

PROCESSO PARA PRODUZIR UM OU MAIS PRODUTOS DE FERMENTAÇÃO

REFERÊNCIA CRUZADA A UM PEDIDO RELACIONADO

[001] O pedido reivindica o benefício do Pedido Provisório nº US 62/556.099, depositado em 08 de setembro de 2017, cujo conteúdo é incorporado ao presente documento a título de referência.

CAMPO DA INVENÇÃO

[002] A presente invenção se refere a um processo para a produção de um ou mais produtos de fermentação através de um processo de fermentação de gás de múltiplos estágios, incluindo um reator de inoculação e pelo menos um biorreator. Em particular, a invenção se refere a um processo pelo qual um substrato gasoso que contém C1 rico em CO é fornecido ao reator de inoculação para a produção de um inóculo.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[003] O dióxido de carbono (CO₂) é responsável por cerca de 76% das emissões globais de gases de efeito estufa de atividades humanas, com metano (16%), óxido nitroso (6%) e os gases fluorados (2%) contabilizando para o equilíbrio (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos). A redução de emissões de gases de efeito estufa, principalmente CO₂, é fundamental para deter a progressão do aquecimento global e as mudanças climáticas e meteorológicas que acompanham.

[004] Há muito tempo se reconhece que processos catalíticos, tal como o processo Fischer-Tropsch, podem ser usados para converter gases que contêm dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) e/ou hidrogênio (H₂), tal como gás residual industrial ou gás de síntese, em uma variedade de combustíveis e produtos químicos. Recentemente, no entanto, a fermentação a gás surgiu como uma plataforma alternativa para a fixação biológica desses gases. Em particular, os micro-organismos de fixação de C1 demonstraram converter os gases que contêm CO₂, CO, e/ou H₂ em produtos,

tais como etanol e 2,3-butanodiol.

[005] Tais gases podem ser derivados, por exemplo, de processos industriais, incluindo gás de fermentação de carboidratos, gás de fabricação de cimento, fabricação de papel e celulose, fabricação de aço, refinamento de petróleo e processos associados, produção petroquímica, produção de coque, digestão anaeróbica ou aeróbica, gás de síntese (derivado de fontes incluindo, mas sem limitação, biomassa, fluxos de resíduos líquidos, fluxos de resíduos sólidos, fluxos municipais, recursos fósseis incluindo gás natural, carvão e óleo), extração de gás natural, extração de óleo, processos metalúrgicos, para produção e/ou refinamento de alumínio, cobre e/ou ferroligas, reservatórios geológicos e processos catalíticos (derivados de fontes de vapor incluindo, mas sem limitação, reforma de metano a vapor, reforma de nafta a vapor, gaseificação de coque de petróleo, regeneração de catalisador - craqueamento de catalisador fluido, regeneração de catalisador-reforma de nafta e reforma de metano seco).

[006] Com processos industriais específicos, a composição do gás pode não ser ideal para a fermentação. Quando a composição do gás não é ideal, o crescimento celular, a seletividade do produto e a estabilidade podem ser inferiores ao ideal.

[007] Por conseguinte, permanece a necessidade de uma invenção que otimize a composição do gás dos processos industriais para promover o crescimento celular, a seletividade do produto e a estabilidade em um processo de fermentação a jusante.

BREVE SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[008] A invenção fornece um processo para produzir um ou mais produtos de fermentação, em que um substrato gasoso que contém C1 rico em CO é passado para um reator de inoculação que compreende um meio nutritivo líquido que contém uma cultura de um ou mais micro-organismos fixadores de C1 em que o substrato gasoso que contém C1 rico em CO é

fermentado para produzir um inóculo, pelo menos uma porção do inóculo é passado para um sistema de biorreator, em que o sistema biorreator define pelo menos um biorreator que contém uma cultura de um ou mais micro-organismos fixadores de C1 em um meio nutritivo líquido, um substrato gasoso que contém C1 rico em H₂ é passado para o sistema de biorreator, em que o substrato gasoso que contém C1 rico em H₂ é fermentado para produzir pelo menos um produto de fermentação.

[009] Em modalidades particulares, o substrato gasoso que contém C1 rico em CO a ser passado para o reator de inoculação compreende H₂ em uma razão molar de H₂:CO de menos do que 1:1.

[0010] Em determinados casos, o substrato gasoso que contém C1 rico em CO a ser passado para o reator de inoculação compreende H₂ a uma razão molar H₂:CO de menos do que 0,5:1.

[0011] De preferência, o substrato gasoso que contém C1 rico em CO a ser passado para o reator de inoculação compreende H₂ a uma razão molar H₂:CO entre 0,02:1 a 1:1. Em certas modalidades, a razão molar de H₂:CO é entre 0,05:1 a 1:1, ou 0,15:1 a 1:1, ou de 0,25:1 a 1:1, ou 0,35:1 a 1:1, ou 0,45:1 a 1:1 ou 0,55:1 a 1:1 ou 0,65:1 a 1:1 ou 0,75:1 a 1:1 ou 0,85:1 a 1:1 ou 0,95:1 a 1:1.

[0012] Em modalidades particulares, o substrato gasoso que contém C1 rico em H₂ a ser passado para o sistema de biorreator compreende H₂ em uma razão molar H₂:CO de pelo menos 1,1:1.

[0013] De preferência, o substrato gasoso que contém C1 rico em H₂ a ser passado para o sistema de biorreator compreende H₂ em uma razão molar H₂:CO entre 1,1:1 a 6:1. Em certas modalidades, a razão molar de H₂:CO é entre 1,5:1 a 6:1, ou 2:1 a 6:1, ou 2,5:1 a 6:1, ou 3:1 a 6:1, ou 3,5:1 a 6:1, ou 4:1 a 6:1, ou 4,5:1 a 6:1, ou 5:1 a 6:1.

[0014] Em pelo menos uma modalidade, o micro-organismo fixador de C1 no reator de inoculação ou no sistema de biorreator, ou em ambos, é

uma bactéria carboxidotrófica.

[0015] Em modalidades em que o microrganismo fixador de C1 é carboxidotrófico, a bactéria carboxidotrófica pode ser selecionada a partir do grupo que consiste em *Moorella*, *Clostridium*, *Ruminococcus*, *Acetobacterium*, *Eubacterium*, *Butyribacterium*, *Oxobacter*, *Methanosarcina* e *Desulfotomaculum*.

[0016] De preferência, a bactéria carboxidotrófica é *Clostridium autoethanogenum*.

[0017] Em pelo menos uma modalidade, o sistema de biorreator compreende um ou mais biorreatores primários ligados a um ou mais biorreatores secundários.

[0018] De preferência, o processo fornece a passagem de pelo menos uma porção de um substrato gasoso que contém C1 para um reator de inoculação e pelo menos uma porção do substrato gasoso que contém C1 para um biorreator, em que o substrato gasoso que contém C1 no reator de inoculação é fermentado para produzir um inóculo, em que pelo menos uma porção do inóculo é passada para pelo menos um biorreator, em que o substrato gasoso que contém C1 no biorreator é fermentado para produzir pelo menos um produto de fermentação e em que o substrato gasoso que contém C1 que é passado para o reator de inoculação é submetido a pelo menos um processo de remoção de H₂ antes de ser passado para o reator de inoculação.

[0019] Em modalidades particulares, o substrato gasoso que contém C1 a ser passado para o reator de inoculação compreende H₂ em uma razão molar de H₂:CO de menos de 1:1.

[0020] Em determinados casos, o substrato gasoso que contém C1 que é passado para o reator de inoculação compreende H₂ em uma razão molar de H₂:CO de menos de 0,8:1.

[0021] Em certos casos, o substrato gasoso contendo C1 a ser passado

para o reator de inoculação compreende H_2 em uma razão molar de $H_2:CO$ de menos de 0,5:1.

[0022] De preferência, o substrato gasoso que contém C1 que é passado para o reator de inoculação compreende H_2 em uma razão molar de $H_2:CO$ entre 0,02:1 a 1:1. Em certas modalidades, a razão molar de $H_2:CO$ é entre 0,05:1 a 1:1, ou 0,15:1 a 1:1, ou de 0,25:1 a 1:1, ou 0,35:1 a 1:1, ou 0,45:1 a 1:1 ou 0,55:1 a 1:1 ou 0,65:1 a 1:1 ou 0,75:1 a 1:1 ou 0,85:1 a 1:1 ou 0,95:1 a 1:1.

[0023] Em determinadas modalidades, o processo de remoção de H_2 compreende pelo menos um processo de adsorção com oscilação de pressão.

[0024] Em determinadas modalidades, o processo de remoção de H_2 compreende pelo menos um módulo de separação de membrana.

[0025] De preferência, pelo menos uma porção do substrato gasoso que contém C1 é derivada de uma fonte industrial.

[0026] Em determinados casos, pelo menos uma porção do substrato gasoso que contém C1 pode ser derivada de pelo menos uma fonte industrial selecionada a partir do grupo que consiste em fermentação de carboidratos, fermentação a gás, fabricação de cimento, fabricação de papel e celulose, fabricação de aço, refinamento de petróleo e processos associados, produção petroquímica, produção de coque, digestão anaeróbica ou aeróbica, gás de síntese, extração de gás natural, extração de óleo, processos metalúrgicos para produção e/ou refinamento de alumínio, cobre e/ou ferroligas, reservatórios geológicos e processos catalíticos.

[0027] De preferência, o processo produz pelo menos um produto de fermentação selecionado a partir do grupo que consiste em: etanol, acetato, butanol, butirato, 2,3-butanodiol, 1,3-butanodiol, lactato, buteno, butadieno, metiletilcetona, etileno, acetona, isopropanol, lipídios, 3-hidroxiopropionato, isopreno, ácidos graxos, 2-butanol, 1,2-propanodiol, 1-propanol, monoetileno glicol, isobuteno e C_6-C_{14} álcoois.

[0028] Em pelo menos uma modalidade, o um ou mais produtos de fermentação são adicionalmente convertidos em pelo menos um componente de combustível diesel, combustível de aviação, gasolina, propileno, náilon 6-6, borracha e/ou resinas.

[0029] Em modalidades particulares, pelo menos um produto de fermentação é a biomassa microbiana. Em determinados casos, essa biomassa microbiana pode ser adicionalmente processada para produzir pelo menos um componente de ração animal.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0030] A Figura 1 é um fluxograma esquemático que retrata a integração de um processo de remoção de hidrogênio, um reator de inoculação e um sistema de biorreator.

[0031] A Figura 2 é um fluxograma esquemático que retrata a integração de um processo de remoção de hidrogênio, um reator de inoculação e um sistema de biorreator, em que o processo de remoção de hidrogênio está a montante tanto do reator de inoculação quanto do sistema de biorreator, de acordo com um aspecto da invenção.

[0032] A Figura 3 é um fluxograma esquemático que retrata adicionalmente dois processos de troca de água-gás e um processo de adsorção com oscilação de pressão a montante do sistema de biorreator, em que um processo de troca de água-gás é desviado, de acordo com um aspecto da invenção.

[0033] A Figura 4 é um fluxograma esquemático que retrata adicionalmente dois processos de troca de água-gás e um processo de adsorção com oscilação de pressão a montante do sistema de biorreator, de acordo com um aspecto da invenção.

[0034] A Figura 5 é um fluxograma esquemático que retrata adicionalmente processos de remoção de hidrogênio adicionais a montante do reator de inoculação, de acordo com um aspecto da invenção.

[0035] As Figuras 6a e 6b são gráficos que mostram a produção de metabólitos e a absorção de gás em um primeiro biorreator de acordo com o Exemplo 1.

[0036] As Figuras 7a e 7b são gráficos que mostram a produção de metabólitos e a absorção de gás em um segundo biorreator de acordo com o Exemplo 1.

[0037] As Figuras 8a e 8b são gráficos que mostram a produção de metabólitos e a absorção de gás em um primeiro biorreator de acordo com o Exemplo 2.

[0038] As Figuras 9a e 9b são gráficos que mostram a produção de metabólitos e a absorção de gás em um segundo biorreator de acordo com o Exemplo 2.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[0039] Os inventores identificaram que, otimizando-se a composição de uma corrente de gás fornecida ao reator de inoculação, o crescimento celular, a seletividade de produto e a estabilidade são otimizados tanto no reator de inoculação quanto no sistema de biorreator subsequente. Em particular, os inventores constataram o crescimento celular ideal, a seletividade de produto e a estabilidade quando a corrente de gás que é fornecida ao reator de inoculação compreende uma quantidade reduzida de hidrogênio.

DEFINIÇÕES

[0040] A menos que seja definido de outra forma, os termos a seguir, usados em todo este relatório descritivo, são definidos da seguinte forma:

[0041] "C1" se refere a uma molécula de um carbono, por exemplo, CO, CO₂, CH₄ ou CH₃OH. "C1-oxigenado" se refere a uma molécula de um carbono que também compreende pelo menos um átomo de oxigênio, por exemplo, CO, CO₂ ou CH₃OH. "Fonte de carbono C1" se refere a uma molécula de carbono que serve como fonte parcial ou única de carbono para o

micro-organismo da invenção. Por exemplo, uma fonte de carbono C1 pode compreender um ou mais de CO, CO₂, CH₄, CH₃OH ou CH₂O₂. De preferência, a fonte de carbono C1 compreende um ou ambos dentre CO ou CO₂. Um "micro-organismo fixador de C1" é um micro-organismo com capacidade para produzir um ou mais produtos a partir de uma fonte de carbono C1. Tipicamente, o micro-organismo da invenção é um micro-organismo fixador de C1.

