



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

(21) PI 1005889-3 A2



(22) Data de Depósito: 15/12/2010  
(43) Data da Publicação: 09/04/2013  
(RPI 2205)

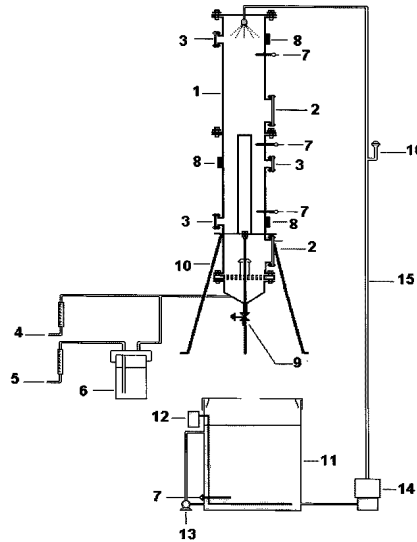
(51) Int.Cl.:  
C22B 3/18

(54) **Título:** EQUIPAMENTO COMPUTADORIZADO PARA BIOLIXIVIAÇÃO DE CONCENTRADOS DE FLOTAÇÃO DE SULFETOS MINERAIS

(73) **Titular(es):** Centro de Tecnologia Mineral - CETEM

(72) **Inventor(es):** Carlos Eduardo Gomes de Souza, Debora Monteiro de Oliveira, Luiz Gonzaga Santos Sobral, Renata de Barros Lima, Ronaldo Luiz Correa dos Santos

(57) **Resumo:** EQUIPAMENTO COMPUTADORIZADO PARA BIOLIXIVIAÇÃO DE CONCENTRADOS DE FLOTAÇÃO DE SULFETOS MINERAIS. E objeto do presente pedido de privilégio de invenção, um equipamento computadorizado capaz de monitorar um processo de biolixiviação de sulfetos utilizando-se consórcios microbianos distintos como microorganismos mesófilos, termófilos moderados e termófilos extremos que atuam em faixas de temperatura apropriadas. O referido equipamento é composto de uma coluna de leito mineral (1), janelas de inspeção (2), janelas de amostragem de sólidos (3), entrada de suprimento de CO<sub>2</sub> (4), entrada de ar (5), umidificador de ar (6), medidores de temperatura (7), dispositivos para medição do potencial redox (8), saída da lixívia (9) e suporte (10). O processo de biolixiviação é iniciado dentro de um tanque delixívia (11) acoplado a coluna de leito mineral (1), contendo uma solução lixivante numa temperatura que varia de 30 a 80°C de acordo com o gradiente da concentração do metal de interesse na lixívia pelo tempo de lixiviação. A solução lixivante é constantemente homogeneizada por uma bomba pneumática (13) e depois bombeada por uma bomba dosadora (14) através de um tubo (15) até o topo da coluna de leito mineral (1). A saída da lixívia (9) é retornada novamente para o tanque de lixívia (11) compreendendo um processo contínuo até a concentração desejada do metal de interesse.



Relatório descritivo da patente de Privilégio de Invenção para “EQUIPAMENTO COMPUTADORIZADO PARA BIOLIXIVIAÇÃO DE CONCENTRADOS DE FLOTAÇÃO DE SULFETOS MINERAIS”.

5 A presente patente de privilégio de invenção encontra aplicação no campo da hidrometalurgia a partir de um processo de biolixiviação de concentrado de flotação de sulfetos minerais.

A biolixiviação é um processo bioquímico que está baseado na capacidade que certos microorganismos possuem em transformar elementos insolúveis presentes em certos minérios em elementos solúveis e fáceis de serem extraídos  
10 destes minérios.

Dentre os vários tipos de minérios destaca-se os sulfetos minerais que podem ser identificados como a Calcocita ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), Bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), Galena ( $\text{PbS}$ ), Esfalerita ( $\text{ZnS}$ ), Calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), Pirrotita ( $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ ), Pentlandita ( $\text{Fe,Ni}_9\text{S}_8$ ), Covelita ( $\text{CuS}$ ), Cinábrio ( $\text{HgS}$ ), Ouropigmento ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ), Estibnita  
15 ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ), Pirita ( $\text{FeS}_2$ ), Marcasita ( $\text{FeS}_2$ ), Molibdenita ( $\text{MoS}_2$ ), Arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ), enargita ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ), tenantita ( $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$ ), dentre outros. Certos elementos como cobre, urânio, zinco, mercúrio, chumbo e arsênio são alguns dos metais que podem ser extraídos via processo bioquímico.

Os microorganismos lixiviantes são caracterizados pela singular capacidade  
20 de se desenvolverem em ambientes praticamente inabitáveis para a maioria dos microorganismos, pois habitam em lugares com pH extremamente baixo e temperaturas que podem variar entre 25 a 80°C.

Num processo de lixiviação de sulfetos minerais é necessária a obtenção de um concentrado de flotação para que se consiga extrair uma grande parte do metal  
25 de interesse. No caso do metal cobre, por exemplo, os principais minérios são a calcopirita, bornita, calcocita, enargita, tentantita e a covelita, sendo que a calcopirita é a espécie mais abundante e a mais importante economicamente.

A obtenção de cobre a partir de concentrados de flotação segue rota tecnológica convencional em função das especificidades mineralógicas que  
30 compõem tal concentrado. Num processo de lixiviação química, o concentrado de flotação de sulfetos de cobre é convertido diretamente em cobre *blister* (cobre metálico impuro), pelo processo *flash smelting* e, em seguida, refinado eletroliticamente. Embora o processo pirometalúrgico apresente a vantagem de

transformar os distintos sulfetos de cobre desses concentrados de flotação em cobre metálico numa única etapa, este apresenta, em contrapartida, o inconveniente da geração de anidrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ) juntamente com emanções vapores de metais pesados, como cádmio, arsênio, mercúrio, bismuto, selênio etc.

5       Entretanto, a lixiviação biológica ou biolixiviação se mostra bastante atraente no que tange à eliminação das emanções gasosas, devido às condições brandas de processo e à obtenção de uma lixívia ácida contendo o metal de interesse. No processo de biolixiviação podem ser utilizados microorganismos autotróficos, acidófilos estritos e quimiolitotróficos, mesófilos e termófilos para  
10       extração do metal de interesse.

