posteriormente aqui, carga de alimentação, tais como o milho, é direcionada para dentro da unidade de preparação de substrato 102 e amidos que formam uma parte da carga de alimentação são convertidos em açúcar. A jusante da unidade de preparação do substrato 102 está um fermentador ou unidade de fermentação 104. Mais uma vez, tal como será discutido em mais detalhe abaixo, a unidade de fermentação 104 converte o açúcar em etanol e produz uma cerveja que inclui etanol e outros sólidos dissolvidos e em suspensão. A jusante da unidade de fermentação 104 está uma unidade de destilação 106, que funciona de modo a separar o etanol da cerveja e,

como a Figura 1 indica, produz etanol e o que é denominado vinhaça integral. A vinhaça integral produzida pela unidade de destilação 106, em uma forma de realização, é direcionada a um separador de sólidos 108, tais como uma unidade de centrifugação. Na unidade de centrifugação 108, a vinhaça integral é separada em vinhaça fina e torta úmida. A torta úmida produzida pelo separador de sólidos 108 é direcionada a um secador 120, que funciona de modo a converter a torta úmida de grão seco de destilaria (DDG). Na forma de realização ilustrada na Figura 1, a vinhaça fina é dividida em dois fluxos, um fluxo é direcionado para um evaporador 110 e o outro fluxo de vinhaça fina é direcionada a um biorreator anaeróbio de membrana indicado em geral pelo número 10. A torta úmida produzida pelo separador de sólidos 108 é direcionada a um secador 120, que funciona de modo a converter a torta úmida em grão seco de destilaria (DDG). Como mostrado na Figura 1, o fluxo de vinhaça fino direcionado ao biorreator anaeróbio de membrana 10 passa através de um tanque de equalização 16 e um tanque de mistura 18. Uma discussão mais detalhada do tratamento da vinhaça, integral ou fina, pelo biorreator anaeróbio de membrana 10 está próxima. O evaporador 110, por outro lado converte a vinhaça fina em xarope de grão seco de destilaria (DDGS).

Os processos realizados na unidade de preparação de substrato 102, fermentador de 104 e unidade de destilação 106 são geralmente conhecidos e utilizados nos processos convencionais de produção de etanol. Uma breve discussão sobre os processos básicos que ocorrem nessas unidades pode ser benéfica. Como já declarado, existem vários tipos de etapas ou processos de preparação. Geralmente, no entanto, uma carga de alimentação, juntamente com a água, é introduzida na unidade de preparação 102. Vários substratos ou vários tipos de materiais de instalação podem ser usados para produzir etanol. Por exemplo, cargas de alimentação comuns incluem milho (farinha seca ou farinha úmida), trigo e cana-de-açúcar. Outros tipos de material vegetal podem também ser usados como carga de alimentação.

Geralmente, a carga de alimentação e a água é aquecida e isto pode ser alcançado pela adição de vapor para a mistura de carga de alimentação - de água. A presença da carga de alimentação mais a água com a adição de enzimas faz com que o amido encontrado no material vegetal seja convertido em açúcar. Assim, a unidade de preparação de substrato 102 produz carga de alimentação na forma de um malte moído em que o amido associado com a carga de alimentação foi convertido em açúcar.

O malte moído de carga de alimentação produzido na unidade de preparação do substrato 102 é transportado para o fermentador 104. Tipicamente, a levedura e os nutrientes são adicionados ao malte moído da carga de alimentação. Geralmente a levedura converte o açúcar em etanol e, no processo de fermentação, a cerveja é produzida. Cerveja inclui etanol e sólidos, em particular os sólidos que não são reduzidos ou decompostos no processo de fermentação. Em geral, a fermentação ocorra a temperaturas ligeiramente mais elevadas do que é tipicamente encontrado no ambiente. No processo de fermentação, como aludido acima, a levedura fermenta o açúcar livre a etanol e este processo de fermentação é realizado até que substancialmente todos os açúcares são consumidos. A cerveja resultante inclui álcool e sólidos de cargas de alimentação que não são fermentáveis, isto é, sólidos de carga de alimentação que não podem ser digeridos pela levedura. Além disso, a cerveja pode incluir várias substâncias que resultam da decomposição da carga de alimentação ou material vegetal, tais como ácidos, proteínas, sais, óleos e outros sólidos dissolvidos.

A cerveja produzida no fermentador de 104 é direcionada para a unidade de destilação 106. Aqui, a cerveja é submetida a um processo de destilação em que os vapores de etanol são concentrados e separados a partir dos sólidos de carga de alimentação. Vários tipos de processos de destilação convencionais podem ser realizados para a produção de etanol de elevado grau de pureza. A fim de obter etanol 100 % puro que é necessário para

algumas aplicações, o etanol pode ser adicionalmente purificado por um processo de desidratação. Um típico processo de desidratação é realizado utilizando uma peneira molecular como um dessecante. Quando o etanol foi separado a partir da cerveja, a composição restante é geralmente denominada vinhaça integral.

A vinhaça integral, na forma de realização mostrada na Figura 1, é direcionada para o separador de sólidos ou unidade de centrífuga 108 que, de uma maneira convencional, separa a vinhaça integral em vinhaça fina e torta úmida. No caso da forma de realização mostrada na Figura 1, a vinhaça fina produzida pelo separador de sólidos 108 é dividida em dois fluxos, um fluxo é direcionado ao biorreator anaeróbio de membrana 10 através do tanque de equalização 16 e do tanque de mistura 18. Como será descrito abaixo, a vinhaça fina é tratada no digestor ou reator anaeróbio 12 do biorreator anaeróbico de membrana 10. O reator anaeróbio 12 realiza digestão anaeróbica da vinhaça fina para produção de biogás e licor misto. O licor misto produzido no reator anaeróbio 12 é direcionado para a unidade de separação por membrana 14, que filtra o licor misto e produz uma corrente de rejeito concentrado que é retornada ao reator anaeróbico e uma corrente de permeado para retroalimentação que está substancialmente livre de sólidos dissolvidos. A corrente de permeado para retroalimentação, a qual é substancialmente isenta de material não ativo (sólidos não fermentáveis), é direcionada de volta para a unidade de preparação 102 ou, em algumas formas de realização, pode ser direcionada para o fermentador 104.

