



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

(21) **PI 0714269-2 A2**



(22) Data de Depósito: 23/08/2007  
(43) Data da Publicação: 16/04/2013  
(RPI 2206)

(51) *Int.Cl.*:  
C22B 3/08  
C22B 3/44  
C22B 23/00

(54) **Título:** MÉTODO HIDROMETALÚRGICO APERFEIÇOADO PARA A EXTRAÇÃO DE NÍQUEL DE MINÉRIOS DE LATERITAS

(30) **Prioridade Unionista:** 23/08/2006 AU 2006904565

(73) **Titular(es):** MURRIN MURRIN OPERATIONS PTY LTD

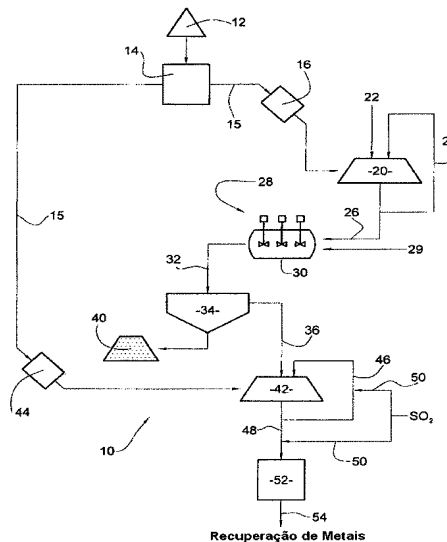
(72) **Inventor(es):** MICHAEL RODRIGUEZ

(74) **Procurador(es):** SÍMBOLO MARCAS E PATENTES LTDA

(86) **Pedido Internacional:** PCT AU2007001213 de 23/08/2007

(87) **Publicação Internacional:** WO 2008/022395de 28/02/2008

(57) **Resumo:** MÉTODO HIDROMETALÚRGICO APERFEIÇOADO (10) PARA A EXTRAÇÃO DE NÍQUEL DE MINÉRIOS DE LATERITAS. O método compreendendo as etapas de formação de pelo menos um amontoado primário (20) de material mineral de lateritas de níquel; lixiviação do amontoado primário (20) da primeira etapa com um agente de lixiviação (22) para produzir uma solução intermediária de lixívia (ILS) (24); recirculação da ILS (24) para o ou cada amontoado primário (20) com o que a concentração de níquel na solução se aproxima da saturação, ou de um estado estável, para formar uma solução saturada de lixívia (PLS) (26); passagem de pelo menos uma porção da PLS (26) a uma etapa de precipitação de ferro (28) na qual o ferro é precipitado como hematita sob elevada temperatura e pressão, liberando ácido; direcionamento da descarga da etapa de precipitação de ferro (32) a um estágio de separação de sólidos e líquidos (34) para a produção de resíduos (40) e uma PLS clarificada (36) contendo ácido; irrigação de pelo menos um amontoado secundário (42) do material mineral de lateritas de níquel com a PLS clarificada (36) para facilitar a lixiviação do ou de cada amontoado secundário e produzir uma ILS secundária (46); passagem de uma corrente de um gás redutor (50) por dentro da ILS secundária (46) para facilitar a redução do ferro férrico em ferro ferroso; recirculação da ILS (46) sobre o ou cada amontoado secundário (42) para produzir uma PLS secundária (48); e direcionamento da PLS (48) da oitava etapa a um circuito de recuperação de metais.



## "MÉTODO HIDROMETALÚRGICO APERFEIÇOADO PARA A EXTRAÇÃO DE NÍQUEL DE MINÉRIOS DE LATERITAS"

### Campo Técnico

A presente invenção se refere a um método hidrometalúrgico aperfeiçoado para a extração de níquel de minérios de lateritas. Mais especificamente, o método hidrometalúrgico da presente invenção pretende possibilitar um processamento mais eficiente de todos os componentes de um corpo de minério contendo níquel.

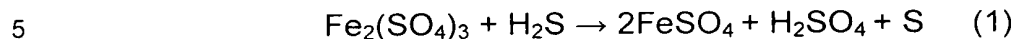
### Fundamentos da Invenção

Até a presente data, os métodos hidrometalúrgicos para o tratamento de lateritas de níquel na Austrália têm geralmente envolvido a utilização de elevada temperatura e pressão. Estes processos de lixiviação ácida sob alta pressão (HPAL) requerem equipamentos especializados resultando em investimentos substanciais de capital, adicionalmente aos requerimentos significativos de energia. Como resultado, estes métodos de lixiviação não são considerados adequados para o tratamento de minérios de níquel de baixo grau.

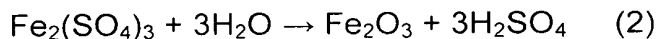
A Aplicação Internacional de Patente do requerente PCT/AU2006/001128 (WO2007/016737) apresenta um método hidrometalúrgico de baixo custo para o tratamento de minérios de baixo grau, envolvendo uma lixiviação volumosa da fração ordinária do minério. A lixiviação volumosa é conhecida por ser uma opção de lixiviação de baixo custo, apesar dela provocar um número de questões relacionadas ao processamento, particularmente à dissolução significativa de ferro em menores temperaturas e pressões. Como resultado, a solução saturada de lixívia produzida a partir de uma lixiviação volumosa contém uma quantidade significativa de ferro predominantemente na condição férrica (oxidado). A presença do ferro férrico é indesejável no circuito de recuperação e o mesmo deve ser removido através da sua pré-redução ou precipitação, geralmente como geotita, hematita ou jarosita. A precipitação é realizada com a elevação do pH da solução, com a adição de um neutralizante adequado. A pré-redução é realizada através da redução da forma férrica em ferrosa através da adição de um redutor, por exemplo, sulfeto de hidrogênio.