Destacam-se como microorganismos mesófilos, os microorganismos que atuam na temperatura entre 25 a 40°C. Os termófilos moderados são os microorganismos cuja temperatura de atuação varia entre 40 a 55°C, enquanto microorganismos termófilos extremos são aqueles (microorganismos) que atuam  
15       na faixa de temperatura entre 55 e 80°C.

Dentre os mecanismos de lixiviação microbiana que participam da oxidação de sulfetos, dois são os mais conhecidos como sendo mecanismos diretos e indiretos. No mecanismo direto há a adsorção de bactérias na superfície de materiais particulados que podem ser rejeitos ou carvão, ocorrendo,  
20       preferencialmente, sobre partículas de sulfeto. No mecanismo indireto o microorganismo joga grande quantidade de íons férricos ( $\text{Fe}^{3+}$ ) em solução e estes atuam como o agente oxidante na superfície do sulfeto.

Este mecanismo envolve o ciclo de oxi-redução  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ , segundo duas etapas: (a) interação química do  $\text{Fe}^{3+}$  com a superfície mineral, e (b) regeneração  
25       do  $\text{Fe}^{3+}$  pela bactéria. O potencial redox está diretamente relacionado com a razão da atividade dos íons  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  e, dessa forma pode se relacionar a ação dos microorganismos pela determinação do potencial redox.

A presente invenção visa controlar de forma ordenada os processos biológicos que ocorrem numa pilha de concentrado de flotação de sulfetos. Numa  
30       pilha de biolixiviação sem controle externo, é observado que microorganismos mesófilos são atuantes nas áreas mais externas da pilha, ou seja, nas áreas onde ocorre maior troca térmica, e os termófilos moderados e extremos atuam nas partes mais internas da pilha, em suas faixas correspondentes de temperatura.

Os processos oxidativos que ocorrem, possuem caráter exotérmico e há uma

tendência de elevação intensa de temperatura no interior do corpo da pilha, podendo ocorrer, como conseqüência dessa intensificação de calor, a morte de parte desses microorganismos. No entanto, com o controle de temperatura em combinação com a vazão de insuflação de ar pode-se evitar a morte dos  
5 microorganismos e chegar a um resultado significativo de extração do metal de interesse.

A patente PI 0015071 depositada em 23/10/2000 trata de um método para operar um processo de biolixiviação pelo potencial redox. Os inventores relacionaram a atividade máxima de certos microorganismos com o potencial  
10 redox, colocando um cultivo misto de bactérias mesófilas, termófilas moderadas e extremas, verificando que algumas das cepas de bactérias, individualmente, apresentaram uma atividade ótima numa determinada faixa de potencial redox. Os inventores propuseram um processo de biolixiviação submetendo uma lama biolixivante, garantindo a atividade ótima dos microorganismos pelo controle dos  
15 teores de oxigênio dissolvido e dióxido de carbono, de maneira que, estejam sempre acima de um limite mínimo estabelecido, verificando ainda a atividade ótima dos microorganismos através do potencial redox.

A presente invenção difere da PI 0015071, pois consegue monitorar por computador a determinação do potencial redox, temperatura, pressão e pH, além de  
20 permitir identificar a atuação de distintos consórcios microbianos a saber: mesófilos, termófilos moderados e extremos, utilizando um equipamento constituído de uma coluna, contendo o leito mineral no qual é estabelecido uma rampa de aquecimento do corpo mineralizado, pelo fornecimento de calor externo, identificando os patamares de temperaturas próprios de cada consórcio atuante.

A coluna de biolixiviação possui, também, janelas que servem para amostragem do leito mineral, durante o processo de biolixiviação, para a devida  
25 identificação dos microorganismos aderidos às partículas dos sulfetos minerais. Assim, por meio da retirada da amostra e identificação dos microorganismos através de técnicas de biologia molecular, é possível fazer o monitoramento da  
30 comunidade bacteriana.

Da mesma forma se pode proceder para a verificação da densidade populacional microbiana, que está aderida às partículas dos sulfetos minerais existentes. Aliando o monitoramento microbiológico às medidas de potencial redox, que estão diretamente associadas ao monitoramento computadorizado

permanente da coluna, é possível fazer a interpretação dos processos bio-oxidativos que se distribuem ao longo de todo leito mineral constituinte do interior da coluna.

#### SUMÁRIO DA INVENÇÃO

5 A presente invenção diz respeito a um equipamento computadorizado capaz de monitorar um processo de biolixiviação de sulfetos utilizando-se consórcios microbianos distintos que atuam em faixas de temperatura apropriadas.

O concentrado de flotação de sulfetos é colocado dentro de uma coluna de biolixiviação estabelecendo-se uma rampa de aquecimento do corpo mineralizado, pelo fornecimento de calor externo, com patamares de temperaturas próprios de cada consórcio atuante. O fato que determina a mudança de um patamar de temperatura mais baixo para um mais elevado é a constatação da diminuição do gradiente da concentração do metal de interesse na lixívia ao longo do tempo de lixiviação.

15 Este equipamento conta, ainda, com um dispositivo mecânico, posicionando em diversas alturas de leito mineral, medidores de temperatura fixados na parede da coluna para se monitorar o potencial redox e medidores de temperatura da lixívia que percola pelo referido leito mineral. A coluna de biolixiviação possui, também, distintas janelas para amostragem da carga mineral, durante o processo de biolixiviação com o intuito de identificar os microorganismos aderidos às partículas dos sulfetos minerais. Este equipamento propicia através das medidas de potencial redox, juntamente com as identificações dos microorganismos atuantes nas distintas regiões da carga mineral.

25 Essas são as ferramentas necessárias para a interpretação dos processos bio-oxidativos das espécies minerais que ocorrerão ao longo de toda carga mineral posicionada dentro de uma coluna de leito mineral, podendo-se chegar a resultados próximos a 99% de extração do metal de interesse, mediante o uso do monitoramento contínuo computadorizado.

30 Para facilitar a compreensão e visualização do presente privilégio, o mesmo será apresentado nos desenhos representativos e fotos em anexo, sendo:

A Figura 1 apresenta o equipamento constituído de uma coluna de biolixiviação;

A Figura 2, apresenta o dispositivo mecânico, posicionando em diversas alturas de leito mineral, fixado na parede da coluna, para se

monitorar o potencial redox da lixívia;

A Figura 3, apresenta a parte inferior da coluna de biolixiviação;

Na Figura 4, é apresentada uma foto de vista inferior;

A Figura 4, apresenta um gráfico da variação da temperatura alterada de acordo com tempo de reação.

