

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

(11) **PI0109795-4 B1**

(22) Data de Depósito: 29/03/2001
(45) Data da Concessão: 30/11/2010
(RPI 2082)



* B R P I 0 1 0 9 7 9 5 B 1 *

(51) *Int.Cl.:*
C22B 23/00
C22B 3/08
C22B 1/14

(54) Título: **LIXIVIAÇÃO EM PILHA DE MINÉRIO CONTENDO NÍQUEL.**

(30) Prioridade Unionista: 30/03/2000 US 09/539,063

(73) Titular(es): BHP Minerals International, Inc.

(72) Inventor(es): Houyuan Liu, Michael J. Davis, Willem P. C. Duyvesteyn

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**LIXIVIAÇÃO EM PILHA DE MINÉRIO CONTENDO NÍQUEL**".

A presente invenção refere-se a um método de operação de uma pilha para lixiviação de minério contendo níquel para recuperar o níquel.

5 Em particular, a presente invenção é direcionada para um método de lixiviação em pilha de um minério contendo níquel que tenha um componente argila substancial (isto é, maior que 10% em peso de argila). Mais particularmente, a presente invenção é direcionada a um método econômico de lixiviar por empilhamento minérios de laterita contendo níquel e que tenham um teor
10 substancial de argila.

Os depósitos de minério de laterita têm sido historicamente negligenciados em favor de depósitos de sulfeto com melhor qualidade, embora eles sejam uma fonte abundante de minério de níquel de baixa qualidade. Agora os corpos de minérios de sulfeto facilmente extraídos estão começando a desaparecer e, em combinação com a crescente preocupação ambiental
15 quanto ao processamento desses minérios, depósitos lateríticos tornar-se-ão uma fonte crescentemente importante do níquel e do cobalto no mundo.

Até hoje, os processos para extração de níquel dos minérios de laterita têm sido limitados a métodos caros e/ou de alto consumo de energia.
20 Por exemplo, é conhecido o processo de fundir a laterita, que é muito dispendioso em termos de energia. É também conhecido o processo de lixiviar por pressão o minério de laterita com ácido sulfúrico, o que requer autoclaves caras, tanques de vaporização, etc. e é altamente corrosivo. Portanto,
25 há uma necessidade de um método econômico eficaz para se obter níquel dos minérios de laterita.

Um exemplo está descrito na US 4.125.588 em que minérios lateríticos contendo grandes quantidades de sílica são moídos e então misturados com ácido sulfúrico. É então adicionada água para iniciar uma reação
30 de sulfatização. Posteriormente a água é utilizada para lixiviar o produto da sulfatização.

A lixiviação em pilha é um método convencional para extrair e-

conomicamente metais de minérios de baixa qualidade. Geralmente, ele envolve simplesmente empilhar o minério bruto, tirado diretamente de um depósito de minério, em pilhas que variam de altura. A solução de lixiviação (lixivante) é introduzida pelo topo da pilha para se infiltrar em toda a pilha. O líquido efluente passa, por exemplo, em canos de drenagem perfurados ar-
5 ranjados na superfície da base sob a pilha. Os canos de drenagem dirigem o líquido efluente em um alimentador para transporte até uma usina de processamento onde os valores de metal são separados do efluente e recuperados.

10 Embora a lixiviação em pilha tenha sido usada com sucesso para recuperar valores de metais tais como cobre, ouro, prata e urânio, o processo de lixiviação em pilha não foi proposto para recuperar o níquel de mi-
nérios de laterita particulares que contenham um componente argila substancial. Um exemplo de lixiviação em pilha de urânio é mostrado na FR 2
15 593 193. O processo descrito naquele pedido requer uma trituração inicial das partículas em uma granulometria de tal valor que permita a produção de uma solução contendo urânio de cerca de 75%. O pedido, entretanto, não indica minérios de laterita que contenham um componente argila substancial. Apesar de ser um termo genérico para minerais de argila específicos, "argi-
20 la" também implica tamanho de partícula. Conforme John Bichard (Oil Sands, Composition and Behaviour; Alberta Oil Sands Technology and Research Authority, Edmonton 1987, pgs. 3-7), "argila" é definida freqüentemente como material com menos de 325 mesh (< 44 microns) de tamanho.

Os minerais de argila têm um número de características comuns.
25 Sua classificação estrutural é baseada nas camadas de compostos construídas a partir de componentes com cátions coordenados tetraédricos e octaédricos. A maioria deles ocorre como partículas chatas em agregados de grãos finos, os quais quando misturados com água rendem produtos que têm graus de plasticidade variáveis. Os minerais de argila são geralmente
30 classificados em quatro grupos de minerais em camadas e que são caulinita, esmectita (montmorilonita), vermiculita e illita. A composição química dos minerais de argila é principalmente minerais de silicatos aquosos de alumí-

nio ou magnésio.

O tipo de formação de mineral de argila depende da rocha mãe e do ambiente físico-químico da formação da argila. Por exemplo, minérios de argila associados com a mineralização de cobre pórfiro são distintamente diferentes dos minerais de argila com a mineralização de níquel laterítico. Os minerais de argila associados com cobre pórfiro são primeiramente ácidos e rochas intermediárias (sílica alta) que sofreram alteração hidrotérmica intensa para formar caulinita, illita e montmorilonita. Em contraste, a argila associada com saprolita e limonito de níquel é formada pelo arejamento da superfície próxima de rochas mãe relativamente instáveis como básica e ultrabásica (sílica baixa).

Em geral, foi descoberto que muitos depósitos de lateritas de níquel-cobalto contêm três zonas principais baseadas em morfologia, mineralogia e composição química. Essas três zonas a partir da base para a superfície de topo da rocha mãe arejada são a zona de saprolita, a zona de transição e a zona de limonito com grandes variações na espessura total do depósito, bem como espessuras das zonas individuais. A zona de saprolita consiste em três subzonas separadas: saprolita rochosa, saprolita e saprolita ferruginosa. Esta zona de saprolita consiste predominantemente de "serpentina saprolítica" e uma grande variedade de minerais silicatos de níquel-magnésio que pertencem ao grupo septoclorita de minerais conforme definido em "An introduction to the Rock Forming Minerals" de Deer, Howie e Zussman; Longman Group Limited, Londres, Reino Unido, 1983. Septocloritas (fórmula química geral: $A_6(B_4O_{10})(OH)_8$ onde A representa Mg, Fe, Ni e/ou Al e onde B representa Si, Fe e/ou Al) são caracterizadas por camadas em forma de serpentinas, com cada camada tendo um componente tetraédrico $(SiAl)_2O_5$ ligado a um composto trioctaédrico do tipo brucita (MgO). Vários arranjos de camadas empilhadas são possíveis e elas dão aos depósitos de laterita sua estrutura em camadas e argilosa. O processo de arejamento ou de serpentinização da rocha ultrabásica (um mineral olivina de baixo níquel (~0,2%), e alto (~5%) ferro contendo magnésio) é caracterizado pela diminuição do Mg na ultrabásica e um aumento no Ni e no Fe. A zona

saprolita resultante contém entre 0,5 e 4% de Ni.

A zona de transição não bem definida é composta essencialmente de argila do tipo nontronita (grupo esmectita) e quartzo. Ela comumente contém também Ni na faixa de 1,0 a 3,0% com Co coexistindo e variando de 0,08% a 1% (associado com asbolans, um óxido de manganês hidratado). A zona de limonito (com o níquel variando de 0,5 a 1,8%) consiste em uma seção superior rica em hematita e uma seção inferior rica em goetita e é rica em Fe, Al e Cr. Algumas vezes o arejamento não foi executado por completo e as seções ricas ou a hematita ou a goetita não estão presentes. Alternativamente, dependendo da condição climática, a zona de limonito ainda conterà silicatos residuais de ferro-alumínio, tais como clorita que são níquelíferos.

O processo de laterização ocorre principalmente em ambientes tropicais ou subtropicais, onde ambientes mornos, úmidos e de boa drenagem são predominantes. Este processo ocorre com a lenta dissolução da olivina e do piroxeno ao longo das microfaturas e dos limites dos grãos desses minerais geralmente removendo o metal solúvel como o magnésio e deixando silicatos porosos (serpentina), sílica (calcedônio, tridimita) e estrutura de ferro (textura de peneira) ou "box-work" ou algumas vezes chamada textura de rede especialmente para serpentina.