O sulfeto de hidrogênio, por sua vez, é um redutor

indesejável pois pode ser bastante caro, introduz problemas de manuseio, e a redução do formato férrico em ferroso com a utilização do sulfeto de hidrogênio (Equação 1 abaixo) também resulta na formação de enxofre elementar, que finalmente contribui para o escamamento.

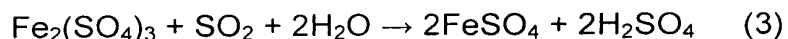


Além disso, esta reação também resulta na regeneração de ácido sulfúrico, que no passado tem sido geralmente neutralizado com a adição de calcrete ou pedra calcária. A Aplicação Internacional de Patente do requerente PCT/AU2007/000210 apresenta um processo capaz de contornar  
10 substancialmente estes problemas, com a precipitação do ferro de uma solução de lixívia atmosférica como hematita utilizando uma autoclave. A reação química para a precipitação do ferro como hematita em uma autoclave é dada pela Equação 2.



15 A aplicação PCT/AU2007/000210 também examinou a possibilidade da utilização do ácido regenerado, através do direcionamento do transbordamento de um circuito de decantação de contra corrente (CCD) para um circuito de lixiviação, antes do envio de uma solução final de lixívia clarificada ao circuito de recuperação de metais. Entretanto, a proporção do ácido regenerado  
20 para o ferro reduzido é de aproximadamente 3 para 1, respectivamente, o que ainda assim representa uma quantidade substancial de ácido que eventualmente necessita ser neutralizado antes do circuito de recuperação de metais.

A Aplicação Internacional de Patente do requerente PCT/AU2007/000087 (WO/2007/087675) apresenta um método para a utilização  
25 de dióxido de enxofre como redutor do ferro férrico. Isto resulta na formação de sulfato ferroso e ácido sulfúrico como mostrado na Equação 3.



No entanto, a proporção do ácido produzido para a quantidade de ferro férrico consumido é menor do que a reação da hematita da  
30 Aplicação PCT/AU2007/000210, resultando em menor quantidade de ácido na solução final de lixívia. Isto, por sua vez, requer menor quantidade do agente de neutralização a ser adicionado antes do circuito de recuperação de metais.

Um objeto da presente invenção é o de proporcionar um processo integrado envolvendo pelo menos dois estágios de lixiviação volumosa, e pelo menos uma etapa de precipitação de ferro na qual o ácido gerado na precipitação do ferro é utilizado, e o requerimento de um agente de neutralização é reduzido. As desvantagens associadas com a regeneração do ácido nas fases de remoção do ferro, a manipulação de resíduos e a necessidade de agentes de neutralização no tratamento de minérios contendo níquel, são propostos para serem significativamente reduzidos. Outro objeto da presente invenção é o de providenciar um processo incorporando pelo menos um único estágio de lixiviação volumosa e uma etapa de precipitação de ferro, na qual uma ILS é recirculada através da lixívia volumosa, e as etapas de precipitação do ferro proporcionando uma descarga PLS contendo ácido.

A discussão precedente dos fundamentos da invenção pretende facilitar a compreensão da presente invenção apenas. Deve ser entendido que a discussão não é um reconhecimento ou admissão de que qualquer material que foi referenciado fez parte do conhecimento geral e comum na Austrália até a data prioritária da aplicação.

Através desta especificação, a não ser que o contexto o requeira de modo diferente, a palavra "compreende" ou variações tais como "compreender" ou "compreendendo", devem ser entendidas como implicando a inclusão de um dado inteiro ou grupo de inteiros mas não a exclusão de qualquer outro inteiro ou grupo de inteiros.

Através da especificação, os termos "minério" ou "material mineral" devem ser entendidos como se referindo a qualquer material mineral, material rejeitado de minérios, concentrados, restos de rochas e granulados de moinhos.

Os conteúdos das Aplicações Internacionais de Patentes anteriores do requerente PCT/AU2006/01128, PCT/AU2007/000210 e PCT/AU2007/000087 são aqui incorporados como referência.

30

#### Descrição da Invenção

De acordo com a presente invenção está providenciado um método hidrometalúrgico aperfeiçoado para a extração de níquel de minérios

de lateritas, o método caracterizado pelas etapas de:

- i) Formação de pelo menos um amontoado primário de material mineral de lateritas de níquel;
- 5 ii) Lixiviação do amontoado primário da etapa i) com um agente de lixiviação para produzir uma solução intermediária de lixívia (ILS);
- 10 iii) Recirculação da ILS da etapa ii) para o ou cada amontoado primário com o que a concentração de níquel na solução se aproxima da saturação, ou de um estado estável, para formar uma solução saturada de lixívia (PLS);
- iv) Passagem de pelo menos uma porção da PLS produzida na etapa iii) a uma etapa de precipitação de ferro na qual o ferro é precipitado como hematita sob elevada temperatura e pressão, liberando ácido;
- 15 v) Direcionamento da descarga da etapa de precipitação de ferro iv) a um estágio de separação de sólidos e líquidos para a produção de resíduos e uma PLS clarificada contendo ácido;
- 20 vi) Irrigação de pelo menos um amontoado secundário de material mineral de lateritas de níquel com a PLS clarificada da etapa v) para facilitar a lixiviação do ou de cada amontoado secundário e produzir uma ILS secundária;
- vii) Passagem de uma corrente de um gás redutor por dentro da ILS secundária da etapa vi) para facilitar a redução do ferro férrico em ferro ferroso;
- viii) Recirculação da ILS das etapas vi) e vii) sobre o  
25 ou cada amontoado secundário da etapa vi) para produzir uma PLS secundária; e
- ix) Direcionamento da PLS da etapa viii) a um circuito de recuperação de metais.

30 Preferencialmente, pelo menos uma porção do material mineral da etapa i) é moído e aglomerado antes de formar o ou cada um dos amontoados.

Preferencialmente, o ácido sulfúrico adicionado durante a aglomeração apresenta a forma de uma solução de ácido sulfúrico ou de ácido

sulfúrico concentrado.

A solução de ácido sulfúrico apresenta preferencialmente uma concentração aproximada de ácido de 15 a 150 g/L.

5 A solução de ácido sulfúrico pode ser providenciada na forma de uma solução CCD.

Preferencialmente, a adição total de ácido durante a aglomeração se situa dentro da faixa de 0 a 150 kg/t.

Mais preferencialmente, a adição total de ácido durante a aglomeração é de aproximadamente 50 kg/t.

10 Preferencialmente, o agente de lixiviação compreende ácido sulfúrico, e/ou uma solução recirculada de lixívia.

A concentração de ácido sulfúrico no agente de lixiviação se situa preferencialmente dentro da faixa de 15 a 150 g/L, e dentro da faixa aproximada de 10 a 50 g/L na solução recirculada de lixívia.

15 Mais preferencialmente, a concentração do ácido sulfúrico é de aproximadamente 45 g/L, e a solução recirculada de lixívia apresenta uma concentração de ácido em torno de 27 g/L.

A razão de irrigação do agente de lixiviação se situa preferencialmente dentro da faixa de 1 a 60 L/m<sup>2</sup>/hr.

20 Mais preferencialmente, a razão de irrigação se situa em torno de 15 L/m<sup>2</sup>/hr.

Uma amostra da ILS da etapa ii) e iii) é preferencialmente retirada para manter a solubilidade da solução e/ou o balanceamento da água.

25 A concentração de ácido sulfúrico, níquel e ferro na PLS da etapa iii) se situa preferencialmente dentro da faixa aproximada de 15 a 150 g/L, 4 a 8 g/L e 15 a 50 g/L, respectivamente. Mais preferencialmente, a concentração de ferro na PLS da etapa iii) se situa dentro da faixa aproximada de 30 a 50 g/L.

30 A precipitação de ferro na etapa iv) é preferencialmente facilitada através da utilização de uma autoclave para a precipitação do ferro como hematita.

A hematita é preferencialmente precipitada dentro de uma

faixa de 100 a 260 °C, e de uma pressão situada dentro da faixa de 100 e 4.500 kPa.

Mais preferencialmente, a temperatura da solução da precipitação de ferro da etapa iv) é mantida dentro da faixa de 120 a 260 °C, por exemplo 240 °C, e a pressão é mantida dentro da faixa de 200 a 4.500 kPa, por exemplo 4.500 kPa.

Preferencialmente, o material mineral é adicionado na etapa iv) de precipitação de ferro para facilitar a redução do ácido na descarga da autoclave, para evitar substancialmente a re-dissolução do ferro.

Mais preferencialmente, o material mineral é adicionado na etapa iv) de precipitação de ferro, de tal forma que o total de sólidos se situe aproximadamente entre 5% e 25% w/w. Mais preferencialmente, o total de sólidos é de aproximadamente 10% w/w.

A concentração do ácido na descarga da etapa iv) de precipitação de ferro se situa preferencialmente dentro da faixa de 10 a 90 g/L. Mais preferencialmente, a concentração do ácido na descarga da etapa iv) de precipitação de ferro não excede 75 g/L.

A ILS secundária da etapa vi) é preferencialmente recirculada continuamente através do amontoado da etapa vi).

Preferencialmente, a corrente de gás redutor da etapa vii) também é contactada com a solução PLS da etapa viii).

A concentração de ácido sulfúrico, níquel e ferro na PLS da etapa viii) se situa preferencialmente dentro da faixa de 15 a 150 g/L, 4 a 8 g/L e 10 a 50 g/L, respectivamente.

Preferencialmente, a corrente de gás redutor da etapa vii) compreende dióxido de enxofre.

Mais preferencialmente, a corrente de gás redutor da etapa vii) compreende uma mistura de dióxido de enxofre e oxigênio.

Ainda mais preferencialmente, a corrente de gás redutor da etapa vii) compreende uma mistura de dióxido de enxofre, oxigênio e nitrogênio.

Preferencialmente, a corrente de gás redutor é utilizada

na presença de carvão ativado. Onde o carvão ativado é adicionado, ele é preferencialmente adicionado dentro da faixa aproximada de 5 a 500 g/L. O carvão ativado pode ser adicionado na forma de qualquer um ou mais de grânulos, bolinhas ou pó.