5

Com o intuito de tornar mais clara a presente invenção, a seguir descreve-se o equipamento computadorizado capaz de monitorar as etapas de um processo de biolixiviação composta de uma coluna de biolixiviação conforme ilustrado nas Figuras 1, 2 e 3 e a Figura 4 mostra como a mudança de temperatura está diretamente relacionada com a variação da concentração do metal de interesse.

10

A presente invenção tem como objetivo principal investigar a atuação dos distintos consórcios microbianos, num equipamento computadorizado constituído de uma coluna de leito mineral (1), onde é colocada a carga mineral a ser biolixiviada. Há também na coluna de leito mineral (1), pelo menos, duas janelas de inspeção (2) com diâmetro suficiente tanto para descarregar a coluna quanto para visualizar a integridade da carga mineral e pelo menos três janelas de amostragem de sólidos (3) que servem para retirada das amostras para devida identificação dos microorganismos, bem como para a verificação da densidade populacional microbiana aderida às partículas dos sulfetos minerais existentes. Estas janelas de amostragem de sólidos estão localizadas na parte superior, no meio e na parte inferior da coluna, com o intuito de verificar os diferentes tipos de microorganismos nestes três estágios da carga mineral.

15

20

Como as bactérias para o processo de biolixiviação são em sua grande maioria quimiolitotróficas, há a necessidade de uma entrada de suprimento de CO<sub>2</sub> (4) localizada na parte inferior da coluna de leito fixo (1). Da mesma forma, se faz necessária, a existência de uma entrada de ar (5) que passa antes por um umidificador (6) para garantir que o ar entre úmido e não prejudique o crescimento dos microorganismos, ao longo da coluna de leito mineral (1), onde há medidores de temperatura (7) e dispositivos para medição do potencial redox (8). Na parte inferior há a saída da lixívia (9) que é detalhada na Figura 3, sendo que esta coluna é sustentada por um suporte (10).

25

30

Para que se inicie o processo de biolixiviação da carga mineral há um tanque de lixívia (11) que tem conexão com a coluna de leito mineral (1). Neste

tanque de lixívia (11) está presente uma solução lixiviante cujos componentes serão descritos mais adiante. Esta solução lixiviante contida dentro do tanque de lixívia (11) tem sua temperatura controlada por uma resistência (12) imersa nesta solução, cujo valor da temperatura é controlado por um medidor de temperatura -  
5 termopar (7). A solução é constantemente homogeneizada por uma bomba pneumática (13) que faz com que a solução circule. Esta solução é bombeada por uma bomba dosadora (14) através de um tubo (15) até ao topo da coluna de leito mineral (1); sendo que esta bomba dosadora (14) tem o intuito de manter o fluxo constante da solução desde o topo da coluna de leito mineral (1) que pode variar  
10 de 2 a 4 L/h. Acoplado ao tubo (15) há um transmissor de pressão (16) que serve para observar se houve alguma obstrução na linha do tubo.

A Figura 2 mostra o detalhamento dos dispositivos de medição de potencial redox (8) que ficam localizados na parte superior, meio e inferior da coluna, com o intuito de verificar os prováveis microorganismos atuantes nestes três estágios de  
15 biolixiviação através da determinação do potencial redox. Acoplado a estes dispositivos de potencial redox (8) há uma placa perfurada de aço inox (17) localizada dentro da coluna de leito mineral (1) para transferir a solução lixiviada para o recipiente coletor (18). Esta solução lixiviada é percolada até um reservatório (19) localizado do lado de fora da coluna de leito mineral (1), onde há  
20 um eletrodo de medição de potencial redox (20) imerso na solução lixiviada.

Em tempos previamente programados, há a necessidade de renovação da lixívia, esvaziando o coletor da solução (18) através de uma válvula de renovação da lixívia (21), sendo ainda que todo este conjunto denominado de dispositivo para medição do potencial redox (8) conta ainda com uma chapa de aço inox (22) para  
25 sustentação do dito dispositivo junto à parede da coluna de leito mineral (1).

A Figura 3 mostra de uma forma mais detalhada, a parte inferior da coluna contendo o leito mineral (1) que contém, além da entrada de suprimento de CO<sub>2</sub> (4) e ar (5), uma saída de uma mistura gasosa (23) contendo CO<sub>2</sub> e ar, para verificar quanto de oxigênio e CO<sub>2</sub> foi consumido.

30 Ainda na parte inferior da coluna de leito mineral (1), há uma válvula para drenagem de sólidos (24), sendo que na saída da lixívia (10), há um tubo de retorno de lixívia (25) localizado após a válvula de drenagem de sólidos (24) para que a lixívia que percola o leito mineral retorne ao tanque de lixívia (11). A lixívia, no referido tanque, é homogeneizada pelo uso de uma bomba pneumática

(13) e bombeada, posteriormente, por uma bomba dosadora (14) de volta ao topo da coluna, onde repousa o leito mineral, propiciando a continuidade do processo bio-oxidativo e, com isso, dando prosseguimento à extração gradativa do elemento de interesse.

5 A Figura 4 mostra que a temperatura pode ser alterada de acordo com o tempo de reação. No início do processo de biolixiviação a temperatura da solução lixiviante é mantida no entorno de 30°C controlada pelo medidor de temperatura (7). Esta temperatura é característica da atuação dos microorganismos mesófilos.

10 A concentração do metal de interesse é aferida diariamente para se averiguar o andamento do processo extrativo. Quando a concentração do metal de interesse acena para uma estabilização, ou seja, a estagnação do processo extrativo, a temperatura do leito é elevada, pela ação de uma fonte externa de calor como uma resistência (12) que fica imersa no tanque de lixívia (11). A temperatura é aumentada entre 40 a 55° C onde atuam os microorganismos termófilos  
15 moderados. Da mesma forma, quando a concentração do metal de interesse não mais aumentar com o tempo de reação, a temperatura é elevada para o último patamar numa faixa entre 55 e 80°C onde atuam os microorganismos termófilos extremos. Nessa última fase se alcança extrações do metal próximo a 99%.

