

# RECUPERAÇÃO DE NÍQUEL DE MINÉRIOS LATERÍTICOS DE BAIXO TEOR.

Ivan.Ondino C. Masson<sup>1</sup>, Fabio H.S. Santos<sup>1</sup>, Vagner Cunha<sup>2</sup> & Flávio A. Lemos<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Coordenação de Processos Metalúrgicos e Ambientais / Centro de Tecnologia Mineral  
Av. Pedro Calmon, 900. Cidade Universitária. Rio de Janeiro – RJ. CEP 21941-908  
Tel. (21) 3865-7242, fax (21) 2590-3047. E-mail: imasson@cetem.gov.br

<sup>2</sup> Votorantim Metais Níquel S/A - Avenida Doutor José Artur Nova, 1309  
São Miguel Paulista. São Paulo CEP 08090-000  
Tel (11) 3488-8614, fax (11) 3488-1652. E-mail: ext.vagner.cunha@vmetais.com.br

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo estudar a viabilidade da recuperação de níquel contido em minério laterítico de baixo teor empregando os processos de lixiviação por percolação e extração por solvente. A rota proposta visa apresentar uma alternativa de baixo custo para os processos de lixiviação amoniacal (Processo Caron) e lixiviação ácida sob alta pressão. O minério foi fornecido pela Votorantim Metais Níquel sendo submetido à homogeneização, classificação granulometria e caracterização mineralógica. Os resultados obtidos em mesa vibratória indicam não ser possível realizar remoções seletivas do ferro e magnésio por concentração gravítica. Os ensaios de lixiviação indicaram que o consumo de ácido sulfúrico e o tempo de reação são variáveis significativas, sendo possível atingir recuperações de níquel superiores a 83%. Contudo, a seletividade do processo é baixa, gerando licores com elevadas concentrações de ferro e magnésio. A extração por solvente pode ser uma alternativa para remoção de ferro, em substituição do processo tradicional de formação de jarosita, onde uma grande quantidade do agente lixiviante é perdida na forma de sulfato.

**PALAVRAS-CHAVE:** minério laterítico, níquel, lixiviação.

## ABSTRACT

This work aims to study the feasibility of recovery of nickel contained in low-grade laterite ore using the process of percolation leaching and solvent extraction. The route proposed is to provide a low cost alternative for the ammonia leaching processes (Caron Process) and under high pressure acid leaching. The ore was supplied by Votorantim Metals Nickel and subjected to homogenization, particle size classification and mineralogical characterization. The results in table indicate no vibration to achieve selective removal of iron and magnesium by gravitational concentration. The leaching tests showed that the consumption of sulfuric acid and the reaction time are significant variables, and achieved recoveries of nickel exceeding 83%. However, the selectivity of the process is low, generating liquor with high concentrations of iron and magnesium. The extraction solvent can be an alternative to removal of iron, instead of the traditional process of formation of jarosite, where a large amount of agent lixiviant is lost in the form of sulfate.

**KEY WORDS:** laterite ore, nickel, leaching

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de lixiviação amoniacal foi desenvolvido em meados de 1950 visando o tratamento de concentrações de baixos teores de pentlandita ((Fe, Ni)<sub>9</sub>S<sub>8</sub>)-pirrotita (FeS). A rota consiste em uma oxidação inicial para eliminação do SO<sub>2</sub>, redução controlada dos óxidos para formação de níquel metálico que será posteriormente lixiviado com amônia. O processo apresenta problemas de poluição ambiental em função da grande quantidade de dióxido de enxofre gerado. A Figura 1 apresenta um fluxograma do processo de obtenção de carbonato básico de níquel (Habashi, 2005).