[0042] "Substratos gasosos que contêm C1" inclui qualquer gás que sai do processo industrial que compreende C1. Em vários casos, o substrato gasoso que contém C1 compreende CO, H₂, CO₂, ou combinações dos mesmos. O substrato gasoso conterá tipicamente uma proporção significativa de CO, de preferência, pelo menos cerca de 5% a cerca de 100% de CO em volume. O substrato gasoso pode conter uma proporção significativa de hidrogênio. Por exemplo, em modalidades particulares, o substrato pode compreender uma razão de aproximadamente 2:1, ou 1:1 ou 1:2 de H₂:CO. Em uma modalidade, o substrato compreende cerca de menos 30% ou menos em volume de H₂, 20% ou menos de H₂, em volume, cerca de 15% ou menos em volume de H₂ ou de cerca de 10% ou menos em volume de H₂. O substrato também pode conter alguns CO₂, por exemplo, tal como cerca de 1% a cerca de 80% em volume de CO₂, ou de 1% a cerca de 30% em volume de CO₂. Em uma modalidade, o substrato compreende menos ou igual a 20% em volume de CO₂. Em modalidades particulares, o substrato compreende menos ou igual a cerca de 15% em volume de CO₂, menos ou igual a cerca de 10% em volume de CO₂, menos ou igual a cerca de 5% em volume de CO₂ ou substancialmente nenhum CO₂. Além disso, o substrato gasoso que contém C1 pode conter um ou mais dentre oxigênio (O₂), nitrogênio (N₂) e/ou metano (CH₄).

[0043] Embora o substrato seja tipicamente gasoso, o substrato também pode ser fornecido em formas alternativas. Por exemplo, o substrato

pode ser dissolvido em um líquido saturado com um gás que contém CO com o uso de um gerador de dispersão de microbolhas. A título de exemplo adicional, o substrato pode ser adsorvido em um suporte sólido.

[0044] O termo “cossustrato” se refere a uma substância que, embora não seja necessariamente a energia primária e a fonte relevante para a síntese de produto, pode ser utilizada para a síntese de produto quando adicionada a outro substrato, tal como o substrato primário.

[0045] O substrato e/ou a fonte de carbono C1 pode ser um gás residual obtido como um subproduto de um processo industrial ou de alguma outra fonte, tais como gases de escape de automóveis ou gaseificação de biomassa. Em determinadas modalidades, o processo industrial é selecionado a partir do grupo que consiste em emissões de gases de fermentação de carboidratos, a fermentação a gás, as emissões de gases de fabricação de cimento, fabricação de papel e celulose, a produção de aço, refinamento de petróleo e processos associados, produção petroquímica, produção de coque, digestão anaeróbia ou aeróbica, gás de síntese (derivado de fontes, incluindo, mas sem limitação, biomassa, correntes de resíduos líquidos, correntes de resíduos sólidos, correntes municipais, recursos fósseis, incluindo gás natural, carvão e petróleo), extração de gás natural, extração de petróleo, processos metalúrgicos, para produção e/ou refinamento de alumínio, cobre e/ou ferroligas, reservatórios geológicos e processos catalíticos (derivados das fontes de vapor, incluindo, mas sem limitação, reforma de metano a vapor, reforma de nafta a vapor, gaseificação de coque de petróleo, regeneração de catalisadores - craqueamento de catalisador de fluido, regeneração de catalisador - reforma de nafta e reforma de metano seco). Nessas modalidades, o substrato e/ou a fonte de carbono C1 podem ser capturados do processo industrial antes de serem emitidos para a atmosfera, utilizando qualquer método conveniente.

[0046] “Corrente de gás” se refere a qualquer corrente de substrato

com capacidade de ser transmitida, por exemplo, de um módulo para outro, de um módulo para um biorreator, de um módulo para um reator de inoculação, de um processo para outro processo, e/ou de um módulo para um meio de captura de carbono.

[0047] O termo "captura de carbono", conforme usado no presente documento, se refere ao sequestro de compostos de carbono, incluindo CO₂ e/ou CO de uma corrente que compreende CO₂ e/ou CO e compreende:

converter o CO₂ e/ou CO em produtos; ou

converter CO₂ e/ou CO em substâncias adequadas para armazenamento a longo prazo; ou

aprisionar o CO₂ e/ou CO em substâncias adequadas para armazenamento a longo prazo;

ou uma combinação desses processos.

[0048] "Reagentes", conforme usado no presente documento, se refere a uma substância que faz parte de uma reação química e sofre alterações durante a mesma. Em modalidades particulares, os reagentes incluem, mas sem limitação, CO e/ou H₂.

[0049] "Processo de remoção de hidrogênio" e similares incluem tecnologias com capacidade para remover e/ou separar hidrogênio do substrato gasoso que contém C1. Em modalidades particulares, um processo de adsorção com oscilação de pressão e/ou um processo de separação por membrana são usados como o processo de remoção de hidrogênio.

[0050] O termo "biorreator", "sistema de biorreator" e similares incluem um dispositivo de fermentação que consiste em um ou mais vasos e/ou torres ou arranjos de tubulação, que incluem o Reator de Tanque Agitado Contínuo (CSTR), Reator de Células Imobilizadas (ICR), Reator de Aspensão (TBR), Coluna de Bolha, Fermentador de Elevação de Gás, Misturador Estático, um reator de circuito fechado circulado, um reator de membrana, tal como um Biorreator de Membrana de Fibra Oca (HFM BR) ou outro vaso ou

outro dispositivo adequado para contato entre gás e líquido. O biorreator é, de preferência, adaptada para receber um substrato gasoso que compreende CO ou CO₂ ou H₂ ou misturas dos mesmos. O biorreator pode compreender vários reatores (estágios), em paralelo ou em série. De preferência, o biorreator é configurado para receber um inóculo de um reator de inoculação. De preferência, o biorreator é configurado como um reator de produção, em que a maior parte dos produtos de fermentação é produzida.

[0051] O termo "reator de inoculação", "inoculador", "reator de semente" e similares inclui um dispositivo de fermentação para estabelecer e promover o crescimento celular. O reator de inoculação é, de preferência, adaptado para receber um substrato gasoso que compreende CO ou CO₂ ou H₂ ou misturas dos mesmos. De preferência, o reator de inoculação é um reator em que o crescimento celular é iniciado pela primeira vez. Em várias modalidades, o reator de inoculação é o local onde as células de crescimento são recuperadas anteriormente. Nas várias modalidades, o inoculador inicia o crescimento celular de um ou mais micro-organismos para produzir um inóculo, o qual pode ser transferido para o sistema de biorreator em que cada biorreator é configurado para promover a "produção" de um ou mais produtos de fermentação. Em determinados casos, o inoculador tem um volume reduzido quando comparado ao um ou mais biorreatores subsequentes.

[0052] "Meios nutritivos" ou "meio nutritivo" é usado para descrever o meio de crescimento bacteriano. Geralmente, esse termo se refere a um meio que contém nutrientes e outros componentes apropriados para o crescimento de uma cultura microbiana. O termo "nutritivo" inclui qualquer substância que pode ser utilizada em uma via metabólica de um micro-organismo. Nutrientes exemplificativos incluem potássio, vitaminas do complexo B, metais vestigiais e aminoácidos.

[0053] O termo "caldo de fermentação" ou "caldo" se destina a abranger a mistura de componentes, incluindo meio nutritivo e uma cultura ou

um ou mais micro-organismos. Deve-se verificar que o termo micro-organismo e o termo bactéria são usados de forma intercambiável em todo o documento.

[0054] O termo "inóculo" se destina a abranger o caldo de fermentação inicialmente cultivado no reator de inoculação que é, então, passado para um ou mais biorreatores subsequentes para semear o um ou mais biorreatores subsequentes. De preferência, o inóculo é utilizado pelos um ou mais biorreatores para produzir um ou mais produtos de fermentação.

[0055] O termo "composição desejada" é usado para se referir ao nível e tipos de componentes desejados em uma substância, tal como, por exemplo, uma corrente de gás. Mais particularmente, um gás é considerado como tendo uma "composição desejada" se o mesmo contiver um determinado componente (por exemplo, CO, H₂, e/ou de CO₂) e/ou contiver um determinado componente em uma proporção específica e/ou não contenha um componente específico (por exemplo, um constituinte prejudicial aos micro-organismos) e/ou não contenha um componente específico em uma proporção específica. Mais do que um componente pode ser considerado ao se determinar a possibilidade de uma corrente de gás ter a composição desejada. Em uma ou mais modalidades, a "composição desejada" do substrato gasoso que contém C1 é definida em termos de uma razão molar de H₂:CO. Em várias modalidades, a composição desejada do substrato gasoso que contém C1 que é passada para o reator de inoculação difere da composição desejada do substrato gasoso que contém C1 que é passada para o sistema de biorreator.

[0056] Os termos "aumento da eficiência", "maior eficiência" e similares, quando usados em relação a um processo de fermentação, incluem, mas sem limitação, aumentar uma ou mais taxas de crescimento de micro-organismos que catalisam a fermentação, o crescimento e/ou taxa de produção de produto em concentrações elevadas de produto, o volume do produto

desejado produzido por volume de substrato consumido, a taxa de produção ou nível de produção do produto desejado e a proporção relativa do produto desejado produzido em comparação com outros subprodutos da fermentação.

[0057] A menos que o contexto exija de outra forma, as frases "fermentação", "processo de fermentação" ou "reação de fermentação" e similares, conforme usado no presente documento, se destinam a abranger tanto a fase de crescimento quanto à fase de biossíntese de produto do substrato gasoso.

[0058] Um "micro-organismo" é um organismo microscópico, especialmente uma bactéria, Archea, vírus ou fungos. O micro-organismo da invenção é tipicamente uma bactéria. Conforme usado no presente documento, a menção a "micro-organismo" deve ser interpretada de modo a abranger "bactéria".

[0059] Um "micro-organismo parental" é um micro-organismo usado para gerar um micro-organismo da invenção. O micro-organismo parental pode ser um micro-organismo de ocorrência natural (por exemplo, um micro-organismo do tipo selvagem) ou um micro-organismo que foi modificado anteriormente (por exemplo, um micro-organismo mutante ou recombinante). O micro-organismo da invenção pode ser modificado para expressar ou superexpressar uma ou mais enzimas que não foram expressas ou superexpressas no micro-organismo parental. De modo similar, o micro-organismo da invenção pode ser modificado para conter um ou mais genes que não estavam contidos pelo micro-organismo parental. O micro-organismo da invenção também pode ser modificado para não expressar ou expressar quantidades mais baixas de uma ou mais enzimas que foram expressas no micro-organismo parental. Em uma modalidade, o micro-organismo parental é *Clostridium autoethanogenum*, *Clostridium ljungdahlii* ou *Clostridium ragsdalei*. Em uma modalidade preferencial, o micro-organismo parental é *Clostridium autoethanogenum* LZ1561, que foi depositado em 07 de junho de

2010, com Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH (DSMZ) localizado em Inhoffenstraß 7B, D-38124 Braunschweig, Alemanha em 07 de junho de 2010, sob os termos do Tratado de Budapeste e que recebeu o número de acesso DSM23693. Essa cepa é descrita no Pedido de Patente Internacional nº PCT/NZ2011/000144, publicado como documento WO 2012/015317.

[0060] O termo "derivado de" indica que um ácido nucleico, proteína ou micro-organismo é modificado ou adaptado a partir de um ácido nucleico, proteína ou micro-organismo diferente (por exemplo, um parenteral ou do tipo selvagem), de modo a produzir um novo ácido nucleico, proteína ou micro-organismo. Tais modificações ou adaptações incluem tipicamente inserção, exclusão, mutação ou substituição de ácidos nucleicos ou genes. Geralmente, o micro-organismo da invenção é derivado de um micro-organismo parental. Em uma modalidade, o micro-organismo da presente invenção é derivada de *Clostridium autoethanogenum*, *Clostridium ljungdahlii* ou *Clostridium ragsdalei*. Em uma modalidade preferencial, o micro-organismo da invenção é derivado de *Clostridium autoethanogenum* LZ1561, que é depositado sob o número de acesso DSMZ DSM23693.

[0061] "Wood-Ljungdahl" se refere à via de fixação de carbono de Wood-Ljungdahl, conforme descrito, isto é, por Ragsdale, *Biochim Biophys Acta*, 1784:1.873 a 1.898, 2008. "Microorganismos Wood-Ljungdahl" se refere, previsivelmente, a micro-organismos que contêm a via de Wood-Ljungdahl. Geralmente, o micro-organismo da invenção contém uma via nativa de Wood-Ljungdahl. No presente documento, uma via de Wood-Ljungdahl pode ser uma via de Wood-Ljungdahl não modificada e nativa ou pode ser uma via de Wood-Ljungdahl com algum grau de modificação genética (por exemplo, superexpressão, expressão heteróloga, nocaute, etc.) desde que ainda funcione para converter CO, CO₂, e/ou H₂ em acetil-CoA.

