

APLICAÇÃO DE HIDROCICLONES NO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS

K.R.M.M. Silva¹; M.E.M. Figueira¹ ;

(1) Escola de Engenharia da UFMG – Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais – Universidade Federal de Minas Gerais – Rua Espírito Santo, 35 – Bairro Centro.

CEP 30160-030 – Belo Horizonte – MG.

gilkarine@ig.com.br; meugenia@demet.ufmg.br.

O presente trabalho teve por finalidade estudar uma solução tecnológica para o reaproveitamento e/ou a disposição final de um resíduo sólido, constituído pela lama do processo hidrometalúrgico para a obtenção de MnO e MnSO₄. O resíduo é, de acordo com a norma NBR 10.004/87, um resíduo não-inerte, que exige disposição controlada antes de sua disposição final, a fim de se evitarem impactos ambientais. Os constituintes responsáveis pelo caráter não-inerte, são, especialmente, Mn, Zn, As, Cd, Pb e Cr. Foram realizados testes com hidrociclone para verificar a possibilidade de se obter dois ou mais produtos da separação com teores diferenciados de manganês: um produto rico a ser reaproveitado no processo, e um outro produto pobre, passível de disposição final em conformidade com a legislação ambiental pertinente. A distribuição granulométrica do resíduo indica que uma deslamagem em um diâmetro de corte “d₅₀” aproximadamente igual a 16µm permitiria, em uma separação perfeita, a obtenção de um produto de fundo (underflow) rico nos constituintes acima, uma vez que o resíduo apresenta em d = 16µm, uma porcentagem retido acumulado de 15% em massa. Neste diâmetro, as porcentagens retido acumulado para os constituintes de interesse, são de: 98,6 % para Mn; 97,6 % para Zn; 96,6 % para As; 85,0% para Cd; 95,0% para Pb, e 98,4% para Cr. Teoricamente, com uma deslamagem em d₅₀=16µ seria possível obter-se um produto de underflow rico nos constituintes que conferem o caráter não-inerte a este resíduo, especialmente o manganês; e, um produto de topo (overflow), pobre nesses constituintes. Além disso, a separação perfeita representaria uma redução de 15 % em peso do material a ser disposto (overflow). Foi utilizado o hidrociclone RWK 810 da AKW, de 40 mm de diâmetro. São analisados os fatores de enriquecimento no overflow e empobrecimento no underflow, bem como o rendimento, para os constituintes de interesse. Os resultados indicam que o processo pode representar uma solução para que as empresas do ramo de produção de óxido de manganês e sulfato de manganês tratem seus resíduos, sujeitos a imposições cada vez mais restritivas da legislação ambiental.

Palavras-chave: Gerenciamento de rejeitos. Reciclagem. Resíduo de manganês. Hidrociclone.

Área Temática: Gerenciamento de rejeitos.

INTRODUÇÃO

Empresas do ramo que produz MnO e $MnSO_4$, vem sofrendo com o problema da geração de resíduo proveniente da linha de processo de produção. Esse resíduo é gerado na filtração do licor de lixiviação do MnO com ácido sulfúrico e constitui a torta de filtração, que é enviada para a área de estocagem de resíduo.

Análises realizadas indicam que o teor de Mn presente na lama do processo é cerca de 11% e ainda apresenta uma variedade de outros metais pesados que a caracterizam como não-inerte, devendo ser tratada ou estocada de maneira correta. É de interesse, que o teor de Mn , assim como dos outros metais, sejam reduzidos de maneira a ter a lama classificada como inerte ou obter um aproveitamento desse resíduo no processo.

Para obter essa redução, procurou-se verificar se a deslamagem do resíduo em hidrociclones, permitiria obter um produto passível de reaproveitamento no processo (concentrado em manganês) e o outro, com os componentes que conferem o caráter não-inerte ao resíduo, em teores reduzidos e dentro dos limites especificados, tal a permitir sua disposição de maneira correta (Silva, 2003).

O tratamento desse resíduo gerado no processo se faz necessário para se alcançar o desenvolvimento sustentável, atendendo às exigências cada vez maiores dos órgãos ambientais e contribuindo para a preservação do meio ambiente e melhoria da qualidade de vida.