Em climas tropicais úmidos-secos, a formação de argila é mais predominante devido à drenagem pobre e ao alto pH do ambiente. Adicionalmente, foi relatado que em áreas onde a drenagem é pobre, uma sílica-gel esverdeada rica em ferro é inicialmente formada e a recristalização do gel ocorre posteriormente para formar nontronita (Fe-esmectita, ou greenalita), hectorita (Ni-esmectita), e saponita (Mg-esmectita). Os perfis minerais nontronita são muito comuns em climas tropicais com estações secas prolongadas, por exemplo, Costa do Marfim, os depósitos de níquel da Austrália Ocidental, Cuba, o sertão brasileiro, etc. Sílica-gel amorfa rica em ferro-níquel é muito comum em vários depósitos da Austrália Ocidental tais como os depósitos de níquel de Bulong e de Murrin Murrin. Estas sílica-géis são prontamente, mas lentamente solúveis em solução ácida.

Foi descoberto que a permeabilidade do minério laterítico é grandemente controlada pelo tipo de ocorrência mineral, pela morfologia mineral e pelo tamanho da partícula. Embora a mineralogia do minério laterítico particularmente complexa e amplamente variável de depósito para depósito, há alguma associação ou similaridade de morfologia mineral nos depósitos lateríticos de níquel em todo o mundo, por exemplo oólitos e pisólitas de óxidos de ferro no horizonte "ferricrete", a textura de rede ou de peneira da serpentina, a textura de estrutura ou de peneira do quartzo calcedônico, e os óxidos de ferro. Estas estruturas morfológicas aumentam a permeabilidade da solução e preservam a estabilidade física dos minerais individuais. Embora dados experimentais do comportamento do nontronita na permeabilidade não estejam disponíveis, espera-se que o nontronita possa ter propriedades similares a outras argilas esmectíticas.

O nontronita no minério laterítico, entretanto, ocorre geralmente com "box-works" de sílica, sílica-gel precursora e compostos amorfos transitórios entre o gel e o nontronita. Esta morfologia mineral de sílica-géis precipitadas não é geralmente descoberta em depósitos de minério de cobre pórfiro.

Enquanto a lixiviação em pilha de minérios de cobre é bem conhecida como operações unitárias, há muitas diferenças entre a lixiviação em pilha de minérios contendo cobre que também contêm alguns componentes de argila e os minérios lateríticos que tenham um componente argila substancial.

Amostras de tais minérios contendo níquel com um componente de argila substancial são fornecidas na tabela a seguir onde as propriedades reológicas de um número de diferentes minérios de laterita são apresentadas.

	Tipo de minério	Teor sólido	Limite de elasticidade	Viscosidade Bingham
		% em peso	Pa (dinas/cm ²)	Pa (centipoise)
Minério da Austrália Ocidental	Limonito/Saprolita	25	7220 (722)	0,080 (80)
Minério da Nova Caledônia	Limonito	28	400 (40)	0,011 (11)

	Tipo de minério	Teor sólido	Limite de elasticidade	Viscosidade Bingham
		% em peso	Pa (dinas/cm ²)	Pa (centipoise)
Minério da Nova Caledônia	Saprolita	28	17000 (1700)	0,057 (57)
Minério da Nova Caledônia	Mistura	28	4000 (400)	0,018 (18)
Minério da Indonésia	Limonito	30-40	< 1500 (150)	< 0,015 (15)

O alto limite de escoamento e viscosidade da pasta fluida de minério pode resultar em uma agitação inadequada na lixiviação de alta pressão ou em operações de lixiviação à pressão atmosférica.

- Adicionalmente, esses minérios podem ter a seguinte distribuição de tamanho de partícula.

Distribuição cumulativa de tamanho de partícula (% em peso de partícula)		
MINÉRIO DE LIMONITO DE NÍQUEL	MÍCRON	MINÉRIO DE SAPROLITA DE NÍQUEL
80	37	30
100	297	45
	841	50
	1680	58
	6350	84

A tabela acima demonstra claramente que tanto o minério de limonito de níquel quanto o minério de saprolita de níquel contêm quantidades significativas de material muito fino bem como um teor de argila significativo.

- A Patente U.S. nº 5.571.308 descreve um processo de lixiviação em pilha de minérios lateríticos com alto teor de magnésio tal como saprolita. A patente aponta que o "tipo de argila" da saprolita exibiu uma permeabilidade pobre durante a filtração. Como uma solução para este problema, a patente notou que a peletização do minério é um expediente importante para assegurar uma distribuição uniforme do reagente líquido durante o empilhamento e para fornecer péletes de integridade de forma suficiente para resistir ao fluxo gravimétrico e ainda assegurar a permeabilidade ou percolação desejada para irrigação ou percolação da solução reagente durante o empi-

lhamento. O fluxo de irrigação relatado foi de 10 l/h/m², o que está na extremidade alta das práticas de lixiviação em pilha convencional do cobre e do ouro. As lateritas de níquel têm um consumo particularmente alto de ácido (centenas de quilos de ácido por tonelada de minério contra cerca de dez
 5 quilos por tonelada de minério de cobre) devido ao teor de magnésio solúvel, lixiviação em pilha de baixo fluxo poderia requerer um longo tempo. Por exemplo, a lixiviação em pilha do minério de laterita poderia requerer de dois a cinco anos neste fluxo de percolação para obter uma extração de níquel razoável (> 80%). Portanto, a aceleração da cinética da lixiviação do níquel é
 10 um assunto importante para o sucesso técnico-econômico da lixiviação em pilha do minério de laterita de níquel.

A lixiviação em pilha das lateritas pelo ácido sulfúrico a temperaturas ambientes é relatada em *Heap Leaching of Poor Laterites by Sulphuric Acid at Ambient Temperatures*, S. Agatzini, e outros, Hydrometallurgy 1994, Institution of Mining and Metallurgy, Londres, 1994, pgs. 193-208. Ali, o minério
 15 de laterita teve a seguinte distribuição de tamanho de partícula:

Tamanho de partícula (microns)	Em peso (%)
+850	80,2
-850 a +360	4,5
-360 a +180	4,8
-180	10,5

Assim, pode ser visto que este minério era bruto e portanto muito adequado uma vez que não é um granulado fino e portanto não contém absolutamente muita argila. Adicionalmente, o minério relatado consistiu de
 20 clorito de níquel, hematita, quartzo, cromita, e pequenas quantidades de talco, ilita e diásporo. O minério foi caracterizado por uma textura pisolítica, com pisólitas compostas de agregados de hematita microcristalina ajustada dentro de uma matriz vermelha polimórfica. A matriz consistiu inicialmente em grãos de quartzo e cromita cercados de clorita e hematita fina dispersa e
 25 ilita secundária e diásporo. A rocha adequada conforme o reportado não contém nenhuma argila do tipo esmectita inchada, como noncronita, saponita, e hectorita. Além disso, o minério reportado conteve uma presença signifi-

ficativa de pedra calcária (5,68% de CaO), que geralmente nunca está presente em uma quantidade maior que algumas poucas centenas de ppm em uma laterita de níquel típica. Além disso, o minério reportado não continha goetita, a qual está sempre prontamente presente em minérios de laterita de níquel típicos. Assim, este documento não considera o uso de lixiviação em pilha de um minério contendo níquel que contenha um componente argila substancial.

Um artigo relacionado, “Extração de níquel e cobalto a partir de minérios gregos de baixo nível de óxido de níquel por lixiviação em pilha”, S. Agatzini e outros, Hydrometallurgy and refining of Nickel and Cobalt, Proceedings of the Nickel-Cobalt 97 International Symposium (agosto, 1997), pgs. 489-502 descreve a extração de minérios de níquel de baixa qualidade com ácido sulfúrico diluído. O minério descrito é muito adequado e não contém minérios de alto teor de argila.

Similarmente, a GR 1 001 555 descreve a extração de minério pobremente oxidado. O minério é ensopado com água ou ácido sulfúrico diluído de forma que o minério obtém cerca de 10% de teor de umidade. O minério descrito também parece ser similar ao descrito acima.

Foi reportado que quando o minério de laterita é empilhado seco, a percolação da solução de lixiviação foi de pobre a impossível. Esta observação de percolação pobre foi explicada como sendo o resultado da natureza absorvente dos constituintes argila que, quando molhada com a solução de lixiviação, inchou e fechou a porosidade estabelecida. Devido à pobre permeabilidade, uma baixa taxa de irrigação é necessária de forma que a solução de lixiviação pode eficazmente lixiviar o níquel e assim, a lixiviação necessitará um longo tempo indesejável.

