



República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,
Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial



(21) BR 102022015155-5 A2

(22) Data do Depósito: 29/07/2022

(43) Data da Publicação Nacional:
23/05/2023

(54) Título: COMPOSIÇÕES E MÉTODOS ECOLOGICAMENTE CORRETOS PARA EXTRAIR MINERAIS E METAIS DO MINÉRIO

(51) Int. Cl.: B03D 1/016; C05B 17/00; A23K 20/26.

(52) CPC: B03D 1/016; C05B 17/00; A23K 20/26.

(30) Prioridade Unionista: 08/11/2021 US 17/521,290; 11/04/2022 US 63/329,715.

(71) Depositante(es): LOCUS IP COMPANY, LLC.

(72) Inventor(es): SEAN FARMER; KARTHIK N. KARATHUR.

(57) Resumo: COMPOSIÇÕES E MÉTODOS ECOLOGICAMENTE CORRETOS PARA EXTRAIR MINERAIS E METAIS DO MINÉRIO. A presente invenção fornece composições e métodos seguros e ecologicamente corretos para extrair minerais e/ou metais do minério. Mais especificamente, a presente invenção fornece biolixiviação usando uma composição compreendendo um ou mais micro-organismos produtores de biotensoativo e/ou subprodutos de crescimento microbiano. Em modalidades específicas, a composição compreende leveduras produtoras de biotensoativo e/ou subprodutos de crescimento das mesmas.

COMPOSIÇÕES E MÉTODOS ECOLOGICAMENTE CORRETOS PARA EXTRAIR
MINERAIS E METAIS DO MINÉRIO

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

[001] A "lixiviação" é uma técnica de metalurgia extrativa amplamente utilizada que converte metais encontrados em minério (pedaços de mineral, rocha ou solo) em sais solúveis em meio aquoso. Há uma variedade de processos de lixiviação, geralmente classificados pelos tipos de reagentes utilizados. Essas técnicas utilizam produtos químicos ou micro-organismos para extrair metais, dependendo dos minérios ou materiais a serem processados.

[002] Uma técnica de lixiviação, chamada mineração de lixiviação em pilha, fornece um método de baixo custo de extração de valores metálicos de materiais contendo metais de grau relativamente baixo e encontrou aplicação particular no processamento de minérios contendo metais. A mineração de lixiviação em pilha usa uma série de reações químicas que absorvem minerais específicos e, em seguida, os separa novamente após sua divisão de outros materiais terrestres no minério. Geralmente, um minério é extraído, triturado e depois transportado para um local de pilha onde é empilhado em um forro impermeável ou plataforma de lixiviação de pilha.

[003] O minério é continuamente pulverizado ou irrigado com uma solução adequada ou fluido de processo. Os fluidos de processo podem ser alcalinos ou ácidos. Por exemplo, pode-se usar uma solução diluída de cianeto alcalino, ozônio e ácido sulfúrico, dependendo do substrato a ser extraído.

[004] O fluido do processo extrai metais no minério

mediante contato com o minério e o "licor de lixiviação" resultante escorre lentamente sob a força da gravidade para o bloco. O bloco de lixiviação de pilha normalmente tem uma base inclinada para permitir que o licor de lixiviação flua para os drenos de coleta para separar o metal do fluido do processo. A percolação da solução através da pilha é chamada de "ciclo de lixiviação", que pode levar de um ou dois meses para minérios de óxido simples (por exemplo, a maioria dos minérios de ouro) até dois anos (para minérios de níquel laterítico).

[005] Depois de separar os metais preciosos do licor de lixiviação, a solução diluída de cianeto (agora chamada de "solução estéril") é normalmente reutilizada no processo de lixiviação em pilha ou enviada para uma estação de tratamento de água industrial, onde o cianeto ou ácido residual é tratado e os metais residuais são removidos.

[006] Embora a lixiviação em pilha possa ser um processo de baixo custo, as taxas normais de recuperação variam de 60 a 70%, embora haja exceções. Normalmente é mais lucrativo com minérios de baixo teor. Os minérios de alto teor geralmente são submetidos a processos de moagem mais complexos, onde as recuperações mais altas justificam o custo extra. O processo escolhido depende das propriedades do minério.

[007] Além disso, para a lixiviação de certos metais preciosos, como ouro e prata, os reagentes de lixiviação incluem cianeto, tiosulfato, tiocianato, haletos e halogênios (por exemplo, cloretos, brometos, iodetos, cloro, bromo e iodeto) e tioureia. Destes, o cianeto continua sendo o reagente predominante aplicado em escala

industrial para minérios de ouro e ouro-prata. Haletos (cloro e cloretos em particular) são frequentemente usados no refino final de barras impuras (barras, moedas ou lingotes de metal). Além disso, o mercúrio metálico, altamente tóxico e ambientalmente perigoso, ainda é usado por muitos mineradores artesanais.

[008] Apesar de ser um reagente de lixiviação robusto (ou lixiviante), o uso de cianeto de sódio e cianetos de outros metais alcalinos (por exemplo, potássio) e metais alcalino-terrosos (por exemplo, cálcio), apresenta uma série de desafios, principalmente devido à sua toxicidade, restrições, alta pegada de carbono e baixa seletividade em minérios de baixo teor. É particularmente problemático para minérios de ouro com alto teor de cobre e/ou alto teor de prata, pois o cobre está frequentemente presente em níveis de cerca de 1.000 vezes a concentração de ouro, levando ao consumo excessivo de cianeto e à remoção do cianeto disponível para lixiviação do ouro. O cianeto também é um reagente caro, de modo que usar o mesmo para metais de menor valor, como cobre (e menos, para prata) rapidamente se torna antieconômico, não apenas para lixiviação, mas também devido aos impactos a jusante. Além disso, gera cianetos dissociáveis de ácidos fracos (WAD), que requerem ainda processos de desintoxicação/destruição ou recuperação de cianeto.

[009] A lixiviação em pilha pode ser usada para extrair, por exemplo, níquel, cobre e ouro. A lixiviação de certos outros compostos geralmente envolve o uso de vasos pressurizados, chamadas autoclaves. O cobalto, por exemplo, é comumente produzido usando lixiviação ácida de alta

pressão (HPAL). O processo utiliza temperaturas em torno de 255 °C e pressões em torno de 725 psi (4,99 MPa), além de ácido sulfúrico para separar o metal do minério.

[010] Em HPAL, o minério é extraído e triturado para criar um material fino, que é misturado com água para criar uma pasta. A pasta é aquecida e bombeada para uma autoclave, ao qual o ácido é adicionado. A pasta e o ácido então reagem à medida que fluem através de vários compartimentos dentro da autoclave. Leva aproximadamente 60 minutos para completar o processo de lixiviação na autoclave. Ao sair da atmosfera de alta pressão e temperatura da autoclave, a pasta deve ser devolvida às condições atmosféricas. Isso é realizado por meio de dois ou mais estágios de desativação/flash. Uma vez que a pasta esteja em condições atmosféricas, ela é lavada e separada, ponto em que o metal pode ser recuperado da fração líquida.

[011] Os processos de lixiviação podem ser potencializados pelo uso de micro-organismos, como bactérias termofílicas e/ou acidófilas que crescem na superfície e nas rachaduras de fragmentos de minério. Esse processo de "bioestimulação" pode proporcionar, por exemplo, a catalisação de reações de oxidação dentro do minério. Tal processo envolve tipicamente o uso de uma alta concentração de micróbios.

[012] Os próprios micro-organismos também podem ser usados para realizar a lixiviação, através da "biolixiviação". Normalmente, a biolixiviação requer uma pasta contendo dióxido de carbono e outros nutrientes microbianos, concentrado de sulfeto e micróbios, bem como tanques, sistemas de monitoramento microbiano e controle de

pH e potencial redox.

[013] Os processos de lixiviação biológica são alternativas mais ecológicas aos processos convencionais de fundição, que descarregam grandes quantidades de dióxido de carbono, dióxido de enxofre e vários materiais tóxicos, como o arsênico, no meio ambiente. Os processos de bioestimulação e biolixiviação atualmente conhecidos têm, no entanto, várias desvantagens. Eles podem ser demorados e ineficientes em termos de custos. Por exemplo, a biolixiviação de concentrados de cobre é tipicamente muito lenta, com recuperações incompletas alcançadas mesmo após muitas semanas a meses de lixiviação.

[014] Além disso, pode ser caro e complicado transportar e manter os micróbios viáveis em um local de aplicação. Atualmente, as operações de lixiviação baseadas em micróbios estão limitadas à obtenção de emendas microbianas de produtores distantes cuja qualidade do produto sofre devido a atrasos no processamento a montante, métodos usados para estabilizar o produto para distribuição futura, gargalos na cadeia de suprimentos, armazenamento inadequado e outros fatores que inibem a entrega e a aplicação oportunas de produtos microbianos viáveis e de alta contagem de células.

[015] Conseqüentemente, há uma necessidade de composições e métodos aprimorados para extrair minerais e/ou metais valiosos do minério.

[016] O minério fosfatado é uma matéria-prima essencial para a fabricação de produtos industriais fosfatados. Tem sido amplamente utilizado na agricultura, bem como nas indústrias farmacêutica, química e alimentícia. Existem

quatro tipos principais de recursos de fosfato baseados na mineralização: depósitos ígneos, depósitos metamórficos, depósitos sedimentares e depósitos biogênicos (por exemplo, acumulações de guano). A maioria dos recursos de fosfato é de origem sedimentar. Não há substituto sintético para o fosfato, o que torna a mineração responsável e sustentável de depósitos de fosfato em todo o mundo vital para a saúde e o bem-estar de nossa população global.

[017] A rocha fosfática, quando usada de forma não tratada, não é muito solúvel e fornece pouco fósforo disponível para as plantas, exceto em alguns solos ácidos e úmidos. O tratamento da rocha fosfática com, por exemplo, ácido sulfúrico produz ácido fosfórico, o material solúvel em água do qual a maioria dos fertilizantes fosfatados são derivados. A grande maioria do ácido fosfórico é utilizada na produção de fertilizantes agrícolas, mas o ácido fosfórico também é utilizado como aditivo na alimentação do gado e até mesmo em produtos alimentícios.

[018] Quando o fosfato é retirado do solo, é naturalmente associado a material indesejado chamado ganga, principalmente quartzo, mica, feldspato, dolomita, calcita e argilas. A ganga é removida do minério de fosfato por meio de beneficiamento, um processo tipicamente envolvendo peneiramento, lavagem e/ou flotação, para separar fisicamente diferentes categorias de material.

[019] As rochas fosfáticas também contêm uma variedade de metais pesados, como Cr, Cd, Cu, Mn, Ni, U e Zn. O cádmio, em particular, é um componente de metal pesado tóxico dos depósitos de rocha fosfática.

[020] Na produção de fertilizantes, a rocha fosfática é

processada por acidulação, em que o fosfato é tratado com um ácido mineral, como ácido sulfúrico, ácido clorídrico ou ácido nítrico, produzindo assim um ácido fosfórico. Esse ácido fosfórico pode conter vários níveis de cádmio em estado dissolvido, que pode acabar se acumulando no solo, na matéria vegetal e nos produtos alimentícios. Isso pode ter efeitos prejudiciais a longo prazo na saúde humana, vegetal e animal.

[021] Atualmente, existem duas abordagens principais para mitigar esse problema. A primeira é a remoção do cádmio e outros metais pesados do solo após a aplicação do fertilizante. Isso geralmente envolve a lavagem do solo usando agentes de extração, como ácidos, bases, quelantes, eletrólitos, agentes oxidantes e tensoativos. No entanto, muitos desses agentes extratores podem alterar a produtividade do solo, alterando as propriedades químicas, físicas e minerais do solo.

[022] A segunda abordagem é remover o cádmio antes de sua conversão em um produto fertilizante. A decádmiação da rocha fosfática antes da acidulação pode ser realizada usando um processo chamado calcinação. A calcinação envolve o aquecimento da rocha fosfática a temperaturas extremamente altas (por exemplo, acima de 700 °C), que essencialmente ferve o cádmio até o ponto de volatilização. Além do alto gasto energético necessário para obter a temperatura adequada, esse processo pode alterar a estrutura e reduzir a reatividade da rocha fosfática. Isso pode, por sua vez, reduzir o valor da rocha para a produção de fertilizantes. Alguns métodos utilizam micro-ondas para obter uma evaporação semelhante do cádmio; no entanto,

esses métodos são principalmente limitados à escala laboratorial.

[023] Um método menos intensivo em energia, mas potencialmente menos eficaz para decadmição de rocha fosfática envolve a lavagem do minério de fosfato pulverizado com um agente de extração, como EDTA de sódio, acetato de amônio e ácido clorídrico; no entanto, este método pode exigir múltiplas extrações para obter uma remoção satisfatória do cádmio.

[024] Vários métodos de purificação de ácido fosfórico por processo úmido em relação ao seu teor de metal pesado também são conhecidos na técnica. Estes incluem, por exemplo, cocristalização com anidrita, precipitação com íons sulfeto, remoção por extração com solvente, remoção por troca iônica e separação em escala laboratorial por tecnologia de membrana.

[025] A cocristalização ou coprecipitação de cádmio com gesso é útil porque o cádmio apresenta grande afinidade com a anidrita (Ca_2SO_4). O resultado, no entanto, é uma produção significativa de resíduos de fosfogesso, um poluente radioativo da água.

[026] Alguns metais pesados podem ser facilmente precipitados e removidos do ácido fosfórico, por exemplo, adicionando sulfeto de hidrogênio, solução de sulfeto de sódio, solução de sulfeto de potássio ou uma solução de sulfeto de amônio, ou adicionando sulfeto de cálcio e bário. O cádmio precipita como sulfeto de cádmio; no entanto, o cádmio é muito mais difícil de precipitar do que outros metais pesados, muitas vezes exigindo um processo de alta pressão e calor para, por exemplo, reduzir a

solubilidade dos compostos de cádmio formados no ácido fosfórico. Além disso, os subprodutos de sulfeto de hidrogênio desses processos são toxinas respiratórias.

[027] Com a troca iônica, tanto os trocadores de cátions quanto de ânions podem ser usados. Por exemplo, em condições redutoras, o cádmio pode complexar com bromo, cloreto ou iodo, que apresentam alta afinidade com resinas aniônicas. Esses métodos, no entanto, exigem a pré-remoção de substâncias insolúveis para garantir a eficiência adequada.

[028] Por fim, a extração com solvente, por exemplo, um haleto de amino, é mais útil para outras impurezas metálicas presentes em maior quantidade, como ferro, cálcio e magnésio. Com baixa seletividade para o cádmio, o processo deve ser repetido várias vezes para obter uma redução significativa do cádmio. Além disso, o solvente deve ser recuperado e tratado posteriormente.

[029] Conforme descrito acima, a recuperação segura e eficiente do fósforo do minério é importante para a saúde humana, vegetal e animal. Devido às crescentes preocupações com impurezas de metais pesados, como o cádmio, acumulando-se nos solos, e por causa dos métodos muitas vezes ineficientes, químicos e intensivos em energia usados atualmente na técnica, são necessários métodos aprimorados para o processamento de minério de fósforo e ácido fosfórico.

BREVE SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[030] A presente invenção se refere de forma geral à recuperação de metais. Mais especificamente, a presente invenção se refere a micróbios, bem como subprodutos de seu

crescimento, tais como biotensoativos, solventes e/ou enzimas, para uso em biolixiviação.

[031] Em modalidades específicas, a presente invenção fornece composições e métodos à base de micróbios para recuperar minerais e/ou metais valiosos, como, por exemplo, ouro, cobre, prata, lítio e cobalto, de minério e/ou rejeitos de minas. Essas composições e os métodos de seu uso são seguros, ecologicamente corretos e econômicos.

[032] Em modalidades preferidas, a composição à base de micróbios da presente invenção é um reagente de lixiviação biológico ecológico compreendendo um ou mais micro-organismos e/ou subprodutos de crescimento microbiano. Em uma modalidade, pelo menos um dos micro-organismos é uma levedura produtora de biotensoativo.

[033] Em uma modalidade, os subprodutos do crescimento microbiano são biotensoativos, enzimas, proteínas, peptídeos, aminoácidos e/ou solventes. Em uma modalidade, os subprodutos do crescimento microbiano são biotensoativos. Os biotensoativos de acordo com a presente invenção incluem, por exemplo, glicolipídios de baixo peso molecular, lipídios de celobiose, lipopeptídeos, flavolipídios, fosfolipídios e polímeros de alto peso molecular, tais como lipoproteínas, complexos de lipopolissacarídeo-proteína e/ou complexos de polissacarídeo-proteína-ácidos graxos.

[034] Em algumas modalidades, o subproduto de crescimento é produzido por um ou mais micro-organismos presentes na composição. Em algumas modalidades, o subproduto de crescimento é adicionado à composição, na forma bruta ou purificada, além de quaisquer subprodutos de

crescimento que são produzidos pelos micro-organismos.

