

Alternativa para o beneficiamento do minério de manganês de Urucum, Corumbá - MS

Lúcia Maria C. de Goes e Silva *
Lélio Fellows Filho *

1. INTRODUÇÃO
2. ENSAIOS DE SEPARAÇÃO MAGNÉTICA DO
MINÉRIO DE URUCUM, PRÉ- REDUZIDO COM
CARVÃO VEGETAL
3. CONCLUSÕES
4. BIBLIOGRAFIA

Resumo

Este trabalho apresenta os resultados experimentais, em escala de bancada, relativos a um processo tecnológico, desenvolvido no Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, com o objetivo de elevar a relação manganês/ferro do minério de manganês da mina de Urucum, Corumbá-MS.

O processo desenvolvido consiste na pré-redução do referido minério com carvão vegetal, seguida de separação magnética de baixa intensidade, em separador de disco. A pré-redução do minério de Urucum implica na formação de espécies minerais susceptíveis a um campo magnético de baixa intensidade, tais como magnetita, ferro

metálico e, provavelmente, jacobsita.

Foram determinadas as influências dos parâmetros envolvidos no referido processo: granulometria do minério, tempo e temperatura de pré-redução, relação minério/carvão e intensidade de campo magnético.

Os resultados obtidos foram bastante promissores: partindo-se de um minério com relação manganês/ferro $\approx 4,5$, obtiveram-se concentrados com relação manganês/ferro $> 7,0$.

O processo desenvolvido é uma alternativa para a utilização do minério de manganês de Urucum na fabricação de ligas ferro-manganês, e ainda, bióxido de manganês, manganês eletrolítico e principais sais.

1. Introdução

O presente trabalho é fruto de um projeto desenvolvido em conjunto pelo Centro de Tecnologia Mineral - CETEM e a Universidade Técnica de Berlim - UTB, objetivando estabelecer um processo tecnológico que viabilizasse o beneficiamento do minério de manganês da mina de Urucum, situada no Município de Corumbá - MS. Este projeto foi realizado em 3 (três) etapas (1):

(a) Ensaios objetivando a elevação da relação Mn/Fe - desenvolvidos no CETEM;

(b) Ensaios objetivando a redução do teor de álcalis - desenvolvidos na UTB;

(c) Otimização de um processo conjunto de elevação da relação Mn/Fe e redução do teor de álcalis - desenvolvida no CETEM com a participação do Eng^o Stefan Michaelis, da UTB.

Neste trabalho são apresentados os resultados experimentais, em escala de bancada, dos ensaios realizados com o objetivo de elevar a relação Mn/Fe do minério de Urucum, relativos às etapas (a) e (c), acima mencionadas.

A caracterização tecnológica do minério de Urucum indica um intercrescimento criptomelana/hematita, com grãos da ordem de $3\mu\text{m}$, que inviabiliza a maioria dos tratamentos físicos e físico-químicos convencionais, objetivando o aumento da relação Mn/Fe no referido minério.

O processo desenvolvido consiste na pré-redução do minério de Urucum com carvão vegetal, seguida de separação magnética de baixa intensidade, em separador de disco. A pré-redução do minério implica na formação de espécies suscetíveis a um campo magnético de baixa intensidade, tais como: magnetita, ferro metálico e, provavelmente, jacobsita, possibilitando, através de separação magnética, a obtenção de concentrados com relação Mn/Fe $> 7,0$.

Finalmente, é apresentado o fluorograma do processo tecnológico desenvolvido, visando não somente a elevação da relação Mn/Fe do minério de Urucum, como também a redução do seu teor de álcalis.

Esse processo é uma alternativa para a utilização do minério de Urucum na fabricação de ligas ferro-manganês, e, ainda, bióxido de manganês, manganês eletrolítico e seus principais sais.

2. Ensaios de separação magnética do minério de Urucum, pré-reduzido com carvão vegetal

2.1. Ensaios preliminares; pré-redução com carvão vegetal Quipembe

2.1.1. Objetivos

Verificar a influência da granulometria do minério, temperatura de pré-redução e intensidade de campo magnético sobre a relação Mn/Fe das frações não-magnéticas do minério de Urucum, partindo-se de um dado conjunto de parâmetros fixos: redutor utilizado, granulometria do redutor, relação minério/redutor e tempo de pré-redução.