[0062] Um "anaeróbico" é um micro-organismo que não requer

oxigênio para o crescimento. Um anaeróbico pode reagir negativamente ou até morrer se houver oxigênio acima de um determinado limiar. No entanto, alguns anaeróbicos podem tolerar baixos níveis de oxigênio (por exemplo, 0,000001 a 5% em volume de oxigênio). Tipicamente, o micro-organismo da invenção é um micro-organismo anaeróbico.

[0063] “Acetógenos” são bactérias obrigatoriamente anaeróbicas que utilizam a via de Wood-Ljungdahl como seu principal mecanismo para a conservação de energia e para a síntese de acetil-CoA e produtos derivados de acetil-CoA, tal como acetato (Ragsdale, *Biochim Biophys Acta*, 1784: 1.873 a 1.898, 2008). Em particular, acetógenos utilizam a via de Wood-Ljungdahl como um (1) mecanismo para a síntese redutora de acetil-CoA a partir de CO₂, (2) processo de conservação de energia e aceitação de elétron terminal, (3) mecanismo para a fixação (assimilação) de CO₂ na síntese de carbono celular (Drake, Acetogenic Prokaryotes, In: *The Prokaryotes*, 3ª edição, página 354, Nova Iorque, NY, 2006). Todos os acetógenos de ocorrência natural são fixadores de C1, anaeróbicos, autotróficos e não metanotróficos. Tipicamente, o micro-organismo da invenção é um micro-organismo acetógeno.

[0064] Um “etanológeno” é um micro-organismo que produz ou tem capacidade para produzir etanol. Tipicamente, o micro-organismo da invenção é um “etanológeno”.

[0065] Um “autotrófico” é um micro-organismo capaz de crescer na ausência de carbono orgânico. Em vez disso, os autotróficos utilizam fontes inorgânicas de carbono, tais como CO e/ou CO₂. Tipicamente, o micro-organismo da invenção é um autotrófico.

[0066] Um "carboxidotrófico" é um micro-organismo capaz de utilizar CO como única fonte de carbono e energia. Tipicamente, o micro-organismo da invenção é um carboxidotrófico.

[0067] O micro-organismo da invenção pode ser cultivado com a

corrente de gás para produzir um ou mais produtos. Por exemplo, o micro-organismo da invenção pode produzir ou pode ser geneticamente modificado para produzir etanol (WO 2007/117157), acetato (WO 2007/117157), butanol (WO 2008/115080 e WO 2012/053905), butirato (WO 2008/115080), 2,3-butanodiol (WO 2009/151342 e WO 2016/094334), lactato (WO 2011/112103), buteno (WO 2012/024522), butadieno (WO 2012/024522), metil etil cetona (2-butanona) (WO 2012/024522 e WO 2013/185123), etileno (WO 2012/026833), acetona (WO 2012/115527), isopropanol (WO 2012/115527), lipídios (WO 2013/036147), 3-hidroxi propionato (3-HP) (WO 2013/180581), terpenos, incluindo isopreno (WO 2013/180584), ácidos graxos (WO 2013/191567), 2-butanol (WO 2013/185123), 1,2-propanodiol (WO 2014/036152), 1-propanol (WO 2014/0369152), produtos derivados de corismato (WO 2016/191625), 3-hidroxi butirato (WO 2017/066498) e 1,3-butanodiol (WO 2017/0066498). Além de um ou mais produtos-alvo, o micro-organismo da invenção também pode produzir etanol, acetato e/ou 2,3-butanodiol. Em determinadas modalidades, a própria biomassa microbiana pode ser considerada um produto. Esses produtos podem ser convertidos posteriormente para produzir pelo menos um componente de diesel, combustível de aviação e/ou gasolina. Além disso, a biomassa microbiana pode ser processada posteriormente para produzir uma proteína de célula única (SCP).

[0068] Uma "proteína de célula única" (SCP) se refere a uma biomassa microbiana que pode ser usada em rações humanas e/ou animais ricas em proteínas, substituindo frequentemente fontes convencionais de suplementação de proteínas, tal como "farinha de soja" ou farinha de peixe. Para produzir uma proteína de célula única ou outro produto, o processo pode compreender etapas de separação, processamento ou tratamentos adicionais. Por exemplo, o método pode compreender esterilizar a biomassa microbiana, centrifugar a biomassa microbiana e/ou secar a biomassa microbiana. Em

determinadas modalidades, a biomassa microbiana é seca com o uso de secagem por pulverização ou secagem por pá. O método também pode compreender a redução do teor de ácido nucleico da biomassa microbiana com o uso de qualquer método conhecido na técnica, uma vez que a ingestão de uma dieta com alto teor de ácido nucleico pode resultar no acúmulo de produtos de degradação de ácido nucleico e/ou desconforto gastrointestinal. A proteína de célula única pode ser adequada para alimentação de animais, tais como gados ou animais de estimação. Em particular, a ração animal pode ser adequada para alimentar um ou mais bovinos de corte, gados, porcos, ovelhas, cabras, cavalos, mulas, burros, veados, búfalos/bisões, lhamas, alpacas, renas, camelos, bantengues, gaiais, iaques, galinhas, perus, patos, gansos, codornizes, galinhas pintadas, pombos, peixes, camarão, crustáceos, gatos, cães e roedores. A composição da ração animal pode ser adaptada às necessidades nutricionais de diferentes animais. Além disso, o processo pode compreender a mistura ou combinação da biomassa microbiana com um ou mais excipientes.

[0069] Um "excipiente" pode se referir a qualquer substância que possa ser adicionada à biomassa microbiana para aprimorar ou alterar a forma, propriedades ou teor nutricional da ração animal. Por exemplo, o excipiente pode compreender um ou mais dentre um carboidrato, fibra, gordura, proteína, vitamina, mineral, água, flavorizante, adoçante, antioxidante, enzima, conservante, probiótico ou antibiótico. Em algumas modalidades, o excipiente pode ser feno, palha, silagem, grãos, óleos ou gorduras ou outro material vegetal. O excipiente pode ser qualquer ingrediente de ração identificado em Chiba, Seção 18: Diet Formulation and Common Feed Ingredients, Animal Nutrition Handbook, 3ª revisão, páginas 575 a 633, 2014.

[0070] Um "produto natural" é um produto produzido por um micro-organismo não modificado geneticamente. Por exemplo, etanol, acetato e 2,3-

butanodiol são produtos nativos de *Clostridium autoethanogenum*, *Clostridium ljungdahlii* e *Clostridium ragsdalei*. Um "produto não nativo" é um produto produzido por um micro-organismo geneticamente modificado, mas não é produzido por um micro-organismo não modificado geneticamente do qual o micro-organismo geneticamente modificado é derivado.

[0071] “Seletividade” se refere à razão entre a produção de um produto-alvo e a produção de todos os produtos de fermentação produzidos por um micro-organismo. O micro-organismo da invenção pode ser modificado para produzir produtos com uma determinada seletividade ou com uma seletividade mínima. Em uma modalidade, um produto-alvo é responsável por pelo menos cerca de 5% em peso, 10% em peso, 15% em peso, 20% em peso, 30% em peso, 50% em peso, 75% em peso ou 90% em peso de todos os produtos de fermentação produzidos pelo micro-organismo da invenção. Em uma modalidade, o produto-alvo é responsável por pelo menos 10% em peso de todos os produtos de fermentação produzidos pelo micro-organismo da invenção, de modo que o micro-organismo da invenção tenha uma seletividade para o produto-alvo de pelo menos 10% em peso. Em outra modalidade, o produto-alvo é responsável por pelo menos 30% em peso de todos os produtos de fermentação produzidos pelo micro-organismo da invenção, de modo que o micro-organismo da invenção tenha uma seletividade para o produto-alvo de pelo menos 30% em peso. Em uma modalidade, o produto-alvo é responsável por pelo menos 90% em peso de todos os produtos de fermentação produzidos pelos micro-organismos, de modo que o micro-organismo da invenção tenha uma seletividade para o produto-alvo de pelo menos 90% em peso.

[0072] Os produtos-alvo podem ser separados ou purificados de um caldo de fermentação com o uso de qualquer método ou combinação de métodos conhecidos na técnica, incluindo, por exemplo, destilação fracionada, evaporação, pervaporação, remoção de gás, separação de fases e

fermentação extrativa, incluindo, por exemplo, extração de líquido-líquido. Em determinadas modalidades, os produtos-alvo são recuperados do caldo de fermentação removendo-se de modo contínuo uma porção do caldo do biorreator, separando as células microbianas do caldo (convenientemente por filtração) e recuperando um ou mais produtos-alvo do caldo. Álcoois e/ou acetona podem ser recuperados, por exemplo, por meio de destilação. Os ácidos podem ser recuperados, por exemplo, por meio de adsorção em carvão ativado. As células microbianas separadas são devolvidas, de preferência, para o biorreator. O permeado sem células remanescente após a remoção dos produtos-alvo também é, de preferência, devolvido para o biorreator. Nutrientes adicionais (tais como vitaminas do complexo B) podem ser adicionados ao permeado sem células para reabastecer o meio antes que ele retorne ao biorreator.

[0073] A cultura/fermentação deve ser realizada, sob condições apropriadas, para a produção do produto-alvo. Tipicamente, a cultura/fermentação é realizada sob condições anaeróbicas. As condições de reação a serem consideradas incluem pressão (ou pressão parcial), temperatura, taxa de fluxo de gás, taxa de fluxo de líquido, pH dos meios, potencial redox dos meios, taxa de agitação (se estiver utilizando um reator de tanque agitado contínuo), nível de inóculo, concentrações máximas de substrato de gás para garantir que esse gás na fase líquida não se torne limitante e as concentrações máximas do produto para evitar a inibição do produto. Em particular, a taxa de introdução do substrato pode ser controlada para garantir que a concentração de gás na fase líquida não se torne limitante, uma vez que os produtos podem ser consumidos pela cultura sob condições limitadas a gás.

[0074] Operar um biorreator a pressões elevadas permite um aumento na taxa de transferência de massa de gás da fase gasosa para a fase líquida. Conseqüentemente, é geralmente preferível realizar a cultura/fermentação a

pressões superiores à pressão atmosférica. Além disso, uma vez que uma dada taxa de conversão de gás é, em parte, uma função do tempo de retenção de substrato e o tempo de retenção dita o volume requerido de um biorreator, o uso de sistemas pressurizados pode reduzir consideravelmente o volume do biorreator requerido e, conseqüentemente, o custo de capital do equipamento de cultura/fermentação. Isso, por sua vez, significa que o tempo de retenção, definido como o volume de líquido no biorreator dividido pela taxa de fluxo de gás de entrada, pode ser reduzido quando os biorreatores são mantidos à pressão elevada em vez de pressão atmosférica. As condições de reação ideais dependerão parcialmente do micro-organismo específico usado. No entanto, em geral, é preferível operar a fermentação a uma pressão superior à pressão atmosférica. Além disso, uma vez que uma dada taxa de conversão de gás é, em parte, uma função do tempo de retenção de substrato e alcançar um tempo de retenção desejado, por sua vez, dita o volume necessário de um biorreator, o uso de sistemas pressurizados pode reduzir consideravelmente o volume do biorreator necessário e, conseqüentemente, o custo de capital do equipamento de fermentação.

DESCRIÇÃO

[0075] O controle da composição do substrato gasoso que contém C1 que é fornecido a um inoculador e/ou um biorreator foi considerado particularmente útil para promover o crescimento celular, a seletividade de produto e a estabilidade tanto no reator de inoculação quanto nos biorreatores subsequentes. De preferência, o substrato que contém C1 é controlado pela composição antes de ser fornecido a um reator de inoculação para produzir um inóculo para alimentar um ou mais reatores a jusante. De preferência, o reator de inoculação compreende uma cultura de um ou mais micro-organismos fixadores de C1 em um meio nutritivo líquido e tem capacidade para receber o substrato gasoso que contém C1 controlado pela composição para produzir um inóculo por meio de fermentação.

[0076] Os inventores constataram que, quando um substrato gasoso que contém C1 rico em hidrogênio é usado para fermentação, o processo de fermentação geralmente carece de seletividade e estabilidade a longo prazo. De modo surpreendente, os inventores constataram que, ao operar um processo de fermentação sob condições "ricas em hidrogênio", fornecendo uma corrente alternativa que contém C1 rica em monóxido de carbono (CO) ao reator de inoculação, resulta não apenas em um aumento no crescimento de biomassa, mas também no crescimento de biomassa, mas também resulta em maior seletividade para o etanol e maior estabilidade nos biorreatores a jusante.

[0077] Essa invenção tem aplicabilidade particular para processos de fermentação utilizando correntes de gás industrial que compreendem H_2 a uma razão molar de $H_2:CO$ de pelo menos 3:1, no entanto, considera-se que a invenção também é benéfica para correntes industriais que compreendem composições com baixo teor de H_2 , tais como correntes de gás que têm razões molares de $H_2:CO$ de 2:1 ou 1,5:1 ou 1,1:1. Em uma modalidade, a invenção fornece um processo para produzir um ou mais processos de fermentação, em que o processo compreende: (a) passar pelo menos uma porção de um substrato gasoso que contém C1 para um reator de inoculação e pelo menos uma porção do substrato gasoso que contém C1 a um biorreator; (b) fermentar o substrato gasoso que contém C1 no reator de inoculação para produzir um inóculo; (c) passar pelo menos uma porção do inóculo para pelo menos um biorreator; e (d) fermentar o substrato gasoso que contém C1 no biorreator para produzir pelo menos um produto de fermentação; em que o substrato gasoso que contém C1 é passado para o reator de inoculação é submetido a pelo menos um processo de remoção de H_2 sendo passado para o reator de inoculação.