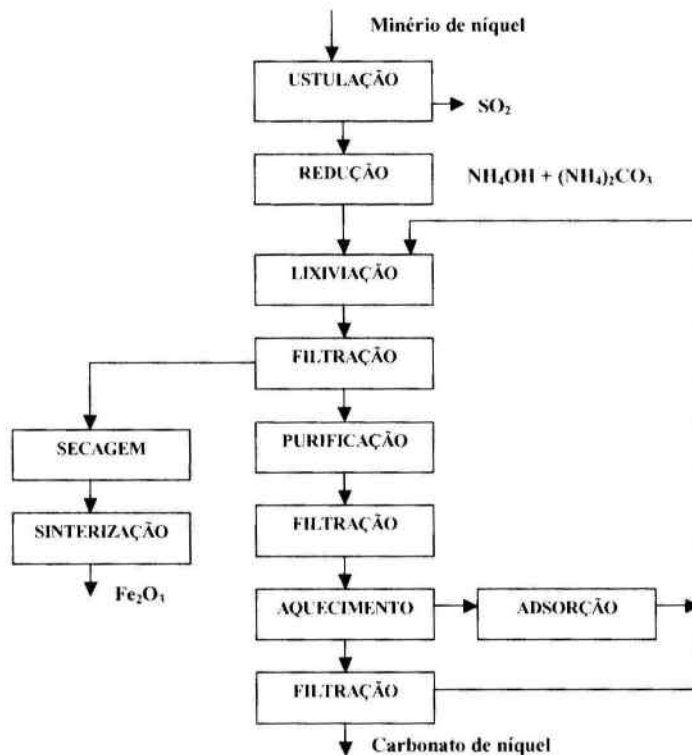


Figura 1: Fluxograma do processo de lixiviação amoniacal de minérios de níquel.

Atualmente, tem aumentado o foco no processamento das imensas reservas de minério de níquel laterítico em função do declínio das reservas mundiais dos sulfetos de níquel. Foi estimado, em 2003, que 72% das reservas mundiais eram constituídas por níquel laterítico, sendo que apenas 42% da produção global de níquel foram obtidos a partir desta fonte mineral. Tal fato, juntamente com a elevação da demanda por níquel, levou ao desenvolvimento de estudos empregando lixiviações ácidas sob elevada pressão e atmosférica (McDonald & Whittington, 2008).

O processo de lixiviação ácida sob elevada pressão ocorre em faixa de temperatura de 250 a 255°C, utilizando na maioria dos casos autoclaves de titânio onde ocorre a injeção de vapor e ácido sulfúrico. A elevada temperatura do processo permite a hidrólise dos íons de ferro e alumínio. Desta forma, o licor gerado apresenta uma baixa concentração de ferro, o que facilita as etapas de purificação da solução e o resíduo produzido contém uma mistura de jarosita (K<sub>2</sub>Fe<sub>6</sub>(OH)<sub>12</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>) e alunita (KAl<sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub>) (Whittington & Muir, 2000).

A lixiviação em pilha de minério laterítico de níquel de baixo apresenta uma série de desafios a serem contornados, como o elevado consumo de ácido, potencial quebra da estrutura do agregado mineral e a baixa seletividade na extração de níquel em relação ao ferro e magnésio.

Os primeiros estudos de lixiviação em coluna de minérios lateríticos foram conduzidos utilizando depósitos de minérios localizados na Grécia, com a finalidade de verificar a viabilidade da aplicação da lixiviação em pilha para estes materiais. Os resultados obtidos indicaram que para minérios limoníticos que continham quantidades significativas de hematita com baixa reatividade e goetita as eficiências de recuperação de níquel foram superiores a 85% em menos de 40 dias de operação com a extração de 50% do ferro (Agatzini-Leonardou e Zafiratos, 2004).

Os testes de lixiviação em coluna realizados por Duyvesteyn e outros (1996) indicaram que minérios saprolíticos devem ser aglomerados para prevenir a perda da permeabilidade da pilha. Esse problema ocorre devido à que-

bra do silicato de magnésio gerando finos de sílica que causam que a taxa de percolação caia a zero. Neste caso, os minérios devem ser peletizados pela mistura com uma solução de ácido sulfúrico com concentração acima de 100 g/L. A quantidade de ácido empregada para a aglomeração é empregada para neutralização da magnésia. A alta permeabilidade dos peletes permite operar com taxas de percolação superiores a 100 L/h/m<sup>2</sup>.