Para este estudo, optou-se pela deslamagem com o hidrociclone RWK 810 da AKW do Brasil S/A, de 40mm de diâmetro, diâmetro de ápice (bocal do underflow) de $D_u = 16,0$ mm e diâmetro de "vortex finder" (bocal do overflow) de $D_o = 6,5$ mm, que, de acordo com informações do fabricante, permite obter-se diâmetros de corte entre 6 e 16 mm, dependendo das variáveis de operação.

DESENVOLVIMENTO

A unidade de teste do hidrociclone consiste em um tanque de alimentação de 250 litros de capacidade, conectado aos tanques de coleta do overflow e underflow por meio de tubulações e válvulas. Essas válvulas permitem operações em regime contínuo e/ou reciclo (operações de pós – deslamagem, elutrição, e outros).

Os sólidos são mantidos em suspensão no tanque de alimentação por meio da circulação da lama (suspensão) através da bomba, e, através das tubulações de "by – pass", auxiliados por defletores de fluxo existente nas paredes interno do referido tanque.

Foi utilizada suspensão do resíduo contendo 5% de sólidos em peso. O valor médio da densidade do sólido é $2,85$ g/cm³. Em cada teste foram utilizados 100 litros de suspensão e 5,15 kg de sólidos. A suspensão foi mantida em circulação durante, pelo menos, 10 minutos para fins de homogeneização. Instalado o hidrociclone, abriu-se progressivamente a válvula do fluxo de alimentação do hidrociclone, deixando a polpa circular pelo hidrociclone durante 5 minutos, até estabelecer as condições permanentes de descarga dos fluxos.

Foram coletadas amostras simultâneas de overflow e underflow, em tempo cronometrado. Essas amostras foram encaminhadas para análises granulométricas (peneiramento em Série Tyler, Cyclosizer e Sedigraph) e análise química.

Os resultados das análises granulométricas dos produtos dos hidrociclones foram representados graficamente pela função distribuição granulométrica RRSB (Rosin – Rammler – Sperling – Benneth), por ser a função mais conveniente para descrever o comportamento de produtos de ciclonagem (Figueira, 1989). Os resultados da análise granulométrica realizada preliminarmente no material também foram plotados de acordo com esta função.

Foram realizadas análises químicas das massas retidas em cada fração de tamanho (ou seja, retida em cada peneira da série utilizada) para se conhecer a distribuição dos diversos componentes químicos por faixas de tamanho, em especial, do manganês.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição química do resíduo para os principais constituintes é de: 10,95% de Mn; < 0,10% de As; 0,036% Pb; < 0,01% Cd; < 0,10% CN; 0,013% Cr; 0,19% Zn.

A figura 01 representa a distribuição granulométrica dos sólidos e dos teores dos constituintes do resíduo em função do tamanho de partículas. A análise desta figura permite estimar o resultado teórico de uma separação ideal de deslamagem no hidrociclone, num dado d_{50} . Por exemplo, para um diâmetro de partícula de 15 μm , tem-se que, o resíduo apresenta um retido acumulado de 15% neste tamanho de partícula, e, 98 % do manganês contido no resíduo concentra-se acima deste tamanho de partícula. Desta forma, a deslamagem do resíduo contendo 10,94% de manganês, com uma separação ideal em $d_{50}= 15 \mu\text{m}$, permitira obter-se um produto de underflow contendo, pelo menos, 15 % da massa de sólidos alimentados, com um teor de manganês de cerca de 72%. A mesma análise pode ser estendida para os outros componentes do resíduo.

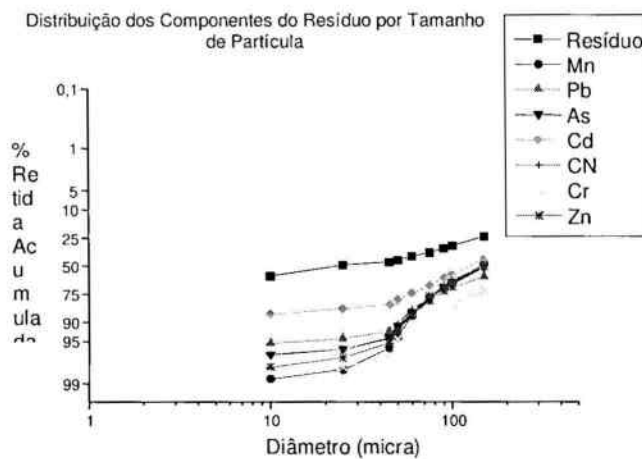


Figura 01: Distribuição dos Componentes do Resíduo por Tamanho de Partícula.