O método da presente invenção resolve aquele problema pelo pré-tratamento do minério com um ácido concentrado para aglomerar fisicamente e/ou quimicamente as partículas finas de argila. Acredita-se que o ácido concentrado quebra os minerais de argila e os silicatos metálicos e solubiliza a sílica-gel de forma que a sílica precipitada bem como os sulfatos metálicos precipitados agirão como agentes aglutinantes que, após a cura,

produzirão um pélete particularmente forte. Vantajosamente, estes péletes, quando formados em uma pilha, permitem um alto fluxo de percolação. Conseqüentemente, o tempo de lixiviação é econômico.

A presente invenção ensina como operar uma lixiviação em pilha para maximizar a recuperação do níquel a uma eficiência máxima independente do procedimento de recuperação para extrair o níquel do efluente. Em particular, a presente invenção resolve o problema de extrair o níquel (e o cobalto) daqueles minérios de laterita contendo níquel tendo um componente argila substancial.

10 Sumário da Invenção

A presente invenção fornece um processo para lixiviar por empilhamento minérios de laterita que contêm um componente argila substancial. Em geral, o processo inclui as etapas de pré-tratamento de minério, construção da pilha, e operação da pilha. O pré-tratamento do minério inclui as etapas de seleção do minério, redução do tamanho (quando necessário), e peletização do minério. A operação da pilha inclui as etapas de aplicação de um ácido a um alto fluxo de percolação para fornecer cinética de lixiviação em pilha acelerado como conseqüência da peletização, controle do ferro dentro da pilha, e decréscimo do consumo do ácido. Alternativamente, o método da presente invenção contempla a operação de um número adequado de pilhas em uma forma de contracorrente.

Em uma modalidade preferida, o processo inclui reduzir um minério contendo níquel que tenha um componente argila substancial até um tamanho médio de partícula de menos que 2,54 cm (uma polegada). As partículas reduzidas são formadas em péletes misturando-se as mesmas com um ácido concentrado (preferivelmente ácido sulfúrico concentrado) e aglomerando-se as mesmas em, por exemplo, um disco giratório, tambor, ou outros dispositivos adequados. A quantidade de ácido usada para aglomerar os péletes é geralmente aquela quantidade necessária para neutralizar imediatamente o minério. Em outras palavras, a quantidade de ácido é geralmente a quantidade para neutralizar o MgO prontamente disponível. Em geral, a quantidade de ácido varia de 20 a 100 kg de (100%) ácido por tonelada

de minério.

Os péletes aglomerados podem então ser curados por um período adequado de tempo que varia de apenas uma hora até vários dias.

Os péletes são então formados em uma pilha tendo uma base e um topo. Uma solução de lixiviação é aplicada ao topo da pilha e deixada percolar para baixo através da pilha. O líquido de lixiviação (solução) é coletado no fundo e pode ser reciclado, coletado para recuperação do níquel (e/ou cobalto), ou uma combinação de ambos. A solução de lixiviação contém preferivelmente ácido sulfúrico, mas outros ácidos tais como ácido clorídrico e ácido nítrico são também aplicáveis.

A pilha pode então ser lavada com água (água doce ou água salgada), ácido concentrado ou diluído ou uma combinação deles com o efluente sendo coletado para recuperação de valores metálicos.

Conforme usado na descrição a seguir e nas reivindicações anexas, a frase "componente argila substancial" e "componente argila considerável" referem-se àqueles minérios que contêm pelo menos 10% em peso de argila, particularmente, contendo pelo menos 20% de argila e mais particularmente, mais que 25% de argila. Adicionalmente, o termo "argila" conforme usado no relatório e nas reivindicações é definido como quaisquer sólidos com um tamanho de partícula menor que 44 microns.

Breve Descrição dos Desenhos

A Figura 1 é um gráfico mostrando a distribuição de tamanho de partícula de minérios descritos no Exemplo 1 abaixo.

A Figura 2 é um gráfico mostrando os resultados dos testes de permeabilidade de vários minérios com variação da altura da pilha com e sem peletização.

A Figura 3 mostra o efeito do aumento da taxa de aplicação da solução de lixiviação na taxa de extração de níquel usando-se 50 g/l de solução de lixiviação de H_2SO_4 onde o minério contendo níquel foi pré-tratado, isto é, peletizado conforme a presente invenção.

A Figura 4 mostra o efeito do aumento da taxa de aplicação da solução de lixiviação na extração de níquel usando-se 100 g/l de solução de

lixiviação de H_2SO_4 onde o minério contendo níquel foi pré-tratado, isto é, peletizado conforme a presente invenção.

A Figura 5 mostra o efeito do aumento da taxa de aplicação da solução de lixiviação na taxa de extração do cobre usando-se até 14 g/l de
5 solução de lixiviação de H_2SO_4 sem peletização.

A Figura 6 mostra um fluxograma de uma modalidade da presente invenção.

Descrição Detalhada da Invenção

De acordo com a presente invenção, é fornecido um método para
10 para lixiviar por empilhamento de minérios de laterita que contenham um componente argila substancial. O processo inclui reduzir, quando necessário, um minério contendo níquel que tenha um componente argila substancial até um tamanho médio de partícula de menos de uma polegada (2,54 cm). Será
entendido pelos versados na técnica, que onde o minério já tenha um tamanho
15 de partícula fina, uma redução de tamanho não será requerida ou necessária.

As partículas reduzidas são formadas em péletes misturando-se as mesmas com um ácido concentrado (preferivelmente ácido sulfúrico) e aglomerando-se as mesmas em, por exemplo, um disco giratório, tambor, ou
20 outros dispositivos adequados. Os péletes aglomerados são geralmente curados por uma quantidade de tempo que pode variar de uma hora até vários dias, dependendo do término do "processo de aglutinação química" que ocorre. O processo de aglutinação química consiste na re-solubilização da sílica-gel precipitada e a dissolução de ferro e magnésio a partir do minério
25 com o ácido forte usado para peletização. Durante o processo de cura, o excesso de água evapora e alguma água é tomada como água cristalizada e causa uma re-precipitação de uma "cola" de magnésio-ferro-sílica-gel que age como um agente químico aglutinante entre as partículas sólidas fazendo péletes sólidos que têm uma resistência física definida. O tempo de cura se-
30 rá uma função da quantidade de água em excesso ou livre, que necessita ser removida da fase "cola".

Sem estar aglutinada a nenhuma teoria, acredita-se que o pro-

cesso de aglomeração acima fornece uma estrutura aberta que aumenta a cinética da lixiviação. Conforme notado acima, na lixiviação do cobre o consumo de ácido é de cerca de 10 até cerca de 50 kg de ácido por tonelada de minério. Pelo menos uma porção do ácido é consumida pelo componente

5 cálcio, alumínio e/ou magnésio do minério. Como resultado, cerca de 0,5 kg do minério é dissolvido para cada kg de ácido. Conseqüentemente, para um consumo de ácido de cerca de 25 kg por tonelada de minério, cerca de 12 kg de minério ou cerca de 1,2% do minério é dissolvido.

Em contraste, os minérios contendo níquel consomem cerca de

10 600 kg de ácido por tonelada de minério. Cerca de metade do ácido é consumido para a dissolução do MgO e o saldo é consumido para a dissolução do ferro, alumínio e/ou níquel. Portanto, 600 kg de ácido consumirão cerca de 300 kg de sólidos no minério, ou cerca de 30% do minério. Isto é cerca de 25 vezes a perda de peso que é experimentada com a lixiviação do cobre.

15 Como resultado desta perda de peso, acredita-se que os péletes aglomerados resultantes têm uma estrutura mais aberta, particularmente se comparado ao cobre.

Os péletes aglomerados são então formados em uma pilha tendo uma base e um topo. Uma solução de lixiviação é aplicada ao topo da

20 pilha e deixada percolar para baixo através da pilha. O líquido de lixiviação (solução) é coletado no fundo da pilha e pode ser reciclado, coletado para recuperação do níquel (e/ou cobalto), ou uma combinação de ambos. A solução de lixiviação é preferivelmente ácido sulfúrico. A solução de lixiviação pode ser uma solução reciclada da qual foram recuperados valores de metal.

25 O método da presente invenção é particularmente adequado para depósitos contendo níquel que contenham um componente argila substancial. Isto refere-se àqueles depósitos que contêm níquel onde o componente argila compreende pelo menos 10% de argila, geralmente mais de 20%, e tipicamente mais de 25% de argila. Conforme notado acima, argila

30 refere-se àquelas partículas que têm um tamanho de partícula menor que 44 microns.