[035] Em certas modalidades específicas, o reagente de lixiviação biológica compreende um produto de fermentação de levedura compreendendo biomassa de células de levedura e seus subprodutos de crescimento no meio de fermentação no qual a levedura foi produzida. De um modo preferido, a levedura é uma levedura produtora de biotensoativo. De um modo ainda mais preferido, a levedura é *Starmerella bombicola*, que é capaz de produzir biotensoativos glicolipídicos, por exemplo, soforolipídios (SLP), em altas concentrações.

[036] Em algumas modalidades, o produto de fermentação de levedura é obtido durante a produção de biotensoativos. Durante o cultivo submerso de um micro-organismo produtor de biotensoativo, os biotensoativos são excretados no caldo de fermentação. O reagente de lixiviação biológica pode compreender todo o caldo contendo micróbios, biotensoativos e outros subprodutos de crescimento, tais como, por exemplo, metabólitos excretados e/ou componentes da parede celular.

[037] Alternativamente, os biotensoativos podem ser colhidos do caldo para posterior processamento e/ou purificação. O que resta após a colheita dos biotensoativos é um sobrenadante compreendendo biomassa de células de levedura, biotensoativos residuais e outros subprodutos de crescimento, tais como, por exemplo, metabólitos excretados e/ou componentes da parede celular. Em certas modalidades, o reagente de lixiviação biológica da presente invenção compreende este sobrenadante.

[038] Em certas modalidades, o uso de produtos de

fermentação de levedura nos reagentes biológicos de lixiviação pode ser superior, por exemplo, apenas aos metabólitos microbianos purificados, devido, por exemplo, às propriedades vantajosas das células de levedura. Essas propriedades incluem, por exemplo, altas concentrações de manoproteína e/ou betaglucano na e/ou na parede celular de levedura. Estes compostos podem servir, por exemplo, como emulsionantes eficazes. Adicionalmente, o produto de fermentação de levedura pode ainda compreender biotensoativos, outros metabólitos e/ou componentes celulares ou extracelulares que estão presentes na cultura, tais como, por exemplo, solventes, ácidos, vitaminas, minerais, enzimas, proteínas, peptídeos, aminoácidos e outros (por exemplo, ácido láctico, etanol, etc.), na cultura.

[039] Em uma modalidade, o reagente de lixiviação biológico pode ser aprimorado com componentes adicionais conforme necessário, dependendo, por exemplo, do tipo de minério, tipo de mineral, volume de minério e outros fatores. Esses componentes intensificadores podem incluir culturas microbianas adicionais, como culturas de levedura e/ou bactérias. Os componentes intensificadores também podem incluir biotensoativos de forma pura ou bruta adicionais, ácidos, solventes, enzimas, proteínas, peptídeos, aminoácidos e/ou outros metabólitos.

[040] Em algumas modalidades, as culturas microbianas adicionais compreendem produtores de biotensoativo, tais como, por exemplo, *Wickerhamomyces anomalus*, *Pseudozyma aphidis*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia guilliermondii*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus*

licheniformis, *Pseudomonas aeruginosa*, *Streptococcus spp.*, e muitos outros.

[041] Em algumas modalidades, as culturas microbianas adicionais compreendem micro-organismos capazes de acumular nanopartículas de minerais e/ou metais como, por exemplo, cobre, cobalto, lítio, ouro e/ou prata, solubilizando o metal presente no minério para uma forma iônica solúvel e convertendo o mesmo em nanopartículas dentro de suas células. Por exemplo, bactérias termofílicas e/ou acidófilas, como *Cupriavidus metallidurans*, que podem precipitar nanopartículas de ouro, podem ser adicionadas ao reagente de lixiviação biológica como um aprimoramento.

[042] Em algumas modalidades, os componentes intensificadores compreendem biotensoativos adicionais. Os biotensoativos podem ser adicionados como parte de uma cultura microbiana, ou na forma bruta ou purificada após serem extraídos de uma cultura microbiana.

[043] Os biotensoativos podem compreender glicolipídios como, por exemplo, ramnolipídios (RLP), soforolipídios (SLP), lipídios de trealose ou lipídios de manosileritritol (MEL). Em uma modalidade, os biotensoativos são lipopeptídeos, tais como, por exemplo, surfactina, iturina, fengicina, viscosina e/ou liquenisina. Em uma modalidade, os biotensoativos são biotensoativos poliméricos, como, por exemplo, emulsan, lipomanan, alasan e/ou liposan. Em uma modalidade, o reagente de lixiviação biológica compreende e/ou é aprimorado pela adição de mais de um biotensoativo e/ou derivado de biotensoativo.

[044] Em certas modalidades, a presente invenção fornece um método para extrair minerais e/ou metais

valiosos de minério, em que o método compreende obter minério de, por exemplo, um depósito de minério, o referido minério compreendendo um ou mais minerais e/ou metais valiosos, além de ganga; aplicar um reagente de lixiviação biológico compreendendo um ou mais micro-organismos e/ou subprodutos de crescimento microbiano, ao minério; permitir que os minerais e/ou metais valiosos se separem do minério; e coletar os minerais e/ou metais valiosos. Em algumas modalidades, o método é realizado em um tanque, cuba, coluna (por exemplo, coluna de lixiviação insaturada ou saturada) ou piscina.

[045] Em uma modalidade, o minério é extraído e triturado, micronizado, pulverizado ou moído em partículas menores. Em uma modalidade, o minério está na forma de rejeitos de mina, ou os produtos residuais deixados para trás depois que um mineral foi separado da ganga.

[046] Em uma modalidade específica, o método compreende aplicar o reagente de lixiviação biológico na forma líquida às partículas de minério menores e misturar as partículas e o reagente de lixiviação biológico para formar uma pasta líquida.

[047] A pasta pode então ser deixada por qualquer quantidade de tempo suficiente para lixiviar o mineral valioso e/ou as partículas de metal do minério. A pasta pode, opcionalmente, ser misturada e/ou circulada continuamente (por exemplo, mecanicamente ou usando aeração) durante todo o período de tempo de lixiviação para garantir que o contato máximo seja feito entre as partículas de minério e o reagente de lixiviação.

[048] Em uma modalidade, as partículas minerais são

sequestradas pelas células do(s) micro-organismo(s) do reagente de lixiviação biológico. Em uma modalidade, as partículas minerais se separam do minério e são dispersas e/ou flutuam no líquido como solução. A fração líquida da pasta pode ser sifonada, drenada, filtrada ou removida de outra forma. As partículas minerais presentes no líquido podem ser lavadas para remover a matéria residual das células microbianas, coletadas e secas, incineradas e/ou processadas por qualquer outro meio conhecido nas técnicas metalúrgicas.

[049] Em algumas modalidades, o método compreende aplicar o reagente de lixiviação biológico na forma líquida a uma pilha ou coluna preenchida com as partículas de minério trituradas e permitir que o reagente de lixiviação biológico percola através das partículas para um aparelho de coleta usando gravidade. Em algumas modalidades, o método pode ser usado para bioestimulação de processos de lixiviação de pilha.

[050] O reagente de lixiviação biológica pode aumentar a recuperação de minerais e/ou metais valiosos do minério devido, por exemplo, à atividade de sequestro microbiano e/ou metabólitos que solubilizam os minerais e/ou metais do minério.

[051] Os micróbios podem estar vivos (ou viáveis) ou inativos no momento da aplicação. Em certas modalidades, os micro-organismos podem crescer *in situ* e produzir compostos ativos (por exemplo, metabólitos) no local. Consequentemente, uma alta concentração de metabólitos desejáveis (por exemplo, biotensoativos, solventes, enzimas, proteínas, peptídeos e aminoácidos) e os micro-

organismos que os produzem podem ser alcançados de forma fácil e contínua em um local de tratamento (por exemplo, um local de mineração de minério ou uma pilha de lixiviação).

[052] O método pode ainda compreender adicionar materiais para aumentar o crescimento de micróbios durante a aplicação (por exemplo, adição de nutrientes).

[053] O método pode ainda compreender adicionar materiais adicionais para melhorar a extração dos minerais e/ou metais valiosos, por exemplo, culturas microbianas adicionais, tais como culturas de levedura e/ou bactérias e/ou biotensoativos, ácidos, solventes, enzimas de forma pura ou bruta adicionais, proteínas, peptídeos e/ou aminoácidos.

[054] Vantajosamente, em certas modalidades, os métodos levam apenas algumas horas, por exemplo, 3 a 12 horas, a um dia para lixiviar os minerais do minério. A quantidade de tempo, no entanto, depende, por exemplo, de quão finamente moídas são as partículas de minério, o volume de partículas de minério sendo processadas e quais tipos e/ou combinações de micro-organismos e outros componentes são usados no reagente de lixiviação biológico.

[055] Além disso, em uma modalidade, os métodos em questão reduzem a quantidade de refino e processamento necessária para recuperar metais puros ou quase puros do minério. Por exemplo, a presente invenção pode ser usada para separar os metais em uma barra de doré e reduzir a quantidade de refino necessária para fazer o mesmo.

[056] O método pode ser realizado à pressão atmosférica e temperaturas mais baixas do que as operações tradicionais de fundição de metais. Assim, o método não requer

equipamento complicado ou alto consumo de energia, e o cultivo do reagente de lixiviação biológico usado no método em questão pode ser realizado no local, por exemplo, em uma mina ou em um local de lixiviação.

[057] Vantajosamente, a presente invenção pode ser usada sem liberar grandes quantidades de compostos inorgânicos e tóxicos no meio ambiente. Além disso, as composições e os métodos utilizam componentes biodegradáveis e toxicologicamente seguros e podem ser usados para reduzir a quantidade de resíduos tóxicos produzidos durante os processos de mineração e lixiviação.

[058] A presente invenção se refere ainda de forma geral à remoção de impurezas metálicas do minério, em que o próprio minério é a porção mais valiosa ou desejável. Mais especificamente, a presente invenção fornece composições e métodos ecologicamente corretos para extrair impurezas metálicas, como, por exemplo, cádmio, de, por exemplo, minério de fosfato (rocha) e/ou ácido fosfórico. Em certas modalidades, as impurezas metálicas podem ser descartadas com segurança usando métodos conhecidos na técnica, enquanto em outras modalidades, as impurezas metálicas podem ser recicladas e/ou processadas para outros usos para reduzir resíduos e poluição.

[059] Vantajosamente, as composições e os métodos da presente invenção reduzem a entrada de energia e o uso de produtos químicos necessários para processar minério de fosfato em produtos úteis, tais como fertilizantes e suplementos de ração animal. Por conseguinte, a presente invenção é útil para melhorar a segurança e reduzir a poluição do ar, do solo e da água do processamento de

minério de fosfato extraído.

[060] Em certas modalidades, a presente invenção fornece composições de decadmiação compreendendo componentes que são derivados de micro-organismos. Em certas modalidades, a composição de decadmiação compreende um biotensoativo microbiano. Em certas modalidades, a composição compreende um biotensoativo, um ácido e, opcionalmente, um ajustador de pH.

[061] O uso do termo composição de "decadmiação" não se destina a limitar a utilidade da composição para extrair ou remover apenas cádmio de uma substância. Em vez disso, a presente invenção facilita ainda a extração de outras impurezas metálicas, como, por exemplo, chumbo, níquel, arsênico, cobre e vanádio.

[062] Em certas modalidades, o biotensoativo da composição de decadmiação é utilizado na forma bruta. A forma bruta pode compreender, além do biotensoativo, caldo de fermentação no qual um micro-organismo produtor de biotensoativo foi cultivado, matéria celular microbiana residual ou células microbianas vivas ou inativas, nutrientes residuais e/ou outros subprodutos de crescimento microbiano.

[063] Em algumas modalidades, o biotensoativo é utilizado após ser extraído de um caldo de fermentação e, opcionalmente, purificado.

[064] O biotensoativo de acordo com a presente invenção pode ser um glicolipídio (por exemplo, soforolipídios, ramnolipídios, lipídios de celobiose, lipídios de manosileritritol e lipídios de trealose), lipopeptídeo (por exemplo, surfactina, iturina, fengicina, artrofactina e

liquenisina), flavolipídio, fosfolipídio (por exemplo, cardiolipinas), composto de éster de ácido graxo, composto de éter de ácido graxo e/ou polímeros de alto peso molecular, tais como lipoproteínas, complexos de lipopolissacarídeo-proteína e complexos de polissacarídeo-proteína-ácido graxo.

[065] Em certas modalidades específicas, o biotensoativo é um soforolipídio (SLP), incluindo SLP linear, SLP lactônico, SLP acetilado, SLP desacetilado, SLP em forma de sal, derivados de SLP esterificados, conjugados de SLP de aminoácidos e outros derivados ou isômeros de SLP que existem na natureza e/ou são produzidos sinteticamente. Em modalidades preferidas, o SLP é um SLP linear ou um SLP linear derivado.

[066] Em certas modalidades, o ácido da composição de decaadmição é um ácido orgânico, tal como, por exemplo, ácido acético, ácido cítrico, ácido láctico, ácido butírico, ácido sórbico, ácido benzóico, ácido fórmico, ácido fumárico, ácido propiônico, ácido ascórbico, ácido glioxílico, ácido malônico, ácido pirúvico, ácido oxálico, ácido úrico, ácido málico, ácido tartárico e/ou análogos dos mesmos. Em certas modalidades, o ácido é selecionado a partir de ácidos inorgânicos, tais como, por exemplo, ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido fosfórico, ácido clorídrico, ácido bórico e análogos dos mesmos. Em modalidades preferidas, o ácido é ácido cítrico.

[067] Em certas modalidades, o ácido é aquele que é caracterizado como um ácido "fraco". Vantajosamente, em certas modalidades, o uso de um ácido mais fraco é eficaz para a remoção de impurezas de um minério, mantendo a

integridade e o valor do minério a ser tratado.

[068] Em certas modalidades, o fosfato no minério serve para tamponar o ácido e estabilizar a formulação em pH 2 a 6, de um modo preferido cerca de pH 4; no entanto, ajustadores de pH adicionais opcionais podem ser incluídos na composição para ajustar e/ou estabilizar o pH dentro da faixa desejada, por exemplo, hidróxido de sódio ou hidróxido de potássio.

[069] Em certas modalidades, a presente invenção fornece um método para extrair metais e outras impurezas de minério de fosfato, em que o método compreende (i) obter o minério de fosfato, o referido minério compreendendo fosfato e uma impureza; (ii) colocar em contato uma composição de decadmição de acordo com a presente invenção com o minério por um período de tempo para produzir uma mistura compreendendo um minério de fosfato tratado e uma impureza que reagiu com a composição de decadmição; e (iii) separar a impureza reagida e a composição de decadmição da mistura.

[070] O método pode ser realizado em uma pilha de lixiviação, uma coluna ou qualquer outro laboratório ou reator de tamanho industrial.

[071] Em algumas modalidades, (iii) compreende aplicar um fluido de lavagem compreendendo água e, opcionalmente, um solvente orgânico, à mistura, em que o fluido de lavagem compreende a impureza reagida e a composição de decadmição e em que o minério de fosfato permanece um sólido que é decantado e filtrado fora do fluido. Em algumas modalidades, o solvente é um álcool, tal como etanol. A etapa (iii) pode ser repetida quantas vezes forem

necessárias para atingir a redução desejada no teor de impurezas.

[072] Em certas modalidades, o método compreende (a) obter o minério de fosfato, o referido minério compreendendo fosfato e uma impureza; (b) preparar uma pasta do minério de fosfato em água e manter a pasta sob agitação; (c) aplicar uma composição de decadmição de acordo com a presente invenção à pasta sob agitação por um período de tempo para produzir uma mistura compreendendo um minério de fosfato tratado e uma impureza que reagiu com a composição de decadmição; (d) interromper a agitação e deixar a mistura repousar por outro período de tempo, causando assim a formação de um precipitado compreendendo o minério de fosfato tratado e uma camada aquosa compreendendo a impureza reagida e a composição de decadmição; e (e) separar o precipitado da camada aquosa.

[073] Em algumas modalidades, (e) compreende ainda aplicar um fluido de lavagem compreendendo água e, opcionalmente, um solvente orgânico, ao precipitado separado para remover ainda a impureza reagida e a composição de decadmição do precipitado. A etapa (e) pode ser repetida quantas vezes forem necessárias para atingir a redução desejada no teor de impurezas.

[074] Em certas modalidades, a composição de decadmição de acordo com a presente invenção é eficaz devido à penetração mediada por anfifílicos do minério de fosfato com um ácido. Em algumas modalidades, o soforolipídio ou outro biotensoativo serve como um veículo para facilitar o transporte de moléculas de ácido em poros em nanoescala dentro do minério. Por exemplo, em algumas

modalidades, um soforolípido formará uma micela contendo o ácido, em que a micela é menor que 100 nm, menor que 50 nm, menor que 25 nm, menor que 15 nm ou menor que 10 nm de tamanho. O tamanho pequeno e as propriedades anfifílicas da micela permitem uma maior penetração no minério, de modo que um maior contato pode ser feito com as impurezas contidas no mesmo.