[0078] Em modalidades particulares, o biorreator compreende um ou mais reatores primários ligados a um ou mais reatores secundários. Em

determinadas modalidades, o reator primário (ou reatores primários) opera sob as condições de modo a promover a produção de biomassa, e o reator secundário (ou reatores secundários) opera sob as condições para promover a produção de metabólito. Em várias modalidades, o substrato gasoso que contém C1 rico em H₂ fornecido aos reatores primários e secundários provém da mesma fonte industrial e tem substancialmente a mesma composição.

[0079] Em uma modalidade, o substrato gasoso que contém C1 rico em CO e o substrato gasoso que contém C1 rico em H₂ são derivados da mesma fonte industrial. Em várias modalidades, pelo menos uma porção de um substrato gasoso que contém C1 rico em H₂ é passada para um processo de remoção de hidrogênio, antes de ser fornecida ao reator de inoculação, em que o processo de remoção de hidrogênio é configurado para separar pelo menos uma porção de hidrogênio do substrato gasoso que contém C1 rico em H₂ para produzir o substrato gasoso que contém C1 rico em CO. Em modalidades particulares, a zona de tratamento compreende um módulo de separação de membrana de H₂ e/ou um processo de adsorção com oscilação de pressão (PSA). De preferência, o processo de remoção de hidrogênio compreende um módulo de separação por membrana.

[0080] Em uma ou mais modalidades, o substrato gasoso que contém C1 rico em H₂ é derivado de um processo industrial.

[0081] Em modalidades alternativas, o substrato gasoso que contém C1 rico em CO compreende uma corrente de gás CO engarrafada. Em uma modalidade, o gás CO engarrafado é misturado com um ou mais componentes gasosos, tais como nitrogênio e/ou dióxido de carbono. Em modalidades adicionais, o substrato gasoso que contém C1 rico em CO é uma corrente gasosa rica em CO derivada de uma fonte diferente do substrato gasoso que contém C1 rico em H₂. Em uma modalidade, o substrato gasoso que contém C1 rico em CO é derivado de um processo de eletrólise de CO₂.

SEPARAÇÃO DE HIDROGÊNIO

[0082] O volume de gás necessário pode, em alguns casos, tornar proibitivo o uso de gás engarrafado devido ao custo. Portanto, prefere-se que o substrato gasoso que contém C1 rico em H₂ seja tratado para remover pelo menos uma porção de hidrogênio a partir do substrato e produzir um substrato gasoso que contém C1 e rico em CO. Métodos adequados para tratar um substrato gasoso que contém C1 rico em H₂ podem incluir, mas sem limitação, tecnologias de separação de membrana e tecnologias de adsorção com oscilação de pressão.

[0083] Os módulos de separação por membrana fornecem uma maneira relativamente simples e de baixo custo para remover pelo menos uma porção de hidrogênio de um substrato gasoso. Por exemplo, um gás de síntese de reformador com a composição de 72% em volume de H₂, 14% em volume de CO, 7% em volume de CO₂ e 7% em volume de CH₄ à pressão de 25 bara que passa através de um módulo de separação de membrana demonstrativo resulta em uma corrente rica em CO de alta pressão e uma corrente rica em H₂ de baixa pressão. A corrente rica em CO de alta pressão a 25 bara e contém 50% em volume de CO, 16% em volume de H₂, 25% em volume de CH₄ e 9% em volume de CO₂. A corrente rica em H₂ de baixa pressão é reduzida a 1 bara e contém 92% em volume de H₂, 6% em volume de CO₂ e 1% em volume de CO e CH₄. A corrente rica em CO de alta pressão pode ser fornecida ao inoculador como um substrato gasoso que contém C1 rico em CO. A corrente rica em CO de alta pressão fornece o benefício adicional de não requerer compressão adicional, assim, evitando o custo de capital associado à unidade de compressor de adição para o reator de inoculação.

[0084] As tecnologias de processo de adsorção com oscilação de pressão são uma forma mais complicada e eficaz de remover pelo menos uma porção de hidrogênio de um substrato gasoso. Ao utilizar um processo de adsorção com oscilação de pressão, a corrente rica em CO é de baixa pressão. Embora o uso de um processo de adsorção com oscilação de pressão seja

viável, o substrato gasoso que contém C1 rico em CO pode precisar ser comprimido antes de ser fornecido ao reator de inoculação ou a qualquer biorreator, assim, aumentando o custo de capital associado ao reator de inoculação. Isso pode ser pelo menos parcialmente compensado, no entanto, ao considerar o fato de que o fluxo de hidrogênio produzido pelo processo de adsorção com oscilação de pressão está em alta pressão e pode ser vendido como um produto.

ELETRÓLISE DE CO₂

[0085] Um método alternativo para fornecer um substrato gasoso que contém C1 e rico em CO é através do uso de eletrólise de CO₂. Os processos de eletrólise de CO₂ convertem uma matéria-prima de CO₂ em CO e O₂. O uso de um processo de eletrólise de CO₂ para fornecer uma corrente rica em CO para o inoculador pode ser de interesse em sítios industriais que compreendem uma corrente rica em CO₂ além de uma corrente rica em O₂. Adicionalmente, considera-se ainda que o gás residual do reator de inoculação e/ou do sistema de biorreator, que é rico em CO₂, pode ser usado como matéria-prima para as unidades de eletrólise de CO₂.

[0086] A Figura 1 mostra um fluxograma esquemático de uma modalidade da invenção. Uma porção de um substrato gasoso que contém C1 é passada através dos meios de tubulação 110 para um reator de inoculação 130, em que o substrato que contém C1 é fermentado para produzir um inóculo. Pelo menos uma porção do inóculo é passada através dos meios de tubulação 131 para o sistema de biorreator 140,150, em que uma porção do substrato gasoso que contém C1 também é passada através dos meios de tubulação 110 a serem fermentados para produzir pelo menos um produto 141, 151. O substrato gasoso que contém C1 que é passado para o reator de inoculação 130 é submetido a pelo menos um processo de remoção de hidrogênio 120 antes de ser enviado ao reator de inoculação 130. O processo de remoção de hidrogênio 120 recebe o substrato gasoso que contém C1

através dos meios de tubulação 110 e remove pelo menos uma parte do hidrogênio 121 do substrato gasoso que contém C1 para produzir um substrato gasoso que contém C1 rico em CO, o qual é fornecido ao reator de inoculação 130 através dos meios de tubulação 122.

[0087] De preferência, o substrato gasoso que contém C1 que é passado para o reator de inoculação 130 compreende H₂ em uma razão molar de H₂:CO de menos de 1:1. Em determinadas modalidades, o substrato gasoso que contém C1 que é passado para o reator de inoculação 130 compreende H₂ em uma razão molar de H₂:CO de menos do que 0,8:1. De preferência, o substrato gasoso que contém C1 que é passado para o reator de inoculação 130 compreende H₂ em uma razão molar de H₂:CO de 0,02:1 a 1:1. Em vários casos, o processo de remoção de hidrogênio 120 remove pelo menos uma porção de hidrogênio através do uso de pelo menos um módulo de separação por membrana. Em vários casos, o processo de remoção de hidrogênio 120 remove pelo menos uma porção de hidrogênio através do uso de pelo menos um processo de adsorção com oscilação de pressão. Em várias modalidades, o processo de remoção de hidrogênio 120 remove pelo menos uma porção de hidrogênio através do uso de um módulo de separação por membrana e um processo de adsorção com oscilação de pressão.

[0088] Em determinados casos, o substrato gasoso que contém C1 que é fornecido ao reator de inoculação 130 e ao sistema de biorreator 140, 150 é derivado pelo menos em parte de uma fonte industrial. De preferência, a fonte industrial é selecionada a partir do grupo que consiste em fermentação de carboidratos, fermentação gasosa, fabricação de cimento, fabricação de papel e celulose, fabricação de aço, refino de petróleo e processos associados, produção petroquímica, produção de coque, digestão anaeróbica ou aeróbica, gás de síntese, extração de gás natural, extração de petróleo, processos metalúrgicos, para produção e/ou refinamento de alumínio, cobre e/ou ferroligas, reservatórios geológicos e processos catalíticos.

[0089] De preferência, o produto de fermentação 141, 151 produzido pelo sistema de biorreator 140, 150 é selecionado a partir do grupo que consiste em: etanol, acetato, butanol, butirato, 2,3-butanodiol, 1,3-butanodiol, lactato, buteno, butadieno, metiletilcetona, etileno, acetona, isopropanol, lipídios, 3-hidroxi propionato, isopreno, ácidos graxos, 2-butanol, 1,2-propanodiol, 1-propanol, monoetileno glicol, isobuteno e C₆-C₁₄ álcoois. Em vários casos, pelo menos uma porção do produto 141, 151 é adicionalmente convertida em pelo menos um componente de combustível diesel, combustível de aviação, gasolina, propileno, náilon 6-6, borracha e/ou resinas. Em vários casos, pelo menos um produto de fermentação 141, 151 é biomassa microbiana. Essa biomassa microbiana pode, em alguns casos, ser posteriormente processada para produzir pelo menos um componente de alimentação animal.

[0090] Em várias modalidades, o caldo de fermentação de um biorreator 140 pode ser passado para outro biorreator 150 dentro do sistema de biorreator 140,150 através de meios de tubulação 142.

[0091] A Figura 2 mostra um fluxograma esquemático de uma modalidade da invenção. Uma porção de um substrato gasoso que contém C1 é passada através de meios de tubulação 210 para um reator de inoculação 230, em que o substrato que contém C1 é fermentado para produzir um inóculo. Pelo menos uma porção do inóculo é passada através de meios de tubulação 231 para o sistema de biorreator 240,250, em que uma porção do substrato gasoso que contém C1 também é passada através dos meios de tubulação 210 a serem fermentados para produzir pelo menos um produto 241, 251. O substrato gasoso que contém C1 que é passado para o reator de inoculação 230 e o sistema de biorreator 140,150 é submetido a pelo menos um processo de remoção de hidrogênio 220 antes de ser enviado para o reator de inoculação 230. O processo de remoção de hidrogênio 220 recebe o substrato gasoso que contém C1 através de meios de tubulação 210 e remove

pelo menos uma porção do hidrogênio 221 do substrato gasoso que contém C1 para produzir um substrato gasoso que contém C1 rico em CO, que é fornecido ao reator de inoculação 230 através de meios de tubulação 222 e ao sistema de biorreator, 140,150 através de meios de tubulação 223.

[0092] De preferência, o substrato gasoso que contém C1 que é passado para o reator de inoculação 230 e para o sistema de biorreator 240,250 compreende H₂ em uma razão molar entre H₂:CO de menos de 1:1. Em determinadas modalidades, o substrato gasoso que contém C1 que é passado para o reator de inoculação 230 e para o sistema de biorreator 240,250 compreende H₂ a uma razão molar de H₂:CO de menos do que 0,8:1. De preferência, o substrato gasoso que contém C1 que é passado para o reator de inoculação 230 e para o sistema de biorreator 240,250 compreende H₂ em uma razão molar de H₂:CO entre 0,02:1 a 1:1. Em vários casos, o processo de remoção de hidrogênio 220 remove pelo menos uma porção de hidrogênio através do uso de pelo menos um módulo de separação por membrana. Em vários casos, o processo de remoção de hidrogênio 220 remove pelo menos uma porção de hidrogênio através do uso de pelo menos um processo de adsorção com oscilação de pressão. Em várias modalidades, o processo de remoção de hidrogênio 220 remove pelo menos uma porção de hidrogênio através do uso de um módulo de separação por membrana e um processo de adsorção com oscilação de pressão.

[0093] Em determinados casos, o substrato gasoso que contém C1 que é fornecido ao reator de inoculação 230 e ao sistema de biorreator 240, 250 é derivado, pelo menos em parte, de uma fonte industrial. De preferência, a fonte industrial é selecionada a partir do grupo que consiste em fermentação de carboidratos, fermentação gasosa, fabricação de cimento, fabricação de papel e celulose, fabricação de aço, refino de petróleo e processos associados, produção petroquímica, produção de coque, digestão anaeróbica ou aeróbica, gás de síntese, extração de gás natural, extração de petróleo, processos

metalúrgicos, para produção e/ou refinamento de alumínio, cobre e/ou ferroligas, reservatórios geológicos e processos catalíticos.

[0094] De preferência, o produto de fermentação 241, 251 produzido pelo sistema de biorreator 240, 250 é selecionado a partir do grupo que consiste em: etanol, acetato, butanol, butirato, 2,3-butanodiol, 1,3-butanodiol, lactato, buteno, butadieno, metil etil cetona, etileno, acetona, isopropanol, lipídios, 3-hidroxi propionato, isopreno, ácidos graxos, 2-butanol, 1,2-propanodiol, 1-propanol, monoetileno glicol, isobuteno e C₆-C₁₄ álcoois. Em vários casos, pelo menos uma porção do produto 241, 251 é adicionalmente convertida em pelo menos um componente de combustível diesel, combustível de aviação, gasolina, propileno, náilon 6-6, borracha e/ou resinas. Em vários casos, pelo menos um produto de fermentação 241, 251 é biomassa microbiana. Essa biomassa microbiana pode, em alguns casos, ser posteriormente processada para produzir pelo menos um componente de alimentação animal.