Estes componentes argila estão freqüentemente também pre-

sentas na cobertura oxidada dos corpos de minério de sulfeto de níquel e conseqüentemente esses óxidos ou misturas de óxido/minérios de sulfeto podem vantajosamente ser processados com esta invenção. Tal cobertura de óxido do minério geralmente contém mais de 10% de argila.

5 Na prática desta invenção, a amostra do minério é inicialmente fragmentada, quando necessário, até uma faixa de tamanho de partícula de menos de 2,54 cm e, preferivelmente, entre 6 mesh (3.350 microns) e 1,9 cm, pré-misturados com ácido sulfúrico e aglomerados para formar partículas (péletes) e então curados.

10 O minério é peletizado misturando-se o minério com ácido sulfúrico tendo uma concentração de pelo menos 100 g/l de ácido, preferivelmente 50% e mais preferivelmente 93-98%. A peletização pode ser executada em um disco giratório, tambor, ou outro dispositivo adequado conhecido daqueles que são versados na técnica. O ácido sulfúrico pode ser misturado
15 com uma fonte de água, inclusive solução salina, água fresca ou de solução reciclada. A quantidade de ácido sulfúrico usada é geralmente aquela necessária para atacar os materiais do mineral consumidores de ácido no minério (geralmente o MgO prontamente disponível dos silicatos de magnésio que estão presentes no minério). Tipicamente a quantidade varia de 20 a
20 100 kg de ácido sulfúrico 100% equivalente por tonelada de minério (base seca).

As partículas aglomeradas resultantes (péletes) têm um tamanho médio de partícula entre 6 mesh (3.350 microns) e 2,54 cm. Os péletes aglomerados são opcionalmente curados. O tempo de cura pode variar de 1
25 hora até 2-3 dias. Preferivelmente o tempo de cura varia de 4 a 10 horas.

Conforme referido no relatório e nas reivindicações anexas, o termo cura significa que os péletes são armazenados ao ar livre, não mexidos por um período de tempo suficientemente longo de forma que o ácido sulfúrico terá um tempo de reação química suficiente para dissolver parcialmente parte do minério e remover parte da água contida (pela evaporação
30 do ar) de forma que os sulfatos básicos e/ou silicatos, ou sílica-gel é precipitado e formado em um agente de aglutinação para manter as partículas re-

manescentes de minério juntas na forma de péletes.

Os péletes são empilhados para formar uma pilha tendo uma altura na faixa entre 0,6 a 9,14 m (2 a 30 pés) de altura. A esta altura, a pilha pode ser deixada, *in situ*, para reparação após a operação de lixiviação ter sido completada. Alternativamente, os péletes podem ser empilhados em tonéis, que devem ser considerados como consistindo na pilha com um tamanho de parede fixo, limitado. Adicionalmente, a pilha é geralmente feita com péletes de forma que a pilha tenha uma densidade aparente de 0,9 a 1,1 g/cm³ e uma porosidade (voidage) de 0,3 a 0,6. Isto permite o uso de um alto fluxo de percolação (de 10 a 100 l/hr/m²), aumentando portanto significativamente a cinética da lixiviação.

A pilha é formada da seguinte maneira. O minério bruto é, se necessário, fragmentado até o tamanho de partícula desejado, identificado acima. Uma amostra das partículas é tomada para determinar-se a massa de ácido sulfúrico necessária para aglomerar as partículas. As partículas são então aglomeradas e curadas. As partículas aglomeradas e curadas são então empilhadas em uma pilha.

Preferivelmente, o minério peletizado aglomerado é formado em duas, ou em uma série de pilhas. Um esquema para operar as duas pilhas seguindo os princípios da presente invenção está descrito na Figura 6. Conforme mostrado na Figura 6, há uma pilha principal e uma pilha secundária. O minério peletizado aglomerado, entretanto, pode ser formado em qualquer número economicamente adequado de pilhas ou tonéis.

Uma recuperação ótima de níquel é realizada quando são consumidos cerca de 300 até cerca de 700 kg de ácido sulfúrico por tonelada de minério seco. O ácido é tipicamente adicionado à solução de reciclagem da pilha com uma acidez de 2 g/l até 500 g/l, preferivelmente pelo menos 10 g/l, e desejavelmente de 20 g/l até 100 g/l para minimizar o consumo total de ácido. Um baixo gradiente de ácido através da pilha aumenta a seletividade da lixiviação do níquel comparado com o ferro. O ferro, quando presente como ferro férrico, precipita-se como hidróxidos ou sulfatos básicos dentro da pilha se o pH do lixiviador for acima de 3. Como exemplo, conforme uma

modalidade da presente invenção, uma das pilhas pode ser operada no modo acima para precipitar ferro férrico e a pilha age então como um reator de precipitação de ferro. Portanto, a presente invenção fornece um método eficaz para controlar o ferro com a lixiviação em pilha. A maior porosidade ou voidage (0,3 a 0,6) da pilha, que é o resultado da presente técnica de peletização, minimiza ou evita os entupimentos causados pela precipitação do ferro.

Devido ao seu alto teor de MgO, todos os minérios de saprolita são muito básicos e são considerados como tendo potencial de neutralização ácido. Yoshio Ogura em (Y. Ogura e outros, "Geochemistry and Mineralogy of Nickel Oxide Ores in the Southwestern Pacific Area", Protocolo do International Seminar on Laterite Processing, Trivandrum, India, 1979, Oxford and IBH Publishing Co., Nova Delhi, 1981) apresentou dados em medidas de valores de pH de soluções aquosas em contato com diferentes zonas de minérios de depósitos de laterita. Uma vez que o minério de laterita de níquel é formado por dissolução e precipitação de componentes químicos a partir do arejamento de rochas mãe, precisa haver uma mudança no valor do pH em um perfil de minério de laterita. Os dados de Ogura estão mostrados na tabela a seguir.

20 Valores de pH nas zonas de minério de laterita

Zona de minério	Profundidade em metros	Ph
Limonito	0-8	5,6 - 6,2
Saprolita	8 - 20	6,9 - 8,3
Leito de rocha	+ 20	8,6 - 10,0

Se um minério de saprolita é misturado com uma solução ácida contendo níquel, (pH de 0,5 a 2), ou se tal solução for passada por uma pilha de minério de saprolita ou material de leito de rocha o ácido residual será neutralizado pelo minério, aumentando o pH até entre 3 e 4. Se houver qualquer ferro férrico presente na solução ácida de níquel, ele precipitará à medida que o pH seja aumentado, uma vez que o hidróxido férrico começa a se precipitar a um pH de cerca de 2,5. Uma vez passando-se a solução contendo ferro férrico sobre uma pilha de minério de saprolita ou leito de rocha re-

sultará na precipitação, mas uma vez que a porosidade de uma pilha peletizada é muito grande (50% ou mais), há espaço e área de superfície mais que suficientes para o ferro se precipitar e o hidróxido ser retido dentro da pilha.

5 Havendo minério de laterita que esteja sendo arejado implica que parte do minério tenha sido arejado e convertido nos vários silicatos magnésio níquelíferos e que parte do minério consiste em rocha ultrabásica não arejada. Esta parte do minério, geralmente o núcleo das rochas e fragmentos de rochas, é relativamente alta em minerais de alto silicato de magnésio (tais como olivina) que não se dissolve prontamente na solução de
10 lixiviação em pilha. Uma vez que a acidez da solução de lixiviação em pilha pode ser bem controlada, este parâmetro fornecerá uma oportunidade para minimizar o consumo de ácido pelo alto magnésio parasítico, minerais de silicato de baixo níquel.

15 A solução ácida é geralmente aplicada pulverizando-se a mesma em uma camada de leito de rocha inerte, que age como distribuidor do líquido na pilha, embora possa ser usado qualquer método para dispersar adequadamente e uniformemente o ácido na pilha. A solução ácida é aplicada a uma taxa de fluxo de pelo menos 10 l/hr/m^2 , preferivelmente pelo menos 20
20 l/hr/m^2 . Taxas de fluxo substancialmente maiores (tais como 100 l/h/m^2 e maiores) podem ser usadas com o limite superior sendo ditado pelo que os especialistas geotécnicos definiram como a condutividade hidráulica de um leito de sólidos.