[075] Em certas modalidades, a impureza é como cádmio, níquel, arsênico, ferro, vanádio, mercúrio, cobre ou chumbo. Em certas modalidades preferidas, a impureza é cádmio; no entanto, em algumas modalidades, mais de uma impureza está presente, em que o teor total de cada uma das mais de uma impureza é reduzido de acordo com os métodos em questão.

[076] Em certas modalidades, os métodos da presente invenção resultam em pelo menos 25% de redução no teor de impurezas, de um modo preferido pelo menos 50% de redução após um tratamento. Em outras modalidades, o minério de fosfato pode ser tratado várias vezes para reduzir ainda mais o teor de impurezas.

[077] Em uma modalidade, o método compreende esmagar, moer ou pulverizar o minério de fosfato em partículas menores, por exemplo, com menos de 500 nm de tamanho, antes do tratamento com a composição de decadmiação.

[078] Em algumas modalidades, o minério de fosfato é obtido a partir de um depósito de minério na forma bruta. Esta forma bruta pode incluir materiais adicionais, ou ganga. Assim, em certas modalidades, o método pode compreender ainda, após a obtenção do minério de fosfato, submeter o minério a um ou mais processos de beneficiamento

para liberar o minério de fosfato do material de ganga. Os um ou mais processos de beneficiamento podem incluir, por exemplo, trituração, depuração, lavagem, peneiramento, flotação e/ou hidrociclonagem.

[079] Em algumas modalidades, o método compreende oxidar a matéria orgânica presente no minério de fosfato usando, por exemplo, peróxido de hidrogênio, antes de contatar o minério de fosfato com a composição de decadmiação.

[080] Em algumas modalidades, o método compreende aplicar a composição de decadmiação ao ácido fosfórico de processo úmido produzido após o minério de fosfato ter sofrido acidulação (por exemplo, reação com ácido sulfúrico). Em certas modalidades, a composição de decadmiação pode reagir com cádmio dissolvido e outras impurezas presentes no ácido fosfórico de processo úmido, fazendo com que as impurezas precipitem do líquido para coleta e remoção.

[081] Vantajosamente, em certas modalidades, a composição de decadmiação de acordo com a presente invenção tem eficácia comparável aos agentes de extração químicos tradicionais, mas com impactos ambientais negativos reduzidos. Além disso, os métodos da presente invenção não requerem equipamentos complicados ou alto consumo de energia, e a produção da composição de decadmiação pode ser realizada no local, por exemplo, em uma mina de minério ou em um local de lixiviação.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[082] A presente invenção se refere de forma geral à recuperação e/ou remoção de metais. Mais especificamente, a

presente invenção se refere a micróbios, bem como subprodutos de seu crescimento, tais como biotensoativos, solventes e/ou enzimas, para uso em biolixiviação.

[083] Em modalidades específicas, a presente invenção fornece composições e métodos à base de micróbios para recuperar minerais e/ou metais valiosos, como, por exemplo, ouro, cobre, prata, lítio e cobalto, de minério e/ou rejeitos de minas. Essas composições e os métodos de seu uso são seguros, ecologicamente corretos e econômicos.

[084] Em modalidades preferidas, a composição à base de micróbios da presente invenção é um reagente de lixiviação biológico ecológico compreendendo um ou mais micro-organismos e/ou subprodutos de crescimento microbiano. Em uma modalidade, pelo menos um dos micro-organismos é uma levedura produtora de biotensoativo.

[085] Em certas modalidades, a presente invenção fornece um método para extrair minerais e/ou metais valiosos de minério, em que o método compreende obter minério de, por exemplo, um depósito de minério, o referido minério compreendendo um ou mais minerais e/ou metais valiosos, além de ganga; aplicar um reagente de lixiviação biológico compreendendo um ou mais micro-organismos e/ou subprodutos de crescimento microbiano, ao minério; permitir que os minerais e/ou metais valiosos se separem do minério; e coletar os minerais e/ou metais valiosos.

[086] O reagente de lixiviação biológico pode aumentar a recuperação de minerais e/ou metais valiosos do minério devido, por exemplo, à atividade de sequestro microbiano e/ou metabólitos que sequestram nanopartículas dos minerais e/ou metais.

[087] A presente invenção se refere ainda genericamente à remoção de impurezas metálicas do minério de fosfato. Mais especificamente, a presente invenção fornece composições e métodos ecologicamente corretos para extrair impurezas metálicas, como, por exemplo, cádmio, de minério de fosfato (rocha) e/ou ácido fosfórico. Em certas modalidades, as impurezas metálicas podem ser descartadas com segurança usando métodos conhecidos na técnica, enquanto em outras modalidades as impurezas metálicas podem ser recicladas e/ou processadas para outros usos para reduzir resíduos e poluição.

[088] Vantajosamente, as composições e os métodos da presente invenção reduzem a entrada de energia e o uso de produtos químicos necessários para processar minério de fosfato em produtos úteis, tais como fertilizantes e suplementos de ração animal. Por conseguinte, a presente invenção é útil para melhorar a segurança e reduzir a poluição do ar, do solo e da água do processamento de minério de fosfato extraído.

Definições selecionadas

[089] Conforme usado neste documento, referência a uma "composição à base de micróbios" significa uma composição que compreende componentes que foram produzidos como resultado do crescimento de micro-organismos ou outras culturas de células. Assim, a composição à base de micróbios pode compreender os próprios micróbios e/ou subprodutos do crescimento microbiano. Os micróbios podem estar em estado vegetativo, na forma de esporos, na forma micelial, em qualquer outra forma de propágulo, ou uma mistura dos mesmos. Os micróbios podem ser planctônicos ou

em forma de biofilme, ou uma mistura de ambos. Os subprodutos do crescimento podem ser, por exemplo, metabólitos, componentes da membrana celular, proteínas expressas e/ou outros componentes celulares. Os micróbios podem estar intactos ou lisados. Em algumas modalidades, os micróbios estão presentes, com o caldo em que foram cultivados, na composição à base de micróbios. As células podem estar presentes, por exemplo, em uma concentração de 1×10^4 , 1×10^5 , 1×10^6 , 1×10^7 , 1×10^8 , 1×10^9 , 1×10^{10} , 1×10^{11} , 1×10^{12} , 1×10^{13} ou mais propágulos por mililitro da composição. Conforme usado neste documento, um propágulo é qualquer porção de um micro-organismo a partir do qual um organismo novo e/ou maduro pode se desenvolver, incluindo, mas não limitado a, células, esporos, conídios, hifas, micélios, cistos, brotos e sementes.

[090] A presente invenção fornece ainda "produtos à base de micróbios", que são produtos que devem ser aplicados na prática para alcançar um resultado desejado. O produto à base de micróbio pode ser simplesmente a composição à base de micróbio colhida do processo de cultivo de micróbio. Alternativamente, o produto à base de micróbios pode compreender outros ingredientes que foram adicionados. Esses ingredientes adicionais podem incluir, por exemplo, estabilizadores, tampões, carreadores apropriados, como água, soluções salinas ou qualquer outro carreador apropriado, nutrientes adicionados para suportar o crescimento microbiano adicional, potenciadores de crescimento não nutritivos, como hormônios vegetais e/ou agentes que facilitam o rastreamento dos micróbios e/ou da composição no ambiente ao qual é aplicado. O produto à base

de micróbios também pode compreender misturas de composições à base de micróbios. O produto à base de micróbios também pode compreender um ou mais componentes de uma composição à base de micróbios que foram processados de alguma forma, como, mas não limitado a, filtração, centrifugação, lise, secagem, purificação e semelhantes.

[091] Conforme usado neste documento, "colhido" se refere à remoção de parte ou de toda a composição à base de micróbio de um vaso de crescimento.

[092] Conforme usado neste documento, um "biofilme" é um agregado complexo de micro-organismos, como bactérias, em que as células aderem umas às outras em uma superfície. As células em biofilmes são fisiologicamente distintas das células planctônicas do mesmo organismo, que são células únicas que podem flutuar ou nadar em meio líquido.

[093] Conforme usado neste documento, uma molécula de ácido nucleico "isolada" ou "purificada", polinucleotídeo, polipeptídeo, proteína ou composto orgânico, tal como uma molécula pequena (por exemplo, aqueles descritos abaixo), é substancialmente livre de outros compostos, como material celular, com que está associado na natureza. Um polinucleotídeo purificado ou isolado (ácido ribonucleico (RNA) ou ácido desoxirribonucleico (DNA)) está livre dos genes ou sequências que o flanqueiam em seu estado natural. Um polipeptídeo purificado ou isolado está livre dos aminoácidos ou sequências que o flanqueiam em seu estado natural. Uma cepa microbiana purificada ou isolada significa que a cepa é removida do ambiente em que existe na natureza. Assim, a cepa isolada pode existir como, por exemplo, uma cultura biologicamente pura, ou como esporos

(ou outras formas da cepa) em associação com um carreador.

[094] Em certas modalidades, os compostos purificados são pelo menos 60% em peso (peso seco) do composto de interesse. De um modo preferido, a preparação é de pelo menos 75%, de um modo mais preferido de pelo menos 90%, e de um modo mais preferido de pelo menos 99%, em peso do composto de interesse. Por exemplo, um composto purificado é aquele que é pelo menos 90%, 91%, 92%, 93%, 94%, 95%, 98%, 99% ou 100% (p/p) do composto desejado em peso. A pureza é medida por qualquer método padrão apropriado, por exemplo, por cromatografia em coluna, cromatografia em camada fina ou análise por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC).

[095] Um "metabólito" se refere a qualquer substância produzida pelo metabolismo (por exemplo, um subproduto do crescimento) ou uma substância necessária para participar de um processo metabólico específico. Um metabólito pode ser um composto orgânico que é um material de partida (por exemplo, glicose), um intermediário (por exemplo, acetil-CoA) ou um produto final (por exemplo, n-butanol) do metabolismo. Exemplos de metabólitos incluem, mas não estão limitados a, biopolímeros, enzimas, toxinas, ácidos, solventes, álcoois, proteínas, peptídeos, aminoácidos, vitaminas, minerais, microelementos e biotenssoativos.

[096] Por "reduz" entende-se uma alteração negativa e por "aumenta" entende-se uma alteração positiva, em que a alteração é de pelo menos 0,001%, 0,01%, 0,1%, 1%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 45%, 50%, 55%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80%, 85%, 90%, 95%, 99% ou 100%, incluindo todos os valores entre eles.

[097] Por "referência" entende-se uma condição padrão ou de controle.

[098] Por "tolerante ao sal" entende-se uma cepa microbiana capaz de crescer em uma concentração de cloreto de sódio de quinze (15) por cento ou mais. Em uma modalidade específica, "tolerante ao sal" se refere à capacidade de crescer em 150 g/L ou mais de NaCl.

[099] Conforme usado neste documento, "tensoativo" significa um composto que reduz a tensão superficial (ou tensão interfacial) entre dois líquidos ou entre um líquido e um sólido. Os tensoativos atuam como, por exemplo, detergentes, agentes umectantes, emulsificantes, agentes espumantes e/ou dispersantes. Um "biotensoativo" é uma substância tensoativa produzida por uma célula viva e/ou usando substratos derivados da natureza.

[100] Os biotensoativos são um grupo estruturalmente diverso de substâncias tensoativas que consistem em duas partes: uma porção polar (hidrofílica) e um grupo não polar (hidrofóbico). Devido à sua estrutura anfifílica, os biotensoativos podem, por exemplo, aumentar a área de superfície de substâncias hidrofóbicas insolúveis em água, aumentar a biodisponibilidade de água dessas substâncias e alterar as propriedades das superfícies das células bacterianas. Os biotensoativos também podem reduzir a tensão interfacial entre água e óleo e, portanto, diminuir a pressão hidrostática necessária para mover o líquido aprisionado para superar o efeito capilar. Os biotensoativos se acumulam nas interfaces, reduzindo assim a tensão interfacial e levando à formação de estruturas micelares agregadas em solução. A formação de micelas

fornece um mecanismo físico para mobilizar, por exemplo, óleo em uma fase aquosa em movimento.

[101] A capacidade dos biotensoativos de formar poros e desestabilizar membranas biológicas também permite seu uso como agentes antibacterianos, antifúngicos e hemolíticos para, por exemplo, controlar pragas e/ou crescimento microbiano.

[102] Normalmente, o grupo hidrofílico de um biotensoativo é um açúcar (por exemplo, um mono-, di- ou polissacarídeo) ou um peptídeo, enquanto o grupo hidrofóbico é tipicamente um ácido graxo. Assim, existem inúmeras variações potenciais das moléculas de biotensoativos com base, por exemplo, no tipo de açúcar, número de açúcares, tamanho dos peptídeos, quais aminoácidos estão presentes nos peptídeos, comprimento de ácidos graxos, saturação de ácidos graxos, acetilação adicional, grupos funcionais, esterificação, polaridade e carga da molécula.

[103] Essas variações levam a um grupo de moléculas compreendendo uma ampla variedade de classes, incluindo, por exemplo, glicolipídios (por exemplo, sofrorolipídios, ramnolipídios, lipídios de celobiose, lipídios de manosileritritol e lipídios de trealose), lipopeptídeos (por exemplo, surfactina, iturina, fengicin, artrofactina e liquenisina), flavolipídios, fosfolipídios (por exemplo, cardiolipinas), compostos de éster de ácido graxo e polímeros de alto peso molecular, como lipoproteínas, complexos lipopolissacarídeo-proteína e complexos polissacarídeo-proteína-ácido graxo. Cada tipo de biotensoativo dentro de cada classe pode compreender ainda

subtipos com estruturas modificadas.

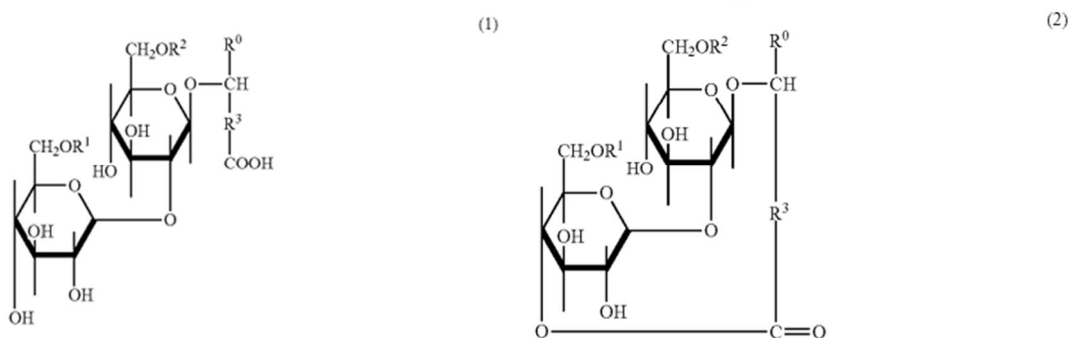
[104] Como os tensoativos químicos, cada molécula de biotensoativo tem seu próprio valor de HLB dependendo de sua estrutura; no entanto, ao contrário da produção de tensoativos químicos, que resulta em uma única molécula com um único valor ou intervalo de HLB, um ciclo de produção de biotensoativo normalmente resulta em uma mistura de moléculas de biotensoativo (por exemplo, subtipos e isômeros dos mesmos).

[105] As frases "biotensoativo" e "molécula de biotensoativo" incluem todas as formas, análogos, ortólogos, isômeros e modificações naturais e/ou antropogênicas de qualquer classe de biotensoativo (por exemplo, glicolipídio) e/ou subtipo do mesmo (por exemplo, soforolipídio).

[106] Conforme usado neste documento, o termo "soforolipídio", "molécula de soforolipídio", "SLP" ou "molécula de SLP" inclui todas as formas e seus isômeros de moléculas de SLP, incluindo, por exemplo, SLP (ASL) ácido (linear) e SLP lactônico (LSL). Incluem-se ainda SLP monoacetilado, SLP diacetilado, SLP esterificado, SLP com comprimentos de cadeia hidrofóbica variados, SLP catiônico e/ou aniônico com complexos de ácido graxo-aminoácido ligados, SLP esterificado, complexos SLP-metal, derivados SLP-sal (por exemplo, um sal de sódio de um SLP linear) e outros, incluindo aqueles que são e/ou não são descritos nesta divulgação.

[107] Em modalidades preferidas, as moléculas SLP de acordo com a presente invenção são representadas pela Fórmula Geral (1) e/ou Fórmula Geral (2), e são obtidas

como uma coleção de 30 ou mais tipos de homólogos estruturais com diferentes comprimentos de cadeia de ácido graxo (R^3) e, em alguns casos, tendo uma acetilação ou protonação em R^1 e/ou R^2 .



[108] Na Fórmula Geral (1) ou (2), R^0 pode ser um átomo de hidrogênio ou um grupo metila. R^1 e R^2 são cada um independentemente um átomo de hidrogênio ou um grupo acetila. R^3 é uma cadeia de hidrocarboneto alifático saturado ou uma cadeia de hidrocarboneto alifático insaturado com pelo menos uma ligação dupla e pode ter um ou mais substituintes.