A vinhaça fina direcionada ao biorreator anaeróbio de membrana 10 compreende um líquido, que inclui sólidos em suspensão que geralmente não são fermentáveis, assim como outras composições solúveis tais como óleos, ácidos orgânicos, sais, proteínas e outros materiais que podem inibir a atividade de levedura. O reator anaeróbio 12 contém micro-organismos que operam em condições anaeróbias (na ausência de oxigênio)

para decompor os sólidos não fermentáveis e outras substâncias orgânicas. A decomposição destes componentes produz biogás e vinhaça tratada que é aqui referida como licor misto.

Fazendo-se referência agora para o biorreator anaeróbio de membrana 10, como notado acima, o biorreator inclui um reator anaeróbio 12 projetado para fornecer a mistura mecânica na porção de fundo do reator e mistura mecânica em uma porção superior ou de topo do reator. Em uma forma de realização, não há mistura mecânica ou mistura relativamente pequena na porção intermédia ou média do reator anaeróbio 12. No reator 12, os sólidos pesados, incluindo flocos biológicos maiores e sólidos inorgânicos precipitados que tendem a sedimentar na porção de fundo do reator e são misturados com o licor misto no mesmo pela mistura que ocorre na porção inferior ou de fundo do reator. Outros sólidos mais leves ou mais finos tendem a flutuar na porção superior do reator, onde a mistura mecânica que ocorre mantém estes sólidos em suspensão na parte de topo do reator. Isto tende a estratificar o licor misto no reator anaeróbio 12 em três zonas distintas. Isto é, a concentração de sólidos na porção intermediária do reator é menor em comparação com a concentração de sólidos na parte de fundo ou superior do reator.

Localizado a montante do biorreator anaeróbico de membrana 10 está um tanque de equalização 16. Tanque de equalização 16 inclui um ou mais misturadores. No caso da forma de realização mostrada na Figura 1, a vinhaça fina separada pelo separador de sólidos 108 é direcionada para dentro do tanque de equalização 16 e, em algumas formas de realização, a vinhaça fina pode ser misturada no tanque de equalização. Disposto a jusante do tanque de equalização 16 está o tanque de mistura 18. O tanque de mistura 18 inclui de preferência um ou mais misturadores internos. Associado com o tanque de mistura 18 está um ou mais injetores de produtos químicos, indicado genericamente pelo número 20. Injetores de produtos químicos 20 funcionam para injetar vários produtos

químicos para dentro do tanque de mistura 18, que são depois misturados com a vinhaça. Vários produtos químicos podem ser injetados no tanque de mistura 18, dependendo das condições e da reposição da vinhaça fina. Por exemplo, pode ser desejável controlar o pH durante todo o processo e, nesse caso, um composto cáustico tal como NaOH pode ser injetado e misturado no fluxo de resíduos. Outros produtos químicos, tais como sais de ferro, elementos minerais necessários para a produção anaeróbica de biogás, por exemplo, podem ser adicionados se desejado. Em algumas formas de realização, o tanque de mistura 18 pode ser desnecessário. Neste caso, se produtos químicos forem desejados, eles podem ser injetados em uma linha ou conduto através do qual passa a vinhaça.

A vinhaça contida no tanque de mistura 18 é direcionada para dentro do reator anaeróbio 12. O reator anaeróbico 12 é um sistema fechado projetado para manter as condições anaeróbicas dentro do reator. O reator anaeróbico 12 pode ser de vários tamanhos e capacidades. A vinhaça fina, ou vinhaça integral, no caso da forma de realização mostrada na Figura 3, é misturada com o material ou matéria existente no reator para formar licor misto. Geralmente os componentes biodegradáveis no fluxo de resíduos reagem com a biomassa anaeróbia e reduzem a quantidade de sólidos biodegradáveis associados com a vinhaça. No processo, o biogás é produzido, bem como sólidos biológicos adicionais. O termo "licor misto" que é aqui utilizado inclui, mas não está limitado a, uma mistura de sólidos orgânicos e inorgânicos, incluindo a biomassa, resíduos biodegradáveis e não biodegradáveis, água e biogás. Licor misto pode residir no reator ou ser alimentado ao reator como um fluxo de reciclo a partir da unidade de separação por membrana 14. Conforme anteriormente mencionado, o reator anaeróbio 12 é projetado para estratificar o licor misto.

Estrategicamente colocada no reator anaeróbio está uma série de misturadores. Em primeiro lugar, existe um ou mais misturadores 30 situados na porção de fundo ou inferior do reator. Além disso, há um ou mais misturadores 32 situados na porção de topo ou superior do reator 12. Assim, considera-se que em

uma forma de realização não existem misturadores situados na região intermediária ou média do reator anaeróbio 12. A mistura do licor misto nas porções superior e inferior do reator 12 melhora e aumenta as reações entre os componentes anaerobicamente digeridos e a biomassa anaeróbica. Além disso, por exemplo, a mistura na porção superior do reator previne os sólidos de formar uma manta na porção superior do reator 12.

Os misturadores 30 e 32 proporcionam uma ação de mistura, resultando na porção de fundo e de topo do reator anaeróbio 12 sendo completamente misturadas. Diversos tipos de misturadores podem ser usados. Em uma forma de realização os misturadores são referidos como misturadores montados na parede lateral. Estes misturadores projetam através da parede lateral do reator anaeróbio 12 com o propulsor ou porção de mistura dos misturadores sendo disposto internamente no interior do reator 12. Os misturadores 30 e 32 são geralmente uniformemente espaçados, de modo a proporcionar uma mistura uniforme do licor misto nas porções de topo e de fundo do reator. Embora os misturadores mecânicos sejam discutidos e apresentados nos desenhos, outros tipos de misturadores de reatores anaeróbicos convencionais podem ser usados. Por exemplo, a mistura pode ser realizada por injeção a gás, fluxos mecânicos, e bombas mecânicas.

A profundidade e a localização exata das camadas estratificadas no reator anaeróbio 12 podem variar. A título de exemplo, suponha que o reator anaeróbio 12 possui aproximadamente 15,24 metros (50 pés) de altura. Em tal caso, os misturadores de fundo 30 podem ser centrados em aproximadamente 0,91 metros (3 pés) a partir do fundo do reator anaeróbico. Os misturadores superiores 32 podem ser centrados em aproximadamente 11,58 metros (38 pés) a partir do fundo do reator anaeróbico. Neste caso, a uma altura de 6,1 a 7,62 metros (20 a 25 pés) a partir do fundo do reator anaeróbico, pelo menos uma porção da zona intermediária ou média 40 estaria localizada. Assim, neste exemplo, a linha 50, que alimenta o licor misto a partir do reator anaeróbico 12 para a unidade de

separação por membrana 14, será bombeada para a parede do reator anaeróbio 12 em um ponto intermediário entre 6,1 a 7,62 metros (20 a 25 pés) a partir do fundo do reator anaeróbio. Neste ponto, o licor misto bombeado a partir do reator anaeróbio provavelmente terá uma concentração de sólidos inferior a do licor misto disposto no fundo do reator.