[0095] Em várias modalidades, o caldo de fermentação de um biorreator 240 pode ser passado para outro biorreator 250 dentro do sistema de biorreator 240,250 através de meios de tubulação 242.

[0096] As Figuras 3, 4 e 5 ilustram várias modalidades da invenção, com o uso de um processo de produção de hidrogênio de uma operação de refinação como a fonte industrial de substrato gasoso que contém C1 rico em H₂. Um processo típico de produção de hidrogênio, conforme retratado na Figura 3, na Figura 4 e na Figura 5, contém os seguintes estágios: (i) um processo de reforma, em que uma matéria-prima que contém CH₄ é convertida em uma corrente de gás de síntese que compreende CO e H₂; (ii) pelo menos uma etapa de troca de água-gás, em que uma porção do CO é reagida com água para produzir H₂ e CO₂; e (iii) um módulo de adsorção com oscilação de pressão (PSA) adaptado para recuperar hidrogênio a partir da corrente de gás.

[0097] A Figura 3 mostra uma modalidade da invenção que utiliza um

substrato gasoso que contém C1 rico em H₂ a partir de um processo de reforma 310. Pelo menos uma porção do substrato gasoso que contém C1 rico em H₂ flui para um módulo de separação de membrana 350 através de meios de tubulação 312. O módulo de separação de membrana 350 separa o substrato gasoso que contém C1 em uma corrente rica em CO de alta pressão, e uma corrente rica em H₂ de baixa pressão. Pelo menos uma porção da corrente rica em CO de baixa pressão é passada para um reator de inoculação 370 através de meios de tubulação 352. Pelo menos uma porção da corrente rica em H₂ de baixa pressão é passada para um processo de adsorção com oscilação de pressão 360 através de meios de tubulação 351. Em pelo menos uma modalidade, o substrato gasoso é passado para um compressor antes de ser passado para o processo de adsorção com oscilação de pressão 360. Em uma modalidade, a corrente rica em CO compreende pelo menos 40% de CO, ou pelo menos 50% de CO, ou pelo menos 60% de CO. Em uma modalidade, a pressão da corrente que contém C1 rico em CO é de pelo menos 15 bar, ou pelo menos 20 bar, ou pelo menos 25 bar.

[0098] Em várias modalidades, o processo pode incluir vários processos de troca de água-gás 320, 330 e/ou múltiplos processos de remoção de hidrogênio 350, 340, 360. Conforme mostrado na Figura 3, o substrato gasoso que contém C1 pode primeiramente ser passado a partir de um processo de reforma 310 para um processo de troca de água-gás 320 através de um meios de tubulação 311 para converter pelo menos uma porção de CH₄ para uma corrente de gás de síntese que compreende CO e H₂. Essa corrente de gás pode, opcionalmente, passar por um ou mais processos de troca de água-gás 330 através de meios de tubulação 321 e ser fornecida a um ou mais processos de remoção de hidrogênio 340 para separar pelo menos uma porção do hidrogênio 341 da corrente de gás. Essa corrente pode, então, ser passada por um ou mais outros processos de remoção de hidrogênio 360 através dos meios de tubulação 342. A corrente do um ou mais outros processos de

remoção de hidrogênio 360 pode ser enviada ao biorreator 380 através dos meios de tubulação 361 para fermentação. Pelo menos uma porção do substrato não enviada ao biorreator pode ser, opcionalmente, enviada ao processo de reforma 310 através de meios de tubulação 362. Em vários casos, o biorreator 380 recebe o substrato gasoso e produz um ou mais produtos de fermentação 381. Opcionalmente, o gás residual do reator de inoculação 370 e do biorreator 380 pode ser passado de volta para o processo de reforma 310 através de meios de tubulação separados 372, 382 e/ou uma corrente mesclada 378.

[0099] Nas várias modalidades, o reator de inoculação 370 e o biorreator 380 são configurados em uma maneira por etapas, pela qual o reator de inoculação 370 fermenta um substrato gasoso que contém C1 rico CO para produzir um inóculo, que é, então, fornecido ao biorreator 380 através de meios de tubulação 371. Ao utilizar esse inóculo no biorreator 380, a seletividade de produto e a estabilidade do processo de fermentação são melhoradas.

[00100] Em outra modalidade, conforme mostrado na Figura 4, uma corrente que contém C1 rica em H₂ de um processo de reforma 410 flui para o processo de adsorção com oscilação de pressão 450 através de meios de tubulação 412 fornecido a montante do reator de inoculação 470. O processo de adsorção com oscilação de pressão 450 separa a corrente que contém C1 em uma corrente rica em H₂ de alta pressão e uma corrente rica em CO de baixa pressão. A corrente rica em CO de baixa pressão pode ser passada para um compressor antes de ser passada para o reator de inoculação 470 através de meios de tubulação 452. Em uma modalidade, a corrente rica em CO é passada para o reator de inoculação 470 compreende pelo menos 30% de CO ou pelo menos 40% de CO ou pelo menos 50% de CO ou pelo menos 60% de CO. O hidrogênio separado pode ser passado do processo de adsorção com oscilação de pressão 450 para outro processo de adsorção com oscilação de

pressão 460 através de meios de tubulação 451. Em várias modalidades, o processo pode incluir vários processos de troca de água-gás 420, 430 e/ou múltiplos processos de remoção de hidrogênio 450, 440, 460.

[00101] Conforme mostrado na Figura 4, o substrato que contém C1 pode ser primeiramente passado de um processo de reforma 410 para um processo de troca de água-gás 420 através de meios de tubulação 411 para converter pelo menos uma porção do CH₄ em uma corrente de gás de síntese que compreende CO e H₂. Essa corrente de gás pode ser, então, passada para um ou mais processos de troca de água-gás 430 através dos meios de tubulação 421 e ser fornecida ao um ou mais processos de remoção de hidrogênio 440 através dos meios de tubulação 431 para separar pelo menos uma porção do hidrogênio 441 da corrente de gás. Essa corrente pode ser, então, passada para um ou mais outros processos de remoção de hidrogênio 460 através dos meios de tubulação 442. A corrente do um ou mais outros processos de remoção de hidrogênio 460 pode ser enviada ao biorreator 480 através dos meios de tubulação 461 para a fermentação. Pelo menos uma porção do substrato não enviada ao biorreator pode ser, opcionalmente, enviada ao processo de reforma 410 através dos meios de tubulação 462. Em vários casos, o biorreator 480 recebe o substrato gasoso e produz um ou mais produtos de fermentação 481. Opcionalmente, o gás residual do reator de inoculação 470 e do biorreator 480 pode ser passado de volta para o processo de reforma 410 através de meios de tubulação separados 472, 482 e/ou uma corrente mesclada 478.

[00102] Nas diversas modalidades, o reator de inoculação 470 e o biorreator 480 são configurados em uma maneira por etapas, pela qual o reator de inoculação 470 fermenta um substrato gasoso que contém C1 rico em CO para produzir um inóculo, que é, então fornecido ao biorreator 480 através dos meios de tubulação 471. Ao utilizar esse inóculo no biorreator 480, a seletividade de produto e a estabilidade do processo de fermentação

são melhoradas.

[00103] Em outra modalidade, conforme mostrado na Figura 5, a corrente que contém C1 do processo de reforma 510 pode ser enviada para múltiplos processos de remoção de hidrogênio 540, 550, 560, 590 antes de ser enviada ao reator de inoculação 570 e/ou para o biorreator 580. Em vários casos, a corrente que contém C1 pode ser enviada para um compressor antes e/ou entre um processo de remoção de hidrogênio. Ao enviar a corrente que contém C1 para múltiplos processos de remoção de hidrogênio, a composição de CO na corrente que contém C1 pode ser adicionalmente enriquecida.

[00104] Em várias modalidades, o processo pode incluir múltiplos processos de troca de água-gás 520, 530 em combinação com múltiplos processos de remoção de hidrogênio 540, 550, 560. Conforme mostrado na Figura 5, o substrato gasoso que contém C1 pode ser primeiramente passado de um processo de reforma 510 para um processo de troca de água-gás 520 através de meios de tubulação 511 para converter pelo menos uma porção do CH₄ em uma corrente de gás de síntese que compreende CO e H₂. Essa corrente de gás pode ser, então, passada para um ou mais processos de troca de água-gás 530 através de meios de tubulação 521 e ser fornecida ao um ou mais processos de remoção de hidrogênio 540 através de meios de tubulação 531 para separar pelo menos uma porção do hidrogênio 541 da corrente de gás. Essa corrente pode ser, então, passada para um ou mais outros processos de remoção de hidrogênio 560 através de meios de tubulação 542. A corrente do um ou mais outros processos de remoção de hidrogênio 560 pode ser enviada para o biorreator 580 através de meios de tubulação 561 para a fermentação. Pelo menos uma porção do substrato não enviada ao biorreator pode ser, opcionalmente, enviada para um processo de remoção de hidrogênio subsequente 550 através de meios de tubulação 562 e, opcionalmente, um processo de remoção de hidrogênio adicional 590 através de meios de tubulação 551, a qual, por fim, pode ser enviada para o reator de inoculação

570, através de meios de tubulação 591, para produzir um inóculo.

[00105] Em vários casos, o biorreator 580 recebe o substrato gasoso e produz um ou mais produtos de fermentação 581. Opcionalmente, o gás residual do reator de inoculação 570 e do biorreator 580 pode ser passado de volta para o processo de reforma 510 através de meios de tubulação separados 572, 582 e/ou uma corrente mesclada 578.

[00106] Nas várias modalidades, o reator de inoculação 570 e o biorreator 580 são configurados em uma maneira por etapas, pela qual o reator de inoculação 570 fermenta um substrato gasoso que contém C1 rico em CO para produzir um inóculo, que é, então, fornecido ao biorreator 580 através de meios de tubulação 571. Ao utilizar esse inóculo no biorreator 580, a seletividade de produto e a estabilidade do processo de fermentação são melhoradas.

[00107] Deve ser entendido que, embora a Figura 3, a Figura 4 e a Figura 5 sejam representações de uma integração com um processo de produção de hidrogênio, a aplicação atual não deve ser limitada à integração com um processo de produção de hidrogênio.

EXEMPLOS

[00108] Os exemplos a seguir ilustram em mais detalhes a invenção, mas, certamente, não devem ser interpretados de modo a limitar seu escopo de forma alguma.

EXEMPLO 1

[00109] Esse exemplo demonstra o desempenho comparativo de dois reatores dotados de um substrato gasoso que compreende 68% em volume de H₂, 3,8% em volume de CO, 26% em volume de CO₂ e 1% em volume de N₂, uma razão molar de 18:1 de H₂:CO. A única diferença entre os parâmetros de operação dos dois reatores era as condições sob as quais foi produzido o inóculo para cada reator. A Figura 6a e a Figura 6b mostram perfis de metabólito e gás em um primeiro biorreator que recebeu o inóculo produzido

sob condições ricas em CO. A Figura 7a e a Figura 7b mostram perfis de metabólito e gás em um segundo biorreator que recebeu o inóculo produzido sob condições ricas em H₂. Ambos os reatores consomem H₂, CO, e CO₂ com eficiência similar, mas o reator recebido de um inóculo de um reator de inoculação rico em H₂ (Figura 7a) reduziu a seletividade para o etanol.

EXEMPLO 2

[00110] Esse exemplo demonstra o desempenho comparativo de reatores dotados de inóculo de reatores de inoculação operados sob diferentes condições de gás. A Figura 8a e a Figura 8b mostram os perfis de metabólito e gás de uma fermentação inoculada com uma cultura recebida de uma inoculação produzida com a seguinte composição de gás: 48% em volume de H₂, 40% em volume de CO, 2% em volume de CO₂ e 10% em volume de N₂. A Figura 9a e a Figura 9b ilustram os perfis de metabólito e gás de uma fermentação inoculada com uma cultura recebida de uma inoculação produzida sob condições ricas em CO. A seletividade de etanol demonstrada pelo reator alimentado pelo reator de inoculação de gás rico em CO (Figura 9a) é muito mais alta do que do reator que recebeu um inóculo de um reator de inoculação rico em H₂ (Figura 8a).

[00111] Todas as referências, incluindo publicações, pedidos de patentes e patentes, citados no presente documento, são incorporados ao presente documento a título de referência, na mesma medida em que cada referência foi individual e especificamente indicada para ser incorporada a título de referência e foi apresentada no presente documento em sua totalidade. A referência a qualquer técnica anterior neste relatório descritivo não é e não deve ser interpretada como um reconhecimento de que a técnica anterior forma parte do conhecimento geral comum no campo de empreendedorismo em qualquer país.