20 Alguns parâmetros de processo são monitorados, remotamente, pelo computador, a exemplo dos suprimentos de CO<sub>2</sub> (4) e ar (fonte de oxigênio) (5); da temperatura em distintas regiões do leito mineral (1), o que é realizado pelo uso de termopares (7).

25 Da mesma forma procede com a medição do potencial redox (8) em distintas regiões desse leito mineral (1), que é realizada pela utilização de eletrodos especiais (20) inseridos em dispositivos que propiciam tal medida pela coleta da fase líquida que percola o leito mineral (1). Desses pontos de coleta a fase líquida é transferida por vasos comunicantes, até um reservatório externo à coluna onde o referido eletrodo repousa.

30 Assim também ocorre com o controle das resistências elétricas (12) que se encarregam de manter o sistema reacional, coluna (1) e tanque de lixívia (11), em condições desejadas, tendo em mente o tipo de consórcio microbiano atuante. Uma dessas resistências (12) é imersa no tanque de lixívia (11) para que, de acordo com o valor monitorado pelo termopar (7), seja feito o ajuste da temperatura da solução no tanque de lixívia (11). A outra resistência se encontra envolvendo,

externamente, a coluna de leito mineral para que se mantenha a temperatura interna dessa coluna em valores próprios para cada consócio microbiano atuante.

Para tornar mais clara a presente invenção, a carga mineral a ser adicionada a coluna de leito mineral (1) é preparada seguindo um procedimento experimental  
5 apropriado. Em primeiro lugar é pesada entre 60 a 90% de massa de uma “rocha suporte” e entre 10 a 40% de concentrado de flotação. De uma forma mais preferida, pesa-se 90% da “rocha suporte” de 10% de concentrado de flotação do metal de interesse.

Como rocha suporte pode ser utilizado um minério marginal do metal de  
10 interesse (minério com baixo teor do metal de interesse), um minério comercializável, ou uma rocha inerte às condições experimentais para a realização da biolixiviação. Tomando-se como base a extração de cobre (Cu), pode-se utilizar como “rocha suporte” um minério marginal de cobre (minério com baixo teor em  
15 cobre, que não justifique o seu processamento de forma econômica) ou um minério comercializável (com teores de cobre igual ou superior a 3%) ou, até mesmo, uma rocha inerte às condições experimentais para a realização da biolixiviação (a exemplo do quartzo).

Como concentrado de flotação para a extração do cobre pode-se utilizar de  
20 50 a 80% de calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ) e 20 a 50% de bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), preferencialmente 70% de calcopirita e 30% de bornita. Entretanto, esse sistema reacional pode ser utilizado para outros sulfetos minerais, a exemplo dos de zinco, níquel, molibdênio etc.

De posse dessas duas massas, essas são misturadas em um sistema reacional, quase sempre uma betoneira, com a adição de uma suspensão dos  
25 consórcios microbianos em solução ácida sulfúrica, suficiente para manter o pH ácido (entre 1 e 2), contendo os elementos nutrientes (N, P, K) necessários ao metabolismo dos microorganismos.

O que ocorre, na prática, é a formação de uma camada de concentrado de flotação, finamente dividida (com partículas em torno de 60% abaixo de 60 mesh  
30 ( $<0,01\text{mm}$ ), que pode variar de 0,5 a 1mm de espessura que se adere à superfície da “rocha suporte”. Essa carga mineral é colocada no interior da coluna, permanecendo por pelo menos por 24 horas para que ocorra uma cura da carga mineral com a solução ácida sulfúrica. Essa cura tem por objetivo a digestão de espécies minerais constituintes da ganga do minério original que acompanha o

concentrado de flotação visto que o processo de flotação, para obtenção do referido concentrado, não é 100% seletivo para os sulfetos de interesse.

Cessado o período de cura, é dada a partida à operação de irrigação da solução lixiviante contida no tanque de lixívia (11). Esta solução lixiviante é constituída de  $10^1$  a  $10^3$  molar (M) de solução sulfúrica, o suficiente para manter o pH ácido (entre 1 e 2), contendo elementos nutrientes essenciais ao metabolismo dos microorganismos atuantes no processo bio-oxidativo um meio de cultura cuja composição conta com a presença de 5 a 15 g/L em  $\text{FeSO}_4$ , 0,5 a 5% em enxofre elementar, 0,5 a 5 % de concentrado de flotação contendo os sulfetos do metal de interesse, visando a aclimatação dos microorganismos aos metais contidos nos referidos sulfetos, utilizam-se ainda sais inorgânicos contendo os nutrientes N, P e K cuja concentração dependerá de uma análise prévia da carência ou excesso desses sais no concentrado de flotação.

De uma forma mais preferida e não limitativa pode-se utilizar cerca de 0,1 a 2 g/l em  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , 0,01 a 0,05 g/L em  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , 0,2 a 0,6 g/L em  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Essa solução visa suprir as necessidades nutricionais dos microorganismos atuantes no processo de biolixiviação. Ainda de uma forma mais preferida e mais eficiente utilizam-se 10 g/L de  $\text{FeSO}_4$ , 1% de enxofre elementar e 1% de concentrado de flotação. A densidade populacional de microorganismos a ser utilizada é calculada em função da massa de concentrado a ser utilizada no processo bio-oxidativo e varia de  $10^5$  a  $10^7$  células de cada consórcio de microorganismos por grama de concentrado utilizado no processo bio-oxidativo.

Neste processo de biolixiviação são utilizados três tipos de consórcios microbianos constituídos dos chamados microorganismos mesófilos, termófilos moderados e extremos conforme descrito anteriormente que têm a função de oxidar os íons ferrosos a férricos que, em meio ácido, agem como agente oxidante dos sulfetos minerais, e o enxofre, na forma de sulfeto ( $\text{S}^{2-}$ ), a enxofre elementar ( $\text{S}^0$ ) ou, de forma mais enérgica, aos íons sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).