 O leito de rocha do corpo de minério de laterita é geralmente
25 uma rocha "ultramafic" consistindo em silicatos de magnésio hidratado que têm capacidades limitadas de neutralização ácida. Sua capacidade de neutralização pode ser aumentada significativamente se o minério for submetido a um processo de desidroxilação segundo o qual o minério é aquecido até uma temperatura entre 300 e 800°C para remover a água quimicamente a-
30 glutinada e para converter o silicato de magnésio hidratado em um composto com um teor de óxido/silicato de magnésio que possa consumir ácido.

 Para assegurar a recuperação máxima de níquel com a máxima

eficiência cada pilha é lixiviada da forma a seguir. A primeira pilha é lixiviada com lixiviador novo (H_2SO_4) tendo uma concentração de pelo menos 10 g/l. O lixiviador pode ser uma solução contendo entre 0,1% e 20% de ácido sulfúrico. A pilha é enxaguada com H_2SO_4 tendo um pH de 2. O liquor de lixiviação é coletado e analisado para a presença de ácido livre. Se o pH for maior que 2 ou o teor de ácido sulfúrico livre for menor que 1 g/l então o líquido pode ser direcionado para uma operação de recuperação de níquel. A estes níveis nenhuma outra neutralização é necessária e o níquel pode ser recuperado, por exemplo, por uma operação de troca de íons. Na prática, entretanto, a maioria dos líquidos de lixiviação é direcionada para a pilha 2, preferivelmente de 60% a 90% do volume de cada líquido é direcionado para a pilha 2 com o saldo sendo direcionado para uma operação de recuperação de níquel.

Adicionalmente à aplicação do líquido de lixiviação da pilha 1, é aplicado ácido sulfúrico fresco (tendo uma concentração de pelo menos 10 g/l) à pilha 2. A pilha é lavada com H_2SO_4 tendo um pH de 2. O líquido de lixiviação da pilha 2 é analisado para a presença de ácido livre. Se o pH for maior que 2 ou o teor de ácido sulfúrico livre for menor que 1 g/l então o líquido pode ser direcionado para uma operação de recuperação de níquel. A esses níveis nenhuma outra neutralização é necessária e o níquel pode ser recuperado, por exemplo, por uma operação de troca de íons. Na prática, a maioria do líquido de lixiviação é direcionada à recuperação de níquel, preferivelmente de 60% a 90% do volume de líquido de lixiviação é direcionado para a recuperação de níquel com o saldo sendo direcionado a uma terceira pilha.

Conforme mostrado na Figura 6, o processo pode continuar dependendo do número de pilhas. Foi previamente descoberto que, em relação às lateritas de níquel, o consumo total de ácido por tonelada de minério para se obter a extração adequada de níquel e cobalto é crítica para a economia do processo. Surpreendentemente, foi descoberto agora que a quantidade de ácido necessária para se obter a extração adequada de níquel e cobalto é significativamente maior que a necessária para converter a argila do miné-

rio em uma substância que possa ser colocada em uma pilha, curada, e lixiviada por empilhamento. Geralmente, a zona de limonito de um corpo de minério de laterita necessita entre 200 e 400 kg de ácido sulfúrico por tonelada de minério, enquanto que para a zona de saprolita as necessidades são maiores de entre 400 e 800 kg de ácido sulfúrico por tonelada de minério. Em contraste, na prática da presente invenção, ácido na faixa de 20 a 100 kg de ácido sulfúrico por tonelada de minério é tudo que é necessário para produzir-se um pélete com as características físicas desejadas para suportar o manuseio e as cargas de empilhamento que são causadas no empilhamento do minério até uma altura de até 9,14 m (30 pés).

Acredita-se que pela introdução química de uma quantidade inicial de lixiviador (preferivelmente ácido sulfúrico concentrado) através da partícula durante o estágio de peletização e cura, a cinética da reação química no pélete é alterada. Surpreendentemente, foi descoberto que a cinética da lixiviação dos péletes individuais e de toda a pilha é acelerada, aparentemente porque há menos limitações de transferência de massa.

Os exemplos a seguir ilustram, mas não limitam, a presente invenção. A menos que indicado de forma diferente, todas as partes e porcentagens são em peso.

EXEMPLO 1

O teste de condutividade hidráulica a seguir demonstra como a peletização muda significativamente a permeabilidade da pilha a uma dada altura de pilha. O teste foi executado selando-se o fundo de um tubo cheio de minério até um nível base e deixando fluir água sob um fluxo constante até o fundo do espécimen e até o topo. Um cascalho de dreno bruto, de aproximadamente 9,5 mm, foi colocado no topo e no fundo do espécimen para distribuir uniformemente a água. Um material de filtro foi colocado entre o espécimen e o cascalho de dreno para evitar a intrusão do cascalho no espécimen. Água corrente foi usada como fluido de penetração. Foram tomadas medidas tais que o volume de água fluindo através do espécimen com o tempo pode ser calculado. A condutividade hidráulica foi calculada usando-se a Lei de Darcy. O teste foi executado sob uma condição sem carga e sob

simulações de carga para dadas alturas de pilha, por exemplo, 4, 8 e 12 metros.

5 Uma carga foi aplicada aos espécimens por meio de um soquete hidráulico calibrado colocado entre duas chapas de carga comprimindo a mola para manter a carga. O ajuste dos espécimens de teste foi monitorado com o tempo para se verificar quando o ajuste estava completo e o teste de condutividade poderia começar. Cargas equivalentes às alturas de pilha dadas foram calculadas usando-se uma unidade de peso de umidade presumida de 1,5 gramas por centímetro cúbico para o minério.

10 Os resultados de permeabilidade de um minério de laterita de níquel sem peletização estão mostrados na Figura 2 (Laterita de níquel – "no estado"). É visto que este minério tem permeabilidade muito baixa e, de fato, é tão pequena que não é capaz de lixiviação em pilha porque o tempo de lixiviação será inaceitavelmente longo sob tal fluxo de percolação baixo.

15 O teste hidráulico foi executado com um minério de cobre com alto teor de argila tendo a composição mostrada na Tabela 1.

Tamanho da partícula (micron)	% em Peso Passante	
	Minério de cobre com alto teor de argila	Minério de cobre ade- quado
149	5	3
297	7	6
595	10	10
1119	14	16
2380	19	28
4760	27	46
9510	37	75
16000	48	100
19000	52	
24500	58	
38100	72	
76100	100	

A Figura 1 mostra graficamente a distribuição de tamanho de partícula da saprolita, do limonito e dos minérios com alto teor de argila. Foi

visto que a permeabilidade do minério de cobre com alto teor de argila diminuiu à medida que a altura da pilha aumentou. Os resultados estão mostrados na Figura 2.

5 Um minério de cobre adequado tendo a composição mostrada na Tabela 1 tem um comportamento de permeabilidade diferente. Conforme mostrado na Figura 2, foi também visto que à medida que a altura da pilha simulada aumentou, a permeabilidade não diminuiu. Acreditou-se que este efeito é porque este minério tem poucos finos, não contém qualquer argila e era muito grosseiro.

10 Um minério de laterita de níquel peletizado conforme a presente invenção tem um comportamento de permeabilidade bastante diferente. Conforme mostrado na Figura 2 (Laterita de níquel – "INVENÇÃO"), a permeabilidade foi aumentada por um fator de pelo menos 10.000 se comparado com o minério de laterita que não foi peletizado. Adicionalmente, a permeabilidade permaneceu essencialmente constante, independente da altura de pilha dada. A alta permeabilidade pode tolerar o alto fluxo de percolação de forma que a cinética da lixiviação em pilha é significativamente acelerada.

15 Como comparação, as propriedades da lixiviação em pilha relacionadas por Agatzini referida acima, estão também mostradas na Figura 2 (anotada como "Minério Grego"). Acredita-se que este minério mostrou restrições de fluxo devido à formação de gesso à medida que o ácido sulfúrico combinou-se com o cálcio significativo presente. Além disso, o minério não foi peletizado utilizando-se a presente invenção.