2.1.2. Metodologia

As condições de operação utilizadas nesses ensaios foram:

a) Pré-redução do minério:

- . granulometria do minério: -10 +48 malhas, -10 +65 malhas;
- . redutor utilizado: carvão vegetal Quipembe, apresentando 66,1% C, 0,23% S, 2,3% cinzas e 31,6% matéria volátil;
- . granulometria do redutor: -65 malhas;
- . relação minério/redutor: 2/1;
- . tempo de pré-redução: 2 horas;
- . temperaturas de pré-redução: 600, 700 e 800°C;
- . equipamentos utilizados: forno tubular rotativo e forno de mufla;

b) Separação magnética:

- . equipamento utilizado: separador de disco STERN-MAGNETIC tipo D, "gap" alto;
- . intensidades de corrente aplicadas: 0,7 a 2,7 A.

Os parâmetros fixos de pré-redução e a granulometria do minério foram definidos em função de consultas à bibliografia existente sobre o assunto (2, 3, 4) e de testes preliminares de pré-redução do minério de Urucum(1), realizados no CETEM.

A escolha das temperaturas de pré-redução utilizadas foi definida em função das alterações estruturais por elas promovidas no minério de Urucum(1). As alterações estruturais desejadas foram:

a) Presença de magnetita (Fe_3O_4) e ferro metálico, suscetíveis a um campo magnético de baixa intensidade;

b) Presença de manganês sob a forma de manganosita (MnO), que, assim como outros monóxidos de metais de transição (FeO , NiO , CoO), apresenta um comportamento antiferromagnético, isto é, ausência de momento magnético devida a um não-alinhamento paralelo dos spins(5).

O esperado era que essas alterações estruturais fizessem com que cada partícula respondesse diferentemente à aplicação de um

campo magnético de baixa intensidade, unicamente em função das diferentes percentagens de óxidos de ferro/ferro metálico e óxidos de manganês nelas contidos, o que por sua vez é aleatório, visto que não há liberação das espécies minerais de manganês e ferro.

2.1.3. Resultados experimentais

Foi observado que o minério pré-reduzido apresenta, na separação magnética, um comportamento médio característico de uma dada temperatura de pré-redução e de uma dada intensidade de corrente aplicada, embora, nas faixas granulométricas ensaiadas, não haja liberação das espécies minerais de manganês e ferro. Por conseguinte, somos levados a acreditar que, para uma dada intensidade de corrente e uma dada temperatura de pré-redução, o que define se a partícula será magnética ou não é, na realidade, uma composição entre os efeitos das percentagens em massa das espécies minerais constituintes da partícula e as suscetibilidades magnéticas dessas espécies.

Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios: partindo-se de um minério com relação Mn/Fe = 4,5, foram obtidos concentrados com relação Mn/Fe > 7,0, utilizando-se uma relação minério/carvão = 2/1, 2 horas de pré-redução e temperaturas de 600 e 800°C, respectivamente. Foi também observado que, das duas frações granulométricas ensaiadas, os melhores resultados obtidos foram aqueles relativos à fração -10 +48 malhas.

No caso específico de um tratamento de pré-redução a 700°C, seguido de separação magnética, não foram obtidos concentrados com relação Mn/Fe > 7,0 para toda a faixa de intensidades de corrente ensaiadas. Esses resultados podem ser atribuídos à presença de FeO , termodinamicamente viável nessa temperatura, e ao seu comportamento antiferromagnético.

2.2. Otimização dos parâmetros de pré-redução e separação magnética

2.2.1. Objetivos

Determinar a viabilidade da utilização de um redutor mais barato (no caso, moinha de carvão vegetal), reduzir a percentagem de carvão utilizada na pré-redução e reduzir o tempo de pré-redução.

Verificar a influência desses parâmetros, da temperatura de pré-redução e da intensidade de campo magnético sobre a relação Mn/Fe e a recuperação de manganês (R_{Mn}) das frações não-magnéticas do minério de Urucum.