O equipamento computadorizado em questão se mostra bastante eficiente no que se refere à biodigestão de sulfetos minerais com disponibilização do metal de interesse na forma de sulfato. Com os dispositivos eletrônicos e mecânicos, como, por exemplo, termopares; medidores de fluxo de ar e  $\text{CO}_2$ ; circuitos eletrônicos para a aquisição de dados e software para a manipulação de dados, torna-se possível desvendar a rota de atuação dos microorganismos nos distintos consórcios

utilizados, em suas faixas características de temperatura, simulando, de forma fidedigna, a ação desses microorganismos numa escala ampliada.

Os microorganismos envolvidos no processo de biolixiviação da presente invenção podem ser os microorganismos mesófilos, sendo que os principais  
5 microorganismos desse gênero utilizados neste processo de biolixiviação são: *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Acidithiobacillus thiooxidans* e *Leptospirillum ferrooxidans*.

O outro consórcio é constituído pelos microorganismos termófilos moderados que, igualmente aos microorganismos mesófilos, têm a tarefa de digerir  
10 os sulfetos supracitados, atuando numa faixa mais elevada de temperatura (40 a 55°C), com a mesma função de oxidar os íons ferrosos e sulfetos. Os principais microorganismos utilizados desse gênero no processo de biolixiviação são: *Sulfobacillus thermosulfidooxidans*, *Acidithiobacillus caldus*, *Acidimicrobium ferrooxidans* e *Sulfobacillus acidophilus*.

15 Por último tem-se o consórcio dos microorganismos termófilos extremos que atuam de forma similar as dos dois primeiros consórcios, sendo que numa faixa de temperatura mais alta (55 a 80°C). Os microorganismos desse gênero, utilizados na composição do consórcio, são: *Acidianus brierleyi*, *Acidianus infernus*, *Metallosphaera sedula*, *Sulfolobulus metallicus*, *Sulfolobulus acidocaldarius* e *Sulfolobulus shibatae*.  
20

**REIVINDICAÇÕES:**

- 1 ) “EQUIPAMENTO COMPUTADORIZADO PARA BIOLIXIVIAÇÃO DE CONCENTRADOS DE FLOTAÇÃO DE SULFETOS MINERAIS“, **CARACTERIZADO POR** compreender uma coluna de leito mineral (1), janelas de inspeção (2), janelas de amostragem de sólidos (3), entrada de suprimento de CO<sub>2</sub> (4), entrada de ar (5), umidificador de ar (6), medidores de temperatura (7), dispositivos para medição do potencial redox (8), sendo que a parte inferior onde fica localizada a saída da lixívia (9) é sustentada por um suporte (10).
- 2 ) “EQUIPAMENTO COMPUTADORIZADO PARA BIOLIXIVIAÇÃO DE CONCENTRADOS DE FLOTAÇÃO DE SULFETOS MINERAIS“, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO POR** estar acoplado a referida coluna de leito mineral (1), um tanque de lixívia (11), contendo uma solução lixivante que tem sua temperatura controlada por uma resistência (12) imersa nesta solução e a dita temperatura sendo controlada por um medidor de temperatura (7), sendo que a referida solução lixivante é constantemente homogeneizada por uma bomba pneumática (13) e depois bombeada através de uma bomba dosadora (14) para um tubo (15) que chega até o topo da coluna de leito mineral (1), possuindo ainda um transmissor de pressão (16) acoplado ao tubo (15).
- 3 ) “EQUIPAMENTO COMPUTADORIZADO PARA BIOLIXIVIAÇÃO DE CONCENTRADOS DE FLOTAÇÃO DE SULFETOS MINERAIS“, de acordo com as reivindicações 1 e 2, **CARACTERIZADO POR** compreender que o referido dispositivo de potencial redox (8) localizado na parte superior, meio e inferior da coluna de leito mineral (1), possui uma placa perfurada de aço inox (17), um coletor de solução lixivante (18) dentro da coluna, cuja solução lixiviada percola até um reservatório (19) localizado já do lado de fora da coluna de leito mineral (1), contendo um eletrodo de medição de potencial redox (20) imerso no reservatório (19), sendo que esta solução lixiviada pode ser retirada por uma válvula de renovação de lixívia (21) para que haja renovação da solução, sendo ainda que todo este conjunto denominado de dispositivo para medição do potencial redox (8) conta ainda com uma chapa (22) para sustentação do dito dispositivo junto a parede da coluna de leito mineral (1).
- 4 ) “EQUIPAMENTO COMPUTADORIZADO PARA BIOLIXIVIAÇÃO DE CONCENTRADOS DE FLOTAÇÃO DE SULFETOS MINERAIS“, de acordo com

as reivindicações 1 a 3, **CARACTERIZADO POR** compreender que na parte inferior da referida coluna de leito mineral (1) possui ainda uma saída de mistura gasosa (23) contendo CO<sub>2</sub> e ar, para verificar o quanto oxigênio e CO<sub>2</sub> foi consumido e ainda uma válvula para drenagem de sólidos (24), sendo que na saída da lixívia (10), há um tubo de retorno de lixívia (25) localizado após a válvula de drenagem de sólidos (25), para que a solução lixiviada retorne ao tanque de lixívia (11) e assim compreendendo um processo contínuo.

5 ) “EQUIPAMENTO COMPUTADORIZADO PARA BIOLIXIVIAÇÃO DE CONCENTRADOS DE FLOTAÇÃO DE SULFETOS MINERAIS“, de acordo com as reivindicações 1 a 4, **CARACTERIZADO POR** compreender que a entrada de suprimento de CO<sub>2</sub> (4), entrada de ar (5), medidores de temperatura (7), dispositivos para medição do potencial redox (8), resistências elétricas (12) são monitorados constantemente pelo computador acoplado a estes equipamentos em tempo real.

15 6 ) “EQUIPAMENTO COMPUTADORIZADO PARA BIOLIXIVIAÇÃO DE CONCENTRADOS DE FLOTAÇÃO DE SULFETOS MINERAIS“, de acordo com as reivindicações 1 a 5, **CARACTERIZADO POR** compreender que a referida resistência (12) seja controlada pelo medidor de temperatura (7) estabelecendo-se uma rampa de aquecimento do corpo mineralizado, com patamares de temperaturas próprios para cada consórcio de microorganismos atuantes na solução lixiviante.