5 Em uma modalidade preferida de execução da presente invenção, a PLS da etapa ix) é neutralizada com um agente neutralizador antes de ser direcionada para o circuito de recuperação de metais.

O agente neutralizador compreende preferencialmente qualquer um ou mais de pedra calcária, cal e calcrete.

10 A concentração de ácido na PLS direcionada ao circuito de recuperação de metais se situa preferencialmente dentro da faixa aproximada de 0 a 5 g/L.

Preferencialmente, a concentração de níquel na PLS da etapa ix) se situa dentro da faixa de 4 a 8 g/L.

15 De acordo com a presente invenção é adicionalmente providenciado um método hidrometalúrgico aperfeiçoado para a extração de níquel de minérios de lateritas, o método sendo caracterizado pelas etapas de:

i) Formação de pelo menos um amontoado primário de material mineral de lateritas de níquel;

20 ii) Lixiviação do ou de cada amontoado primário da etapa i) com o agente de lixiviação para a produção de uma solução intermediária de lixívia (ILS);

25 iii) Recirculação da ILS da etapa ii) para o ou cada amontoado primário pelo menos uma vez, com o que a concentração de níquel na solução se aproxima da saturação, ou de um estado estável, para formar uma solução saturada de lixívia (PLS);

30 iv) Passagem de pelo menos uma porção da PLS produzida na etapa iii) a uma etapa de precipitação de ferro na qual o ferro é precipitado como hematita sob elevada temperatura e pressão, com isto liberando ácido; e

v) Direcionamento da descarga da etapa de precipitação de ferro iv) a um estágio de separação de sólidos e líquidos para a

produção de resíduos e uma PLS clarificada contendo ácido.

#### Breve Descrição dos Desenhos

A presente invenção será agora descrita, através de um exemplo apenas, com referência a uma modalidade preferida de execução da mesma e dos desenhos acompanhantes, nos quais:

A Figura 1 é uma representação esquemática de uma folha de fluxograma ilustrando um método hidrometalúrgico para a extração de níquel de minérios de lateritas de acordo com a presente invenção.

#### Melhore(s) Modo(s) de Execução da Invenção

Na Figura 1 está ilustrado um método hidrometalúrgico aperfeiçoado 10 para a extração de níquel de materiais minerais de lateritas. Em termos gerais, o método 10 utiliza o ácido produzido por um circuito de precipitação de hematita sob alta temperatura e pressão para a lixiviação de um amontoado secundário, que utiliza adicionalmente um circuito de redução  $\text{SO}_2$  para facilitar a remoção do ferro férrico em preparação para a recuperação do metal.

Um material mineral de lateritas 12 é passado por uma etapa de esmagamento 14 e procede como minério esmagado 15 através de um circuito de aglomeração 16, no qual a aglomeração é obtida com ácido sulfúrico ou uma solução produzida por um circuito de decantação de contra corrente ("CCD"), a adição total de ácido durante a aglomeração se situando dentro da faixa aproximada de 0 a 150 kg de ácido por tonelada, e mais preferencialmente de aproximadamente 50 kg por tonelada. O material mineral aglomerado 18 é empilhado para formar pelo menos um amontoado primário 20.

Um agente de lixiviação 22 é percolado através do amontoado 20, para produzir uma solução primária e intermediária de lixivia ("ILS") 24, que sai pela base do amontoado 20. O agente de lixiviação 22 contém pelo menos ácido sulfúrico e água, de tal forma que a concentração do ácido se situe dentro da faixa aproximada de 15 a 150 g/L, por exemplo, de aproximadamente 45 g/L. O agente de lixiviação é irrigado através do amontoado a uma taxa que se situa dentro da faixa de 1 a 60 L/m<sup>2</sup>/hr, por exemplo, de 15 L/m<sup>2</sup>/hr.

A ILS 24 é recirculada continuamente através do amontoado 20 até que a concentração de níquel na solução se aproxime da saturação ou estado estável, com isto produzindo uma solução de lixívia saturada ("PLS") 26. A solução de lixívia intermediária recirculada 24 apresenta uma  
5 concentração ácida que se situa dentro da faixa aproximada de 10 a 50 g/L de ácido, por exemplo, de aproximadamente 27 g/L. A taxa de percolação se situa geralmente dentro da faixa aproximada de 1 a 60 L/m<sup>2</sup>/hr, por exemplo, de aproximadamente 15 L/m<sup>2</sup>/hr. Tipicamente, a concentração do ácido, níquel e ferro na PLS 26 se situa dentro da faixa aproximada de 15 a 150 g/L, 4 a 8 g/L e  
10 15 a 50 g/L, respectivamente. No modo ideal, a concentração do ácido na PLS 26 se situa em aproximadamente 15 g/L e o ferro dentro da faixa aproximada de 30 a 50 g/L.