Digestão de sólidos associada com a vinhaça produz biogás. O biogás produzido na zona de mistura inferior irá subir ao longo da altura do reator 12, e proporcionar uma suave mistura de baixo cisalhamento do licor misto na zona intermediária. O reator 12 é provido com uma saída de biogás que pode passar pela força criada pela produção biológica de biogás ou pode ser aumentada através da utilização de um soprador de exaustão 34 e uma saída de biogás 36. O biogás produzido no reator anaeróbio 12 pode ser utilizado como uma fonte de combustível para vários componentes utilizados na instalação de etanol. Por exemplo, o biogás produzido pelo reator anaeróbio 12 pode ser utilizado para proporcionar uma fonte de combustível para o evaporador 110 e secador 112. Ver figura 1.

Tal como entendido pelas pessoas versadas na técnica, o material anaerobicamente biodegradável contido na vinhaça é digerido por meio de reações no reator 12, onde as bactérias anaeróbicas (e facultativas!) e arquéias metanogênicas convertem o material de vinhaça biodegradável em biogás, o qual é substancialmente feito de metano e dióxido de carbono e outras quantidades menores de outros elementos em forma gasosa, tal como sulfeto de hidrogênio. Estes componentes gasosos são geralmente referidos aqui como "biogás". O biogás pode também conter pequenas quantidades de vapor de água, amônia, e traços de outros compostos voláteis, que possam estar presentes na corrente de resíduos ou formados durante a biodegradação. Composição resultante do biogás em cento em volume variará dependendo dos compostos orgânicos digestíveis particulares a serem processados. Os níveis de metano preferidos no biogás formado no reator 12 são na faixa de cerca de 50 a cerca de 90 por cento em

volume. Os níveis de dióxido de carbono preferidos estão na faixa de cerca de 5 a cerca de 45 por cento (por volume), e os níveis de sulfeto de hidrogênio podem variar de cerca de 200 ppm (volume) a cerca de 3 por cento em volume.

A jusante do reator anaeróbio 12 está a unidade de separação por membrana 14. O licor misto do reator anaeróbio 12 é direcionado para a unidade de separação por membrana 14. O licor misto é retirado a partir da zona intermediária ou média do reator anaeróbio 12. Isto significa que o licor misto direcionado a partir do reator anaeróbico 12 para a unidade de separação por membrana inclui uma concentração de sólidos inferior a que seria normalmente encontrada no licor misto na porção de fundo ou de topo do reator anaeróbio 12. Como pode ser visto nas Figuras 1 a 3, uma linha de alimentação para a membrana está operativamente interconectada entre o reator anaeróbico 12 e a unidade de separação por membrana 14 e serve para direcionar ou canalizar licor misto a partir do reator para a unidade de separação por membrana. Vários meios podem ser utilizados para o transporte de licor misto a partir do reator 12 para a unidade de separação por membrana 14. Nas formas de realização exemplares mostradas nas Figuras 1 a 3, uma bomba de alimentação da membrana 52 encontra-se operacionalmente conectada na linha de alimentação 50. A bomba 52 bombeia licor misto a partir do reator através da linha 50 para a unidade de separação por membrana 14. A bomba de alimentação da membrana 52 fornece uma pressão de linha de base, nesta forma de realização, para a unidade de separação por membrana 14. Em uma forma de realização, a unidade de separação por membrana 14 é um circuito hidráulico continuamente recirculado que inclui módulos de membrana, uma bomba de recirculação para a membrana 54 e controles convencionais de desempenho da membrana. A bomba de recirculação para a membrana 54 bombeia o licor misto em um circuito de recirculação constante em torno da unidade de separação por membrana 14 para proporcionar a velocidade de fluxo transversal necessária.

A unidade de separação por membrana 14 filtra ou separa o licor

misto em duas correntes, uma corrente de rejeito ou retido que é relativamente concentrada e uma corrente de permeado para retroalimentação que é substancialmente isenta de sólidos em suspensão. A corrente de rejeito ou retido é direcionada a partir da unidade de separação por membrana 14 por meio de uma linha de rejeito 62. A linha de rejeito 62 é operativa para reciclar a corrente de rejeito ou retido de volta para a bomba de alimentação da membrana 52 ou de volta para o reator anaeróbio 12. Isto é, em uma forma de realização, pelo menos uma porção da corrente de rejeito é retornada ao reator anaeróbio 12 e misturada com o licor misto no mesmo. Isto é conseguido através da linha de retorno 64. Assim, como mencionado acima, uma porção da corrente de rejeito é retirada da linha reciclada 62 e retornada através de uma bomba de recirculação 66 para o reator anaeróbico 12. Em uma forma de realização, a bomba 66 é substituída por uma válvula de controle de fluxo e a força necessária para fazer retornar a corrente de rejeito para o reator é fornecida pela bomba de alimentação da membrana, a bomba 52.

O corrente de permeado para retroalimentação produzida pela unidade de separação por membrana 14 é retornada através da linha 101 para a unidade de preparação de substrato 102 ou em alguns casos, diretamente para o fermentador 104. Deve ser apreciado que o permeado para retroalimentação está relativamente livre de sólidos em suspensão e o que é referido como material fermentável não ativo. Isto significa que os sólidos em suspensão que são não fermentáveis não são retornados ao fermentador de 104 e não ocupam espaço e capacidade no fermentador. Isso permite efetivamente que a capacidade do fermentador seja aumentada, e que por sua vez aumente a eficiência global de produção de etanol.