A técnica de lixiviação em coluna também foi empregada por Miller e Liu (2005) que obtiveram em seus estudos eficiências de extração de níquel de 86 e 84%, após um período compreendido entre 160 a 192 dias com consumos específicos de ácido sulfúrico de 243 kg/t e 460 kg/t para materiais limonítico e saprolítico, respectivamente.

Apesar de estar em um estágio de desenvolvimento a lixiviação por percolação utilizando pilhas de minérios lateríticos de níquel por longos períodos é uma rota para obtenção de níquel promissora em função do seu baixo custo operacional quando utilizados minérios com características mineralógicas e físicas apropriadas. Além disso, alguns minérios ainda mostram alguma seletividade para extração de níquel em relação ao ferro e baixo consumo de ácido sulfúrico quando comparado com a lixiviação atmosférica em tanques agitados.

O presente trabalho mostra resultados preliminares de ensaios realizados em minério laterítico de níquel de baixo teor visando o desenvolvimento de uma rota tecnologia empregando as técnicas de lixiviação por percolação e extração por solvente.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A amostra de minério laterítico fornecido pela Companhia Votorantim Metais Níquel, foi homogeneizada em pilha de cone e retirada metade da amostra para arquivo. A análise granulométrica realizada por via úmida, sendo que a série de peneiras tyler usadas são apresentadas na Tabela 1.

Os ensaios de lixiviação foram conduzidos em um agitador horizontal tipo "shaker", marca Ika modelo HS 501 com velocidade de 50 movimentos por minuto. A suspensão foi realizada a vácuo, com a determinação da massa e dos teores dos metais contidos no resíduo, para determinação da eficiência de lixiviação.

As determinações das concentrações dos metais foram realizadas em espectrômetro de absorção atômica da marca Shimadzu, modelo AA-6800.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como pode ser visto na análise granulométrica apresentada na Tabela 1 cerca de metade do material se encontra abaixo de 38 micras indicando a necessidade de se ter uma etapa de aglomeração antes da lixiviação do material.

**Tabela 1:** Análise granulométrica do minério laterítico.

Peneira		Massa (g)	Passante Acumulado (%)
(mesh)	micra		
10	1700	6,98	92,24
20	840	1,41	90,67
35	425	2,22	88,21
200	74	20,95	64,92
325	45	7,22	56,90
400	38	4,76	51,61
< 400	<38	46,43	-

O minério laterítico utilizado no presente estudo foi fornecido pela Companhia Votorantim Metais Níquel. Inicialmente após a devida homogeneização e quartejamento, foi realizada difração de raio-X onde foram encontrados as seguintes espécies minerais de níquel: nimita  $(\text{Ni}, \text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_5 \text{Al}(\text{Si}_3 \text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ , nicromita  $(\text{Ni}, \text{Co}, \text{Fe}^{2+})(\text{Cr}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al})_2 \text{O}_4$ , nepouita  $\text{Ni}_3 \text{Si}_2 \text{O}_5(\text{OH})_4$ , hematita  $\text{Fe}_2 \text{O}_3$ , gibsitita  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , talco  $\text{Mg}_3 \text{Si}_4 \text{O}_{10}(\text{OH})_2$ , goetita  $\text{Fe}^{3+} \text{O}(\text{OH})$ , quartzo  $\text{SiO}_2$  e hidrobiotita  $[\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{Al}, \text{Fe})\text{Si}_3 \text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2] \cdot [(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Al})_3(\text{Si}, \text{Al})_4 \text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4(\text{H}_2 \text{O})]$ , como pode ser observado na Figura 3.