Uma porção da PLS 26 é retirada para manter a solubilidade da solução e/ou o balanceamento da água. Esta porção da PLS 26 é  
15 então passada a uma etapa de precipitação de ferro 28, compreendendo pelo menos uma autoclave 30. Material mineral adicional 29 é adicionado diretamente na autoclave 30, de tal forma que o total de sólidos na autoclave 30 se situe em aproximadamente 5 a 25% w/w, por exemplo, 10% w/w. Considera-se que o material mineral 29 possa compreender materiais minerais da etapa de  
20 esmagamento 14. A autoclave 30 opera em elevada temperatura e pressão para facilitar a precipitação do ferro na forma de hematita. A autoclave opera em uma temperatura aproximada entre 100 e 260 °C, ou 120 e 260 °C, por exemplo, de aproximadamente 240 °C. A pressão na autoclave é mantida entre aproximadamente 100 e 4.500 kPa, ou 200 e 4.500 kPa, por exemplo, de 4.500  
25 kPa.

Uma descarga 32 da etapa de precipitação de ferro 28 apresenta uma concentração ácida que se situa dentro da faixa aproximada de 10 a 90 g/L, por exemplo, de 75 g/L. A descarga 32 é direcionada a um estágio de separação de sólidos e líquidos, por exemplo, a um circuito CCD 34.

30 Uma solução CCD de transbordamento 36 é uma PLS clarificada. Um CCD de subtransbordamento 38 é um resíduo e é enviado a estágios finais 40.

A seqüência CCD de transbordamento 36 é então utilizada como agente de lixiviação, irrigado através de pelo menos um amontoado secundário 42 formado pelo material mineral 15, para efetuar a lixiviação do níquel a partir deste material mineral adicional. O material mineral 15, 5 direcionado para formar o amontoado secundário 42, é novamente aglomerado em uma etapa de aglomeração 44 substancialmente similar à etapa de aglomeração 16. Uma ILS 46 secundária é recirculada continuamente através do amontoado 42 para produzir uma PLS 48 secundária contendo ácido sulfúrico, níquel e ferro dentro da faixa aproximada de 15 a 150 g/L, 4 a 8 g/L e 10 a 50 g/L, 10 respectivamente.

Uma corrente de gás redutor 50 é passada através da ILS 46 secundária à medida que ela é recirculada, de maneira a reduzir o ferro férrico em ferro ferroso. A PLS 48 também é sujeitada à corrente de gás redutor 50. A corrente de gás redutor 50 contém, por exemplo, dióxido de enxofre. 15 Alternativamente, ela pode conter dióxido de enxofre e oxigênio, ou dióxido de enxofre, oxigênio e nitrogênio. A corrente de gás redutor 50 também pode ser introduzida na ILS 46 secundária e na PLS 48 na presença de carvão ativado granular agindo como catalisador. O carvão ativado, se adicionado, é adicionado dentro da faixa aproximada de 5 a 500 g/L. Considera-se que outras formas de 20 carvão ativado, tais como bolinhas e pó também possam ser utilizados.

Acredita-se que a adição de um gás redutor à ILS 46 secundária e à PLS 48 auxilie na quebra do sulfato férrico em sulfato ferroso. Com relação à utilização do carvão ativado, acredita-se que a cinética das reações de conversão do sulfato férrico em sulfato ferroso sejam com isto 25 melhoradas. Isto, por sua vez, acredita-se ser o resultado da melhor utilização do gás redutor através da ação catalítica do carvão ativado.

Ácido é gerado através da redução do ferro férrico em ferro ferroso na ILS 46 e PLS 48, da maneira receitada na Equação 3 aqui e acima mencionada. Uma proporção substancial de qualquer ácido permanecendo 30 na PLS 48 secundária é neutralizada por qualquer um ou mais de calcrete, pedra calcária ou cal em uma etapa de neutralização 52, de tal forma que a concentração ácida final na PLS secundária clarificada se situe dentro da faixa de

0 a 5 g/L. Uma PLS 54 final e neutralizada da etapa de neutralização 52 é passada diretamente ou indiretamente a um circuito de recuperação de metais no qual metais valiosos, incluindo níquel, são recuperados através de qualquer um ou mais dos métodos disponíveis.

5 Como pode ser observado na descrição acima, o método hidrometalúrgico aperfeiçoado da presente invenção permite a utilização do ácido gerado na precipitação do ferro em hematita, com isto praticamente dobrando a quantidade de minério que pode ser tratado em comparação com os processos das artes anteriores. Adicionalmente, os resíduos produzidos pelos circuitos CCD  
10 podem ser reduzidos em aproximadamente 50 a 75% quando comparado com os processos das artes anteriores. Ainda adicionalmente, a quantidade do agente de neutralização necessária para tratar a PLS antes de passar a mesma para a recuperação de metais pode ser significativamente reduzida em comparação com os processos das artes anteriores.

15 Enquanto que a descrição acima se refere primariamente à recuperação de níquel de minérios de lateritas, deve ser entendido que metais valiosos adicionais podem ser possivelmente extraídos e disponíveis para recuperação utilizando técnicas conhecidas de recuperação de metais. Um tipo adicional de metal base, freqüentemente associado com níquel laterítico, é o  
20 cobalto.

Considera-se que os amontoados primários e secundários aqui e acima descritos possam ser constituídos por dois ou mais amontoados operando da maneira descrita. Este fato deve ser entendido para atender uma circunstância na qual, por exemplo, o amontoado primário é constituído por uma  
25 série de dois amontoados funcionalmente distintos, entre os quais uma ILS é passada. Adicionalmente, deve ser entendida também a inclusão de uma condição na qual múltiplos amontoados operam em paralelo. Também deve ser adicionalmente entendido, que cada amontoado pode compreender uma porção de um amontoado maior que é operacionalmente distinto de outras porções deste  
30 amontoado maior.