2.2.2. Metodologia

Inicialmente, foram realizados ensaios de pré-redução do minério de Urucum com moinha de carvão vegetal, e identificação, por difração de Raios-X, das espécies minerais presentes nos produtos resultantes desses ensaios, objetivando otimizar os parâmetros

de pré-redução. As condições de operação utilizadas foram:

- . 20g de minério, -10 malhas;
- . 50, 25, 10 e 5% de moinha de carvão vegetal, -65 malhas;
- . temperaturas de 600, 750 e 800°C;
- . tempo de pré-redução: 50 minutos;
- . equipamento utilizado: forno de mufla.

A moinha de carvão vegetal utilizada apresentava 61,5% de carbono fixo, 10,6% de cinzas, 27,9% de matéria volátil e um poder calorífico de 5889 Cal/g.

Foi observada a presença de magnetita e manganosita para quase todas as temperaturas de pré-redução e percentagens de carvão utilizadas. No caso específico do minério pré-reduzido a 600°C, com 5 e 10% de moinha de carvão vegetal, foi observada também a presença de outras espécies minerais de manganês e ferro: hausmanita, bixbyita e hematita.

Com base nesses resultados, foram então realizados ensaios de separação magnética do minério de Urucum pré-reduzido com moinha de carvão vegetal, objetivando otimizar esta operação para as novas condições de pré-redução. As condições de operação utilizadas foram:

- a) Pré-redução do minério:
 - . granulometria do minério: -10 malhas;
 - . 5, 10 e 25% de moinha de carvão vegetal para uma temperatura de pré-redução de 600°C;
 - . 5 e 10% de moinha de carvão vegetal para temperaturas de 750 e 800°C;
 - . tempo de pré-redução: 50 minutos;
 - . equipamento utilizado: forno de mufla;
- b) Separação magnética:
 - . realizada em um separador magnético de

disco STERN-MAGNETIC tipo D, "gap" alto, variando-se a intensidade de corrente aplicada e utilizando-se a fração -10 +48 malhas do minério de Urucum pré-reduzido; a faixa de intensidades de corrente ensaiadas correspondeu à utilização de campos magnéticos inferiores a 3000 GAUSS.

2.2.3. Resultados experimentais

Foi observado que:

a) Utilizando-se apenas 5% de moinha de carvão vegetal e um tempo de pré-redução de 50 minutos, a relação Mn/Fe da fração não-magnética aumentou com o aumento da temperatura de pré-redução utilizada;

b) Para essas novas condições de pré-redução, na faixa de intensidades de corrente aplicadas, a obtenção de concentrados com relação Mn/Fe superior a 7,0 só se verificou, porém, quando da utilização de temperaturas de pré-redução iguais ou superiores a 750°C.

Em função dos resultados obtidos, um tratamento de pré-redução a 750°C, utilizando-se 5% de moinha de carvão vegetal e um tempo de pré-redução de 50 minutos, parece-nos o mais indicado. Neste caso, a utilização de intensidades de campo magnético na faixa de 1500 a 3000 GAUSS propiciou a obtenção de concentrados com relação Mn/Fe na faixa de 7,0 a 9,0, cuja recuperação de manganês (R_{Mn}) variou de 30 a 50%.

As Tabelas I e II e as Figuras 1 e 2 apresentam resultados obtidos nos ensaios realizados.

Tabela I - Resultados dos ensaios de separação magnética do minério de Urucum pré-reduzido a várias temperaturas, utilizando 5% de moinha de carvão vegetal e um tempo de pré-redução de 50 minutos