[00112] O uso dos termos “um” e “uma”, “o”, “a” e referentes similares no contexto da descrição da invenção (especialmente no contexto

das reivindicações anexas) devem ser interpretados de modo a cobrir o singular e o plural a menos que seja indicado de outra forma ou que o contexto dite claramente o contrário. Os termos “que compreende (ou que compreendem)”, “que tem (ou que têm)”, “que inclui (ou que incluem)” e “que contém (ou que contêm)” devem ser interpretados como termos abertos (isto é, que significam “incluindo, mas sem limitação”), a menos que seja indicado de outra forma. O termo “que consiste (ou consistem) essencialmente em” limita o escopo de uma composição, processo ou método aos materiais ou etapas especificados ou àqueles que não afetam de modo relevante as características básicas e inovadoras da composição, processo ou método. O significado do uso da alternativa (por exemplo, “ou”) deve ser entendido como uma, ambas ou qualquer combinação das alternativas. Conforme usado no presente documento, o termo “cerca de” significa $\pm 20\%$ da faixa, valor ou estrutura indicada, a menos que seja indicado de outra forma.

[00113] A menção de faixas de valores no presente documento é meramente destinada a servir como um método abreviado para se referir individualmente a cada valor separado dentro da faixa, a menos que seja indicado de outra forma no presente documento, e cada valor separado é incorporado ao relatório descritivo como se fosse mencionado individualmente no presente documento. Por exemplo, qualquer faixa de concentração, faixa percentual, faixa de razão, faixa de números inteiros, faixa de tamanho ou faixa de espessura deve ser entendida como incluindo o valor de qualquer número inteiro dentro da faixa recitada e, quando apropriado, suas frações (como um décimo e um centésimo de um número inteiro), a menos que seja indicado de outra forma.

[00114] Todos os métodos descritos no presente documento podem ser executados em qualquer ordem adequada, a menos que seja indicado de outra forma no presente documento ou que o contexto dite claramente o contrário.

O uso de todos e quaisquer exemplos, ou linguagem exemplificativa (por exemplo, “tal como”) fornecida no presente documento, visa meramente esclarecer melhor a invenção e não representa uma limitação do escopo da invenção, a menos que seja reivindicado de outra forma. Nenhuma linguagem no relatório descritivo deve ser interpretada como indicando qualquer elemento não reivindicado como essencial para a prática da invenção.

[00115] As modalidades preferenciais dessa invenção são descritas no presente documento. Variações dessas modalidades preferenciais podem se tornar evidentes para os versados na técnica após a leitura da descrição acima mencionada. Os inventores esperam que os encarregados versados na técnica empreguem tais variações, conforme venha a ser apropriado, e os inventores pretendem que a invenção seja praticada de outra forma que não seja a especificamente descrita no presente documento. Consequentemente, esta invenção inclui todas as modificações e equivalentes da matéria mencionada nas reivindicações anexas, conforme permitido pela lei aplicável. Além disso, qualquer combinação dos elementos acima descritos em todas as suas variações possíveis é abrangida pela invenção, a menos que seja indicado de outra forma no presente documento ou o contexto dite claramente o contrário.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo para produzir um ou mais produtos de fermentação, em que o processo é caracterizado pelo fato de que compreende:

a. fornecer um substrato gasoso que contém C1 rico em CO para um reator de inoculação que compreende um meio nutritivo líquido que contém uma cultura de um ou mais micro-organismos fixadores de C1;

b. fermentar o substrato gasoso que contém C1 rico em CO para produzir um inóculo;

c. passar pelo menos uma porção do inóculo para um sistema de biorreator, em que o sistema de biorreator compreende pelo menos um biorreator que contém uma cultura de um ou mais micro-organismos fixadores de C1 em um meio nutritivo líquido;

d. passar um substrato gasoso que contém C1 rico em H₂ para o sistema de biorreator que contém C1; e

e. fermentar o substrato gasoso que contém C1 rico em H₂ para produzir pelo menos um produto de fermentação.

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o substrato gasoso que contém C1 rico em CO compreende H₂ em uma razão molar de H₂:CO de menos do que 1:1.

3. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o substrato gasoso que contém C1 rico em CO compreende H₂ a uma razão molar de H₂:CO de menos de 0,5:1.

4. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o substrato gasoso que contém C1 rico em CO compreende H₂ em uma razão molar de H₂:CO entre 0,02:1 a 1:1.

5. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o substrato gasoso que contém C1 rico em H₂ compreende H₂ em uma razão molar de H₂: CO de pelo menos 1,1:1.

6. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado

pelo fato de que o substrato gasoso que contém C1 rico em H₂ compreende H₂ em uma razão molar de H₂: CO entre 1,1:1 a 6:1.

7. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o microrganismo fixador de C1 é uma bactéria carboxidotrófica.

8. Processo de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que a bactéria carboxidotrófica é selecionada a partir do grupo que consiste em *Moorella*, *Clostridium*, *Ruminococcus*, *Acetobacterium*, *Eubacterium*, *Butyribacterium*, *Oxobacter*, *Methanosarcina* e *Desulfotomaculum*.

9. Processo de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que a bactéria carboxidotrófica é *Clostridium autoethanogenum*.

10. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o sistema de biorreator compreende um ou mais biorreatores primários ligados a um ou mais biorreatores secundários.

11. Processo para produzir um ou mais produtos de fermentação, em que o processo é caracterizado pelo fato de que compreende:

a. passar pelo menos uma porção de um substrato gasoso que contém C1 para um reator de inoculação e pelo menos uma porção do substrato gasoso que contém C1 para um biorreator;

b. fermentar o substrato gasoso que contém C1 no reator de inoculação para produzir um inóculo;

c. passar pelo menos uma porção do inóculo para pelo menos um biorreator; e

d. fermentar o substrato gasoso que contém C1 no biorreator para produzir pelo menos um produto de fermentação;

e. em que o substrato gasoso que contém C1 a ser passado para o reator de inoculação é submetido a pelo menos um processo de remoção de H₂ antes de ser passado para o reator de inoculação.

12. Processo de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que o substrato gasoso que contém C1 a ser passado para o reator de inoculação compreende H_2 em uma razão molar de $H_2:CO$ de menos de 1:1.

13. Processo de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que o substrato gasoso que contém C1 a ser passado para o reator de inoculação compreende H_2 em uma razão molar de $H_2:CO$ de menos do que 0,8:1.

14. Processo de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que o substrato gasoso que contém C1 a ser passado para o reator de inoculação compreende H_2 a uma razão molar de $H_2:CO$ de menos de 0,5:1.

15. Processo de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que o substrato gasoso que contém C1 a ser passado para o reator de inoculação compreende H_2 a uma razão molar de $H_2:CO$ entre 0,02:1 a 1:1.

16. Processo de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que o processo de remoção de H_2 compreende pelo menos um processo de adsorção com oscilação de pressão.

17. Processo de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que o processo de remoção de H_2 compreende pelo menos um módulo de separação de membrana.

18. Processo de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que pelo menos uma porção do substrato gasoso que contém C1 é derivada de uma fonte industrial.

19. Processo de acordo com a reivindicação 18, caracterizado pelo fato de que a fonte industrial é selecionada a partir do grupo que consiste em fermentação de carboidratos, fermentação gasosa, fabricação de cimento, fabricação de papel e celulose, fabricação de aço, refinamento de petróleo e processos associados, produção petroquímica, produção de coque, digestão

anaeróbica ou aeróbica, gás de síntese, extração de gás natural, extração de petróleo, processos metalúrgicos para produção e/ou refinamento de alumínio, cobre e/ou ferroligas, reservatórios geológicos e processos catalíticos.

20. Processo de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que pelo menos um produto de fermentação é selecionado a partir do grupo que consiste em: etanol, acetato, butanol, butirato, 2,3-butanodiol, 1,3-butanodiol, lactato, buteno, butadieno, metiletilcetona, etileno, acetona, isopropanol, lipídios, 3-hidroxipropionato, isopreno, ácidos graxos, 2-butanol, 1,2-propanodiol, 1-propanol, monoetileno glicol, isobuteno e C₆-C₁₄ álcoois.

21. Processo de acordo com a reivindicação 20, caracterizado pelo fato de que o um ou mais produtos de fermentação são adicionalmente convertidos em pelo menos um componente de combustível diesel, combustível de aviação, gasolina, propileno, náilon 6-6, borracha e/ou resinas.

22. Processo de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que pelo menos um produto de fermentação é biomassa microbiana.

23. Processo de acordo com a reivindicação 22, caracterizado pelo fato de que a biomassa microbiana é processada para produzir pelo menos um componente de ração animal.