Considera-se adicionalmente que o material mineral 12 pode ser separado em uma fração fina e uma fração grossa. A fração fina sendo

processada utilizando um circuito de lixívia ácida (HPAL) de alta pressão operando paralelamente ao amontoado de lixívia primária do material mineral grosso. Em uma circunstância deste tipo, deve ser entendido que a descarga da autoclave HPAL pode ser imediatamente passada a um circuito CCD e o  
5 transbordamento utilizado para a lixiviação de um amontoado secundário, ou ele pode ser combinado com a descarga 32 da autoclave da hematita antes de proceder ao circuito CCD 34.

Modificações e variações que possam ser aparentes para experimentados no assunto são consideradas como fazendo parte do escopo da  
10 presente invenção.

## REIVINDICAÇÕES

**1. MÉTODO HIDROMETALÚRGICO APERFEIÇOADO PARA A EXTRAÇÃO DE NÍQUEL DE MINÉRIOS DE LATERITAS, caracterizado pelo fato de compreender as etapas de:**

5 i) Formação de pelo menos um amontoado primário de material mineral de lateritas de níquel;

ii) Lixiviação do amontoado primário da etapa i) com um agente de lixiviação para produzir uma solução intermediária de lixívia (ILS);

10 iii) Recirculação da ILS da etapa ii) para o ou cada amontoado primário com o que a concentração de níquel na solução se aproxima da saturação, ou de um estado estável, para formar uma solução saturada de lixívia (PLS);

15 iv) Passagem de pelo menos uma porção da PLS produzida na etapa iii) a uma etapa de precipitação de ferro na qual o ferro é precipitado como hematita sob elevada temperatura e pressão, liberando ácido;

v) Direcionamento da descarga da etapa de precipitação de ferro iv) a um estágio de separação de sólidos e líquidos para a produção de resíduos e uma PLS clarificada contendo ácido;

20 vi) Irrigação de pelo menos um amontoado secundário de material mineral de lateritas de níquel com a PLS clarificada da etapa v) para facilitar a lixiviação do ou de cada amontoado secundário e produzir uma ILS secundária;

25 vii) Passagem de uma corrente de um gás redutor por dentro da ILS secundária da etapa vi) para facilitar a redução do ferro férrico em ferro ferroso;

viii) Recirculação da ILS das etapas vi) e vii) sobre o ou cada amontoado secundário da etapa vi) para produzir uma PLS secundária; e

30 ix) Direcionamento da PLS da etapa viii) a um circuito de recuperação de metais.

**2. MÉTODO** de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que pelo menos uma porção do material mineral da etapa i) é esmagada e aglomerada antes de formar o ou cada um dos amontoados.

3. **MÉTODO** de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que a aglomeração do material mineral é obtida com a utilização de ácido sulfúrico concentrado.

5 4. **MÉTODO** de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que a aglomeração do material mineral é obtida com a utilização de uma solução de ácido sulfúrico.

5. **MÉTODO** de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que a solução de ácido sulfúrico apresenta uma concentração ácida aproximada de 15 a 150 g/L.

10 6. **MÉTODO** de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que a solução de ácido sulfúrico é providenciada na forma de uma solução de decantação de contra corrente (CCD).

7. **MÉTODO** de acordo com qualquer uma das reivindicações 2 a 6, caracterizado pelo fato de que a adição total de ácido durante a aglomeração se situa dentro de uma faixa aproximada de 0 a 150 kg/t.

8. **MÉTODO** de acordo com qualquer uma das reivindicações 2 a 7, caracterizado pelo fato de que a adição total de ácido durante a aglomeração é de aproximadamente 50 kg/t.

20 9. **MÉTODO** de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que o agente de lixiviação compreende ácido sulfúrico.

10. **MÉTODO** de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que a concentração do ácido sulfúrico no agente de lixiviação se situa dentro de uma faixa aproximada de 15 a 150 g/L.

25 11. **MÉTODO** de acordo com as reivindicações 9 ou 10, caracterizado pelo fato de que a concentração do ácido sulfúrico no agente de lixiviação é de aproximadamente 45 g/L.

30 12. **MÉTODO** de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo fato de que o agente de lixiviação compreende uma solução de lixívia recirculada.

13. **MÉTODO** de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que a concentração do ácido sulfúrico na solução de lixívia recirculada se situa dentro de uma faixa aproximada de 10 a 50 g/L.

14. **MÉTODO** de acordo com as reivindicações 11 ou 12,

caracterizado pelo fato de que a concentração do ácido sulfúrico na solução de lixívia recirculada apresenta uma concentração ácida aproximada de 27 g/L.

5 **15. MÉTODO** de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que a razão de irrigação do agente de lixiviação se situa dentro de uma faixa aproximada de 1 a 60 L/m<sup>2</sup>/hr.

**16. MÉTODO** de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que a razão de irrigação do agente de lixiviação é de aproximadamente 15 L/m<sup>2</sup>/hr.

10 **17. MÉTODO** de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que uma amostra da ILS das etapas ii) e iii) é retirada para manter a solubilidade da solução e/ou o balanceamento da água.