[109] Exemplos dos substituintes incluem átomos de halogênio, hidroxila, grupos alquila inferior (C1-6), grupos halo alquila inferior (C1-6), grupos hidroxila alquila inferior (C1-6), grupos halo alcoxi inferior (C1-6) e outros. R^3 normalmente tem 11 a 20 átomos de carbono. Em certas modalidades da presente invenção, R^3 tem 18 átomos de carbono.

[110] SLP são tipicamente produzidos por leveduras, como leveduras *Starmerella spp.* e/ou leveduras *Candida spp.*, por exemplo, *Starmerella (Candida) bombicola*, *Candida apicola*, *Candida batistae*, *Candida floricola*, *Candida*

riodocensis, *Candida stellate* e/ou *Candida kuoi*. Os SLP possuem compatibilidade ambiental, alta biodegradabilidade, baixa toxicidade, alta seletividade e atividade específica em uma ampla faixa de temperatura, pH e condições de salinidade. Além disso, em algumas modalidades, o SLP pode ser vantajoso devido ao seu pequeno tamanho de micela, o que pode ajudar a facilitar o movimento da micela e dos compostos contidos na mesma, através de poros e espaços em nanoescala. Em certas modalidades, o tamanho da micela de um SLP é inferior a 100 nm, inferior a 50 nm, inferior a 20 nm, inferior a 15 nm, inferior a 10 nm ou inferior a 5 nm.

[111] Conforme usado neste documento, "aplicar" uma composição ou produto se refere a contatar a mesma com um alvo ou local de modo que a composição ou produto possa ter um efeito nesse alvo ou local. O efeito pode ser devido, por exemplo, ao crescimento microbiano e/ou à ação de um biotensioativo ou outro subproduto do crescimento. Por exemplo, as composições ou produtos à base de micróbios podem entrar em contato com o minério derramando e/ou pulverizando sobre o minério.

[112] Conforme usado neste documento, os termos "minerais valiosos" e "metais valiosos" se referem a qualquer mineral ou metal que é extraído ou lavrado da terra, que tenha algum valor econômico. O valor do mineral e/ou metal é tipicamente medido por quão abundante ou raro ele é, com minerais e/ou metais mais raros tendo um valor econômico mais alto por unidade de peso sobre aqueles que são mais abundantes.

[113] Metais "preciosos" ou "raros" se referem a elementos químicos metálicos de ocorrência natural com o

maior valor econômico por unidade de peso devido à sua extrema raridade. Os metais preciosos incluem ródio, platina, ouro, paládio, índio, irídio, ósmio, rênio, rutênio e prata (Biltmore Lowan and Jewelry 2016).

[114] Conforme usado neste documento, "minério" se refere a um material sólido de ocorrência natural do qual um mineral e/ou metal valioso pode ser extraído de forma lucrativa. Os minérios são frequentemente extraídos de depósitos de minério, que compreendem minerais de minério contendo a substância valiosa. Minerais de "ganga" são minerais que ocorrem no depósito, mas não contêm a substância valiosa. Exemplos de depósitos de minério incluem depósitos hidrotermais, depósitos magmáticos, depósitos de laterita, depósitos vulcanogênicos, depósitos metamorficamente retrabalhados, depósitos ígneos alcalinos-carbonatíticos, depósitos de minério de aluvião, depósitos de minério residual, depósitos sedimentares, depósitos hidrotermais sedimentares e depósitos relacionados a astroblemas. Minérios, conforme definido neste documento, no entanto, também podem incluir concentrados ou rejeitos de minério, carvão ou produtos residuais de carvão, ou mesmo outras fontes de metal ou minerais valiosos, incluindo, entre outros, joias, sucatas eletrônicas, baterias e outros materiais de sucata.

[115] O termo de transição "compreendendo", que é sinônimo de "incluindo" ou "contendo", é inclusivo ou aberto e não exclui elementos adicionais não citados ou etapas do método. Por outro lado, a frase de transição "consistindo em" exclui qualquer elemento, etapa ou ingrediente não especificado na reivindicação. A frase de

transição "consistindo essencialmente em" limita o escopo de uma reivindicação aos materiais ou etapas especificados "e aqueles que não afetam materialmente as características básicas e novas" da invenção reivindicada. O uso do termo "compreendendo" contempla outras modalidades que "consistem" ou "consistem essencialmente em" o(s) componente(s) citado(s).

[116] A menos que especificamente declarado ou óbvio do contexto, conforme usado neste documento, o termo "ou" é entendido como inclusivo. A menos que especificamente declarado ou óbvio do contexto, conforme usado neste documento, os termos "um", "e" e "o" são entendidos como singular ou plural.

[117] A menos que especificamente declarado ou óbvio do contexto, conforme usado neste documento, o termo "cerca de" é entendido como dentro de uma faixa de tolerância normal na técnica, por exemplo, dentro de 2 desvios padrão da média. "Cerca de" pode ser entendido como dentro de 10%, 9%, 8%, 7%, 6%, 5%, 4%, 3%, 2%, 1%, 0,5%, 0,1%, 0,05% ou 0,01% do valor declarado.

[118] As faixas fornecidas neste documento são entendidas como abreviação de todos os valores dentro da faixa. Por exemplo, uma faixa de 1 a 20 é entendida como incluindo qualquer número, combinação de números ou subfaixa do grupo que consiste em 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, bem como todos os valores decimais intermediários entre os números inteiros acima mencionados, como, por exemplo, 1,1, 1,2, 1,3, 1,4, 1,5, 1,6, 1,7, 1,8 e 1,9. Com relação às subfaixas, "subfaixas agrupadas" que se estendem de

qualquer ponto final da faixa são contempladas especificamente. Por exemplo, uma subfaixa agrupada de uma faixa exemplar de 1 a 50 pode compreender 1 a 10, 1 a 20, 1 a 30 e 1 a 40 em uma direção, ou 50 a 40, 50 a 30, 50 a 20, e 50 a 10 na outra direção.

[119] A citação de uma lista de grupos químicos em qualquer definição de uma variável neste documento inclui definições dessa variável como qualquer grupo único ou combinação de grupos listados. A citação de uma modalidade para uma variável ou aspecto neste documento inclui essa modalidade como qualquer modalidade única ou em combinação com quaisquer outras modalidades ou porções das mesmas.

[120] Quaisquer composições ou métodos fornecidos neste documento podem ser combinados com uma ou mais de qualquer uma das outras composições e métodos fornecidos neste documento.

[121] Outras características e vantagens da invenção serão evidentes a partir da descrição que se segue das suas modalidades preferidas e das reivindicações. Todas as referências citadas neste documento são aqui incorporadas por referência.

Reagente de Lixiviação Biológica

[122] Em modalidades específicas, a presente invenção fornece composições e métodos à base de micróbios para recuperar minerais e/ou metais valiosos, como, por exemplo, ouro, cobre, prata, lítio e cobalto, de minério e/ou rejeitos de minas. Essas composições e os métodos de seu uso são seguros, ecologicamente corretos e econômicos.

[123] Em modalidades preferidas, a composição à base de micróbios da presente invenção é um reagente de lixiviação

biológico compreendendo um ou mais micro-organismos e/ou subprodutos de crescimento microbiano. Em uma modalidade, pelo menos um dos micro-organismos é uma levedura produtora de biotensoativo.

[124] Os micro-organismos no produto à base de micróbios podem estar em uma forma ativa ou inativa, em forma de esporo, forma micelial ou qualquer outra forma de propágulo microbiano. Normalmente, o micro-organismo está inativo no momento em que é aplicado a um local.

[125] Em uma modalidade, o subproduto do crescimento microbiano é um biotensoativo, enzima, proteína, peptídeo, aminoácido e/ou solvente. Em uma modalidade, os subprodutos do crescimento microbiano são biotensoativos. Os biotensoativos de acordo com a presente invenção incluem, por exemplo, glicolipídios de baixo peso molecular, lipídios de celobiose, lipopeptídeos, flavolipídios, fosfolipídios e polímeros de alto peso molecular, tais como lipoproteínas, complexos de lipopolissacarídeo-proteína e/ou complexos de polissacarídeo-proteína-ácidos graxos.

[126] Em algumas modalidades, o subproduto de crescimento é produzido por um ou mais micro-organismos presentes na composição. Em algumas modalidades, o subproduto de crescimento é adicionado à composição, na forma bruta ou purificada, além de quaisquer subprodutos de crescimento que são produzidos pelos micro-organismos.

[127] Em certas modalidades específicas, o reagente de lixiviação biológica compreende um produto de fermentação de levedura compreendendo biomassa de células de levedura e seus subprodutos de crescimento no meio de fermentação no qual a levedura foi produzida. De um modo preferido, a

levedura é uma levedura produtora de biotensoativo. De um modo ainda mais preferido, a levedura é *Starmerella bombicola*, que é capaz de produzir biotensoativos glicolipídicos, por exemplo, soforolipídios (SLP), em altas concentrações.

[128] Em algumas modalidades, o produto de fermentação de levedura é obtido durante a produção de biotensoativos. Durante o cultivo submerso de um micro-organismo produtor de biotensoativo, os biotensoativos são excretados no caldo de fermentação. O reagente de lixiviação biológica pode compreender todo o caldo contendo micróbios, biotensoativos e outros subprodutos de crescimento, tais como, por exemplo, metabólitos excretados e/ou componentes da parede celular.

[129] Alternativamente, os biotensoativos podem ser colhidos do caldo para posterior processamento e/ou purificação. Em uma modalidade, *S. bombicola* produz uma camada de sedimento SLP na cultura compreendendo cerca de 10 a 15% de SLP, ou cerca de 4 a 5 g/L. Em uma modalidade específica, o cultivo da levedura ocorre a 25 a 28 °C por 1 a 10 dias. Vantajosamente, uma vez que a camada de SLP é colhida da cultura, cerca de 1 a 4 g/L de SLP ainda pode permanecer no sobrenadante, bem como biomassa de células de levedura e outros subprodutos de crescimento de levedura e componentes celulares vantajosos. Em certas modalidades, o reagente de lixiviação biológica da presente invenção compreende o sobrenadante.

[130] Em certas modalidades, o uso de produtos de fermentação de levedura nos reagentes de lixiviação biológica pode ser superior a, por exemplo, metabólitos

microbianos purificados sozinhos, devido, por exemplo, às propriedades vantajosas de células de levedura e/ou paredes celulares. Essas propriedades incluem, por exemplo, altas concentrações de manoproteína e/ou betaglucano na e/ou sobre a parede celular de levedura. Estes compostos podem servir, por exemplo, como emulsionantes eficazes. Adicionalmente, o produto de fermentação de levedura pode ainda compreender biotensoativos, outros metabólitos e/ou componentes celulares ou extracelulares que estão presentes na cultura, tais como, por exemplo, solventes, ácidos, vitaminas, minerais, enzimas, proteínas, peptídeos, aminoácidos e outros (por exemplo, ácido láctico, etanol, etc.), na cultura.

[131] Em uma modalidade, o reagente de lixiviação biológica pode ainda compreender fontes de nutrientes, incluindo fontes de nitrogênio, nitrato, fósforo, magnésio e/ou carbono.

[132] Em uma modalidade, o reagente de lixiviação biológico pode ser aprimorado com componentes adicionais conforme necessário, dependendo, por exemplo, do tipo de minério, tipo de mineral, volume de minério e outros fatores. Esses componentes intensificadores podem incluir culturas microbianas adicionais, como culturas de levedura e/ou bactérias. Os componentes intensificadores também podem incluir biotensoativos de forma pura ou bruta adicionais, ácidos, solventes, enzimas, proteínas, peptídeos e/ou aminoácidos.

[133] Em algumas modalidades, as culturas microbianas adicionais compreendem produtores de biotensoativo, tais como, por exemplo, *Wickerhamomyces anomalus*, *Pseudozyma*

aphidis, *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia guilliermondii*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus licheniformis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Streptococcus spp.*, e muitos outros como estão listados neste documento.

[134] Em algumas modalidades, as culturas microbianas adicionais compreendem micro-organismos capazes de acumular nanopartículas de minerais e/ou metais como, por exemplo, cobre, cobalto, lítio, ouro e/ou prata, solubilizando o metal presente no minério para uma forma iônica solúvel e convertendo o mesmo em nanopartículas dentro de suas células. Por exemplo, bactérias termofílicas e/ou acidófilas, como *Cupriavidus metallidurans*, que podem precipitar nanopartículas de ouro, podem ser adicionadas ao reagente de lixiviação biológica como um aprimoramento.

[135] Em algumas modalidades, os componentes intensificadores compreendem biotensoativos adicionais. Os biotensoativos podem ser adicionados como parte de uma cultura microbiana, ou na forma bruta ou purificada após serem extraídos de uma cultura microbiana.

[136] Os biotensoativos são um grupo estruturalmente diverso de substâncias tensoativas produzidas por micro-organismos. Os biotensoativos são biodegradáveis e podem ser produzidos eficientemente, de acordo com a presente invenção, utilizando organismos selecionados em substratos renováveis. A maioria dos organismos produtores de biotensoativos produz biotensoativos em resposta à presença de uma fonte de hidrocarbonetos (por exemplo, óleos, açúcar, glicerol, etc.) no meio de cultivo. Outros componentes do meio, como a concentração de ferro, também podem afetar significativamente a produção de

biotensoativo.

[137] Os biotensoativos microbianos são produzidos por uma variedade de micro-organismos, como bactérias, fungos e leveduras. Micro-organismos produtores de biotensoativos exemplares incluem *Starmerella* spp. (por exemplo, *S. bombicola*), *Pseudomonas* spp. (por exemplo, *P. aeruginosa*, *P. putida*, *P. fluorescências*, *P. fragi*, *P. syringae*); *Flavobacterium* spp.; *Bacillus* spp. (por exemplo, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. pumillus*, *B. cereus*, *B. licheniformis*); *Wickerhamomyces* spp. (por exemplo, *W. anomalus*), *Candida* spp. (por exemplo, *C. albicans*, *C. rugosa*, *C. tropicalis*, *C. lipolytica*, *C. torulopsis*); *Saccharomyces* (por exemplo, *S. cerevisiae*); *Pseudozyma* spp. (por exemplo, *P. aphidis*); *Rhodococcus* spp. (por exemplo, *R. erythropolis*); *Arthrobacter* spp.; *Campylobacter* spp.; *Cornybacterium* spp.; *Pichia* spp. (por exemplo, *P. guilliermondii*, *P. occidentalis*); assim como outros.

[138] Os biotensoativos são anfifílicos. Eles consistem em duas partes: uma porção polar (hidrofílica) e um grupo não polar (hidrofóbico). Devido à sua estrutura anfifílica, os biotensoativos aumentam a área superficial de substâncias hidrofóbicas insolúveis em água e aumentam a biodisponibilidade de água dessas substâncias. Os biotensoativos se acumulam nas interfaces, reduzindo assim a tensão interfacial e levando à formação de estruturas micelares agregadas em solução.

[139] A cadeia de hidrocarbonetos de um ácido graxo atua como a porção lipofílica comum de uma molécula de biotensoativo, enquanto a parte hidrofílica é formada por grupos éster ou álcool de lipídios neutros, pelo grupo

carboxilato de ácidos graxos ou aminoácidos (ou peptídeos), ácido orgânico no caso dos flavolipídios, ou, no caso dos glicolipídios, pelo carboidrato.

[140] Em certas modalidades, os biotensoativos de acordo com a presente invenção podem compreender glicolipídios, lipídios de celobiose, lipopeptídeos, flavolipídios, fosfolipídios e polímeros, tais como lipoproteínas, complexos lipopolissacarídeo-proteína e/ou complexos polissacarídeo-proteína-ácido graxo.

[141] Em algumas modalidades, os biotensoativos são glicolipídios como, por exemplo, ramnolipídios (RLP), soforolipídios (SLP), lipídios de trealose ou lipídios de manosileritritol (MEL). Em algumas modalidades, os biotensoativos são lipopeptídeos, tais como, por exemplo, surfactina, iturina, fengicina, viscosina e/ou liquenisina. Em algumas modalidades, os biotensoativos são biotensoativos poliméricos, como, por exemplo, emulsan, lipomanan, alasan e/ou liposan.

[142] Em uma modalidade, o reagente de lixiviação biológica compreende e/ou é aprimorado pela adição de mais de um biotensoativo e/ou derivado de biotensoativo. Os biotensoativos podem ser misturados em qualquer proporção, desde que a composição contenha os biotensoativos na concentração de 0,01 a 90%, de um modo preferido 0,05 a 50%, e de um modo mais preferido 0,1 a 20%. Em outra modalidade, os biotensoativos purificados podem estar em combinação com um carreador aceito, em que os biotensoativos podem ser apresentados em concentrações de 0,0001 a 50% (v/v), de um modo preferido, 0,005 a 20% (v/v), de um modo mais preferido, 0,001 a 5% (v/v).

[143] Em uma modalidade exemplar, o biotensoativo é SLP. O SLP pode estar na forma purificada ou na forma bruta. O SLP pode ser adicionado em concentrações de 0,01 a 90%, de um modo preferido 0,05 a 50%, e de um modo mais preferido 0,1 a 20% em peso.