A Tabela 1 abaixo mostra as concentrações típicas de sólidos totais (ST), sólidos totais dissolvidos (STD) e sólidos totais em suspensão (STS) para três diferentes substratos, milho para etanol / moinho a úmido, etanol celulósico, e milho para etanol / moinho a seco. Note-se a redução substancial nos

sólidos totais em suspensão no permeado para retroalimentação para cada um dos substratos. No caso do milho para etanol / substrato de moinho a úmido, por exemplo, os sólidos totais em suspensão na vinhaça fina foi de 14,190 mg / L. O biorreator de membrana, incluindo o reator anaeróbico 12 e a unidade de separação por membrana 14 foi eficaz para reduzir os sólidos totais em suspensão de apenas 470 mg / L no permeado para retroalimentação, uma redução de aproximadamente 97 %. Houve reduções substanciais semelhantes nos sólidos totais em suspensão para os outros dois substratos mostrados na Tabela 1. A Tabela 1 também indica que houve uma redução substancial mesmo nos sólidos totais dissolvidos.

Tabela 1

Resumo de sólidos para diferentes instalações de etanol e vinhaça			
Instalação	**Milho-para-Etanol/Moinho a úmido**		
Corrente	**Vinhaça fina**	**Permeado para retroalimentação**	**% de redução**
ST (mg/L)	64.000	10.300	84
STD (mg/L)	49.810	9.830	80
STS (mg/L)	14.190	470	97
Instalação	**Etanol celulósico**		
Corrente	**Vinhaça integral**	**Permeado para retroalimentação**	**% de redução**
ST (mg/L)	91.600	8.900	90
STD (mg/L)	25.850	8.400	68
STS (mg/L)	65.750	500	99
Instalação	**Milho-para-Etanol/Moinho a úmido**		
Corrente	**Vinhaça fina**	**Permeado para retroalimentação**	**% de redução**
ST (mg/L)	83.700	8.170	90
STD (mg/L)	47.700	8.070	83
STS (mg/L)	36.000	100	100

O biorreator anaeróbico de membrana 10 inclui também uma unidade de limpeza no local (CIP). A unidade de limpeza no local é um sistema ou unidade que é operativo para periodicamente, ou de tempos em tempos, limpar a unidade de separação por membrana 14, por retrolavagem

das respectivas membranas que formam a unidade de separação por membrana. Vários sistemas de limpeza de membrana podem ser usados. Em um exemplo, a unidade de limpeza no local é projetada para utilizar o retido a partir da unidade de separação por membrana 14 para retrolavar e limpar as respectivas membranas da unidade de separação por membrana. Detalhes da unidade de limpeza no lugar não estão aqui tratados porque tais sistemas ou unidades e como eles operam são bem conhecidos e apreciados pelas pessoas versadas na técnica.

O biorreator anaeróbico de membrana em uma forma de realização pode incluir um sistema e um processo para a remoção de sólidos a partir do reator anaeróbio 12. O biorreator anaeróbio de membrana 10 também inclui um sistema e um processo para a remoção de sólidos a partir do reator anaeróbio 12. Mais particularmente, existe um processo de separação de sólidos que inclui um separador de sólidos 74, tal como um separador de hidrociclone. O separador de sólidos 74 é projetado para, de preferência, separar sólidos pesados que incluam uma percentagem relativamente elevada de agentes precipitantes inorgânicos, a partir dos sólidos mais leves que incluem tipicamente uma concentração relativamente elevada de biomassa. Como observado acima, os sólidos são removidos a partir do reator anaeróbio 12, a fim de manter ou controlar o tempo de retenção da lama (TRL). Além disso, pode haver um acúmulo substancial de sólidos inorgânicos pesados dentro do reator anaeróbio 12 e estes sólidos podem ser removidos direcionando os mesmos a partir do reator anaeróbio para um separador de sólidos. Em qualquer caso, existem várias maneiras de remoção de sólidos a partir do biorreator anaeróbico de membrana 10. Por exemplo, em uma forma de realização, os sólidos podem ser simplesmente descartados a partir do reator anaeróbio 12 de uma maneira convencional. Em outro exemplo, os sólidos podem ser removidos a partir do corrente de retido que sai da unidade de separação por membrana. Neste caso, uma quantidade

selecionada ou controlada do corrente de retido pode ser direcionada para um separador de sólidos.

Na forma de realização aqui ilustrada, os sólidos são bombeados a partir da porção inferior do reator anaeróbico 12 para um separador de sólidos, que, no caso do exemplo ilustrado, é um hidrociclone 74. A este respeito, a linha 70 encontra-se operacionalmente conectada ao reator anaeróbico 12, e inclui uma bomba 72. A linha 70 e a bomba 72 estão operativamente conectadas ao separador de sólidos 74 para direcionar o licor misto incluindo sólidos para o separador de sólidos. Observe que a linha 70 está conectada ao reator 12, de modo que o licor misto é retirado da porção de fundo do reator 12. Isto, tal como explicado acima, é onde os sólidos mais pesados estão contidos. Em qualquer caso, o licor misto é bombeado a partir da porção de fundo do reator 12 através da linha 70 para dentro do separador de sólidos 74. O separador de sólidos 74 produz um transbordo inferior que compreende sólidos que são mais pesados em natureza e um transbordo superior que compreende de sólidos que são mais leves em natureza do que o transbordo inferior. O transbordo superior é bombeado ou alimentado através de uma linha de transbordo superior 78 de volta para o reator anaeróbico 12, onde é misturado com o licor misto no mesmo. Os sólidos mais pesados ou transbordo inferior produzidos pelo separador de sólidos ou hidrociclone 74 são direcionados através da linha de transbordo inferior 76 para tratamento adicional. Por exemplo, os sólidos pesados produzidos no transbordo inferior podem ser direcionados para uma unidade de remoção de água para remover água e concentração adicional.

O processo de remoção de sólidos descrito agora em relação ao separador de sólidos 74 pode ser operado em paralelo com a unidade de separação por membrana 14. Em alguns casos, o processo de remoção de sólidos pode ser operado continuamente, enquanto a unidade de separação por membrana 14 está filtrando o licor misto a partir do reator 12. Em outros

casos, o processo de remoção de sólidos pode ser operado de forma intermitente, a fim de manter um TRL selecionado. O TRL pode variar, dependendo das circunstâncias e condições. É contemplado que o TRL para as formas de realização ilustradas e discutidas aqui pode variar de aproximadamente 15 a aproximadamente 80 dias.

O separador de sólidos de 74 não é um componente essencial da presente invenção. Há situações em que o separador de sólidos de 74 não é necessário. Mais particularmente, o separador de sólidos 74 e o processo de remoção de sólidos a partir da porção de fundo do reator anaeróbio 12 é útil quando a corrente de afluente ou a corrente de alimentação de água inclui uma quantidade substancial de sólidos dissolvidos que precipitam quando submetidos a tratamento no processo da presente invenção. Algumas correntes de alimentação de água não incluirão sólidos dissolvidos substanciais que irão precipitar e nesses casos, o processo de separação de sólidos, utilizando o separador de sólidos 74 pode não ser uma exigência no processo da presente invenção.