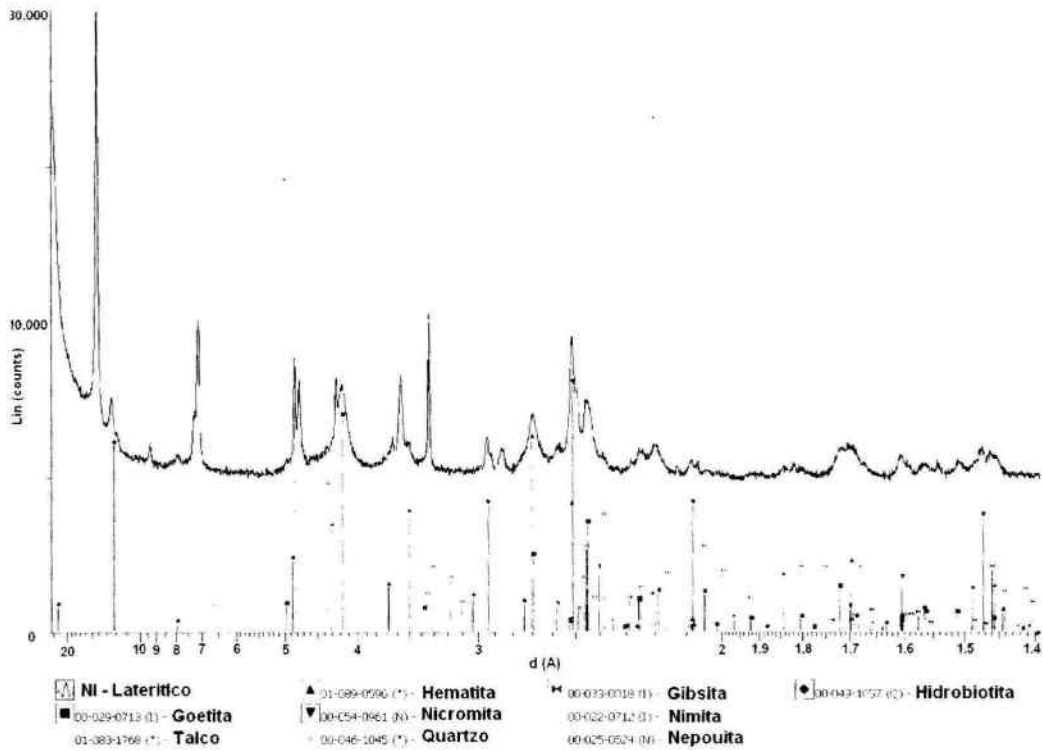


Figura 2: Análise da difração de raio-X do minério laterítico de níquel.

Foram realizados ensaios preliminares em mesa concentradora, que é um equipamento de concentração gravimétrica com fluxo laminar sobre uma superfície inclinada permitindo que as partículas minerais se diferenciem em função de sua massa específica. A Tabela 2 mostra os resultados obtidos.

Tabela 2: Resultados obtidos nos ensaios de concentração empregando mesa vibratória.

Fração	Massa (g)	Magnésio		Ferro		Níquel	
		Teor (%)	Distribuição (%)	Teor (%)	Distribuição (%)	Teor (%)	Distribuição (%)
Finos	256,03	2,8	28,40	20,1	29,63	1,2	31,37
Misto	132,02	3,4	19,45	31,8	24,17	1,9	25,61
Concentrado	234,00	4,7	52,15	34,3	46,21	1,8	43,01

Os resultados obtidos na difração de raio-x e na concentração de mesa vibratória indicam que a maior parte do níquel deve estar na forma de nicromita, cerca de 50% do ferro está contida na hematita e cerca de 28% do magnésio está presente no talco. Pode-se verificar também que uma separação seletiva do níquel em relação ao ferro e magnésio se torna complexa.

A Tabela 3 apresenta as eficiências de lixiviações obtidas em diferentes relações ácido/minério após 24 horas de reação, para a extração de níquel, ferro e magnésio. Como pode ser visto, não houve uma seletividade no processo de lixiviação, com as eficiências aumentando com o incremento de ácido. A elevação do valor da relação ácido/minério de 0,5 para 0,7 kg/kg acarretou uma extração mais acentuada de magnésio, mostrando ser o material mais fácil de ser extraído.