20 Conforme mostrado na Figura 2, um minério de argila de laterita de níquel típico sem pré-tratamento de permeabilidade permitirá uma taxa de fluxo de irrigação de cerca de $0,01 \text{ l/hr/m}^2$ (nota: laterita de níquel – "No estado"). Tal taxa de percolação não tem significação prática, uma vez que uma pilha com um metro de altura necessitaria um tempo de lixiviação irreal. Por exemplo, para processar uma tonelada de minério de níquel em uma pilha de um metro quadrado contendo 2% de Ni necessitaria cerca de 5.000 litros de solução de lixiviação para extrair todo o níquel. Com uma taxa de fluxo de percolação de $0,01 \text{ l/hr/m}^2$, isto levaria $5.000 / 0,01$ ou 500.000 ho-

25

30

ras ou cerca de 57 anos de operação. Alternativamente, se o processo conforme a presente invenção fosse usado, uma taxa de fluxo de percolação, conforme mostrado na Figura 2, de 100 l/hr/m^2 poderia ser usada e o tempo necessário para extrair completamente o níquel poderia diminuir para 5.000 /
5 100 ou 50 horas.

EXEMPLO 2

O seguinte teste foi executado. Minério contendo níquel tendo um componente argila substancial foi reduzido com um britador de mandíbulas para fornecer um tamanho menor que 2,54 cm (uma polegada). O minério
10 reduzido foi aglomerado (peletizado) misturando-se ácido sulfúrico tendo uma concentração de 93-98% com o minério em um misturador rotativo para formar péletes estáveis. A concentração de aglomeração foi de 25 kg de ácido sulfúrico por tonelada de minério seco. Uma porção dos péletes foi formada em uma pilha tendo uma altura de 3,96 m (13 pés). Desde então o
15 ácido sulfúrico tendo uma concentração de 50 g/l foi aplicado ao topo da pilha a uma taxa de fluxo de 10 l/hr/m^2 . Foram tiradas amostras para determinar a quantidade de níquel extraída.

Uma outra porção dos péletes foi formada em uma pilha tendo uma altura de 3.35 m (11 pés). Posteriormente, ácido sulfúrico tendo uma
20 concentração de 50 g/l foi aplicado ao topo da pilha a uma taxa de fluxo de 40 l/hr/m^2 . Novamente, foram tomadas amostras para determinar a quantidade de níquel extraída. Foi observado que o tempo de lixiviação diminuiu por um fator de cerca de sete com o aumento na taxa de aplicação de ácido de um fator de 4. Os resultados estão ilustrados na Figura 3.

25 EXEMPLO 3

O teste do Exemplo 2 foi repetido exceto que um ácido com concentração de 100 g/l foi usado ao invés de 50 g/l. A taxa de extração de níquel aumentou se comparado com o Exemplo 2. Adicionalmente, o tempo de lixiviação decresceu por cerca de um fator de sete com o aumento na taxa
30 de aplicação de ácido. Os resultados estão ilustrados na Figura 4.

EXEMPLO 4

Um teste de comparação foi conduzido usando-se um minério

contendo cobre ao invés de um minério contendo níquel. O minério contendo cobre foi conformado em duas pilhas com uma tendo uma altura de 3,05 m (10 pés) e a outra tendo uma altura de 3,65 m (12 pés). Ácido sulfúrico tendo uma concentração de até 14 g/l foi aplicado ao topo de cada pilha a uma taxa de fluxo de aplicação de 10 l/hr/m² e a uma taxa de fluxo de 40 l/hr/m², respectivamente. A taxa de extração de cobre é mostrada na Figura 5. Foi visto que o aumento na taxa de aplicação de ácido apenas reduziu o tempo de lixiviação por um fator de no máximo dois. Acredita-se que a reação cinética para lixiviação do cobre é inicialmente controlada pela taxa da reação química. Em comparação, acredita-se que a reação cinética para a lixiviação do níquel é inicialmente controlada pela difusão e portanto pelo fluxo da solução ou pela taxa de percolação.

Os exemplos acima e as figuras associadas mostram que a peletização, como um pré-tratamento do minério, aumenta a permeabilidade da pilha bem como a cinética da lixiviação da pilha. Na lixiviação em pilha de laterita de níquel, a peletização permite o uso de um fluxo maior sobre aquela da tecnologia de empilhamento convencional. Conseqüentemente, foi observado um aumento na cinética da lixiviação.

EXEMPLO 5

Vários testes foram conduzidos para demonstrar a conveniência de operar a lixiviação em pilha em forma de contracorrente conforme mostrado na Figura 6. A lixiviação contracorrente consistiu de duas colunas n° 1 e n° 2. A coluna n° 1 foi inicialmente alimentada com uma solução contendo ácido sulfúrico apenas a uma acidez de 100 g/l. Uma vez que os primeiros 21% da solução de descarga da Coluna n° 1 (lixiviador) tinham o pH requerido (3 e maiores) para recuperação de metal, foi enviada para armazenagem da solução final, mas os 79% restantes do lixiviador eram ainda muito ácidos para a recuperação de metal e portanto foi alimentado para a Coluna n° 2 (chamada lixiviação principal). O lixiviador da lixiviação principal da Coluna n° 2 foi também enviado para a armazenagem da solução final, à medida que o excesso de ácido foi consumido. Após o término da lixiviação principal, a Coluna n° 2 foi alimentada com uma solução contendo ácido sulfúrico a-

penas a uma acidez de 100 g/l (chamada lixiviação secundária). A tabela a seguir resume os resultados deste grupo de testes. A tabela demonstra claramente os benefícios de uma operação contra corrente como se toda a solução final tem um pH maior que 3 e parte do ferro poderia ser removido da solução.

5

Coluna nº	Método de operação	Reciclado %	kg de H ₂ SO ₄ por t de minério	Tenor da solução – g/l		% Extração da lixiviação principal - %		% Extração total	
				Ni	Fe	Ni	Fe	Ni	Fe
1	Passe simples	0	458	3,2	9,8	-	-	65,6	37,4
2	Contra corrente	79	454	3,1	11,0	7,4	-4,3	66,1	27,7

De uma forma similar, duas colunas nº 3 e nº 4 foram alimentadas com uma solução contendo 100 g/l de H₂SO₄ e 27 g/l de NaCl para simular a lixiviação em pilha com água salgada. Uma vez que 11% do lixiviador da Coluna nº 3 tinha um pH maior que 3, apenas 89% do lixiviador coletado da Coluna nº 3 necessitou ser reciclado para a coluna nº 4. Após a lixiviação principal estar completa, a Coluna nº 4 foi alimentada com água salgada simulada. Resultados similares aos dados acima foram obtidos e estão apresentados na tabela a seguir.

10

Coluna nº	Método de operação	Reciclado %	kg de H ₂ SO ₄ por t de minério	Tenor da solução – g/l		% Extração da lixiviação principal		% Extração total	
				Ni	Fe	Ni	Fe	Ni	Fe
3	Passe simples	0	622	2,9	10,3	-	-	86,0	59,3
4	Contra corrente	89	499	2,9	8,9	30,4	1,1	86,1	52,2

REIVINDICAÇÕES

1. Método de operação de um processo de lixiviação em pilha para lixiviar níquel a partir de um minério contendo níquel, caracterizado pelo fato de que o minério níquel é um minério de laterita de níquel contendo pelo menos 10%, em peso, de um componente argila substancial, o processo compreendendo as etapas de:
- 5
- a. formar pelo menos uma pilha a partir de uma mistura do minério e ácido sulfúrico concentrado tendo uma concentração de pelo menos 50%, em que a mistura está na forma de partículas aglomeradas;
 - 10 b. aplicar uma solução de lixiviação de entre 0,1% até 20%, em peso, de ácido sulfúrico ao topo da pilha a uma primeira taxa de fluxo média pré-determinada de pelo menos 10 l/h/m² de maneira que é formado um líquido de lixiviação no fundo da pilha; e
 - c. direcionar a saída do líquido de lixiviação da etapa (b) para um recipiente de produto líquido para entrega direta a uma usina de processamento para extrair substancialmente os valores de níquel.
- 15
2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o minério tem um tamanho médio de partícula menor que 2,54 cm.
- 20
3. Método de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que a mistura de minério e ácido sulfúrico concentrado é formada por
- a. classificação do minério de laterita de forma que tenha um tamanho médio de partícula menor que 2,54 cm; e
 - 25 b. mistura do minério classificado com ácido sulfúrico concentrado para formar partículas aglomeradas tendo um tamanho médio de partícula na faixa de 3350 microns até 2,54cm.
4. Método de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de compreender ainda a etapa de curar as partículas aglomeradas.
- 30
5. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o ácido sulfúrico é aplicado ao topo da pilha a uma taxa de fluxo de pelo menos 20 l/hr/m².

6. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a solução de lixiviação consiste em água salgada fortalecida com ácido sulfúrico.

5 7. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que uma pluralidade de pilhas é formada de maneira que são definidas uma pilha principal e uma pilha secundária.