Na forma de realização da Figura 1 discutida acima, a instalação ou sistema de etanol inclui o evaporador 110 para o tratamento de vinhaça fina e um secador 120 para o tratamento da torta úmida. A forma de realização mostrada na Figura 2 é substancialmente semelhante ao sistema e processo mostrado na Figura 1 e descrito acima. A Figura 2 basicamente difere da Figura 1 na medida em que o processo da Figura 2 não inclui o evaporador 110, o qual recebe uma corrente de vinhaça fina. No entanto, como pode ser visto na Figura 2, o reator anaeróbico de membrana 10 recebe e trata uma corrente de vinhaça fina separada pelo separador de sólidos 108.

A forma de realização da Figura 3 difere da forma de realização da Figura 1 na medida em que a vinhaça integral produzida pela unidade de destilação 106 é direcionada ao biorreator anaeróbico de membrana 10. No projeto da Figura 3, não há evaporador ou secador para o

tratamento da vinhaça fina e da torta úmida. No entanto, os conceitos básicos descritos em relação à forma de realização da Figura 1, se aplicam às formas de realização mostradas nas Figuras 2 e 3. Isto é, o biorreator anaeróbico de membrana é operativo para digerir os sólidos não fermentáveis para produzir o licor misto e a unidade de separação por membrana é operativa para filtrar o licor misto para remover substancialmente todos os sólidos em suspensão, de tal modo que a corrente de permeado para retroalimentação produzida pela unidade de separação por membrana 14 é substancialmente isenta de sólidos em suspensão e que pode ser direcionada para a unidade de preparação de carga de alimentação 102 ou, em alguns casos, diretamente para o fermentador 104.

A presente invenção pode, evidentemente, ser realizada de outros modos que não os especificamente aqui estabelecidos sem se afastar das características essenciais da invenção. As presentes formas de realização devem ser consideradas em todos os aspectos como ilustrativas e não restritivas, e todas as mudanças provenientes do significado e alcance de equivalência das reivindicações anexas se destinam a ser aí englobadas.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de produção de etanol e biogás, caracterizado pelo fato de que compreende:

(A) direcionar uma carga de alimentação de entrada para uma área de pré-tratamento e pré-tratar a carga de alimentação que libera açúcar a partir da carga de alimentação;

(B) fermentar o açúcar produzido a partir da carga de alimentação em um fermentador para produzir cerveja, que compreende a carga de alimentação e etanol;

(C) destilar a cerveja para produzir etanol e vinhaça integral que inclui líquidos, sólidos dissolvidos e sólidos em suspensão;

(D) direcionar pelo menos uma porção da vinhaça integral ou uma porção de vinhaça fina produzida a partir da vinhaça integral para um biorreator anaeróbio de membrana tendo um digestor anaeróbico e uma unidade de separação por membrana, e

(1) no digestor anaeróbio, realizar digestão anaeróbica de sólidos na vinhaça e produzir biogás e um licor misto;

(2) direcionar o licor misto do digestor anaeróbico para a unidade de separação por membrana e a remover sólidos em suspensão do licor misto e no processo, produzir uma corrente de rejeito concentrada e um permeado para retroalimentação que é substancialmente isento de sólidos em suspensão, e

(E) reciclar pelo menos uma porção do permeado para retroalimentação e misturar o permeado para retroalimentação com a carga de alimentação de entrada e em que a mistura do permeado para retroalimentação e da carga de alimentação de entrada é fermentada no fermentador.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a destilação da cerveja produz etanol e vinhaça integral e em que a

vinhaça integral é direcionada para dentro do digestor anaeróbico e o método inclui a digestão anaeróbica de sólidos na vinhaça integral e produção do biogás e do licor misto.

3. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que inclui separar a vinhaça integral em vinhaça fina e torta úmida, e direcionar a vinhaça fina para o digestor anaeróbico e realizar digestão anaeróbica de sólidos na vinhaça fina e produzir o biogás e o licor misto.

4. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que inclui direcionar a vinhaça integral a uma centrífuga e separar a vinhaça fina a partir da vinhaça integral, e direcionar pelo menos uma porção da vinhaça fina para o digestor anaeróbico e realizar digestão anaeróbia de sólidos na vinhaça fina para produzir o biogás e licor misto.

5. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que inclui ainda direcionar a vinhaça integral a um separador de vinhaça e separar a vinhaça fina a partir da vinhaça integral, e dividir a vinhaça fina em pelo menos duas correntes, e direcionar uma corrente da vinhaça fina ao biorreator anaeróbio de membrana e realizar digestão anaeróbia de sólidos na vinhaça fina e produzir o biogás e o licor misto e direcionar a outra corrente de vinhaça fina a um evaporador e produzir grão do destilador a seco (DDG).

6. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que inclui:

estratificar o licor misto no digestor anaeróbio através da formação de uma primeira zona de licor misto inferior, onde o licor misto na primeira zona de licor misto inferior inclui uma concentração relativamente elevada de sólidos, e formar uma segunda zona de licor misto acima da primeira zona de licor misto inferior onde o licor misto na segunda zona inclui uma concentração de sólidos substancialmente menor do que a concentração de sólidos na primeira zona de licor misto inferior; e

direcionar licor misto a partir da segunda zona de licor misto no digestor anaeróbico para a unidade de separação por membrana, onde o licor misto é separado em corrente de rejeito concentrado e o permeado para retroalimentação que é relativamente isento de sólidos em suspensão.

7. Método de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que inclui reciclar pelo menos uma porção da corrente de rejeito concentrado para o digestor anaeróbico e misturar a corrente de rejeito concentrado com o licor misto no digestor anaeróbio, e direcionar o licor misto e sólidos a partir da primeira zona de licor misto inferior para um separador de sólidos e separar o licor misto e sólidos e em uma corrente de sólidos mais pesados e uma corrente de sólidos mais leves contendo biomassa.

8. Método de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que inclui reciclar pelo menos uma porção da corrente de sólidos mais leves contendo a biomassa para o digestor anaeróbico e misturar a corrente de sólidos mais leves com o licor misto no digestor anaeróbico.