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO	FRAÇÃO	% EM PESO	TEOR (%)		RELAÇÃO Mn/Fe	DISTRIBUIÇÃO (%)	
			Mn	Fe		Mn	Fe
600°C 1,1 A	Magnética	57,6	44,0	13,4	3,3	54,7	71,4
	Não-Magnética	42,4	49,5	7,3	6,8	45,3	28,6
	Alimentação	100,0	46,3	10,8	4,3	100,0	100,0
750°C 1,1 A	Magnética	74,3	48,0	13,3	3,6	72,7	85,5
	Não-Magnética	25,7	52,0	6,6	7,9	27,3	14,5
	Alimentação	100,0	49,0	11,6	4,2	100,0	100,0
800°C 1,1 A	Magnética	71,1	45,3	13,1	3,5	68,5	84,1
	Não-Magnética	28,9	51,3	6,1	8,4	31,5	15,9
	Alimentação	100,0	47,0	11,1	4,2	100,0	100,0

3. Conclusões

Os resultados obtidos nos ensaios de pré-redução e separação magnética, apresentados neste trabalho, mostram a viabilidade técnica de se elevar a relação

Mn/Fe do minério de Urucum, com a obtenção de concentrados com relação Mn/Fe > 7,0.

Por outro lado, ensaios de lixiviação, aquosa e sulfúrica, do minério de Urucum pré-reduzido, realizados em paralelo (1,6), comprovaram a efetividade dessa operação na redução do teor de álcalis do referido minério.

Tabela II - Resultados dos ensaios de separação magnética do minério de Urucum pré-reduzido a 750°C, com 5% de moinha de carvão vegetal

INTENSIDADE DE CORRENTE	FRAÇÃO	% EM PESO	TEOR (%)		RELAÇÃO Mn/Fe	DISTRIBUIÇÃO (%)	
			Mn	Fe		Mn	Fe
0,4 A	MAG.	21,1	44,0	16,7	2,6	19,5	31,4
	N.MAG.	78,9	48,8	9,8	5,0	80,5	68,6
	ALIM.	100,0	47,8	11,3	4,2	100,0	100,0
0,7 A	MAG.	52,0	46,2	13,9	3,3	49,0	66,1
	N.MAG.	48,0	52,0	7,7	6,8	51,0	33,9
	ALIM.	100,0	49,0	10,9	4,5	100,0	100,0
1,0 A	MAG.	65,5	46,4	13,3	3,5	62,7	80,1
	N.MAG.	34,5	52,4	6,3	8,3	37,3	19,9
	ALIM.	100,0	48,5	10,9	4,4	100,0	100,0
1,4 A	MAG.	77,0	47,0	12,9	3,6	74,5	88,7
	N.MAG.	23,0	54,0	5,5	9,8	25,5	11,3
	ALIM.	100,0	48,6	11,2	4,3	100,0	100,0
2,6 A	MAG.	88,5	48,8	12,5	3,9	87,3	94,8
	N.MAG.	11,5	54,0	5,3	10,2	12,7	5,2
	ALIM.	100,0	49,0	11,7	4,2	100,0	100,0

FIGURA 1 - Influência da intensidade de corrente utilizada sobre a relação Mn/Fe e a recuperação de manganês (R_{Mn}) na fração não magnética do minério Urucum pré-reduzido a 750°C, com 5% de moinha de carvão vegetal.

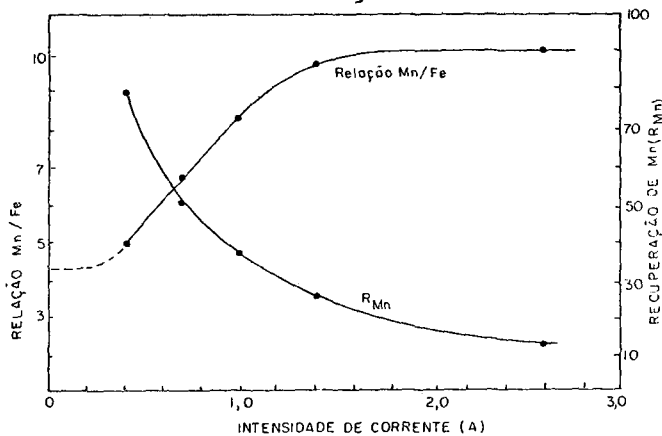
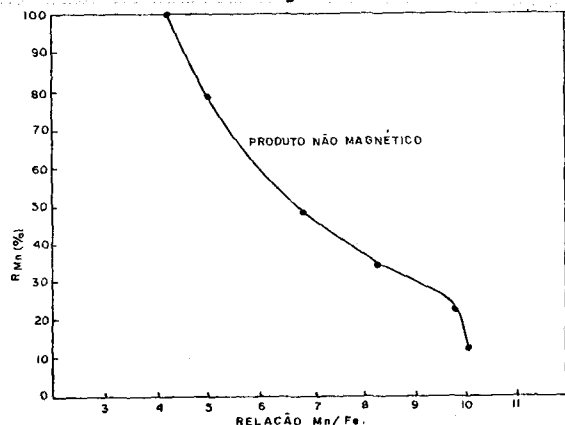