15 **18. MÉTODO** de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que a concentração do ácido sulfúrico, níquel e ferro na PLS da etapa iii) se situa dentro de uma faixa aproximada de 15 a 150 g/L, 4 a 8 g/L e 15 a 50 g/L, respectivamente.

20 **19. MÉTODO** de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que a concentração do ferro na PLS da etapa iii) se situa dentro de uma faixa aproximada de 30 a 50 g/L.

**20. MÉTODO** de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que a precipitação do ferro na etapa iv) é facilitada com a utilização de uma autoclave para precipitar o ferro na forma de hematita.

25 **21. MÉTODO** de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que a hematita é precipitada a uma temperatura que se situa dentro de uma faixa aproximada de 100 a 260 °C, e uma pressão que se situa dentro de uma faixa aproximada de 100 a 4.500 kPa.

30 **22. MÉTODO** de acordo com as reivindicações 20 ou 21, caracterizado pelo fato de que a hematita é precipitada a uma temperatura aproximada de 240 °C, e a uma pressão aproximada de 4.500 kPa.

**23. MÉTODO** de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que o material mineral é

adicionado na autoclave.

24. **MÉTODO** de acordo com a reivindicação 23, caracterizado pelo fato de que a quantidade de material mineral adicionado na autoclave é tal que o total de sólidos se encontra dentro da faixa aproximada de 5 a 25% w/w.

25. **MÉTODO** de acordo com as reivindicações 23 ou 24, caracterizado pelo fato de que a quantidade de material mineral adicionado na autoclave é tal que o total de sólidos seja de aproximadamente 10% w/w.

26. **MÉTODO** de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que a concentração do ácido na descarga da etapa iv) de precipitação de ferro se situa preferencialmente dentro da faixa de 10 a 90 g/L.

27. **MÉTODO** de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que a ILS da etapa vi) é preferencialmente recirculada continuamente através do amontoado da etapa vi).

28. **MÉTODO** de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que a corrente de gás redutor da etapa vii) é também contatada com a solução PLS da etapa viii).

29. **MÉTODO** de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que a concentração do ácido sulfúrico, níquel e ferro na PLS da etapa viii) se situa preferencialmente dentro de uma faixa aproximada de 15 a 150 g/L, 4 a 8 g/L e 10 a 50 g/L, respectivamente.

30. **MÉTODO** de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que a corrente de gás redutor da etapa vii) compreende dióxido de enxofre.

31. **MÉTODO** de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 29, caracterizado pelo fato de que a corrente de gás redutor da etapa vii) compreende uma mistura de dióxido de enxofre e oxigênio.

32. **MÉTODO** de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 29, caracterizado pelo fato de que a corrente de gás redutor da etapa vii) compreende uma mistura de dióxido de enxofre, oxigênio e nitrogênio.

33. **MÉTODO** de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que a corrente de gás

reductor é utilizada na presença de carvão ativado.

**34. MÉTODO** de acordo com a reivindicação 33, caracterizado pelo fato de que a quantidade de carvão ativado adicionado se situa dentro da faixa aproximada de 5 a 500 g/L.

5 **35. MÉTODO** de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que a PLS da etapa ix) é neutralizada com um agente de neutralização antes de ser direcionada ao circuito de recuperação de metais.

10 **36. MÉTODO** de acordo com a reivindicação 35, caracterizado pelo fato de que o agente de neutralização compreende qualquer um ou mais de pedra calcária, cal e calcrete.

**37. MÉTODO** de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que a concentração de níquel na PLS da etapa ix) se situa dentro da faixa aproximada de 4 a 8 g/L.

15 **38. MÉTODO** de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que a concentração de ácido na PLS direcionada ao circuito de recuperação de metais se situa dentro da faixa aproximada de 0 a 5 g/L.

20 **39. MÉTODO HIDROMETALÚRGICO APERFEIÇOADO PARA A EXTRAÇÃO DE NÍQUEL DE MINÉRIOS DE LATERITAS**, caracterizado pelo fato de compreender as etapas de:

i) Formação de pelo menos um amontoado primário de material mineral de lateritas de níquel;

25 ii) Lixiviação do ou de cada amontoado primário da etapa i) com o agente de lixiviação para a produção de uma solução intermediária de lixívia (ILS);