[144] A composição à base de micróbios pode compreender o meio de fermentação contendo o micro-organismo e/ou os metabólitos microbianos produzidos pelo micro-organismo e/ou quaisquer nutrientes residuais. O produto pode ser, por exemplo, pelo menos, em peso, 1%, 5%, 10%, 25%, 50%, 75% ou 99% de meio de crescimento. A quantidade de biomassa no produto, em peso, pode ser, por exemplo, de 0% a 100% inclusive de todas as porcentagens entre elas. Por exemplo, o teor de biomassa do caldo de fermentação pode ser, por exemplo, de 5 g/l a 180 g/l ou mais. Em uma modalidade, o teor de sólidos do caldo é de 10 g/l a 150 g/l.

[145] Outros componentes podem ser adicionados à composição à base de micróbios, por exemplo, agentes tamponantes, carreadores, outras composições à base de micróbios produzidas na mesma ou em instalações diferentes, modificadores de viscosidade, conservantes, nutrientes para o crescimento de micróbios, agentes de rastreamento, biocida, outros micróbios, tensoativos, agentes emulsificantes, lubrificantes, agentes de controle de solubilidade, agentes de ajuste de pH, estabilizantes e agentes resistentes à luz ultravioleta.

[146] Em uma modalidade, outros reagentes de lixiviação podem ser adicionados à composição, ou usados em combinação com ela, para extração aprimorada de minerais e/ou metais valiosos. Por exemplo, ácidos, solventes, enzimas,

proteínas, peptídeos, sulfatos e/ou aminoácidos, produzidos por micróbios ou outros, podem ser usados, bem como outros produtos de lixiviação conhecidos. De um modo preferido, quaisquer reagentes adicionais são considerados não tóxicos e ecologicamente corretos.

Crescimento de micróbios

[147] A presente invenção fornece métodos para cultivo de micro-organismos e produção de metabólitos microbianos e/ou outros subprodutos do crescimento microbiano. Em uma modalidade, a presente invenção fornece materiais e métodos para a produção de biomassa (por exemplo, material celular viável), metabólitos extracelulares (por exemplo, pequenas moléculas e proteínas excretadas), nutrientes residuais e/ou componentes intracelulares (por exemplo, enzimas e outras proteínas).

[148] O vaso de crescimento usado para o crescimento de micro-organismos pode ser qualquer fermentador ou reator de cultivo para uso industrial. Em uma modalidade, o recipiente pode ter controles/sensores funcionais ou pode ser conectado a controles/sensores funcionais para medir fatores importantes no processo de cultivo, como pH, oxigênio, pressão, temperatura, potência do eixo do agitador, umidade, viscosidade e/ou densidade microbiana e/ou concentração de metabólitos.

[149] Em outra modalidade, o recipiente também pode monitorar o crescimento de micro-organismos dentro do recipiente (por exemplo, medição do número de células e fases de crescimento). Alternativamente, uma amostra diária pode ser retirada do recipiente e submetida a enumeração por técnicas conhecidas na arte, tais como técnica de

diluição de plaqueamento. A diluição é uma técnica simples usada para estimar o número de micróbios em uma amostra. A técnica também pode fornecer um índice pelo qual diferentes ambientes ou tratamentos podem ser comparados.

[150] Em uma modalidade, o método inclui suplementar o cultivo com uma fonte de nitrogênio. A fonte de nitrogênio pode ser, por exemplo, nitrato de potássio, nitrato de amônio, sulfato de amônio, fosfato de amônio, amônia, ureia e/ou cloreto de amônio. Essas fontes de nitrogênio podem ser usadas independentemente ou em uma combinação de duas ou mais.

[151] O método pode fornecer oxigenação para a cultura em crescimento. Uma modalidade utiliza o movimento lento do ar para remover o ar contendo baixo oxigênio e introduzir ar oxigenado. No caso de fermentação submersa, o ar oxigenado pode ser o ar ambiente suplementado diariamente através de mecanismos incluindo impulsores para agitação mecânica do líquido e aspersores de ar para fornecer bolhas de gás ao líquido para dissolução do oxigênio no líquido.

[152] O método pode ainda compreender suplementar o cultivo com uma fonte de carbono. A fonte de carbono é tipicamente um hidrato de carbono, tal como glucose, sacarose, lactose, frutose, trealose, manose, manitol e/ou maltose; ácidos orgânicos, tais como ácido acético, ácido fumárico, ácido cítrico, ácido propiônico, ácido málico, ácido malônico e/ou ácido pirúvico; álcoois, tais como etanol, isopropila, propanol, butanol, pentanol, hexanol, isobutanol e/ou glicerol; gorduras e óleos, tais como óleo de soja, óleo de farelo de arroz, óleo de canola, azeite, óleo de milho, óleo de gergelim e/ou óleo de linhaça; etc.

Essas fontes de carbono podem ser usadas independentemente ou em uma combinação de duas ou mais.

[153] Em uma modalidade, o método compreende o uso de duas fontes de carbono, uma das quais é um óleo saturado selecionado a partir de canola, vegetal, milho, coco, azeitona ou qualquer outro óleo adequado para uso em, por exemplo, cozinha. Em uma modalidade específica, o óleo saturado é 15% de óleo de canola ou óleo descartado que foi usado para cozinhar.

[154] Em uma modalidade, os micro-organismos podem ser cultivados em um substrato sólido ou semissólido, tal como, por exemplo, milho, trigo, soja, grão de bico, feijão, aveia, macarrão, arroz e/ou farinhas ou farelos de qualquer um destes ou outras substâncias semelhantes.

[155] Em uma modalidade, fatores de crescimento e nutrientes vestigiais para micro-organismos são incluídos no meio. Isto é particularmente preferido quando se cultivam micróbios que são incapazes de produzir todas as vitaminas de que necessitam. Nutrientes inorgânicos, incluindo oligoelementos como ferro, zinco, cobre, manganês, molibdênio e/ou cobalto também podem ser incluídos no meio. Além disso, fontes de vitaminas, aminoácidos essenciais e microelementos podem ser incluídos, por exemplo, na forma de farinhas ou farelos, como farinha de milho, ou na forma de extratos, como extrato de levedura, extrato de batata, extrato de carne bovina, extrato de soja, extrato de casca de banana e semelhantes, ou em formas purificadas. Aminoácidos como, por exemplo, os úteis para a biossíntese de proteínas, também podem ser incluídos.

[156] Em uma modalidade, os sais inorgânicos também podem ser incluídos. Os sais inorgânicos utilizáveis podem ser di-hidrogenofosfato de potássio, hidrogenofosfato dipotássico, hidrogenofosfato dissódico, sulfato de magnésio, cloreto de magnésio, sulfato de ferro, cloreto de ferro, sulfato de manganês, cloreto de manganês, sulfato de zinco, cloreto de chumbo, sulfato de cobre, cloreto de cálcio, carbonato de cálcio, cloreto de sódio e/ou carbonato de sódio. Esses sais inorgânicos podem ser usados independentemente ou em uma combinação de dois ou mais.

[157] Em algumas modalidades, o método para cultivo pode ainda compreender adicionar ácidos e/ou antimicrobianos adicionais no meio líquido antes e/ou durante o processo de cultivo. Agentes antimicrobianos ou antibióticos são usados para proteger a cultura contra contaminação. Além disso, agentes antiespumantes também podem ser adicionados para evitar a formação e/ou acúmulo de espuma quando o gás é produzido durante o cultivo.

[158] O pH da mistura deve ser adequado para o micro-organismo de interesse. Tampões e reguladores de pH, como carbonatos e fosfatos, podem ser usados para estabilizar o pH próximo a um valor preferido. Quando íons metálicos estão presentes em altas concentrações, pode ser necessário o uso de um agente quelante no meio líquido.

[159] O método e o equipamento para cultivo de micro-organismos e produção de subprodutos microbianos podem ser realizados em processos descontínuos, quase contínuos ou contínuos.

[160] Em uma modalidade, o método para cultivo de micro-organismos é realizado a cerca de 5 °C a cerca de 100

°C, de um modo preferido, 15 °C a 60 °C, de um modo mais preferido, 25 °C a 50 °C. Em outra modalidade, o cultivo pode ser realizado continuamente a uma temperatura constante. Em outra modalidade, o cultivo pode estar sujeito a mudanças de temperatura.

[161] Em uma modalidade, o equipamento usado no método e processo de cultivo é estéril. O equipamento de cultivo, como o reator/recipiente, pode ser separado, mas conectado a uma unidade de esterilização, por exemplo, uma autoclave. O equipamento de cultivo também pode ter uma unidade de esterilização que esteriliza *in situ* antes de iniciar a inoculação. O ar pode ser esterilizado por métodos conhecidos na técnica. Por exemplo, o ar ambiente pode passar por pelo menos um filtro antes de ser introduzido no recipiente. Em outras modalidades, o meio pode ser pasteurizado ou, opcionalmente, sem adição de calor, onde o uso de baixa atividade de água e baixo pH pode ser explorado para controlar o crescimento bacteriano indesejável.

[162] Em uma modalidade, a invenção em questão fornece métodos de produção de um metabólito microbiano cultivando uma cepa de micróbio da invenção em questão sob condições apropriadas para crescimento e produção do metabólito; e, opcionalmente, purificar o metabólito. Em uma modalidade específica, o metabólito é um biotensoativo. O metabólito também pode ser, por exemplo, etanol, ácido láctico, betaglucano, proteínas, aminoácidos, peptídeos, intermediários metabólicos, ácidos graxos poli-insaturados e lipídios. O teor de metabólito produzido pelo método pode ser, por exemplo, pelo menos 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%,

80% ou 90%.

[163] O teor de biomassa do meio de fermentação pode ser, por exemplo, de 5 g/l a 180 g/l ou mais. Em uma modalidade, o teor de sólidos do meio é de 10 g/l a 150 g/l.

[164] O subproduto de crescimento microbiano produzido por micro-organismos de interesse pode ser retido nos micro-organismos ou secretado no meio de crescimento. Em outra modalidade, o método para produzir subproduto de crescimento microbiano pode ainda compreender etapas de concentração e purificação do subproduto de crescimento microbiano de interesse. Em outra modalidade, o meio pode conter compostos que estabilizam a atividade do subproduto do crescimento microbiano.

[165] Em uma modalidade, toda a composição de cultivo microbiano é removida após a conclusão do cultivo (por exemplo, após, por exemplo, atingir uma densidade celular desejada ou densidade de um metabólito especificado). Neste procedimento de lote, um lote inteiramente novo é iniciado após a colheita do primeiro lote.

[166] Em outra modalidade, apenas uma porção do produto de fermentação é removida a qualquer momento. Nesta modalidade, a biomassa com células viáveis permanece no vaso como inoculante para um novo lote de cultivo. A composição que é removida pode ser um meio isento de micróbios ou conter células, esporos, micélios, conídios ou outros propágulos microbianos. Desta forma, um sistema quase contínuo é criado.

[167] Vantajosamente, os métodos de cultivo não requerem equipamentos complicados ou alto consumo de

energia. Os micro-organismos de interesse podem ser cultivados em pequena ou grande escala no local e utilizados, mesmo ainda misturados com seus meios. Da mesma forma, os metabólitos microbianos também podem ser produzidos em grandes quantidades no local de necessidade.

Cepas Microbianas

[168] Os micro-organismos úteis de acordo com a presente invenção podem ser, por exemplo, bactérias, leveduras e/ou fungos. De um modo preferido, os micro-organismos são capazes de produzir, por exemplo, biotensoativos, enzimas, proteínas, peptídeos, aminoácidos e/ou solventes.

[169] Esses micro-organismos podem ser micro-organismos naturais ou geneticamente modificados. Por exemplo, os micro-organismos podem ser transformados com genes específicos para exibir características específicas. Os micro-organismos também podem ser mutantes de uma cepa desejada. Conforme usado neste documento, "mutante" significa uma cepa, variante genética ou subtipo de um micro-organismo de referência, em que o mutante tem uma ou mais variações genéticas (por exemplo, uma mutação pontual, mutação missense, mutação nonsense, deleção, duplicação, mutação *frameshift* ou expansão de repetição) em comparação com o micro-organismo de referência. Os procedimentos para fazer mutantes são bem conhecidos na técnica microbiológica. Por exemplo, a mutagênese UV e a nitrosoguanidina são usadas extensivamente para esse fim.

[170] Em modalidades preferidas, o micro-organismo é qualquer levedura ou fungo. Exemplos de espécies de leveduras e fungos adequados para uso de acordo com a

presente invenção incluem, mas não estão limitados a, *Acaulospora*, *Aspergillus*, *Aureobasidium* (por exemplo, *A. pullulans*), *Blakeslea*, *Candida* (por exemplo, *C. albicans*, *C. apicola*), *Debaryomyces* (por exemplo, *D. hansenii*), *Entomophthora*, *Fusarium*, *Hanseniaspora* (por exemplo, *H. uvarum*), *Hansenula*, *Issatchenkia*, *Kluyveromyces*, *Mortierella*, *Mucor* (por exemplo, *M. piriformis*), *Penicillium*, *Phythium*, *Phycomyces*, *Pichia* (por exemplo, *P. anomala*, *P. guilliermondii*, *P. occidentalis*, *P. kudriavzevii*), *Pseudozyma* (por exemplo, *P. aphidis*), *Rhizopus*, *Saccharomyces* (*S. cerevisiae*, *S. boulardii* sequela, *S. torula*), *Starmerella* (por exemplo, *S. bombicola*), *Torulopsis*, *Thraustochytrium*, *Trichoderma* (por exemplo, *T. reesei*, *T. harzianum*, *T. virens*), *Ustilago* (por exemplo, *U. maydis*), *Wickerhamomyces* (por exemplo, *W. anomalus*), *Williopsis*, *Zygosaccharomyces* (por exemplo, *Z. baili*).

[171] Em algumas modalidades, os micro-organismos são bactérias, incluindo bactérias Gram-positivas e Gram-negativas. Bactérias adequadas para uso de acordo com a presente invenção incluem, por exemplo, *Acinetobacter* (por exemplo, *A. calcoaceticus*, *A. venetianus*); *Agrobacterium* (por exemplo, *A. radiobacter*), *Azotobacter* (*A. vinelandii*, *A. chroococcum*), *Azospirillum* (por exemplo, *A. brasiliensis*), *Bacillus* (por exemplo, *B. amyloliquefaciens*, *B. firmus*, *B. laterosporus*, *B. licheniformis*, *B. megaterium*, *B. mucilaginosus*, *B. subtilis*, *B. coagulans* GBI-30 (BC30)), *Chlorobiaceae* spp., *Dyadobacter fermenters*, *Frankia* spp., *Frateuria* (por exemplo, *F. aurantia*), *Klebsiella* spp., *Microbacterium* (por exemplo, *M.*

laevaniformans), *Pantoea* (por exemplo, *P. agglomerans*), *Pseudomonas* (por exemplo, *P. aeruginosa*, *P. chlororaphis*, *P. chlororaphis* subsp. *aureofaciens* (Kluyver), *P. putida*), *Rhizobium* spp., *Rhodospirillum* (por exemplo, *R. rubrum*), *Sphingomonas* (por exemplo, *S. paucimobilis*) e/ou *Xanthomonas* spp.

[172] Em modalidades específicas, o micro-organismo é a levedura *Starmerella bombicola*, que é uma produtora eficiente de glicolipídios, por exemplo, soforolipídios.

[173] Em algumas modalidades, o micro-organismo pode ser outros micróbios produtores de biotensioativo ou outros micróbios bioquímicos, tais como, por exemplo, *Wickerhamomyces anomalus*, *Pseudozyma aphidis*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia guilliermondii*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus licheniformis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Streptococcus* spp., e muitos outros.

[174] Em algumas modalidades, o micro-organismo de acordo com a presente invenção é capaz de solubilizar minerais valiosos, como, por exemplo, *Cupriavidus metallidurans*, que podem acumular nanopartículas de ouro dentro de suas células. Outros exemplos de tais micróbios que são capazes de reduzir, oxidar e/ou sequestrar componentes minerais incluem, mas não estão limitados a, *Bacillus* spp., *Sulfolobus* spp., *Thermoanaerobacter* spp., *Thiobacillus* spp., *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp., *Sporosarcina* spp., *Pseudomonas* spp., *Pyrobaculum* spp., *Deinococcus geothermalis*, *Marinobacter pelagius* e *Delftia acidovorans*.

[175] Outras cepas microbianas podem ser utilizadas de

acordo com a presente invenção, incluindo, por exemplo, quaisquer outras cepas com altas concentrações de manoproteína e/ou betaglucano em suas paredes celulares e/ou que sejam capazes de produzir biotensoativos e outros metabólitos úteis para sequestrar, solubilizar e/ou recuperar minerais e metais do minério.

Preparação de produtos à base de micróbios

[176] A presente invenção fornece produtos à base de micróbios para uso na recuperação de minerais e/ou metais valiosos de minério, bem como métodos para remover impurezas de minérios. Um produto à base de micróbio da presente invenção é simplesmente o meio de fermentação contendo o micro-organismo e/ou os metabólitos microbianos produzidos pelo micro-organismo e/ou quaisquer nutrientes residuais. O produto da fermentação pode ser usado diretamente sem extração ou purificação. Se desejado, a extração e purificação podem ser facilmente alcançadas usando métodos ou técnicas padrão de extração e/ou purificação descritos na literatura.