FIGURA 2 - Relação entre a recuperação de manganês (R_{Mn}) e a relação Mn/Fe da fração não magnética do minério Urucum pré-reduzido a 750°C, com 5% de moinha de carvão vegetal.



Assim sendo, apresentamos a seguir um processo tecnológico para elevação da relação Mn/Fe e diminuição dos teores de potássio e fósforo do minério de Urucum, que basicamente consiste em:

- Britagem do minério a -10 malhas;
- Pré-redução desse minério em forno de mufla ou forno rotativo, com 5%, em peso, de moinha de carvão vegetal, durante cerca de 50 minutos, a uma temperatura de 750°C. A pré-redução implica na formação de espécies suscetíveis a um campo magnético de baixa intensidade, tais como magnetita, ferro metálico e, provavelmente jacobsita;
- Lixiviação aquosa, do minério pré-reduzido, a uma temperatura $\geq 60^\circ\text{C}$, utilizando, para tal, o calor remanescente do minério recém-descarregado do forno. A lixiviação aquosa extrai cerca de 70% do potássio contido no minério e, praticamente, a totalidade do fósforo;
- Peneiramento a úmido com corte em 48 malhas, originando uma fração -10 +48 malhas e uma solução contendo os finos (-48 malhas);
- Secagem da fração -10 +48 malhas;
- Separação magnética de baixa intensidade, em separador de disco, da fração -10 +48 malhas. A utilização de intensidades de campo magnético na faixa de 1500 a 3000 GAUSS propicia a obtenção de concentrados (fração não-magnética) com relação Mn/Fe na faixa de 7,0 a 9,0, cuja recuperação de manganês (R_{Mn}) varia de 30 a 50%.
- Os finos magnéticos (-48 malhas) contidos no licor proveniente do peneiramento, podem ser recuperados através de separação magnética via úmida de alta intensidade. Os finos não-magnéticos, primordialmente as cinzas do carvão vegetal, podem ser

separados do licor por filtração. O potássio, o sódio e o fósforo contidos no licor podem ser utilizados na fabricação de fertilizantes, através de neutralização desse licor com ácido sulfúrico. Uma outra alternativa seria a obtenção de hidróxido de potássio de grau técnico.

A fração magnética (-10 +48 malhas), originária da etapa de separação magnética em separador de disco, e os finos magnéticos (-48 malhas), recuperados na separação magnética de alta intensidade, apresentam uma relação Mn/Fe = 3,5.

As etapas subsequentes irão depender das características metalúrgicas necessárias aos produtos finais, em função de sua utilização posterior:

h) Os concentrados com relação Mn/Fe > 7,0, bem como os produtos de manganês e ferro com relação Mn/Fe < 7,0, podem ser utilizados na fabricação de ligas (Fe-Mn, Fe-Si-Mn) ou em adição direta, em alto-forno, para produção de gusa. Para tal, faz-se necessário um processo de aglomeração (sinterização ou pelletização) desse material;