9. Método de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que inclui proporcionar uma ação de mistura na primeira zona de licor misto inferior e misturar o licor misto e os sólidos na mesma, e manter o licor misto na segunda zona em um estado não misturado ou em um estado em que a ação de mistura na segunda zona é substancialmente menor do que a ação de mistura na primeira zona de licor misto inferior.

10. Método de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que durante certos intervalos de tempo, tanto a unidade de separação por membrana e o separador de sólidos são operados em simultâneo e em que existe um fluxo de licor misto a partir do digestor anaeróbico para a unidade de separação por membrana e um outro fluxo de licor misto a partir do digestor anaeróbico para o separador de sólidos e em que os dois fluxos são independentes uns dos outros.

11. Instalação de etanol para a produção de etanol e biogás,

caracterizada pelo fato de que compreende:

uma unidade de preparação de carga de alimentação para receber a carga de alimentação de entrada e água e liberar açúcar a partir de carga de alimentação;

um fermentador localizado a jusante da unidade de preparação de carga de alimentação para receber a carga de alimentação após a carga de alimentação ter sido tratada na unidade de preparação e para fermentar o açúcar liberado a partir da carga de alimentação e produzir cerveja, que inclui etanol e carga de alimentação;

uma unidade de destilação localizada a jusante do fermentador para separar etanol a partir da carga de alimentação e produzir etanol e vinhaça integral;

um biorreator anaeróbio de membrana localizado a jusante da unidade de destilação e incluindo um digestor anaeróbico e uma unidade de separação por membrana;

um ou mais primeiros condutos para direcionar vinhaça integral ou vinhaça fina derivada a partir de vinhaça integral para dentro do digestor anaeróbio e em que a digestor anaeróbio realiza digestão anaeróbica de sólidos na vinhaça integral ou fina e produz licor misto e biogás;

uma ou mais linhas de alimentação de licor misto para direcionar o licor misto a partir do digestor anaeróbico para a unidade de separação por membrana, em que a unidade de separação por membrana está operativa para separar o licor misto em uma corrente de rejeito concentrado e um permeado para retroalimentação que é relativamente isento de sólidos em suspensão;

um ou mais segundos condutos para reciclar o permeado para retroalimentação para um ponto na instalação onde o permeado para retroalimentação é misturado com a carga de alimentação de entrada, e

em que, utilizando a unidade de separação por membrana para

remover os sólidos em suspensão a partir do licor misto para produzir o permeado para retroalimentação, menos sólidos não ativos são retornados ao fermentador e isto por sua vez, aumenta efetivamente a capacidade do fermentador para manter o material ativo.

12. Instalação de etanol de acordo com a reivindicação 11, caracterizada pelo fato de que o digestor anaeróbico é operativo para estratificar o licor misto em pelo menos duas zonas no digestor anaeróbico, uma zona inferior, onde o licor misto inclui sólidos relativamente pesados e uma zona acima da zona inferior, onde o licor misto inclui uma concentração de sólidos que é de forma mensurável menor do que a concentração de sólidos no licor misto na zona inferior.

13. Instalação de etanol de acordo com a reivindicação 11, caracterizada pelo fato de que o digestor anaeróbico é operativo para estratificar o licor misto em três zonas incluindo uma primeira zona inferior, uma segunda zona intermediária e uma terceira zona superior e em que a primeira zona inferior inclui uma concentração de sólidos que é maior do que a concentração de sólidos nas segunda e terceira zonas, e em que a concentração de sólidos do licor misto na terceira zona é maior do que a concentração de sólidos do licor misto na segunda zona intermediária.

14. Instalação de etanol de acordo com a reivindicação 11, caracterizada pelo fato de que a linha de alimentação de licor misto está conectada ao digestor anaeróbico de tal modo que a maior parte do licor misto direcionado para a unidade de separação por membrana é proveniente de uma porção intermédia do digestor anaeróbico.

15. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a concentração de sólidos totais em suspensão na carga de alimentação de entrada é maior do que 10.000 ppm, e em que a concentração dos sólidos totais em suspensão do permeado para retroalimentação é menor do que 60 ppm.