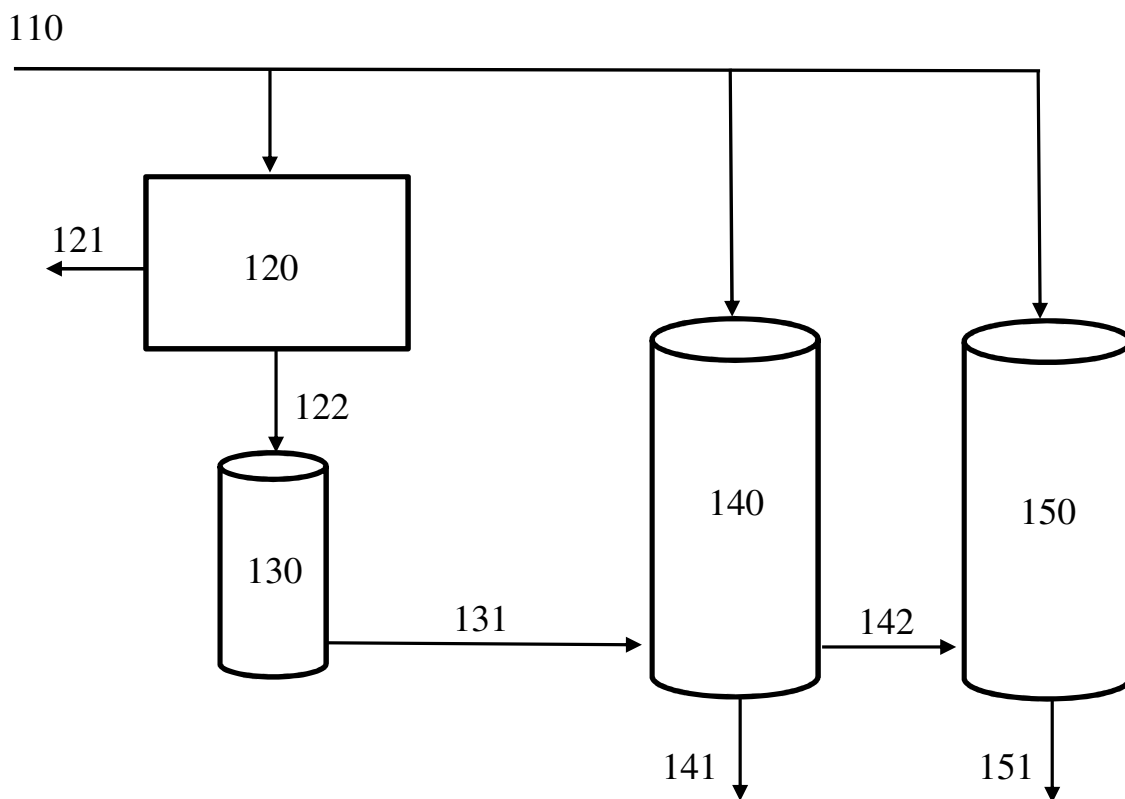


FIG. 1

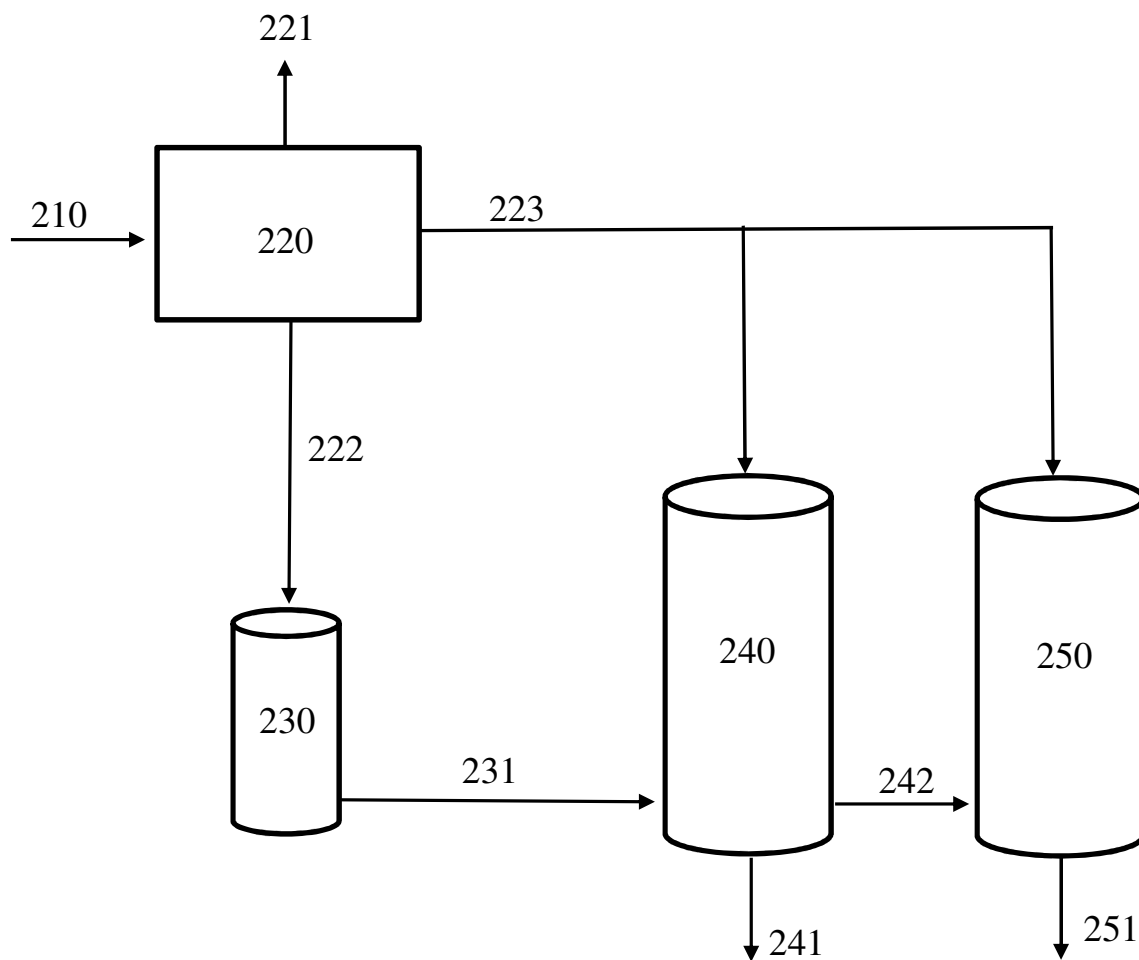


FIG. 2

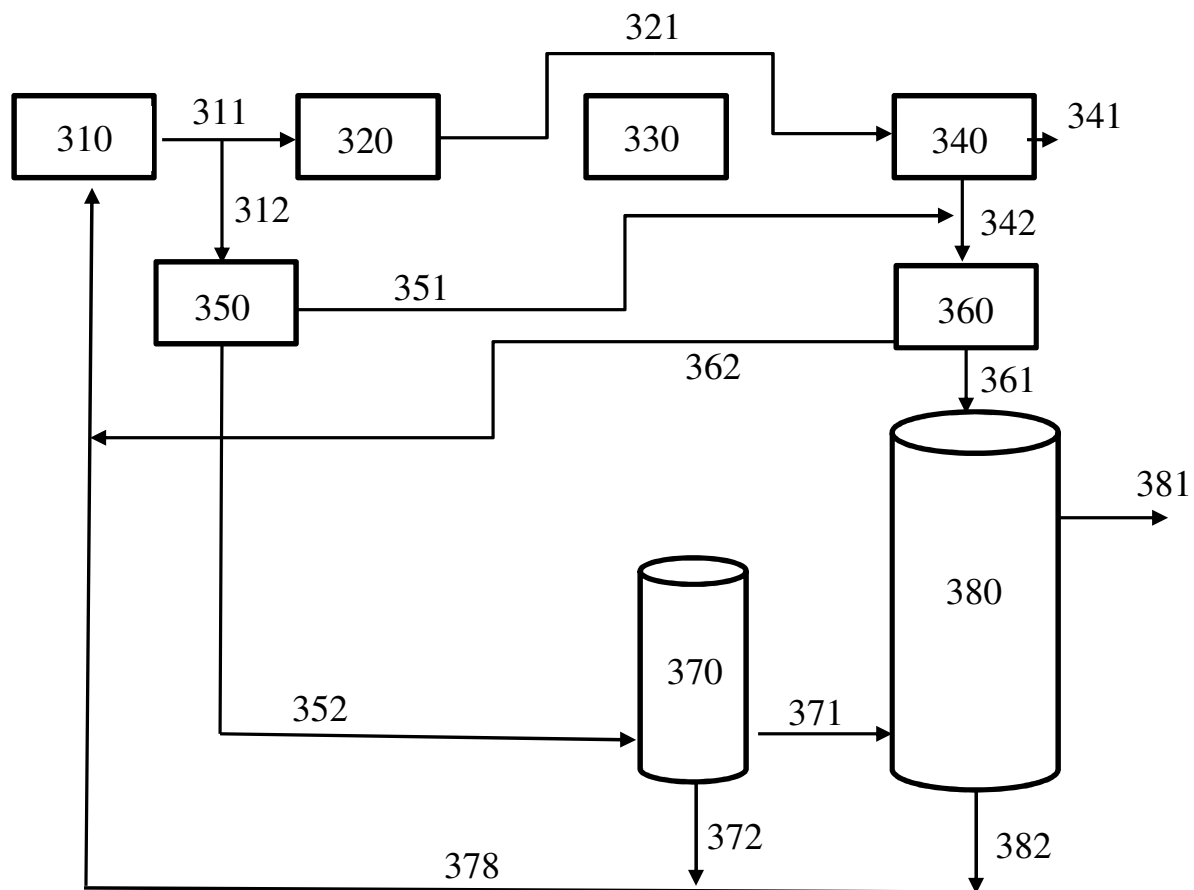


FIG. 3

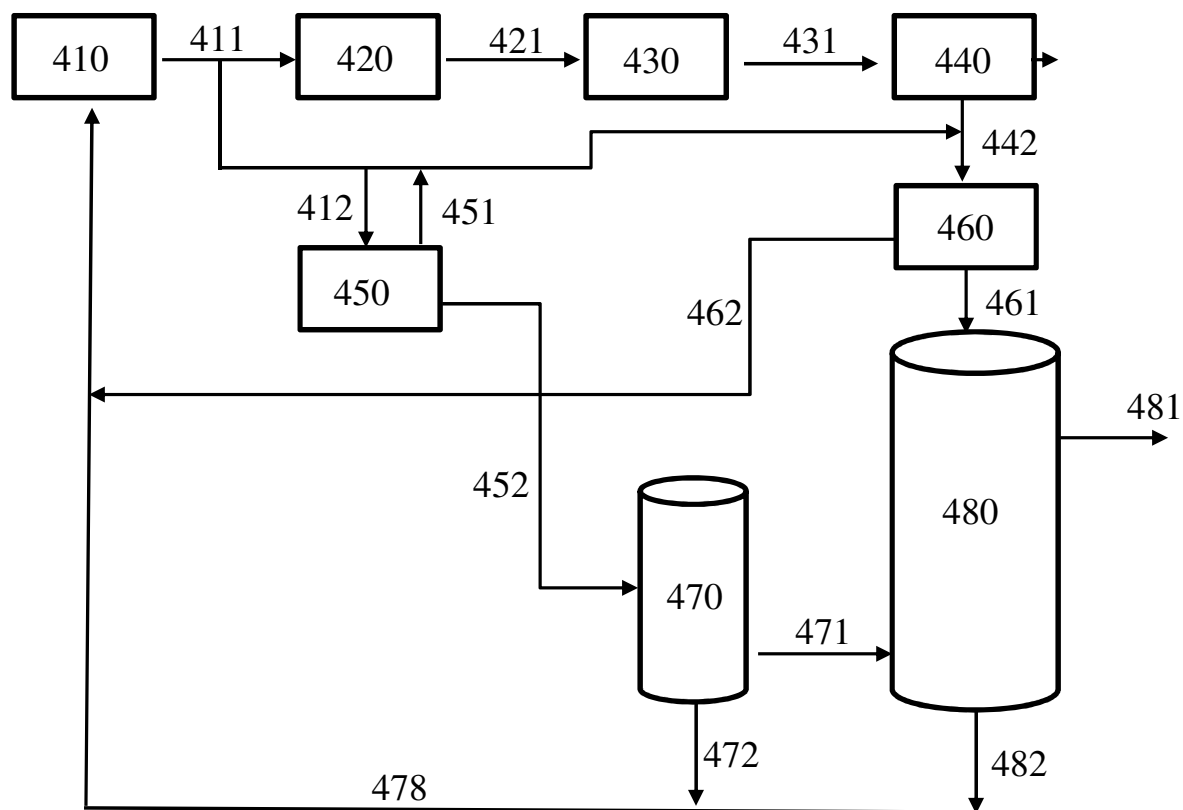


FIG. 4

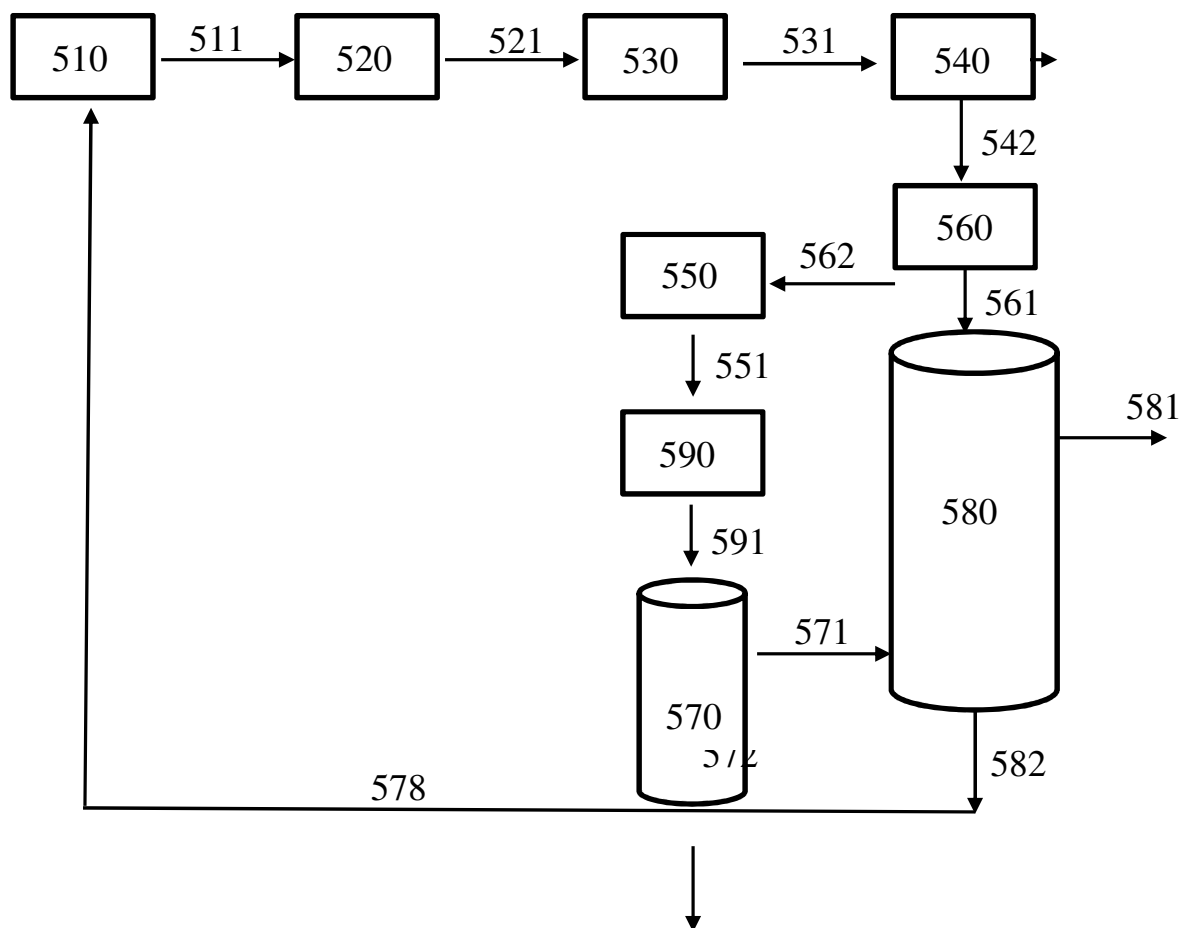


FIG. 5

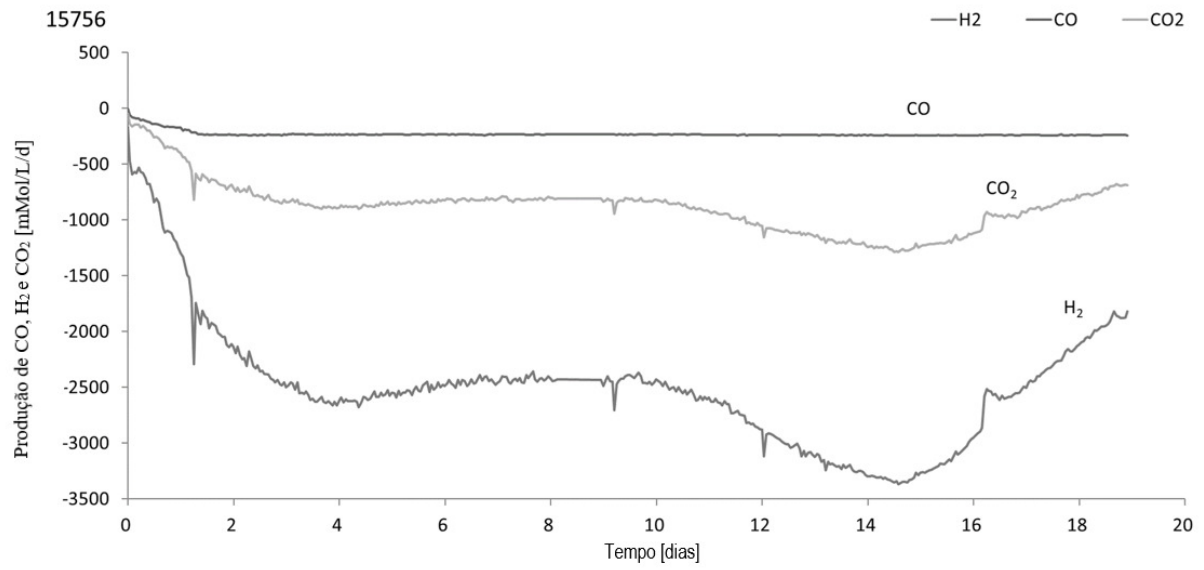


FIG. 6a

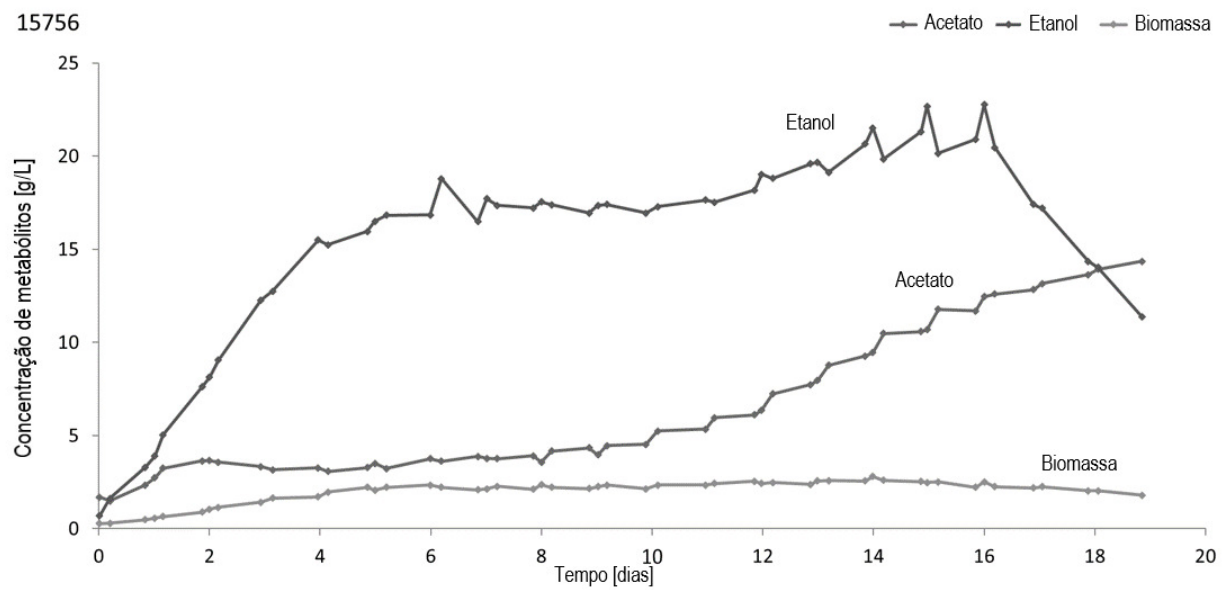


FIG. 6b

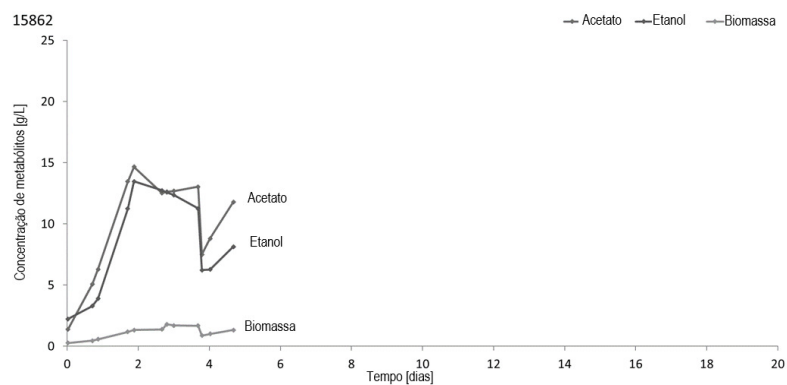


FIG. 7a

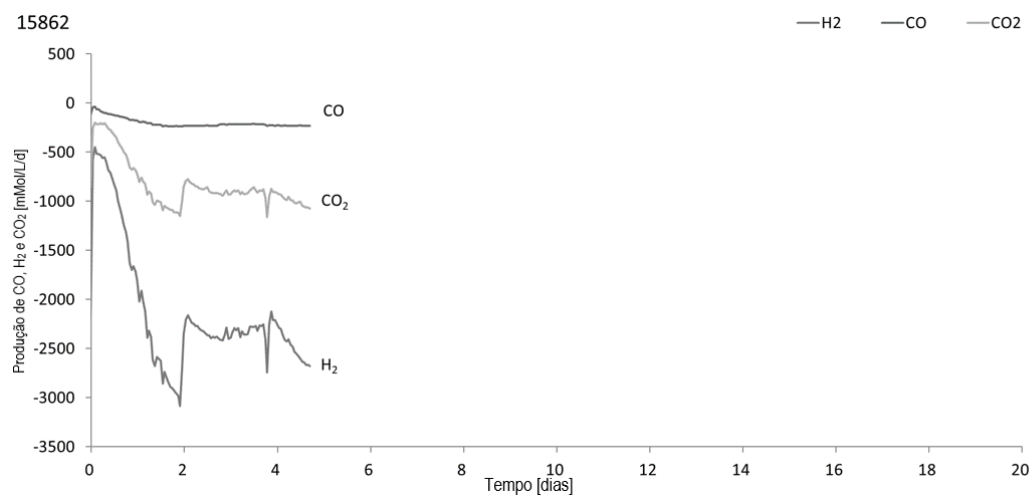


FIG. 7b

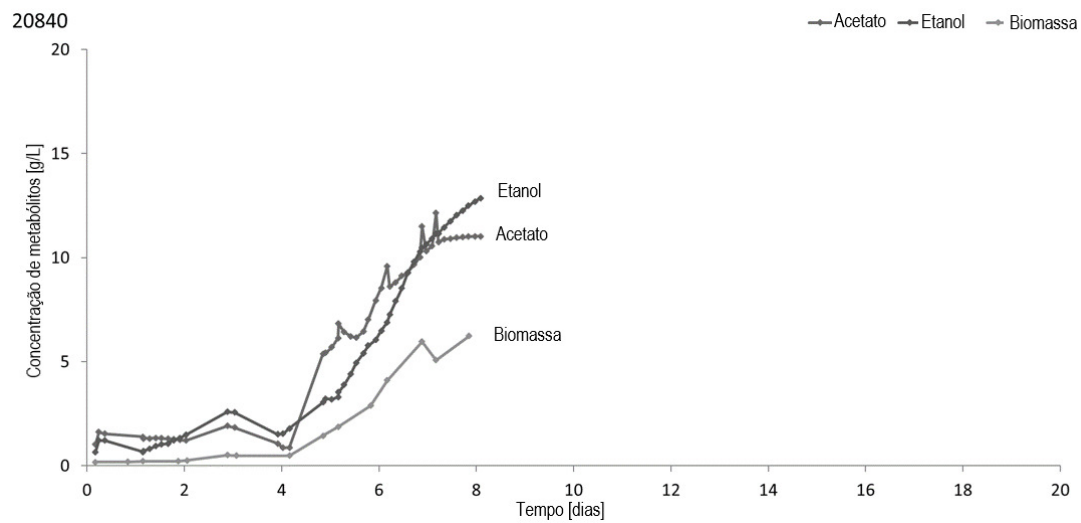


FIG. 8a

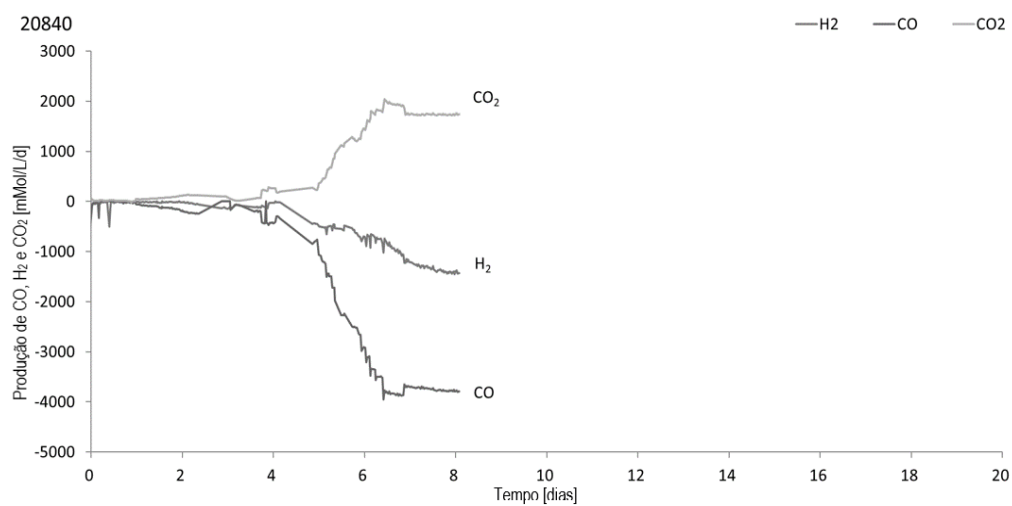


FIG. 8b

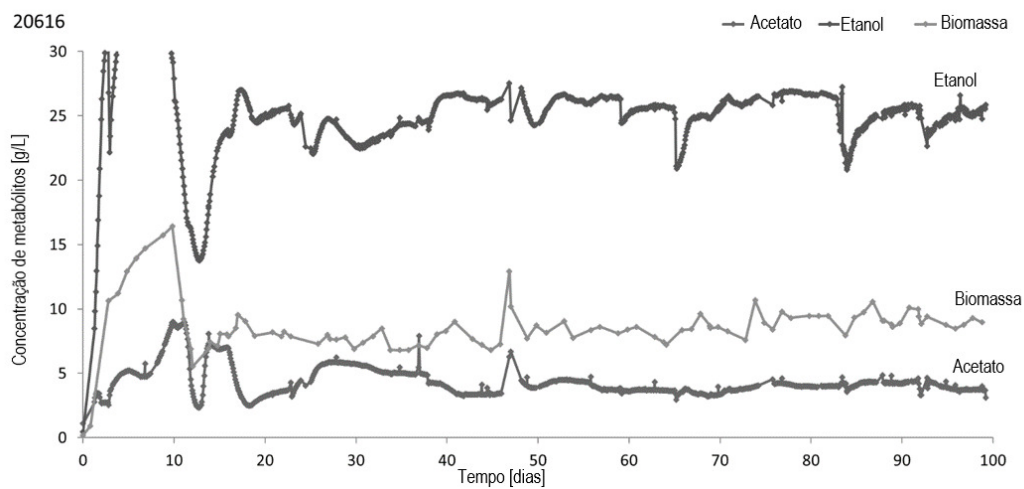


FIG. 9a

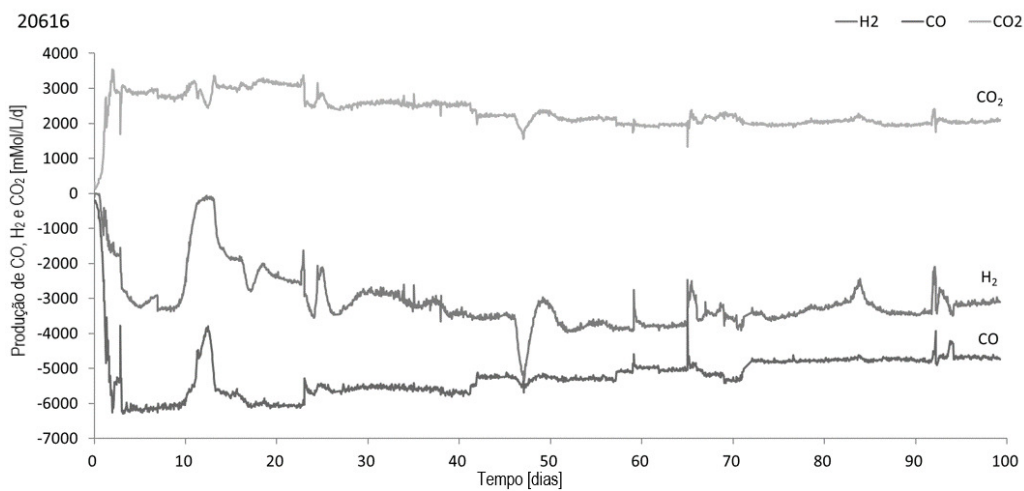


FIG. 9b

RESUMO

PROCESSO PARA PRODUZIR UM OU MAIS PRODUTOS DE FERMENTAÇÃO

A presente invenção se refere a um processo para produzir um ou mais produtos de fermentação em um processo de múltiplos estágios, incluindo um reator de inoculação e pelo menos um biorreator. O reator de inoculação é alimentado com um substrato gasoso que contém C1 contendo uma quantidade reduzida de hidrogênio. O hidrogênio é reduzido para aumentar a proporção de CO no substrato gasoso que contém C1 que é fornecido ao reator de inoculação. O reator de inoculação fermenta o substrato gasoso que contém C1 rico em CO e produz um inóculo, que é fornecido a pelo menos um biorreator. O biorreator recebe o substrato gasoso que contém C1, que pode ou não conter quantidades reduzidas de hidrogênio, para produzir um ou mais produtos de fermentação. Ao fornecer um substrato gasoso que contém C1 rico em CO ao reator de inoculação, tanto o reator de inoculação quanto o biorreator (ou biorreatores) subsequente, têm capacidade para ter uma maior estabilidade e seletividade de produto.