[177] Os micróbios e/ou meio (por exemplo, caldo ou substrato sólido) resultantes do crescimento microbiano podem ser removidos do vaso de crescimento e transferidos para uso imediato.

[178] Em uma modalidade, o produto à base de micróbio é simplesmente os subprodutos de crescimento do micro-organismo coletados do meio de fermentação na forma bruta, compreendendo, por exemplo, cerca de 0,001% a 99% de biotensoativo em caldo líquido.

[179] Em uma modalidade, o produto à base de micróbio é um produto de fermentação de levedura compreendendo uma

cepa de levedura e/ou seus subprodutos de crescimento. O reagente de lixiviação biológica pode compreender todo o caldo de fermentação contendo micróbios, biotensoativos e outros subprodutos de crescimento, tais como, por exemplo, metabólitos excretados e/ou componentes da parede celular.

[180] Em uma modalidade, o produto de fermentação de levedura pode ser obtido por meio de cultivo submerso de uma levedura produtora de biotensoativo, por exemplo, *Starmerella bombicola*. Esta levedura é um produtor eficaz de biotensoativos glicolipídicos, como SLP. O caldo de fermentação após 5 dias de cultivo a 25 °C pode conter a suspensão de células de levedura e, por exemplo, 150 g/L ou mais de SLP.

[181] Alternativamente, os biotensoativos podem ser colhidos do caldo para posterior processamento e/ou purificação. Em uma modalidade, *S. bombicola* produz uma camada de sedimento SLP na cultura compreendendo cerca de 10 a 15% de SLP, ou cerca de 4 a 5 g/L. Em uma modalidade específica, o cultivo da levedura ocorre a 25 a 28 °C por 1 a 10 dias. Vantajosamente, uma vez que a camada de SLP é colhida da cultura, cerca de 1 a 4 g/L de SLP ainda pode permanecer no sobrenadante, bem como biomassa de células de levedura e outros subprodutos de crescimento de levedura e componentes celulares vantajosos.

[182] Os micro-organismos no produto à base de micróbios podem estar em uma forma ativa ou inativa. Os produtos à base de micróbios podem ser usados sem estabilização, preservação e armazenamento adicionais. Vantajosamente, o uso direto desses produtos à base de micróbios preserva uma alta viabilidade dos micro-

organismos (se micróbios vivos são desejados), reduz a possibilidade de contaminação por agentes estranhos e micro-organismos indesejáveis e mantém a atividade dos subprodutos do crescimento microbiano.

[183] Em outras modalidades, a composição (micróbios, meio, subprodutos de crescimento ou combinações dos mesmos) pode ser colocada em recipientes de tamanho apropriado, levando em consideração, por exemplo, o uso pretendido, o método de aplicação contemplado, o tamanho do tanque de fermentação e qualquer modo de transporte da instalação de crescimento de micróbios para o local de uso. Assim, os recipientes nos quais a composição à base de micróbios é colocada podem ser, por exemplo, de 1 galão a 1.000 galões ou mais. Em outras modalidades, os recipientes são de 2 galões, 5 galões, 25 galões ou maiores.

[184] Após a colheita, por exemplo, do produto de fermentação de levedura, dos vasos de crescimento, outros componentes podem ser adicionados à medida que o produto colhido é colocado em recipientes e/ou canalizado (ou transportado de outra forma para uso). Os aditivos podem ser, por exemplo, tampões, carreadores, outras composições à base de micróbios produzidas na mesma ou em instalações diferentes, modificadores de viscosidade, conservantes, nutrientes para o crescimento de micróbios, agentes de rastreamento, solventes, biocidas, outros micróbios e outros ingredientes específicos para um uso pretendido.

[185] Outros aditivos adequados, que podem estar contidos nas formulações de acordo com a invenção, incluem substâncias que são habitualmente utilizadas para tais preparações. Exemplos de tais aditivos incluem tensoativos,

agentes emulsificantes, lubrificantes, agentes tamponantes, agentes de controle de solubilidade, agentes de ajuste de pH, conservantes, estabilizantes e agentes resistentes à luz ultravioleta.

[186] Em uma modalidade, o produto pode ainda compreender agentes tamponantes incluindo orgânicos e aminoácidos ou sais dos mesmos. Tampões adequados incluem citrato, gluconato, tartarato, malato, acetato, lactato, oxalato, aspartato, malonato, gluco-heptonato, piruvato, galactarato, glucarato, tartronato, glutamato, glicina, lisina, glutamina, metionina, cisteína, arginina e uma mistura dos mesmos. Ácidos fosfóricos e fosforosos ou sais dos mesmos também podem ser usados. Os tampões sintéticos são adequados para serem usados, mas é preferível usar tampões naturais como orgânicos e aminoácidos ou sais dos mesmos listados acima.

[187] Em outra modalidade, os agentes de ajuste de pH incluem hidróxido de potássio, hidróxido de amônio, carbonato ou bicarbonato de potássio, ácido clorídrico, ácido nítrico, ácido sulfúrico ou uma mistura dos mesmos.

[188] Em uma modalidade, componentes adicionais, como uma preparação aquosa de um sal como ácido poliprótico, como bicarbonato ou carbonato de sódio, sulfato de sódio, fosfato de sódio, bifosfato de sódio, podem ser incluídos na formulação.

[189] Vantajosamente, de acordo com a presente invenção, o produto à base de micróbios pode compreender caldo no qual os micróbios foram cultivados. O produto pode ser, por exemplo, pelo menos, em peso, 1%, 5%, 10%, 25%, 50%, 75% ou 100% de caldo. A quantidade de biomassa no

produto, em peso, pode ser, por exemplo, de 0% a 100% inclusive de todas as porcentagens entre elas.

[190] Opcionalmente, o produto pode ser armazenado antes do uso. O tempo de armazenamento é de um modo preferido curto. Assim, o tempo de armazenamento pode ser inferior a 60 dias, 45 dias, 30 dias, 20 dias, 15 dias, 10 dias, 7 dias, 5 dias, 3 dias, 2 dias, 1 dia ou 12 horas. Em uma modalidade preferencial, se células vivas estiverem presentes no produto, o produto é armazenado a uma temperatura fria, como, por exemplo, inferior a 20 °C, 15 °C, 10 °C ou 5 °C. Por outro lado, uma composição de biotensoativo pode ser tipicamente armazenada à temperatura ambiente.

Métodos de extração de minerais e/ou metais valiosos do minério

[191] A presente invenção fornece um método para extrair minerais e/ou metais valiosos do minério, em que o método compreende aplicar um reagente de lixiviação biológica da presente invenção ao minério. O método pode ser usado para biolixiviação ou para bioestimulação de, por exemplo, operações de lixiviação em pilha e/ou lixiviação em coluna. Em uma modalidade preferencial, o método é usado para biolixiviação de minerais e/ou metais valiosos de minério, por exemplo, ouro, prata, cobre, cobalto, lítio, níquel e zinco.

[192] Em certas modalidades, a presente invenção fornece um método para extrair minerais e/ou metais valiosos de minério, em que o método compreende obter minério de, por exemplo, um depósito de minério, o referido minério compreendendo um ou mais minerais e/ou metais

valiosos, além de ganga; aplicar um reagente de lixiviação biológico compreendendo um ou mais micro-organismos e/ou subprodutos de crescimento microbiano, ao minério; permitir que os minerais e/ou metais valiosos se separem do minério; e coletar os minerais e/ou metais valiosos.

[193] Em algumas modalidades, as partículas de minério são colocadas em um tanque, coluna, cuba ou reservatório e o reagente de lixiviação biológico é aplicado às partículas de minério sendo despejado no tanque, coluna, cuba ou reservatório.

[194] O reagente de lixiviação biológico pode aumentar a recuperação de minerais e/ou metais valiosos do minério devido, por exemplo, ao contato com células microbianas e/ou seus componentes de superfície celular, atividade de sequestro de metal/mineral por células microbianas e/ou produção de metabólitos microbianos, tais como, por exemplo, biotensoativos, solventes, enzimas, proteínas, peptídeos e aminoácidos, que podem ajudar a solubilizar e/ou dispersar partículas de metal/mineral em solução líquida.

[195] Os micróbios podem estar vivos (ou viáveis) ou inativos no momento da aplicação. Em certas modalidades, os micro-organismos podem crescer *in situ* e produzir compostos ativos (por exemplo, metabólitos) no local. Conseqüentemente, uma alta concentração de metabólitos desejáveis (por exemplo, biotensoativos, solventes, enzimas, proteínas, peptídeos e aminoácidos) e os micro-organismos que os produzem podem ser alcançados de forma fácil e contínua em um local de tratamento (por exemplo, um local de mineração de minério ou uma pilha de lixiviação).

[196] O método pode ainda compreender adicionar materiais adicionais para aumentar a extração de metais, por exemplo, nutrientes para o crescimento microbiano, culturas microbianas adicionais, tais como culturas de levedura e/ou bactérias e/ou biotensoativos de forma pura ou bruta adicionais, ácidos, solventes, enzimas, proteínas, peptídeos e/ou aminoácidos.

[197] Em uma modalidade, o minério foi previamente extraído de um depósito de minério. Em modalidades preferidas, o minério extraído é triturado, micronizado, moído ou pulverizado em partículas de minério menores antes de entrar em contato com o reagente biológico de lixiviação. Especificamente, o minério pode ser triturado até um tamanho máximo alvo de cerca de 0,1 micron a cerca de 1 polegada de diâmetro, ou cerca de 0,5 micron a cerca de 1 mm, ou cerca de 1 micron a cerca de 100 micron. Métodos e máquinas para triturar minério são bem conhecidos na técnica.

[198] Em uma modalidade, o minério está na forma de rejeitos de mina, ou os produtos residuais deixados para trás após um mineral ter sido separado do minério.

[199] Em uma modalidade específica, o método compreende aplicar o reagente de lixiviação biológico na forma líquida às partículas de minério trituradas e misturar as partículas e o reagente de lixiviação biológico para formar uma pasta líquida.

[200] A pasta pode então ser deixada por qualquer quantidade de tempo suficiente para lixiviar o mineral valioso e/ou partículas de metal do minério. A pasta pode, opcionalmente, ser misturada e/ou circulada continuamente

(por exemplo, mecanicamente ou usando aeração) durante todo o período de tempo de lixiviação para garantir que o contato máximo seja feito entre as partículas de minério e os componentes do reagente de lixiviação biológico, por exemplo, as superfícies das células de levedura.

[201] Em uma modalidade, as partículas minerais são sequestradas pelas células do(s) micro-organismo(s) do reagente de lixiviação biológico. Em uma modalidade, as partículas minerais se separam do minério e são dispersas e/ou flutuam no líquido como solução. A fração líquida da pasta pode ser sifonada, drenada, filtrada ou removida de outra forma. As partículas minerais presentes no líquido podem ser lavadas para remover a matéria residual das células microbianas, coletadas e secas, incineradas e/ou processadas por qualquer outro meio conhecido nas técnicas metalúrgicas.

[202] Em algumas modalidades, a coleta ou a remoção das partículas separadas é realizada usando métodos conhecidos, incluindo, por exemplo, gravidade, flotação de espuma, separação eletrostática, separação magnética, triagem úmida de tamanho, triagem a seco e classificação de ciclone. Será facilmente evidente para as pessoas versadas na técnica que pode ser utilizado qualquer outro método para recolher os minerais valiosos da pasta líquida.

[203] Com a flotação de espuma, em particular, as diferenças de hidrofobicidade entre metais/minerais valiosos e componentes de minério remanescentes são aumentadas através do uso de biotensoativos e outros metabólitos produzidos pelos micro-organismos das composições à base de micróbios em questão. O processo de

flotação é usado para a separação de uma grande variedade de sulfetos, carbonatos e óxidos antes do refinamento.

[204] Em algumas modalidades, os métodos em questão compreendem aplicar o reagente de lixiviação biológico na forma líquida a uma pilha ou coluna preenchida com partículas de minério trituradas e permitir que o reagente de lixiviação biológico percole através das partículas para um aparelho de coleta usando gravidade.

[205] Em algumas modalidades, o método pode ser usado para bioestimulação de processos de lixiviação de pilha, em que, após o minério ter sido extraído e triturado ou moído em pequenas partículas, as pequenas partículas são colocadas em um bloco de lixiviação de pilha para formar uma pilha de partículas de minério; o agente de lixiviação biológico é derramado e/ou pulverizado sobre a pilha; e o reagente de lixiviação biológico é permitido percolar através da pilha para o bloco de lixiviação da pilha usando a gravidade.

[206] Exemplos de metais e/ou elementos valiosos que também podem ser extraídos usando os métodos da presente invenção, bem como minerais valiosos que produzem e/ou compreendem esses metais e/ou elementos, incluem mas não estão limitados a cobalto (por exemplo, eritrita, skyterudita, cobaltita, carrollita, linnaeita e asbolita (asbolane)); cobre (por exemplo, calcopirita, calcocita, bornita, djurleita, malaquita, azurita, crisocola, cuprita, tenorita, cobre nativo e brocantita); ouro (por exemplo, ouro nativo, electrum, teluretos, calaverita, silvanita e petzita); prata (por exemplo, sulfeto de argentita, sulfeto de acantita, prata nativa, sulfossais, pirargirita,

proustita, cerargirita, tetraedritos); alumínio (por exemplo, bauxita, gibbsita, bohmeita, diásporo); antimônio (por exemplo, estibina); bário (por exemplo, barita, witherita); céσιο (por exemplo, polucita); crômio (por exemplo, cromita); ferro (por exemplo, hematita, magnetita, pirita, pirrotita, goetita, siderita); chumbo (por exemplo, galena, cerussita, anglesita); lítio (por exemplo, pegmatita, espodumene, lepidolita, petalita, ambligonita, carbonato de lítio); magnésio (por exemplo, dolomita, magnesita, brucita, carnalita, olivina); manganês (por exemplo, hausmanita, pirolusita, barunita, manganita, rodocrosita); mercúrio (por exemplo, cinábrio); molibdênio (por exemplo, molibdenita); níquel (por exemplo, pentlandita, pirrotita, garnierita); fósforo (por exemplo, hidroxiapatita, fluorapatita, clorapatita); grupo platina (platina, ósmio, ródio, rutênio, paládio) (por exemplo, elementos nativos ou ligas de membros do grupo platina, sperrilita); potássio (por exemplo, silvita, langbeinita); elementos de terras raras (cério, disprósio, érbio, európio, gadolínio, hólmio, lantânio, lutécio, neodímio, praseodímio, samário, escândio, térbio, túlio, itérbio, ítrio) (por exemplo, bastnasita, monazita, loparita); sódio (por exemplo, halita, carbonato de sódio); estrôncio (por exemplo, celestita, estrôncio); enxofre (por exemplo, enxofre nativo, pirita); estanho (por exemplo, cassiterita); titânio (por exemplo, scheelita, huebnerita-ferberita); urânio (por exemplo, uraninita, pechblenda, coffinita, carnotita, autunita); vanádio; zinco (por exemplo, esfalerita, sulfureto de zinco, smithsonita, hemimorfita); e zircônio (por exemplo, zircão).

[207] Elementos e/ou minerais adicionais, cuja extração a presente invenção é útil, incluem, por exemplo, arsênio, bertrandita, bismutinita, bórax, colemanita, quernita, ulexita, esfalerita, halita, gálio, germânio, háfnio, índio, iodo, columbita, tantalita-columbita, rubídio, quartzo, diamantes, granadas (almandina, piropo e andradita), corindo, barita, calcita, argilas, feldspatos (por exemplo, ortoclásio, microclina, albita); pedras preciosas (por exemplo, diamantes, rubis, safiras, esmeraldas, água-marinha, kunzita); gesso; perlita; carbonato de sódio; zeólitas; chabazita; clinoptilolita; mordenita; wolastonita; vermiculita; talco; pirofilita; grafite; cianita; andaluzita; moscovita; flogopita; menatita; magnetita; dolomita; ilmenita; volframita; berílio; telúrio; bismuto; tecnécio; potassa; sal-gema; cloreto de sódio; sulfato de sódio; nacolita; nióbio; tântalo e qualquer combinação de tais substâncias ou compostos que contenham tais substâncias.

[208] Vantajosamente, em certas modalidades, os métodos levam apenas algumas horas, por exemplo, 3 a 12 horas, a um dia para lixiviar os minerais do minério. A quantidade de tempo, no entanto, depende, por exemplo, de quão finamente moídas são as partículas de minério, o volume de partículas de minério sendo processadas e quais tipos e/ou combinações de micro-organismos e outros componentes são usados no reagente de lixiviação biológico.

[209] Além disso, em uma modalidade, os métodos em questão reduzem a quantidade de refino e processamento necessária para recuperar metais puros ou quase puros do minério. Por exemplo, a presente invenção pode ser usada

para separar os metais em uma barra de doré para reduzir a quantidade de refino necessária.