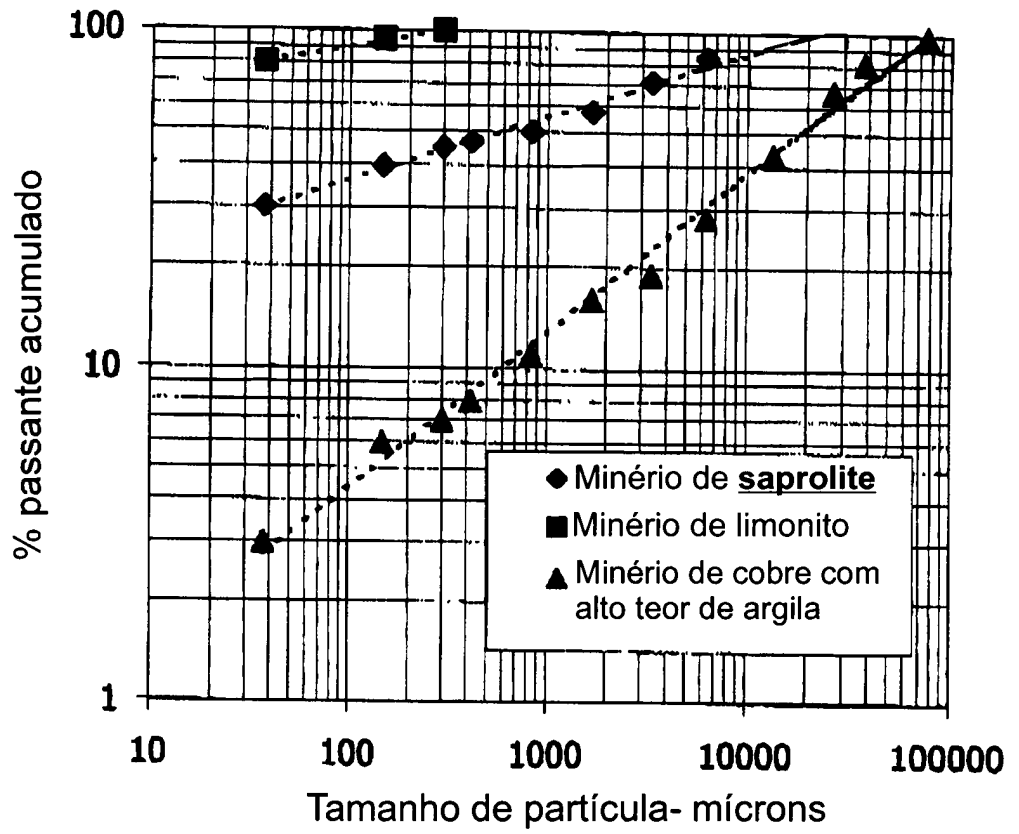
8. Método de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que uma das pilhas é usada como um reator de precipitação de ferro.

10 9. Método de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que pelo menos uma pilha inclui material de leito de rocha para o controle do pH final e para precipitação de ferro.

10. Método de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que o material de leito de rocha é tostado a uma temperatura entre 300°C e 800°C.