**Tabela 3:** Eficiências de lixiviação para níquel, ferro e magnésio após 24 horas de reação.

Eficiências	Relação Ácido/Minério (kg/kg)							
	0,5		0,7		1,0		2,0	
	Teste 1	Teste 1A	Teste 2	Teste 2A	Teste 3	Teste 3A	Teste 4	Teste 4A
Ni (%)	40,54	36,67	45,33	47,28	54,24	55,35	78,16	75,00
Fe (%)	30,02	22,83	24,23	29,31	33,32	37,14	69,00	65,65
Mg (%)	56,78	56,72	70,93	71,96	73,53	73,55	82,16	83,86

As composições dos licores obtidos nos ensaios de lixiviação são apresentadas na Tabela 4. Pode ser observado que todas as concentrações sofrem incremento com a elevação da relação ácido/minério. Apesar do aumento do consumo de ácido sulfúrico promover soluções de níquel mais concentradas, também diminui acentuadamente a seletividade do processo.

**Tabela 4:** Análise do licor do ensaio de lixiviação em diferentes relações ácido/minério.

Licor	Relação Ácido/Minério							
	0,5		0,7		1,0		2,0	
	Teste 1	Teste 1A	Teste 2	Teste 2A	Teste 3	Teste 3A	Teste 4	Teste 4A
Ni (g/L)	1,0	0,85	1,2	1,3	1,5	1,7	3,1	3,4
Co (mg/L)	210	180	244	259	325	392	382	400
Cu (mg/L)	7,3	6,5	7,4	7,4	6,7	6,6	3,6	2,9
Fe (g/L)	9,2	7,5	11,1	12,4	17,0	20,5	49,2	46,4
Mg (g/L)	3,3	2,8	3,5	3,7	3,9	4,5	4,6	5,3
H <sup>+</sup> (g/L)	30	30	40	45	70	75	125	173

Foram realizados ensaios adicionais onde a relação ácido/minério foi mantida em 2,0 kg/kg, em diferentes tempos de lixiviação. Os resultados obtidos indicaram a elevação das eficiências de lixiviação de todos os metais analisados, com uma recuperação de 83,50% do níquel contido após 60 horas de reação.

**Tabela 5:** Eficiências de lixiviação em função do tempo de reação.

Eficiências	Tempo de Lixiviação (horas)							
	6		12		24		48	60
	Teste 5	Teste 5A	Teste 6	Teste 6A	Teste 7	Teste 7A	Teste 8	Teste 9
Ni (%)	66,27	61,01	60,13	56,79	72,32	76,06	78,95	83,50
Fe (%)	58,09	54,41	52,01	46,30	61,34	64,44	68,60	74,69
Mg (%)	71,63	70,33	67,69	70,97	79,24	81,10	82,97	83,84

Os resultados preliminares obtidos motivaram o desenvolvimento de uma rota para recuperação de níquel de minérios lateríticos de baixo teor empregando as técnicas de lixiviação por percolação e extração por solvente. A proposta envolve em uma primeira etapa a aglomeração do minério para a formação das pilhas empregando ácido sulfúrico.

Uma segunda etapa envolveria a lixiviação em pilha do material empregando ácido sulfúrico. Ao contrário da maioria dos estudos encontrados na literatura, a neutralização da solução seria realizada com carbonato de níquel. Cabe salientar que o objetivo desta etapa seria adequar o pH da solução para realizar a extração seletiva de ferro e magnésio utilizando um extratante catiônico.

A etapa de extração deve ocorrer em duas etapas, a primeira em um pH próximo a 2,5, onde seria promovida a remoção do ferro da solução aquosa. Desta forma, uma nova correção do valor do pH da solução para próximo de 5,5 seria necessária para extrair o magnésio. Nesta faixa de operação há a co-extração de cobalto e cobre que devem ser removidos por etapas de lavagem.