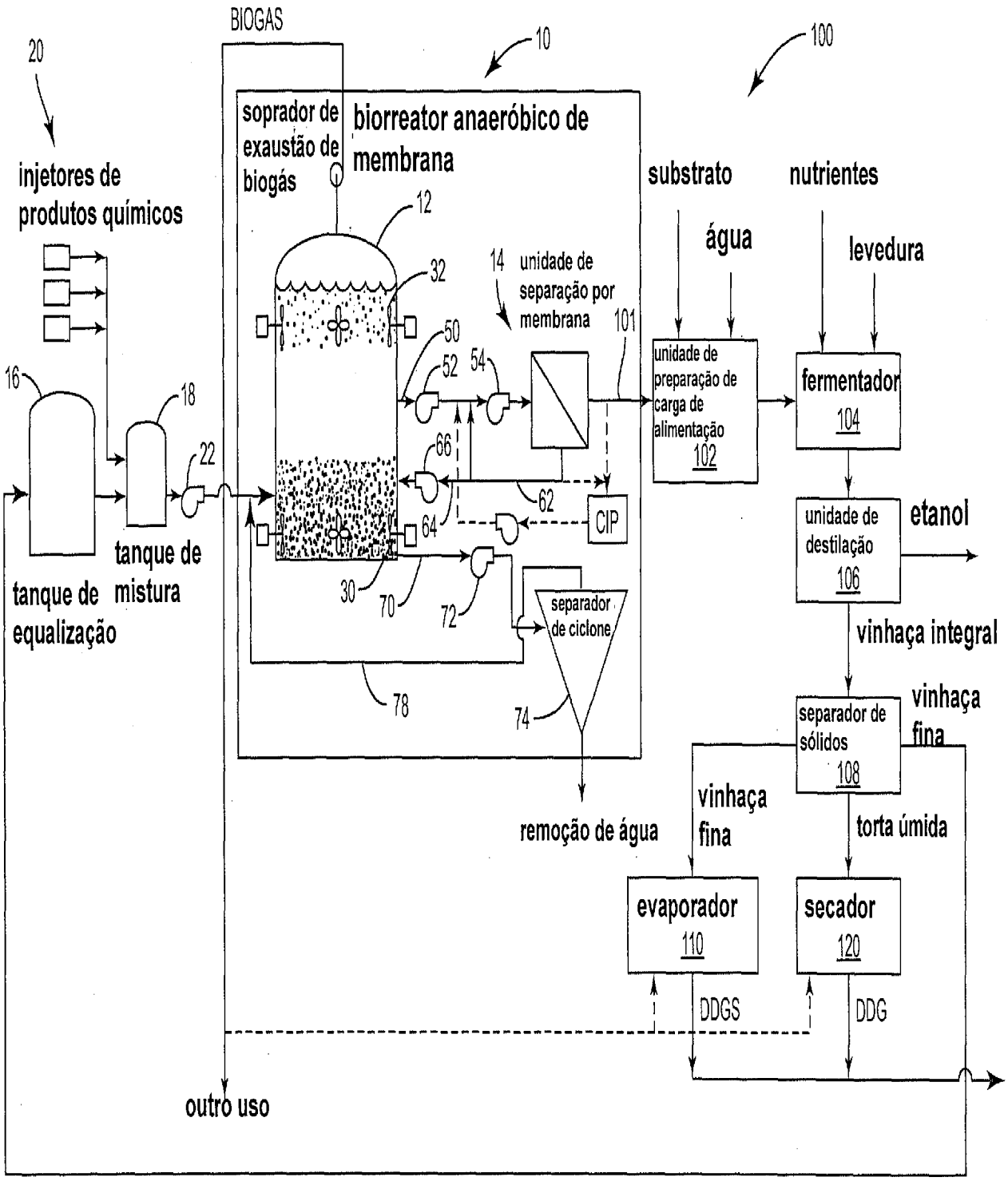

BIOGAS
20
10
100
injetores de produtos químicos
soprador de exaustão de biogás
biorreator anaeróbico de membrana
substrato
nutrientes
água
levedura
12
32
14
unidade de separação por membrana
101
50
52
54
16
18
22
66
62
64
CIP
unidade de preparação de carga de alimentação 102
fermentador 104
unidade de destilação 106
etanol
vinhaça integral
tanque de equalização
tanque de mistura
30
70
72
separador de ciclone
78
74
separador de sólidos 108
vinhaça fina
vinhaça fina
torta úmida
remoção de água
evaporador 110
secador 120
DDGS
DDG
outro uso

FIG. 1

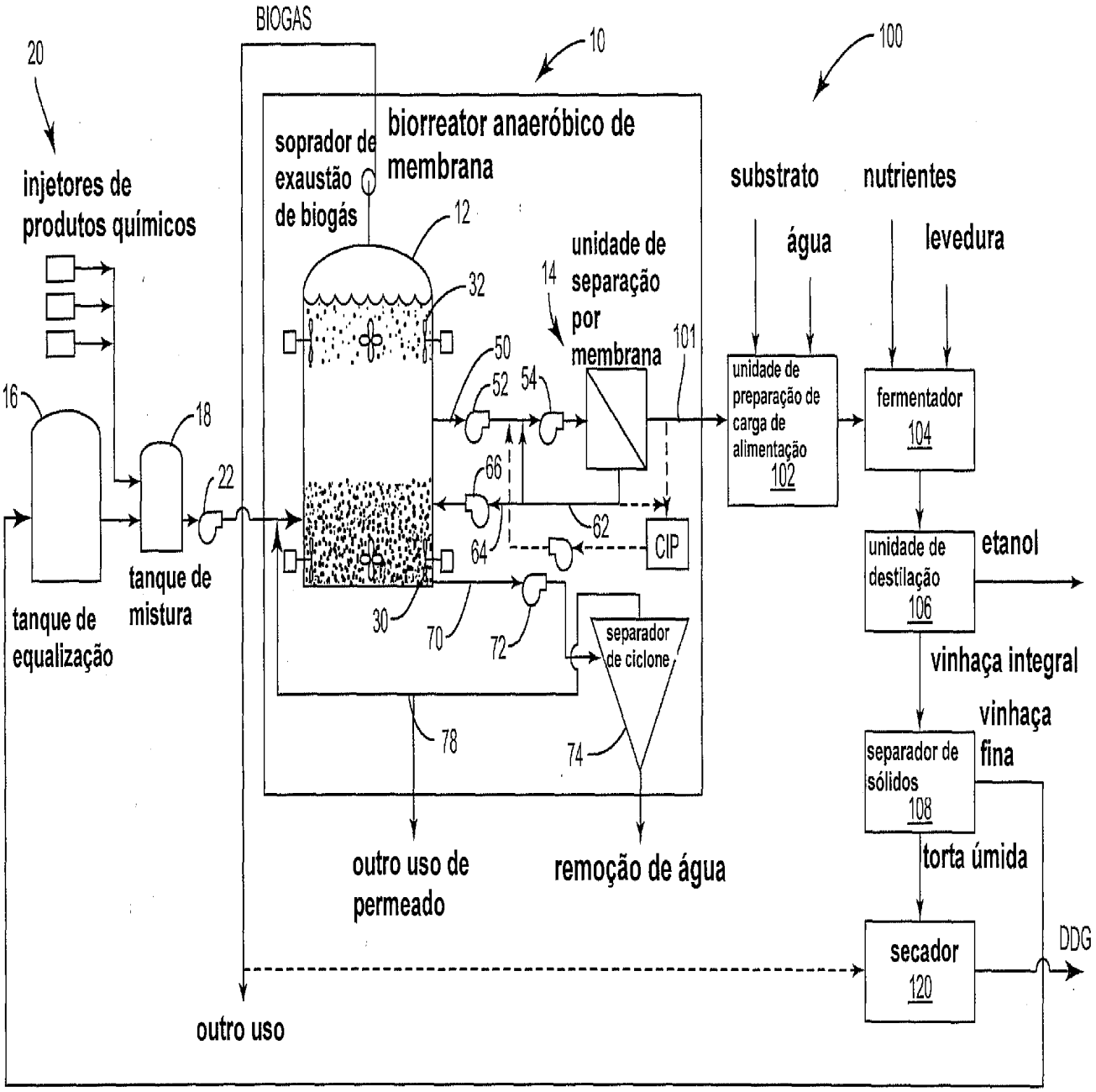

BIOGAS
20
injetores de produtos químicos
10
biorreator anaeróbico de membrana
soprador de exaustão de biogás
12
32
14
unidade de separação por membrana
101
50
52
54
66
62
64
CIP
16
18
22
tanque de equalização
tanque de mistura
30
70
72
separador de ciclone
78
74
outro uso de permeado
remoção de água
outro uso
100
substrato
água
nutrientes
levedura
unidade de preparação de carga de alimentação 102
fermentador 104
unidade de destilação 106
etanol
vinhaça integral
vinhaça fina
separador de sólidos 108
torta úmida
secador 120
DDG