[210] O método pode ser realizado à pressão atmosférica e temperaturas mais baixas do que as operações tradicionais de fundição de metais. Assim, o método não requer equipamentos complicados ou alto consumo de energia, e o cultivo do reagente de lixiviação biológico usado no método em questão pode ser realizado no local, por exemplo, em uma mina de minério ou em um local de lixiviação.

[211] Em uma modalidade, o método pode ser usado para remover um contaminante mineral ou metálico da água. Especificamente, o método pode ser usado para lixiviar o arsênico que se acumulou na água. Por exemplo, o método pode compreender a aplicação do reagente biológico de lixiviação à água contaminada a uma temperatura maior ou igual a 40 °C. Vantajosamente, a acumulação de arsênico na água pode ser reduzida em 50 a 90% usando o método em questão.

[212] Em uma modalidade, o método pode ser usado para absorver metais radioativos e reduzir a radioatividade dos mesmos. Por exemplo, aplicando o reagente de lixiviação biológica ao minério radioativo pulverizado, o método pode ser usado para reduzir a radioatividade do urânio, plutônio, radônio e outros metais radioativos presentes no minério.

[213] Os métodos em questão podem ser realizados à pressão atmosférica e temperaturas mais baixas do que as operações tradicionais de fundição de metal. Assim, o método não requer equipamento complicado ou alto consumo de energia, e o cultivo do reagente de lixiviação biológico

usado no método em questão pode ser realizado no local, por exemplo, em uma mina ou em um local de lixiviação.

[214] Vantajosamente, a presente invenção pode ser usada sem liberar grandes quantidades de compostos inorgânicos e tóxicos no meio ambiente. Além disso, as composições e os métodos utilizam componentes biodegradáveis e toxicologicamente seguros e podem ser usados para reduzir a quantidade de resíduos tóxicos produzidos durante os processos de mineração e lixiviação.

Composição de Decadmição

[215] Em certas modalidades, a presente invenção fornece composições de decadmição compreendendo componentes que são derivados de micro-organismos. Em certas modalidades, a composição de decadmição compreende um biotensoativo microbiano. Em certas modalidades, a composição compreende um biotensoativo, um ácido e, opcionalmente, um ajustador de pH.

[216] O uso do termo composição de "decadmição" não se destina a limitar a utilidade da composição para extrair ou remover apenas cádmio de uma substância. Em vez disso, a presente invenção contempla ainda a capacidade da composição de extrair outras impurezas metálicas, como, por exemplo, chumbo, níquel, arsênico, cobre e vanádio.

[217] Em certas modalidades, a composição de decadmição compreende um produto à base de micróbio compreendendo um biotensoativo utilizado na forma bruta. A forma bruta pode compreender, além do biotensoativo, caldo de fermentação no qual um micro-organismo produtor de biotensoativo foi cultivado, matéria celular microbiana residual ou células microbianas vivas ou inativas,

nutrientes residuais e/ou outros subprodutos de crescimento microbiano. O produto pode ser, por exemplo, pelo menos, em peso, 1%, 5%, 10%, 25%, 50%, 75% ou 100% de caldo. A quantidade de biomassa no produto, em peso, pode ser, por exemplo, de 0% a 100% inclusive de todas as porcentagens entre elas.

[218] Em algumas modalidades, o biotensoativo é utilizado após ser extraído de um caldo de fermentação e, opcionalmente, purificado.

[219] O biotensoativo de acordo com a presente invenção pode ser um glicolipídio (por exemplo, soforolipídios, ramnolipídios, lipídios de celobiose, lipídios de manosileritritol e lipídios de trealose), lipopeptídeo (por exemplo, surfactina, iturina, fengicina, artrofactina e liquenisina), flavolipídio, fosfolipídio (por exemplo, cardiolipinas), composto de éster de ácido graxo, composto de éter de ácido graxo e/ou polímeros de alto peso molecular, tais como lipoproteínas, complexos de lipopolissacarídeo-proteína e complexos de polissacarídeo-proteína-ácido graxo.

[220] Em certas modalidades específicas, o biotensoativo é um soforolipídio (SLP), incluindo SLP linear, SLP lactônico, SLP acetilado, SLP desacetilado, derivados de SLP em forma de sal, derivados de SLP esterificados, conjugados de aminoácido-SLP e outros derivados de SLP ou isômeros que existem na natureza e/ou são produzidos sinteticamente. Em modalidades preferidas, o SLP é um SLP linear ou um SLP linear derivada.

[221] Em algumas modalidades, o biotensoativo pode ser incluído na composição em 0,01 a 99,9%, 0,1 a 90%, 0,5 a

80%, 0,75 a 70%, 1,0 a 50%, 1,5 a 25% ou 2,0 a 15% em peso, no que diz respeito à composição total de decadmiação.

[222] Em outra modalidade, biotensoativos purificados podem ser adicionados em combinação com um carreador aceitável, em que o biotensoativo pode ser apresentado em concentrações de 0,001 a 50% (v/v), de um modo preferido, 0,01 a 20% (v/v), de um modo mais preferido, 0,02 a 5% (v/v).

[223] Em algumas modalidades, o biotensoativo pode ser incluído na composição em, por exemplo, 0,01 a 100.000 ppm, 0,05 a 10.000 ppm, 0,1 a 1.000 ppm, 0,5 a 750 ppm, 1,0 a 500 ppm, 2,0 a 250 ppm ou 3,0 a 100 ppm, em relação à quantidade de minério de fosfato a ser tratado.

[224] Em certas modalidades, o ácido da composição de decadmiação é um ácido orgânico, tal como, por exemplo, ácido acético, ácido cítrico, ácido láctico, ácido butírico, ácido sórbico, ácido benzóico, ácido fórmico, ácido fumárico, ácido propiônico, ácido ascórbico, ácido glioxílico, ácido malônico, ácido pirúvico, ácido oxálico, ácido úrico, ácido málico, ácido tartárico e/ou análogos dos mesmos. Em certas modalidades, o ácido é selecionado a partir de ácidos inorgânicos, tais como, por exemplo, ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido fosfórico, ácido clorídrico, ácido fluorídrico, ácido bórico e análogos dos mesmos. Em modalidades preferidas, o ácido é ácido cítrico.

[225] Em certas modalidades, o ácido é caracterizado como um ácido "fraco". Ácidos fracos, como usados neste documento, são ácidos que não se dissociam completamente em íons em solução (ou seja, menos de 100% de dissociação). Exemplos não limitativos de ácidos fracos incluem ácido

cítrico, ácido hidrossulfúrico, ácido cianídrico, ácido nitroso, ácido carbônico, ácido sulfuroso, ácido fosfórico, ácido fluorídrico, ácido benzóico, ácido acético, ácido fórmico e ácido oxálico. Vantajosamente, em certas modalidades, o uso de um ácido mais fraco é eficaz para a remoção de impurezas de um minério, mantendo a integridade e o valor do minério a ser tratado.

[226] Em algumas modalidades, o ácido pode ser incluído na composição em 0,01 a 99,9%, 0,1 a 90%, 0,5 a 80%, 0,75 a 70%, 1,0 a 50%, 1,5 a 25% ou 2,0 a 15% em peso, com relação à composição de decadmição total.

[227] Em certas modalidades, o fosfato no minério serve para tamponar o ácido e estabilizar a formulação em pH 2 a 6, de um modo preferido cerca de pH 4; no entanto, ajustadores de pH adicionais opcionais podem ser incluídos na composição para ajustar e/ou estabilizar o pH dentro da faixa desejada.

[228] Em certas modalidades, o ajustador de pH inclui, mas não está limitado a, citrato, gluconato, tartarato, malato, acetato, lactato, oxalato, aspartato, malonato, gluco-heptonato, piruvato, galactarato, glucarato, tartronato, glutamato, glicina, piridínio, lisina, glutamina, metionina, cisteína, arginina, hidróxido de sódio, hidróxido de potássio, hidróxido de amônio, cloreto de amônio, ácido fórmico, formato de bário, carbonato ou bicarbonato de potássio, fosfato de sódio, fosfato de potássio, cloreto de sódio, Tris (tris-hidroximetilaminometano), citrato de sódio, ácido cítrico, acetato de sódio, ácido acético, ácido bórico, bórax, ácido carbônico, carbonato de sódio, ácido clorídrico, ácido

fluorídrico, fluoreto de sódio, ácido nítrico, ácido sulfúrico, amônia e misturas dos mesmos.

[229] Em algumas modalidades, o ajustador de pH pode ser incluído na composição em 0,01 a 99,9%, 0,1 a 90%, 0,5 a 80%, 0,75 a 70%, 1,0 a 50%, 1,5 a 25% ou 2,0 a 15% por peso, em relação à composição total de decaadmição.

[230] A composição de decaadmição pode ainda compreender outros aditivos, tais como, por exemplo, carreadores, outras composições à base de micróbios, biotensoativos adicionais ou tensoativos químicos, enzimas, catalisadores, solventes, sais, tampões, agentes quelantes, ácidos, agentes emulsificantes, lubrificantes, agentes de controle de solubilidade, conservantes, estabilizadores, agentes resistentes à luz ultravioleta, modificadores de viscosidade, conservantes, agentes de rastreamento, biocidas e outros micróbios e outros ingredientes específicos para um uso pretendido.

Métodos de extração de impurezas do minério

[231] Em certas modalidades, a presente invenção fornece um método para extrair metais e outras impurezas do minério, incluindo elementos selecionados a partir de, por exemplo, Cd, U, Ca, V, Ti, Sn, Sr, Ag, Mn, Si, Al, Mg, Na, Fe, K, Zn, Cr, Cl, Co, Ni, Cu, As, Se, Br, Rb, Zr, Mo, In, Sn, Sb, I, Cs, Ba, La, Hf, W, Hg, Th e Sc. Em certas modalidades específicas, a impureza é cádmio, níquel, arsênico, ferro, vanádio, mercúrio, cobre ou chumbo. Em certas modalidades preferidas, a impureza é cádmio; no entanto, em algumas modalidades, mais de uma impureza está presente, em que o teor total de cada uma das mais de uma impureza é reduzido de acordo com os métodos em questão.

[232] Embora rotulados como "impurezas", em algumas modalidades, esses compostos podem simplesmente ser de menor importância e/ou valor do que o minério do qual são extraídos, em vez de serem simplesmente um produto residual. Por exemplo, o cádmio é uma impureza no minério de fosfato, mas pode ser útil uma vez extraído para a produção de baterias.

[233] Além disso, o uso do termo "minério de fosfato" não se destina a limitar a utilidade do método para extrair ou remover uma impureza apenas do minério de fosfato. Em vez disso, a presente invenção contempla ainda a capacidade da composição de extrair impurezas de outros minérios, tais como minérios descritos em outra parte desta descrição, em que o objetivo principal é melhorar o valor do próprio minério em oposição à obtenção de um mineral valioso de um minério para produzir sobras de materiais com pouco ou nenhum valor adicional. Como um exemplo adicional, impurezas de ferro podem ser encontradas em areias de sílica usadas para fabricação de vidro.

[234] Em certas modalidades, o método compreende (i) obter o minério, o referido minério compreendendo um componente desejável e uma impureza; (ii) colocar em contato uma composição de decadmição de acordo com a presente invenção com o minério por um período de tempo para produzir uma mistura compreendendo um minério tratado e uma impureza que reagiu com a composição de decadmição; e (iii) separar a impureza reagida e a composição de decadmição da mistura para obter um material de impureza reduzida contendo o componente desejável. A etapa (iii) pode ser repetida quantas vezes forem necessárias para

atingir a redução desejada no teor de impurezas. Em uma modalidade específica, o minério é minério de fosfato e o componente desejável é fosfato ou fósforo.

[235] Em certas modalidades, o período de tempo da etapa (ii) é de 10 minutos a 48 horas, cerca de 30 minutos a 40 horas, ou de um modo preferido cerca de 12 horas a 24 horas. Em certas modalidades, a etapa (ii) compreende aplicar uma composição de decadmição na forma líquida ao minério para produzir uma mistura líquida e agitar ou sacudir a mistura líquida durante o período de tempo.

[236] O método pode ser realizado em uma pilha de lixiviação, uma coluna ou qualquer outro laboratório ou reator de tamanho industrial.

[237] Em algumas modalidades, quando a etapa (ii) é realizada em líquido, a impureza reagida e a composição de decadmição da etapa (iii) estão presentes na fase líquida e o minério de fosfato permanece um sólido que é decantado e filtrado do líquido.

[238] Em algumas modalidades, a etapa (iii) compreende aplicar um fluido de lavagem compreendendo água e, opcionalmente, um solvente orgânico à mistura sob agitação (por exemplo, agitar ou sacudir) por um período de tempo (por exemplo, 10 a 60 minutos). O fluido de lavagem compreenderá a impureza reagida e a composição de decadmição e o minério de fosfato permanece um sólido que é decantado e filtrado do fluido. Em algumas modalidades, o solvente é um álcool, tal como etanol.

[239] Em certas modalidades, o método compreende (a) obter o minério, o referido minério compreendendo um material desejável e uma impureza; (b) preparar uma pasta

do minério em água e manter a pasta sob agitação; (c) aplicar uma composição de decadmição de acordo com a presente invenção à pasta sob agitação (por exemplo, agitar ou sacudir) por um período de tempo para produzir uma mistura compreendendo um minério tratado e uma impureza que reagiu com a composição de decadmição; (d) interromper a agitação e deixar a mistura repousar por outro período de tempo, causando assim a formação de um precipitado compreendendo o minério tratado e uma camada aquosa compreendendo a impureza reagida e a composição de decadmição; e (e) separar o precipitado da camada aquosa para obter um material com impurezas reduzidas contendo o componente desejável. A etapa (e) pode ser repetida quantas vezes forem necessárias para atingir a redução desejada no teor de impurezas.

[240] Em uma modalidade específica, o minério é minério de fosfato e o componente desejável é fosfato ou fósforo.

[241] Em algumas modalidades, a etapa (e) compreende aplicar um fluido de lavagem compreendendo água e, opcionalmente, um solvente orgânico à mistura sob agitação (por exemplo, agitar ou sacudir) por um período de tempo (por exemplo, 10 a 60 minutos). O fluido de lavagem compreenderá a impureza reagida e a composição de decadmição e o minério permanece um sólido que é decantado e filtrado do fluido. Em algumas modalidades, o solvente é um álcool, tal como etanol.

[242] Os métodos da presente invenção podem ser realizados à temperatura ambiente e/ou a uma temperatura de cerca de 15 a 50 °C, cerca de 20 a 40 °C, cerca de 20 a 35 °C, cerca de 20 a 30°C, cerca de 25 °C, cerca de 40 a 120

°C, cerca de 50 a 100 °C, cerca de 60 a 100 °C, cerca de 70 a 100 °C, cerca de 80 a 100 °C, ou cerca de 100 °C. Em certas modalidades, uma temperatura superior à temperatura ambiente pode ser fornecida usando um micro-ondas, ultrassom, aquecimento por indução, plasma, eletricidade ou qualquer combinação dos mesmos.

[243] Os métodos da presente invenção podem ser realizados à pressão ambiente e/ou a uma pressão de cerca de 50 bar (5 MPa), 75 bar (7,5 MPa), 100 bar (10 MPa) ou superior a 100 bar (10 MPa).

[244] Em certas modalidades, a quantidade da composição de decadmiação aplicada é de cerca de 0,1 a 15%, cerca de 0,1 a 10%, cerca de 0,1 a 5%, cerca de 0,1 a 3%, cerca de 0,1% ou cerca de 1% em volume com base em uma quantidade do material contendo o fosfato ou outro(s) componente(s) desejável(is).

[245] Em certas modalidades, quando um fluido de lavagem é utilizado, a quantidade de solvente orgânico no fluido de lavagem é de um modo preferido cerca de 0,1 a 15%, cerca de 0,5 a 10%, cerca de 1 a 8%, cerca de 1 a 5% ou cerca de 1% em volume.

[246] Em certas modalidades, os métodos da presente invenção resultam em pelo menos 25% de redução no teor de impurezas, de um modo preferido pelo menos 50% de redução após um tratamento. Em algumas modalidades, o minério pode ser tratado várias vezes para reduzir ainda mais o teor de impurezas.

[247] Em certas modalidades, a composição de decadmiação de acordo com a presente invenção é eficaz devido à penetração do minério mediada por anfifílicos com

um ácido. Em algumas modalidades, o soforolipídio ou outro biotensoativo serve como um veículo para facilitar o transporte de moléculas de ácido em poros em nanoescala dentro do minério. Por exemplo, em algumas modalidades, um soforolipídio será para uma micela contendo o ácido, em que a micela é menor que 100 nm, menor que 50 nm, menor que 25 nm, menor que 15 nm ou menor que 10 nm de tamanho. O tamanho pequeno e as propriedades anfifílicas da micela permitem uma maior penetração no minério, de modo que um maior contato pode ser feito com as impurezas contidas na mesma.