O processo de extração por solvente permite não só purificar o licor de lixiviação, bem como regenerar uma quantidade significativa de agente lixiviante, visto que para o material em questão a precipitação do ferro na forma de jarosita implicaria em uma perda estimada de 170 kg de ácido sulfúrico por tonelada de minério.

O refinado seria submetido a um processo de purificação para adequar a solução para o processo de extração por solvente do níquel, que deve ocorrer em pH próximo a 7,5. A Figura 3 apresenta o fluxograma simplificado para a rota proposta para recuperação de níquel de minérios lateríticos de baixo teor.

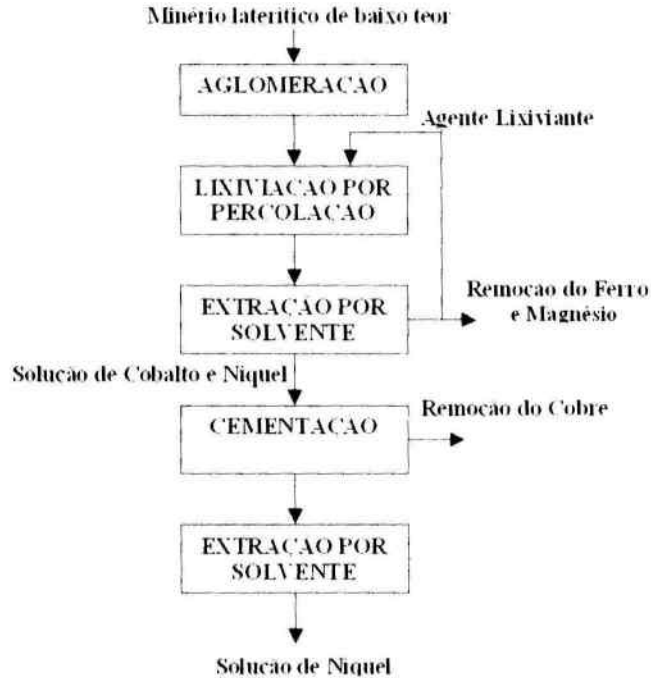


Figura 3: Fluxograma simplificado da rota proposta para lixiviação de minério laterítico de níquel baixo teor.

#### 4. CONCLUSÕES

Os estudos para o desenvolvimento de uma rota empregando os processos de lixiviação por percolação e extração por solvente para obtenção de níquel de minérios lateríticos de baixo teor continuam em andamento.

Os resultados preliminares obtidos indicam que em função de metade do material estar abaixo de 38 micras faz-se necessário ter uma etapa inicial de aglomeração.

Os resultados obtidos nos testes de lixiviação indicam ser possível obter eficiências de recuperação de níquel próximas a 83%. Contudo, ajustes devem ser realizados para melhorar a seletividade do processo.

A remoção do ferro e do magnésio do licor obtido empregando extração por solvente, permite não só purificar a solução, bem como regenerar uma quantidade significativa de ácido sulfúrico.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Habashi, F. A short history of hydrometallurgy *Hydrometallurgy* 79, p. 15–22, 2005.
- McDonald R.G Whittington, B.I. Atmospheric acid leaching of nickel laterites review Part I. Sulphuric acid technologies. *Hydrometallurgy* 91, p. 35–55, 2008.
- Whittington, B.I., Muir, D. Pressure acid leaching of nickel laterites: a review. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review* 21, p.527–600, 2000.
- Agatzini-Leonardou, S., Zafiratos, I.G. Beneficiation of a Greek serpentinitic nickeliferous ore part II. Sulphuric acid heap and agitation leaching. *Hydrometallurgy* 74, p.267–275, 2004.
- Duyvesteyn, W.P.C., Lastra, M.R., Liu, H. Method for recovering nickel from high magnesium-containing Ni-Fe-Mg lateritic ore. Patente Norte American nº 5.571.308, 1996.
- Miller, G.W., Liu, H. Process for recovery of nickel and cobalt by heap leaching of low grade nickel or cobalt containing material, Patente nº 005671, 2005