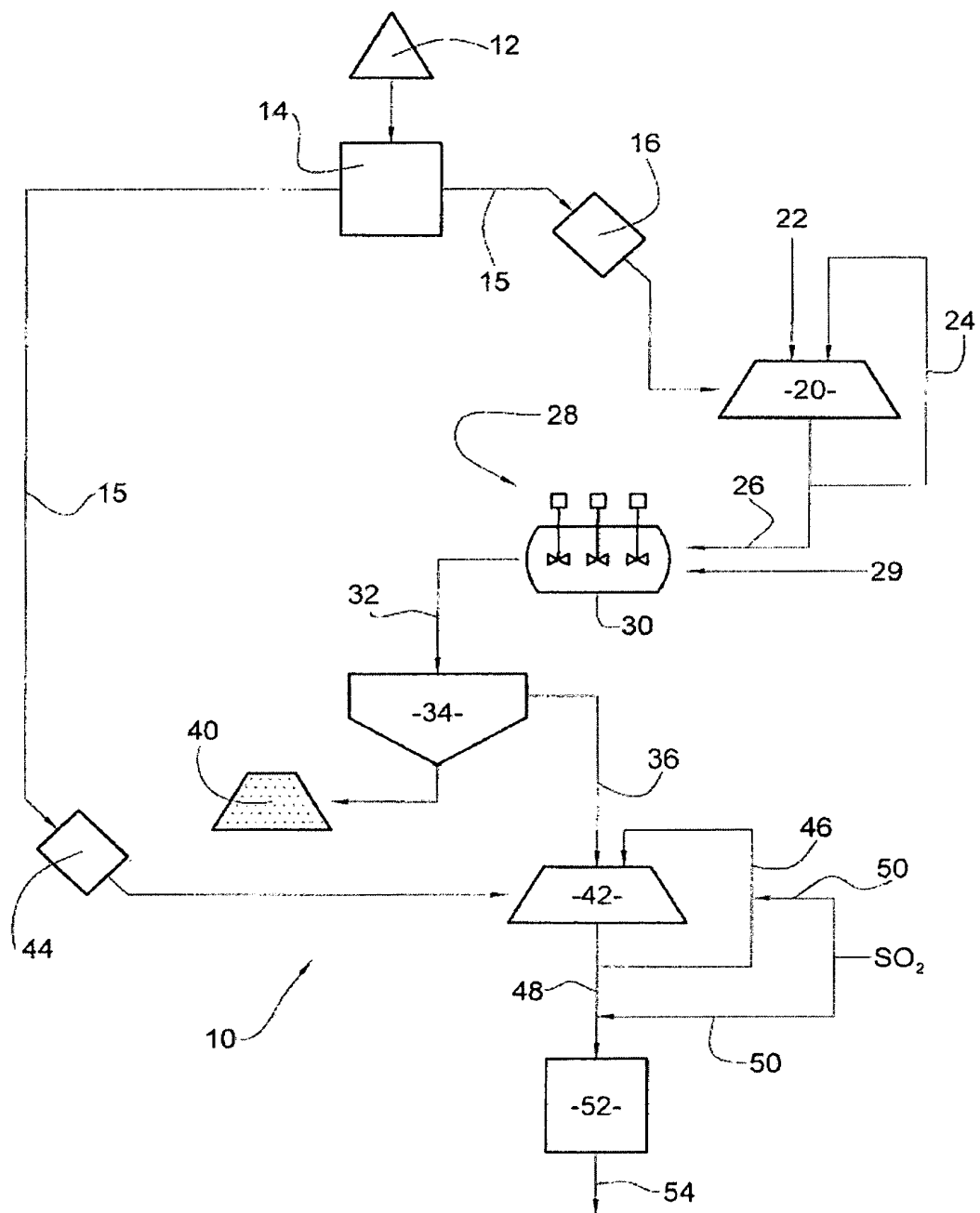
30 iii) Recirculação da ILS da etapa ii) para o ou cada amontoado primário pelo menos uma vez, com o que a concentração de níquel na solução se aproxima da saturação, ou de um estado estável, para formar uma solução saturada de lixívia (PLS);

iv) Passagem de pelo menos uma porção da PLS produzida na etapa iii) a uma etapa de precipitação de ferro na qual o ferro é precipitado como hematita sob elevada temperatura e pressão, com isto liberando ácido; e

v) Direcionamento da descarga da etapa de precipitação de ferro iv) a um estágio de separação de sólidos e líquidos para a produção de resíduos e uma PLS clarificada contendo ácido.

#### 40. MÉTODO HIDROMETALÚRGICO APERFEIÇOADO

5 **PARA A EXTRAÇÃO DE NÍQUEL DE MINÉRIOS DE LATERITAS**, caracterizado pelo fato de que o método consiste substancialmente como aqui e acima descrito com referência à Figura 1.



Recuperação de Metais

Figura 1

**RESUMO****"MÉTODO HIDROMETALÚRGICO APERFEIÇOADO  
(10) PARA A EXTRAÇÃO DE NÍQUEL DE MINÉRIOS DE LATERITAS",** o

5 método compreendendo as etapas de formação de pelo menos um amontoado primário (20) de material mineral de lateritas de níquel; lixiviação do amontoado primário (20) da primeira etapa com um agente de lixiviação (22) para produzir uma solução intermediária de lixívia (ILS) (24); recirculação da ILS (24) para o ou cada amontoado primário (20) com o que a concentração de níquel na solução se aproxima da saturação, ou de um estado estável, para formar uma solução

10 saturada de lixívia (PLS) (26); passagem de pelo menos uma porção da PLS (26) a uma etapa de precipitação de ferro (28) na qual o ferro é precipitado como hematita sob elevada temperatura e pressão, liberando ácido; direcionamento da descarga da etapa de precipitação de ferro (32) a um estágio de separação de sólidos e líquidos (34) para a produção de resíduos (40) e uma PLS clarificada

15 (36) contendo ácido; irrigação de pelo menos um amontoado secundário (42) do material mineral de lateritas de níquel com a PLS clarificada (36) para facilitar a lixiviação do ou de cada amontoado secundário e produzir uma ILS secundária (46); passagem de uma corrente de um gás redutor (50) por dentro da ILS secundária (46) para facilitar a redução do ferro férrico em ferro ferroso;

20 recirculação da ILS (46) sobre o ou cada amontoado secundário (42) para produzir uma PLS secundária (48); e direcionamento da PLS (48) da oitava etapa a um circuito de recuperação de metais.