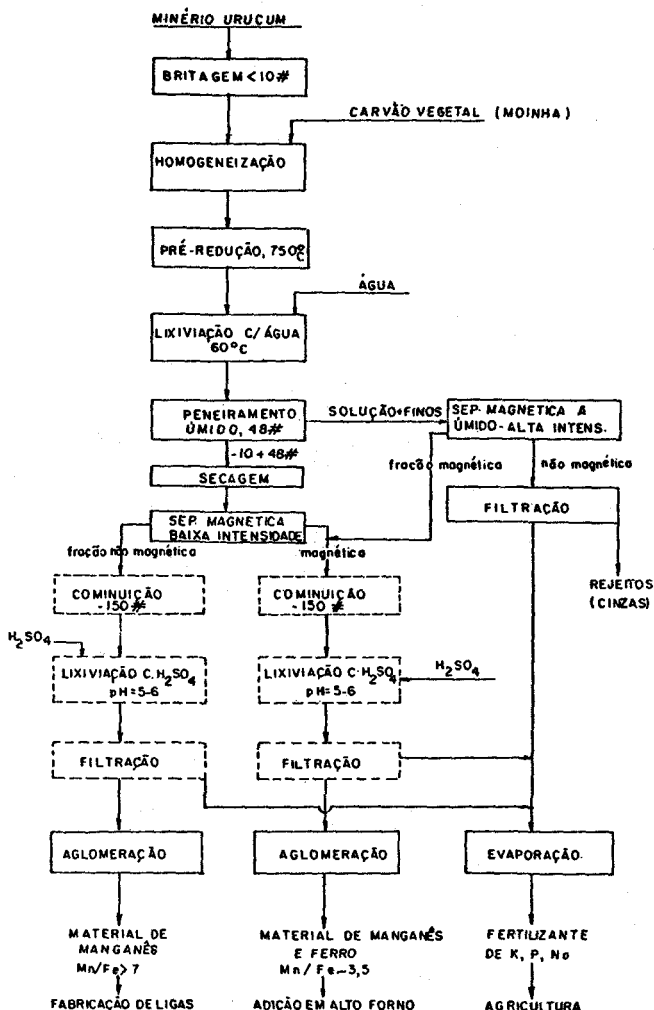
i) No caso específico do mercado internacional (ex.: Alemanha), a pelletização e utilização de pelotas em alto-forno, seja para a produção de ligas ou para adição direta (alto-forno para gusa), requer a extração praticamente total do álcalis contido no minério;

j) Uma remoção adicional de cerca de 20% do potássio pode ser realizada através de moagem do minério a -150 malhas, seguida de lixiviação sulfúrica em pH na faixa de 5 a 6. O sulfato de potássio contido no licor resultante pode ser utilizado na produção de fertilizantes;

k) Uma lixiviação adicional com ácido sulfúrico em pH = 2,0, no caso específico da fração magnética (-10 + 48 malhas) e dos finos magnéticos (- 48 malhas), dissolve íons Mn^{2+} , que podem ser recuperados sob a forma de sulfato de manganês, a ser utilizado em agricultura. Uma outra alternativa seria purificar essa solução de sulfato de manganês e utilizá-la na produção de dióxido de manganês e manganês eletrolítico.

A Figura 3 apresenta o fluxograma do processo tecnológico proposto para o minério de manganês de Urucum.

FIGURA 3 - Fluxograma do processo conjunto de elevação da relação Mn/Fe e redução do teor de álcalis do minério Urucum.



- (02) D'ABREU, J.C. et alii. Termodinâmica e influência da temperatura e do tempo na redução do minério de manganês de Urucum. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DE MATERIAIS, 4, dez. 1980, p. 505-14.
- (03) WESTON, P.L. & FINE, M.M. Reduction roasting-acid solution techniques in laboratory processing of Minnesota manganiferous ores. Pittsburgh, United States Department of the Interior. Bureau of Mines, 1966. (Report of Investigations, 6775).
- (04) COPPETEC. Concentração de minérios de manganês de baixo teor. Relatório de Atividades. COPPE/MT, Rio de Janeiro, n.4, 1974. (Projeto ET - 434/74).
- (05) KINGERY, W.D. et alii. Introduction to ceramics. New York, John Wiley & Sons, 1976.
- (06) MICHAELIS, S. Relatório de atividades no CETEM. Relatório interno. Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia Mineral, 1983. (RI 56/83).

4. Bibliografia

- (01) FELLOWS, L.F. & SILVA, L.M.C.G. Beneficiamento do minério de Urucum, Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia Mineral, 1984.