20 7 ) “EQUIPAMENTO COMPUTADORIZADO PARA BIOLIXIVIAÇÃO DE CONCENTRADOS DE FLOTAÇÃO DE SULFETOS MINERAIS“, de acordo com as reivindicações 1 a 6, **CARACTERIZADO POR** compreender na referida coluna de leito mineral (1) há a adição de uma carga mineral, contendo de 60 a 90% de rocha suporte e 10 a 40% de concentrado de flotação com adição de uma suspensão dos consórcios microbianos em solução ácida sulfúrica, contendo ainda elementos nutrientes necessários ao metabolismo dos microorganismos, sendo que esta mistura forma uma camada de concentrado de flotação, finamente dividida aderida à superfície da rocha suporte, permanecendo em repouso até que ocorra a cura da carga mineral antes de se iniciar o processo de biolixiviação.

30 8 ) “EQUIPAMENTO COMPUTADORIZADO PARA BIOLIXIVIAÇÃO DE CONCENTRADOS DE FLOTAÇÃO DE SULFETOS MINERAIS“, de acordo com as reivindicações 1 a 7, **CARACTERIZADO POR** compreender que a referida carga

mineral possui 90% de rocha suporte e 10% de concentrado de flotação.

9 ) “EQUIPAMENTO COMPUTADORIZADO PARA BIOLIXIVIAÇÃO DE CONCENTRADOS DE FLOTAÇÃO DE SULFETOS MINERAIS“, de acordo com a reivindicações 1 a 8, **CARACTERIZADO POR** compreender que a referida carga mineral possui como rocha suporte um minério marginal de cobre ou qualquer rocha inerte às condições experimentais de biolixiviação e um concentrado de flotação de cobre.

10 ) “EQUIPAMENTO COMPUTADORIZADO PARA BIOLIXIVIAÇÃO DE CONCENTRADOS DE FLOTAÇÃO DE SULFETOS MINERAIS“, de acordo com a reivindicações 1 a 8, **CARACTERIZADO POR** compreender que o referido concentrado de flotação possui entre 50 a 80% de calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ) e 20 a 50% de bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ).

11 ) “EQUIPAMENTO COMPUTADORIZADO PARA BIOLIXIVIAÇÃO DE CONCENTRADOS DE FLOTAÇÃO DE SULFETOS MINERAIS“, de acordo com as reivindicações 1 a 10, **CARACTERIZADO POR** compreender que o referido concentrado de flotação possui entre 70% de calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ) e 30% de bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ).

12 ) “EQUIPAMENTO COMPUTADORIZADO PARA BIOLIXIVIAÇÃO DE CONCENTRADOS DE FLOTAÇÃO DE SULFETOS MINERAIS“, de acordo com a reivindicações 1 a 11, **CARACTERIZADO POR** compreender que a referida solução lixiviante contenha de  $10^1$  a  $10^3$  molar (M) de solução sulfúrica, o suficiente para manter o pH da solução ácido, contendo ainda elementos essenciais ao metabolismo dos microorganismos atuantes no processo bio-oxidativo, utilizando-se sais inorgânicos contendo os nutrientes N, P e K, que podem conter de 0,1 a 2 g/L em  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , 0,01 a 0,05 g/L em  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , 0,2 a 0,6 g/L em  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

13) “EQUIPAMENTO COMPUTADORIZADO PARA BIOLIXIVIAÇÃO DE CONCENTRADOS DE FLOTAÇÃO DE SULFETOS MINERAIS“, de acordo com as reivindicações 1 a 12, **CARACTERIZADO POR** compreender que os microorganismos adicionados na solução lixiviante sejam *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Acidithiobacillus thiooxidans* e *Leptospirillum ferrooxidans* (mesófilos), *Sulfobacillus thermosulfidooxidans*, *Acidithiobacillus caldus*, *Acidimicrobium ferrooxidans* e *Sulfobacillus acidophilus* (termófilos moderados)

*e: Acidianus brierleyi, Acidianus infernus, Metallosphaera sedula, Sulfolobulus metallicus, Sulfolobulus acidocaldarius e Sulfolobulus shibatae* (termófilos extremos).