[248] Em uma modalidade, o método compreende esmagar, moer ou pulverizar o minério em partículas menores, por exemplo, com tamanho inferior a 500 nm, antes do tratamento com a composição de decadmiação.

[249] Em algumas modalidades, o minério é obtido de um depósito de minério na forma bruta. Esta forma bruta pode incluir materiais adicionais, ou ganga. Assim, em certas modalidades, o método pode compreender ainda, após a obtenção do minério, por exemplo, minério de fosfato, submeter o minério a um ou mais processos de beneficiamento para liberar o minério do excesso de material de ganga. Os um ou mais processos de beneficiamento podem incluir, por exemplo, trituração, depuração, lavagem, peneiramento, flotação e/ou hidrociclonagem.

[250] Em algumas modalidades, o método compreende oxidar a matéria orgânica presente no minério de fosfato usando, por exemplo, peróxido de hidrogênio, antes de contatar o minério de fosfato com a composição de decadmiação.

[251] Em algumas modalidades, o método compreende aplicar a composição de decadmiação ao ácido fosfórico de processo úmido produzido após o minério de fosfato ter sofrido acidulação (reação com, por exemplo, ácido sulfúrico). Em certas modalidades, a composição de decadmiação pode reagir com cádmio dissolvido e outras impurezas presentes no ácido fosfórico de processo úmido, fazendo com que as impurezas precipitem do líquido para coleta e remoção.

[252] Vantajosamente, em certas modalidades, a composição de decadmiação de acordo com a presente invenção tem eficácia comparável aos agentes de extração químicos tradicionais, mas com impactos ambientais negativos reduzidos. Além disso, os métodos da presente invenção não requerem equipamentos complicados ou alto consumo de energia, e a produção da composição de decadmiação pode ser realizada no local, por exemplo, em uma mina de minério ou em um local de lixiviação. Além disso, os materiais de fosfato de impurezas reduzidas produzidos de acordo com a presente invenção podem ser úteis para a produção de fertilizantes e suplementos de ração animal mais ecológicos e de toxicidade reduzida.

Produção local de produtos à base de micróbios

[253] Em certas modalidades da presente invenção, uma instalação de crescimento de micróbios produz microorganismos frescos de alta densidade e/ou subprodutos de crescimento microbiano de interesse em uma escala desejada. A instalação de crescimento de micróbios pode estar localizada no local de aplicação ou perto do mesmo. A instalação produz composições à base de micróbios de alta

densidade em cultivo em lote, quase contínuo ou contínuo.

[254] As instalações de crescimento de micróbios da presente invenção podem estar localizadas no local onde o produto à base de micróbios será usado (por exemplo, uma mina). Por exemplo, a instalação de crescimento de micróbios pode estar a menos de 300, 250, 200, 150, 100, 75, 50, 25, 15, 10, 5, 3 ou 1 milha (482,803, 402,34, 321,87, 241,40, 160,93, 120,70, 80,47, 40,23, 24,14, 16,09, 8,05, 4,83 ou 1,61 km) do local de uso.

[255] Como o produto à base de micróbios pode ser gerado localmente, sem recorrer aos processos de estabilização, preservação, armazenamento e transporte de micro-organismos da produção microbiana convencional, uma densidade muito maior de micro-organismos pode ser gerada, exigindo assim um volume menor do produto à base de micróbios para uso na aplicação no local ou que permite aplicações microbianas de densidade muito mais alta, quando necessário, para alcançar a eficácia desejada. Isso permite um biorreator reduzido (por exemplo, recipiente de fermentação menor, suprimentos menores de material inicial, nutrientes e agentes de controle de pH), o que torna o sistema eficiente e pode eliminar a necessidade de estabilizar as células ou separar as mesmas de seu meio de cultura. A geração local do produto à base de micróbios também facilita a inclusão do meio de crescimento no produto. O meio pode conter agentes produzidos durante a fermentação que são particularmente adequados para uso local.

[256] Culturas de micróbios robustas e de alta densidade produzidas localmente são mais eficazes no campo

do que aquelas que permaneceram na cadeia de suprimentos por algum tempo. Os produtos à base de micróbios da presente invenção são particularmente vantajosos em comparação com produtos tradicionais em que as células foram separadas de metabólitos e nutrientes presentes no meio de crescimento de fermentação. Os tempos de transporte reduzidos permitem a produção e entrega de lotes frescos de micróbios e/ou seus metabólitos no momento e volume exigidos pela demanda local.

[257] As instalações de crescimento de micróbios da presente invenção produzem composições frescas à base de micróbios, compreendendo os próprios micróbios, metabólitos microbianos e/ou outros componentes do meio no qual os micróbios são cultivados. Se desejado, as composições podem ter uma alta densidade de células vegetativas ou propágulos, ou uma mistura de células vegetativas e propágulos.

[258] Em uma modalidade, a instalação de crescimento de micróbios está localizada em ou próximo a um local onde os produtos à base de micróbios serão usados (por exemplo, uma mina), por exemplo, dentro de 300 milhas (482,80 km), 200 milhas (321,87 km) ou mesmo dentro de 100 milhas (160,93 km). Vantajosamente, isso permite que as composições sejam adaptadas para uso em um local especificado. A fórmula e a potência das composições à base de micróbios podem ser personalizadas para condições locais específicas no momento da aplicação, como, por exemplo, qual tipo de minério está sendo tratado; que tipo de mineral está sendo extraído; e qual modo e/ou taxa de aplicação está sendo utilizada.

[259] Vantajosamente, as instalações distribuídas de

crescimento de micróbios fornecem uma solução para o problema atual de depender de produtores de porte industrial distantes, cuja qualidade do produto sofre devido a atrasos no processamento a montante, gargalos na cadeia de suprimentos, armazenamento inadequado e outras contingências que inibem a entrega e a aplicação oportunas de, por exemplo, um produto viável de alta contagem de células e o meio e os metabólitos associados nos quais as células são originalmente cultivadas.

[260] Além disso, ao produzir uma composição localmente, a formulação e a potência podem ser ajustadas em tempo real para um local específico e as condições presentes no momento da aplicação. Isso fornece vantagens sobre as composições que são pré-fabricadas em um local central e têm, por exemplo, proporções e formulações definidas que podem não ser ótimas para um determinado local.

[261] As instalações de crescimento de micróbios fornecem versatilidade de fabricação por sua capacidade de adaptar os produtos baseados em micróbios para melhorar as sinergias com as geografias de destino. Vantajosamente, em modalidades preferidas, os sistemas da presente invenção aproveitam o poder de micro-organismos locais de ocorrência natural e seus subprodutos metabólicos para melhorar os processos de lixiviação.

[262] O tempo de cultivo para os vasos individuais pode ser, por exemplo, de 1 a 7 dias ou mais. O produto de cultivo pode ser colhido de várias maneiras diferentes.

[263] A produção local e entrega dentro de, por exemplo, 24 horas de fermentação resulta em composições

puras de alta densidade celular e custos de envio substancialmente mais baixos. Dadas as perspectivas de rápido avanço no desenvolvimento de inoculantes microbianos mais eficazes e poderosos, os consumidores se beneficiarão muito dessa capacidade de fornecer rapidamente produtos à base de micróbios.

EXEMPLOS

[264] Uma maior compreensão da presente invenção e de suas muitas vantagens pode ser obtida a partir dos seguintes exemplos, dados a título de ilustração. Os exemplos a seguir são ilustrativos de alguns dos métodos, aplicações, modalidades e variantes da presente invenção. Eles não devem ser considerados como limitativos da invenção. Numerosas mudanças e modificações podem ser feitas em relação à invenção.

EXEMPLO 1 - FERMENTAÇÃO DE *STARMERELLA BOMBICOLA* PARA PRODUÇÃO DE BIOTENSOATIVO EM UM REATOR DE GALÕES DE 2.000 L

[265] Um reator de grande escala totalmente fechado é usado. O reator tem um volume de trabalho de 1.500 L ao crescer *S. bombicola* para produção de SLP.

[266] Em algumas modalidades, os nutrientes para a produção de SLP são glicose, ureia, extrato de levedura, óleo de canola, sulfato de magnésio e fosfato de potássio.

[267] O reator é inoculado com 10 litros de cultura líquida cultivada separadamente em reatores de inóculo. A duração do ciclo de cultivo para produção de SLP é de até 120 horas, a 25 °C e pH 3,5, com amostragem realizada uma vez ao dia.

[268] A concentração final de SLP é de 70 galões, com concentração de SLP de 300 a 400 g/L. Todo o caldo pode ser

colhido, contendo SLP e células de levedura, e usado diretamente.

[269] Alternativamente, o SLP pode ser extraído do produto final e usado com ou sem purificação e/ou concentração. O sobrenadante restante com biomassa celular também pode ser usado, compreendendo 1 a 4 g/L de SLP residual.

EXEMPLO 2 – PRODUÇÃO DE LIPOPEPTÍDEOS POR *BACILLUS SPP.*

[270] A fermentação da bactéria *Bacillus* pode ser realizada em meio nutriente contendo (g/L), por exemplo.

Glicose	18
Melaço em pó	2
Sacarose	1
KH ₂ PO ₄	0,5
Na ₂ HPO ₄ ·7H ₂ O	2,1
KCl	0,1
MgSO ₄	0,5
CaCl ₂	0,05
Ureia	2,5
NH ₄ Cl	1,24
Extrato de levedura	2
Peptona de milho	0,5
Elemento vestigial TekNova (mL)	1
pH 6,8	

[271] A temperatura de cultivo é de cerca de 40 °C, a estabilização do pH é de 6,8 a 7,0 e a estabilização do OD é de 30% (a concentração de oxigênio no ar é considerada como 100%). A duração do cultivo é de 24 a 32 horas. A concentração final da cultura bacteriana não é inferior a 1 × 10⁹ UFC/ml. A concentração de lipopeptídeos é de 5 a 10 g/L.

REFERÊNCIAS

[272] Blog, Gold/Silver/Rare Coins. "Precious Metals in Order of Value". Biltmore Loan and Jewelry; [atualizado em 21 de fevereiro de 2016; acessado em 20 de novembro de 2018]. <https://www.biltmoreloanandjewelry.com/blog/precious-metals-in-order-of-value/>. ("Biltmore Loan and Jewelry" 2016).

REIVINDICAÇÕES

1. Composição de decadmiação **caracterizada** pelo fato de compreender um biotensoativo, um ácido e, opcionalmente, um ajustador de pH, em que o ácido é selecionado a partir de ácido acético, ácido cítrico, ácido láctico, ácido butírico, ácido sórbico, ácido benzóico, ácido fórmico, ácido fumárico, ácido propiônico, ácido ascórbico, ácido glioxílico, ácido malônico, ácido pirúvico, ácido oxálico, ácido úrico, ácido málico, ácido tartárico, ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido fosfórico, ácido clorídrico, ácido bórico e análogos dos mesmos.

2. Composição de decadmiação, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada** pelo fato de que o biotensoativo é um glicolipídio, lipopeptídeo ou fosfolipídio.

3. Composição de decadmiação, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizada** pelo fato de que o biotensoativo é um soforolipídio.

4. Composição de decadmiação, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizada** pelo fato de que o soforolipídio é um soforolipídio linear ou um derivado de um soforolipídio linear.

5. Composição de decadmiação, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada** pelo fato de que o ajustador de pH está presente na composição em uma concentração que estabiliza o pH da composição entre 2 a 5.

6. Método para extrair uma impureza de um minério, **caracterizado** pelo fato de que o método compreende:

(i) obter o minério, o referido minério compreendendo um componente desejável e uma impureza;

(ii) contatar uma composição compreendendo um biotensoativo de soforolipídio, um ácido e, opcionalmente, um ajustador de pH, com o minério por um período de tempo para produzir uma mistura compreendendo um minério tratado e uma impureza que reagiu com a composição; e

(iii) separar a impureza e a composição reagidas da mistura para obter um material de impureza reduzida contendo o componente desejável.

7. Método, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato de que o minério é minério de fosfato e em que o componente desejável é fosfato ou fósforo.

8. Método, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato de que o ácido é selecionado a partir de ácido acético, ácido cítrico, ácido láctico, ácido butírico, ácido sórbico, ácido benzóico, ácido fórmico, ácido fumárico, ácido propiônico, ácido ascórbico, ácido glioxílico, ácido malônico, ácido pirúvico, ácido oxálico, ácido úrico, ácido málico, ácido tartárico, ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido fosfórico, ácido clorídrico, ácido bórico e análogos dos mesmos.

9. Método, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato de que o ajustador de pH está presente na composição em uma concentração que estabiliza o pH da composição entre 2 a 5.

10. Método, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato de que o ajustador de pH é hidróxido de sódio ou hidróxido de potássio.

11. Método, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato de compreender adicionalmente

esmagar, moer ou pulverizar o minério em partículas com tamanho inferior a 500 nm antes da etapa (ii).

12. Método, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato de que a composição está na forma líquida e em que a etapa (ii) compreende agitar ou sacudir a mistura por um período de tempo de 10 minutos a 48 horas e em que a impureza reagida e a composição da etapa (iii) está presente na fase líquida e o minério permanece um sólido que é decantado e filtrado do líquido.

13. Método, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato de que a etapa (iii) compreende aplicar um fluido de lavagem compreendendo água e, opcionalmente, um solvente orgânico à mistura sob agitação por um período de tempo ou cerca de 10 a 60 minutos, em que o fluido de lavagem compreenderá a impureza e a composição reagidas e o minério permanece um sólido que é decantado e filtrado do fluido.

14. Método, de acordo com a reivindicação 13, **caracterizado** pelo fato de que o solvente é um álcool.

15. Método, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato de que a impureza é selecionada a partir de cádmio, níquel, arsênio, ferro, vanádio, mercúrio, cobre e chumbo.

16. Método, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato de que a impureza é cádmio.

17. Método para extrair uma impureza de minério de fosfato, **caracterizado** pelo fato de o método compreende:

(a) obter o minério de fosfato, o referido minério compreendendo fosfato e uma impureza;

(b) preparar uma pasta do minério de fosfato em água e

manter a pasta sob agitação;

(c) aplicar uma composição compreendendo um biotensoativo de soforolipídio, um ácido e, opcionalmente, um ajustador de pH, à pasta sob agitação por um período de tempo para produzir uma mistura compreendendo um minério de fosfato tratado e uma impureza que reagiu com a composição;

(d) interromper a agitação e deixar a mistura repousar por outro período de tempo, causando assim a formação de um precipitado compreendendo o minério de fosfato tratado e uma camada aquosa compreendendo a impureza e a composição reagidas; e

(e) separar o precipitado da camada de água para obter um material contendo fosfato de impureza reduzida.

18. Método, de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado** pelo fato de que o ácido é selecionado a partir de ácido acético, ácido cítrico, ácido láctico, ácido butírico, ácido sórbico, ácido benzóico, ácido fórmico, ácido fumárico, ácido propiônico, ácido ascórbico, ácido glioxílico, ácido malônico, ácido pirúvico, ácido oxálico, ácido úrico, ácido málico, ácido tartárico, ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido fosfórico, ácido clorídrico, ácido bórico e análogos dos mesmos.

19. Método, de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado** pelo fato de que o ajustador de pH está presente na composição em uma concentração que estabiliza o pH da composição entre 2 a 5.

20. Método, de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado** pelo fato de que o ajustador de pH é hidróxido de sódio ou hidróxido de potássio.

21. Método, de acordo com a reivindicação 17,

caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente esmagar, moer ou pulverizar o minério de fosfato em partículas com tamanho inferior a 500 nm antes da etapa (b).

22. Método, de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado** pelo fato de que a etapa (e) compreende aplicar um fluido de lavagem compreendendo água e, opcionalmente, um solvente orgânico à mistura sob agitação por um período de tempo ou cerca de 10 a 60 minutos, em que o fluido de lavagem compreenderá a impureza e a composição reagidas e o minério de fosfato permanece um sólido que é decantado e filtrado para fora do fluido.

23. Método, de acordo com a reivindicação 22, **caracterizado** pelo fato de que o solvente é um álcool.

24. Método, de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado** pelo fato de compreender adicionalmente usar o material contendo fosfato de impureza reduzida para produzir um fertilizante ou suplemento alimentar animal.

25. Método, de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado** pelo fato de que a impureza é selecionada a partir de cádmio, níquel, arsênico, ferro, vanádio, mercúrio, cobre e chumbo.

26. Método, de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado** pelo fato de que a impureza é cádmio.

RESUMO

**COMPOSIÇÕES E MÉTODOS ECOLÓGICAMENTE CORRETOS PARA EXTRAIR
MINERAIS E METAIS DO MINÉRIO**

A presente invenção fornece composições e métodos seguros e ecologicamente corretos para extrair minerais e/ou metais do minério. Mais especificamente, a presente invenção fornece biolixiviação usando uma composição compreendendo um ou mais micro-organismos produtores de biotensoativo e/ou subprodutos de crescimento microbiano. Em modalidades específicas, a composição compreende leveduras produtoras de biotensoativo e/ou subprodutos de crescimento das mesmas.