Fig. 1

Distribuição do tamanho de partícula



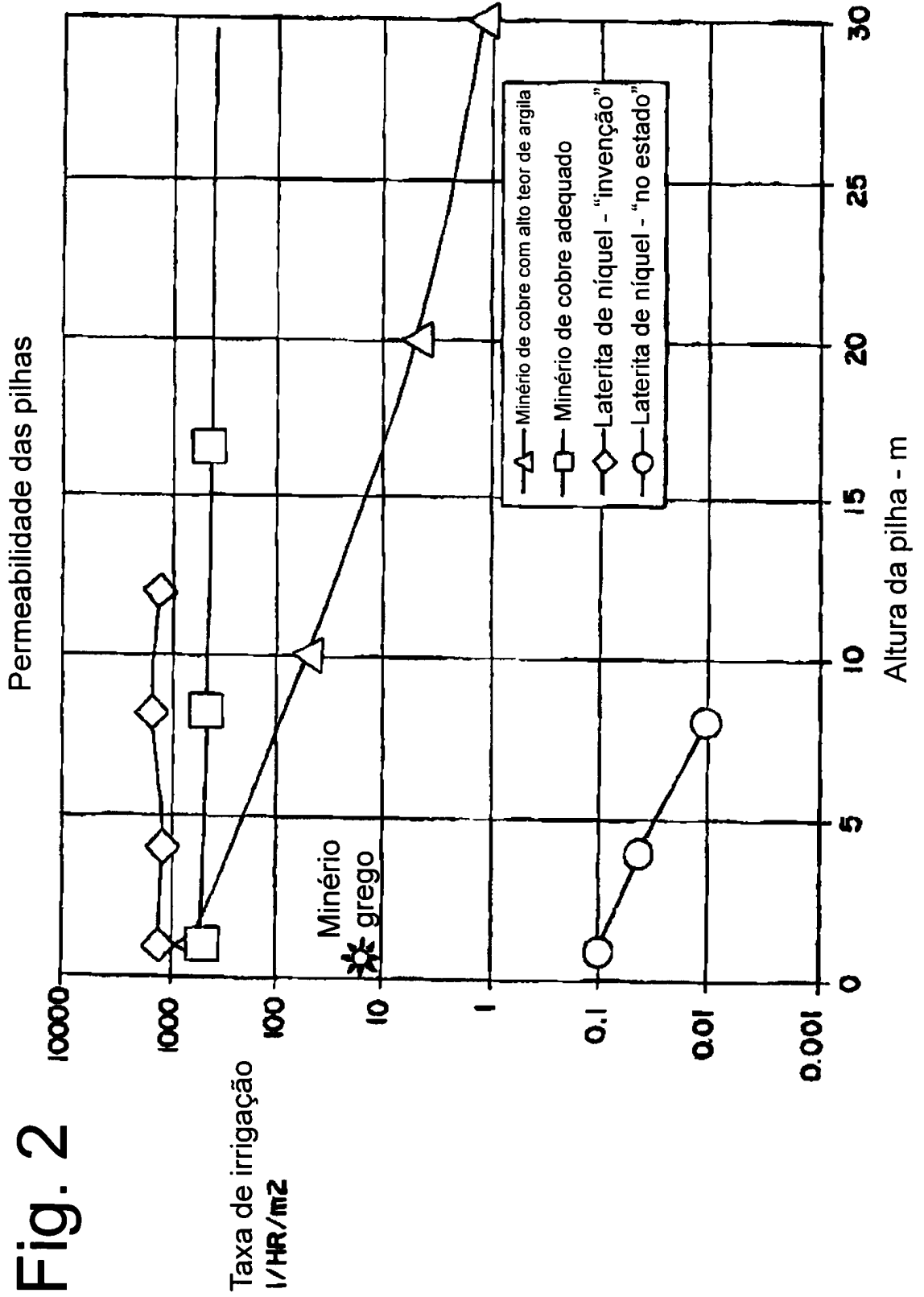


Fig. 3

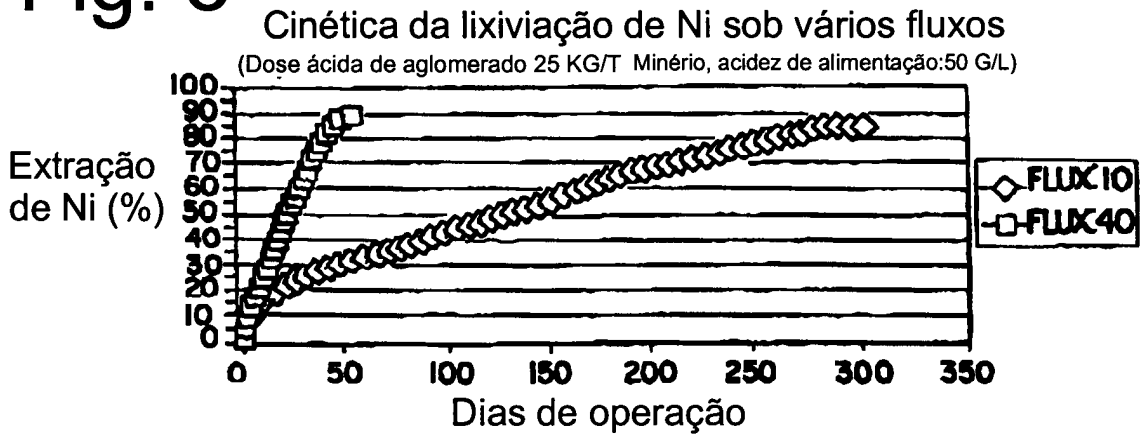


Fig. 4

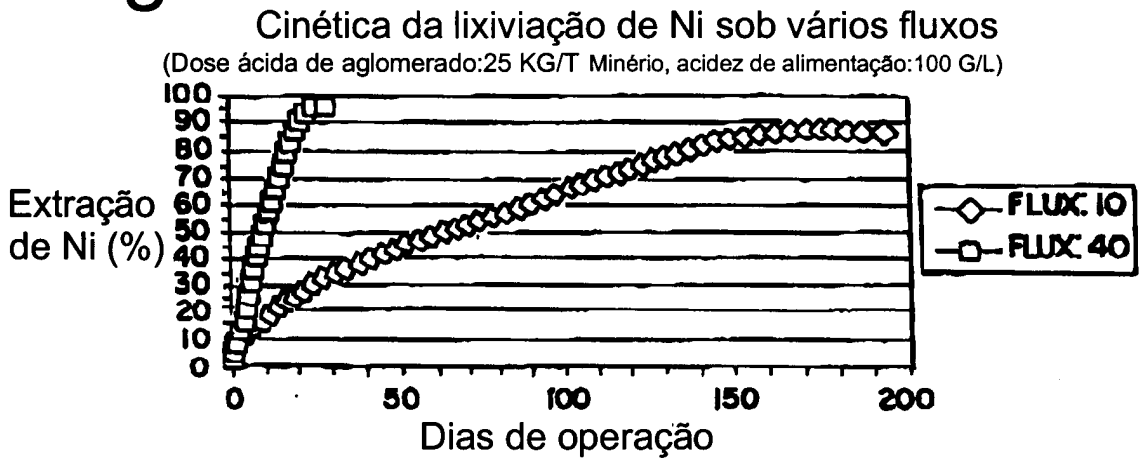


Fig. 5

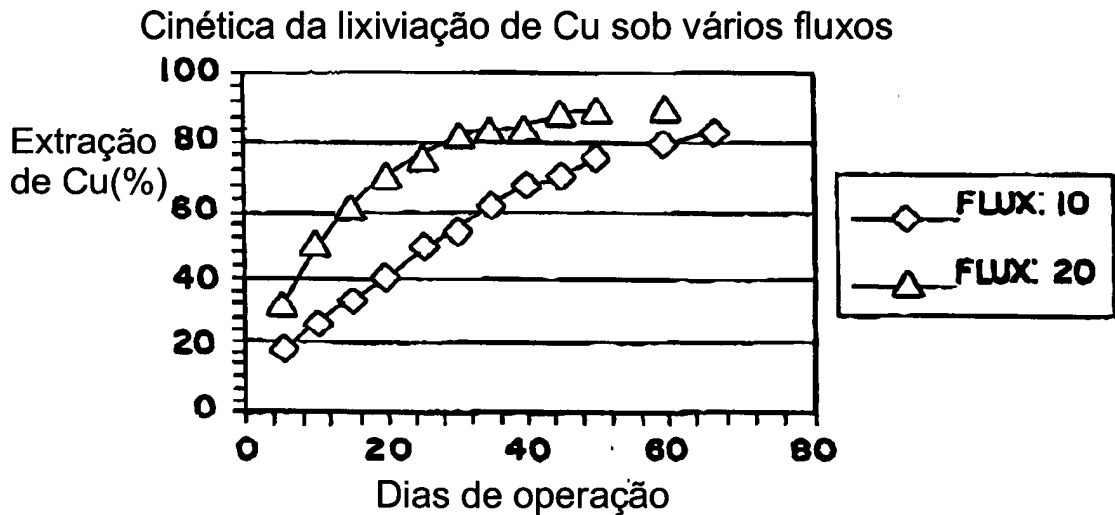
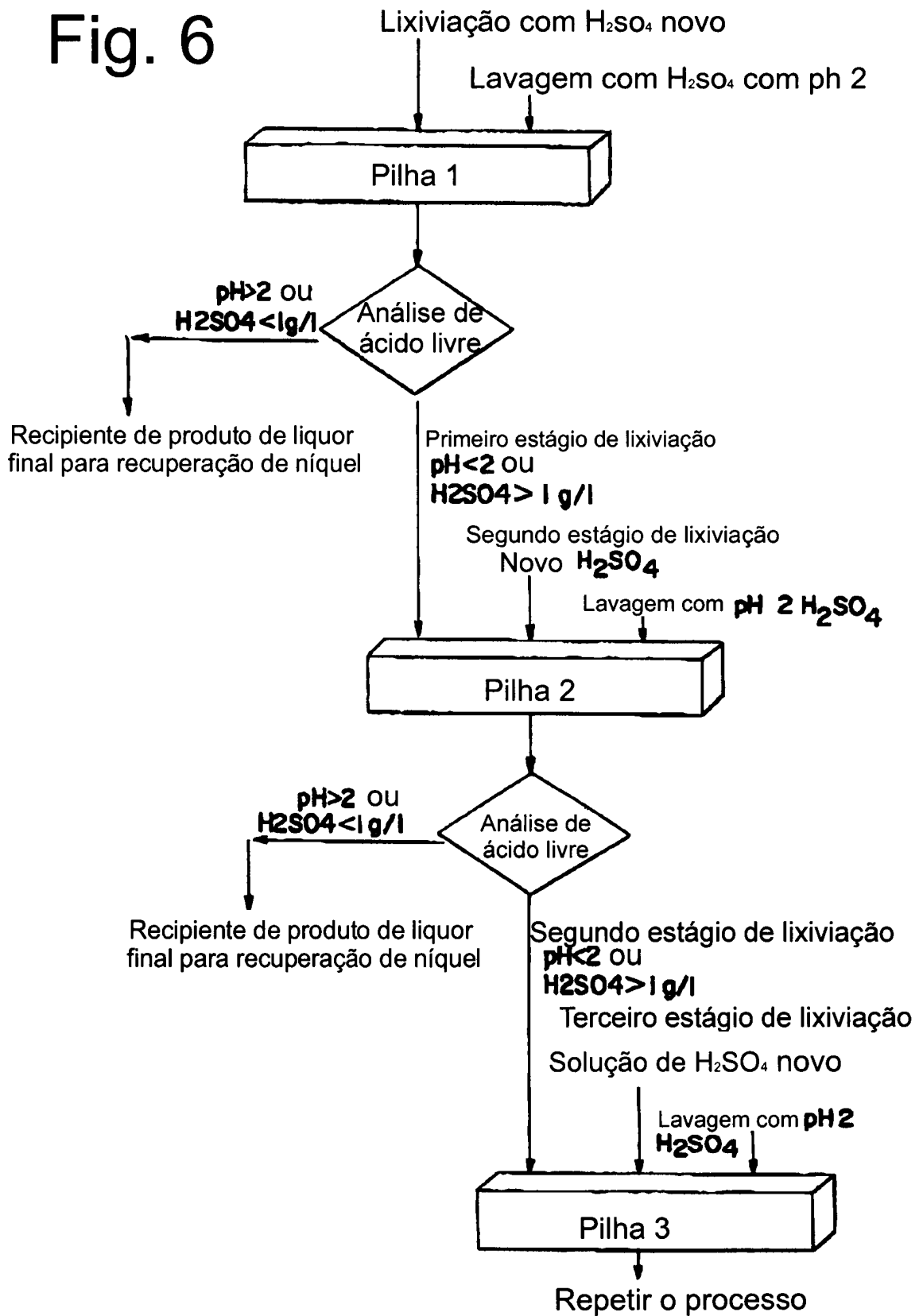


Fig. 6



RESUMO

Patente de Invenção: "**LIXIVIAÇÃO EM PILHA DE MINÉRIO CONTENDO NÍQUEL**".

5 É fornecido um processo para lixiviação em pilha de minério para recuperação de níquel. O processo é particularmente eficaz para minérios que têm um componente argila substancial (isto é, maior que 10% em peso). O processo inclui classificar-se o minério por tamanho (quando necessário), formar péletes contatando-se o minério com um lixiviador ácido sulfúrico concentrado e aglomerando-se as mesmas. Os péletes são conformados em
10 uma pilha e lixiviados com uma solução de ácido sulfúrico para extrair os valores de metal, incluindo o níquel. O lixiviado pode ser submetido a uma operação de recuperação de níquel sem a necessidade de neutralização intermediária.