FIG. 2

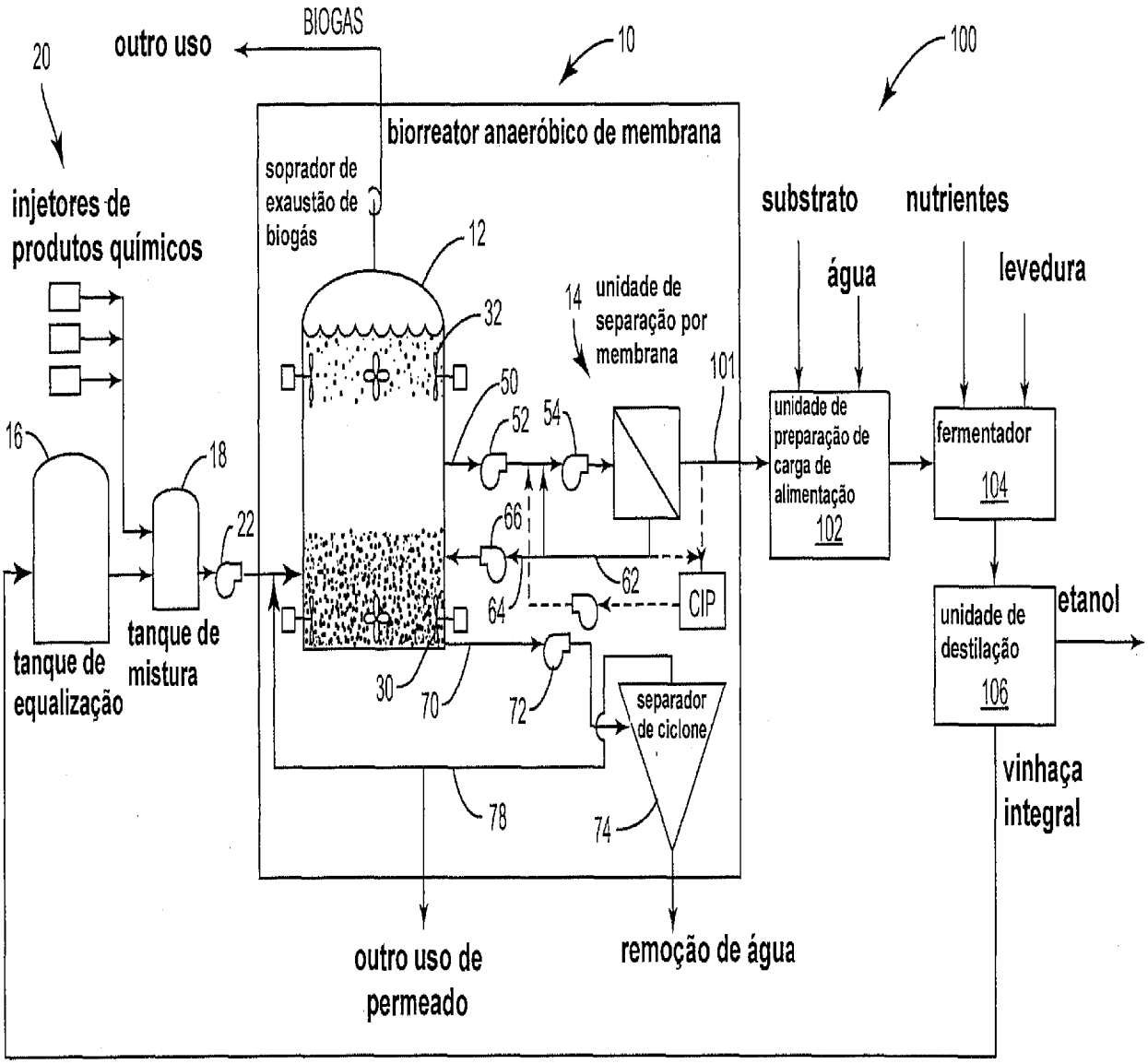

BIOGAS
outro uso
20
10
100
biorreator anaeróbico de membrana
soprador de exaustão de biogás
injetores de produtos químicos
substrato
nutrientes
água
levedura
12
14
unidade de separação por membrana
32
50
52
54
101
16
18
22
66
62
64
CIP
unidade de preparação de carga de alimentação
102
fermentador
104
unidade de destilação
106
etanol
vinhaça integral
tanque de equalização
tanque de mistura
30
70
72
separador de ciclone
78
74
outro uso de permeado
remoção de água

FIG. 3

RESUMO

"MÉTODO DE PRODUÇÃO DE ETANOL E BIOGÁS, E, INSTALAÇÃO DE ETANOL PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL E BIOGÁS"

Um sistema e um processo para a produção de etanol e biogás. No caso do método, uma carga de alimentação de entrada e água é direcionada para uma unidade de preparação, que libera de açúcar a partir de carga de alimentação. A carga de alimentação, incluindo o açúcar liberado, é direcionada para um fermentador que fermenta o açúcar para produzir uma cerveja que inclui etanol e carga de alimentação. A cerveja é direcionada para uma unidade de destilação que separa o etanol a partir da carga de alimentação e produz etanol e vinhaça integral. A vinhaça integral ou vinhaça fina derivada a partir da vinhaça integral é direcionada a uma unidade de biorreator anaeróbio de membrana, que inclui um digestor anaeróbico e uma unidade de separação por membranas. A vinhaça, tanto integral quanto fina, é submetida a uma digestão anaeróbica no digestor anaeróbico e isto produz licor misto que inclui sólidos em suspensão. O licor misto incluindo os sólidos em suspensão é direcionado para a unidade de separação por membrana que filtra eficazmente os sólidos em suspensão a partir do licor misto e produz uma corrente de rejeito (retido) concentrado e uma corrente de permeado para retroalimentação que é substancialmente isenta de sólidos em suspensão. A corrente de permeado para retroalimentação é então direcionada para um ponto no sistema ou método em que o permeado para retroalimentação é misturado com a carga de alimentação de entrada. Por digestão anaeróbia de sólidos na vinhaça e remoção de sólidos em suspensão a partir do licor misto, material não ativo não é transmitido com o permeado para retroalimentação para o fermentador e isso é eficaz para aumentar a capacidade do fermentador.