Figura 1

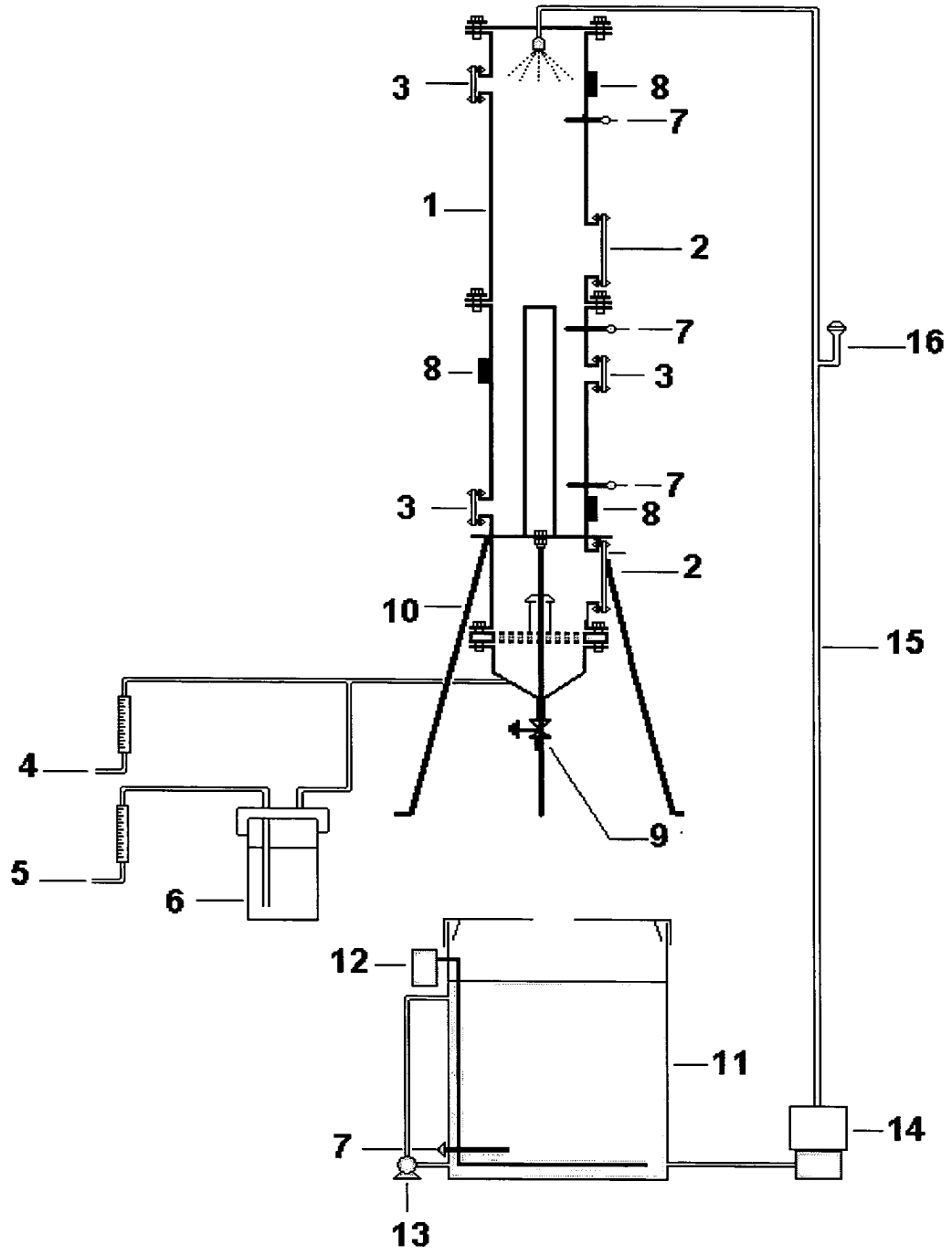


Figura 2

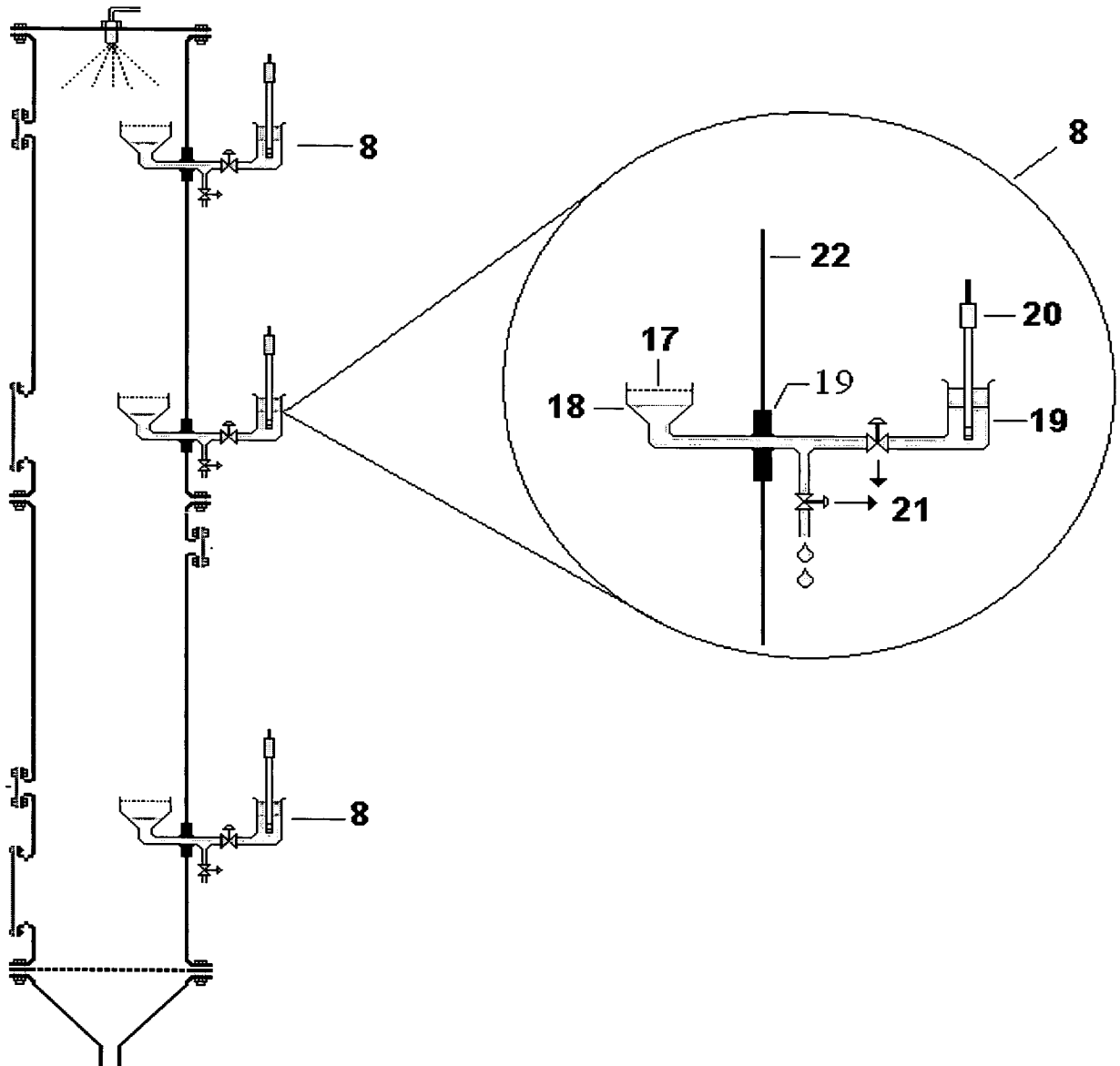


Figura 3

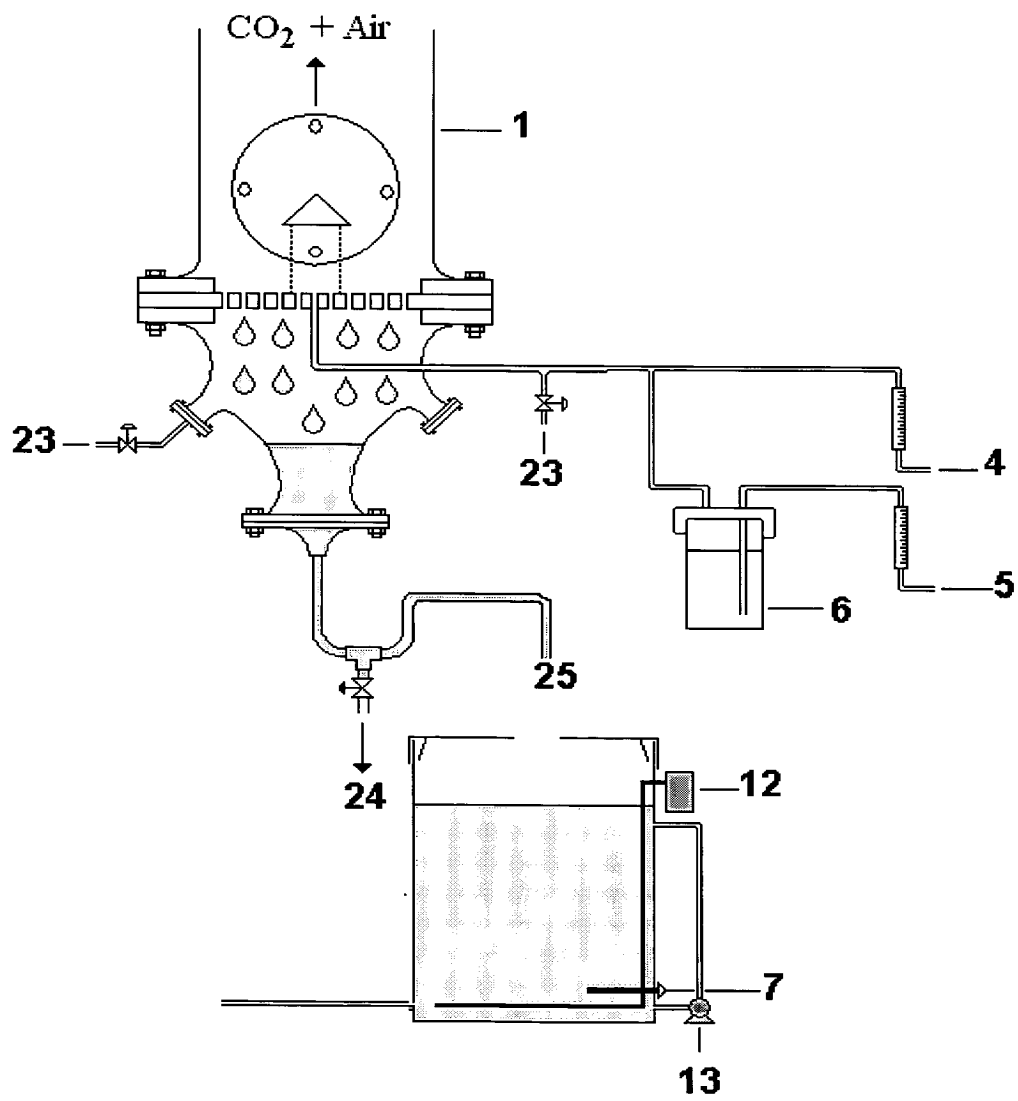
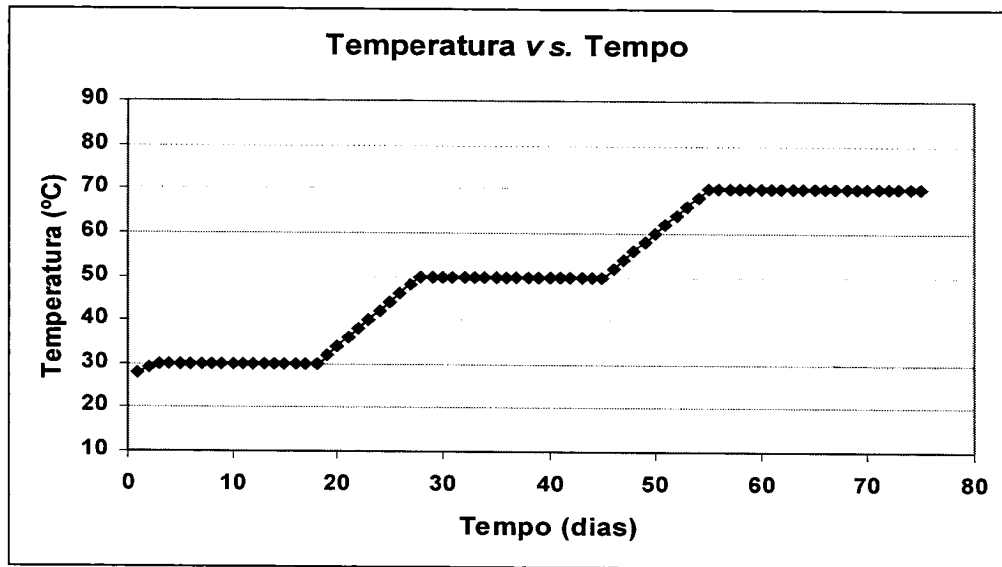


Figura 4



**RESUMO**

Patente de Privilégio de Invenção para “EQUIPAMENTO COMPUTADORIZADO PARA BIOLIXIVIAÇÃO DE CONCENTRADOS DE FLOTAÇÃO DE SULFETOS MINERAIS”.

É objeto do presente pedido de privilégio de invenção, um equipamento computadorizado capaz de monitorar um processo de biolixiviação de sulfetos utilizando-se consórcios microbianos distintos como microorganismos mesófilos, termófilos moderados e termófilos extremos que atuam em faixas de temperatura apropriadas. O referido equipamento é composto de uma coluna de leito mineral (1), janelas de inspeção (2), janelas de amostragem de sólidos (3), entrada de suprimento de CO<sub>2</sub> (4), entrada de ar (5), umidificador de ar (6), medidores de temperatura (7), dispositivos para medição do potencial redox (8), saída da lixívia (9) e suporte (10). O processo de biolixiviação é iniciado dentro de um tanque de lixívia (11) acoplado a coluna de leito mineral (1), contendo uma solução lixivante numa temperatura que varia de 30 a 80°C de acordo com o gradiente da concentração do metal de interesse na lixívia pelo tempo de lixiviação. A solução lixivante é constantemente homogeneizada por uma bomba pneumática (13) e depois bombeada por uma bomba dosadora (14) através de um tubo (15) até o topo da coluna de leito mineral (1). A saída da lixívia (9) é retornada novamente para o tanque de lixívia (11) compreendendo um processo contínuo até a concentração desejada do metal de interesse.