A figura 02 representa a distribuição granulométrica das amostras dos fluxos de alimentação, overflow e underflow do hidrociclone.

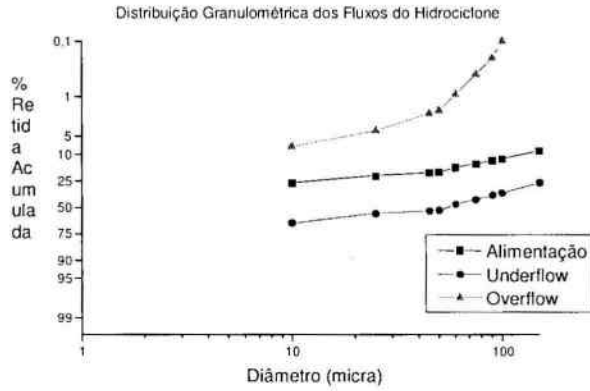


Figura 02: Distribuição Granulométrica dos Sólidos contidos nos Fluxos do Hidrociclone

O tamanho de separação (d_s) e o diâmetro de corte (d_{50}) do hidrociclone foram calculados através das Curvas de Tromp e de Tromp Reduzida, ou seja, através da representação gráfica dos números de distribuição $T(X)$ e $T^*(X)$ em função dos “diâmetros equivalentes de Stokes” (X) das partículas, cujos resultados estão na figura 03 (Trawinski, 1977). De acordo com a figura 03, os valores de d_{50} e d_s são de $16,3\mu\text{m}$ e $15,0\mu\text{m}$, respectivamente.

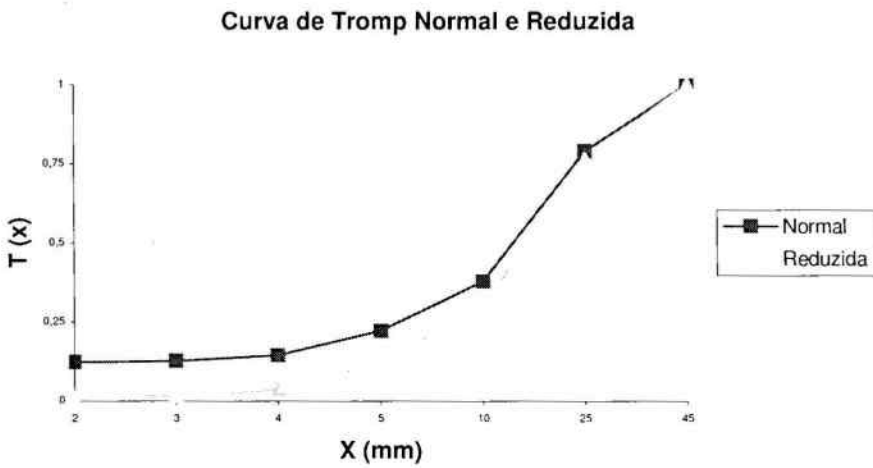


Figura 03: Curva de Tromp e Tromp Reduzida.

Os fatores de desempenho do hidrociclone são influenciados pelas características de projeto e de operação do hidrociclone, de acordo com Figueira (1981) e estão listados na tabela I. Nesta tabela, Q_o e Q_u são as vazões de suspensão para o overflow e underflow; L_o e L_u são as vazões de líquido para o overflow e underflow, respectivamente.

Tabela 1 – Fatores Adimensionais de Desempenho do Hidrociclone.

Fator	Definição	Modificação Do/Du=0,41 [6,5mm/16,0 mm]
Tamanho de Separação, d_s (μm) (curva de Tromp)	$T(d_s) = 50\%$	15,0
Diâmetro de corte, d_{50} (μm) (curva de Tromp reduzida)	$T^*(d_{50}) = 50\%$	16,3
Nitidez da separação, I	$I = (d_{75} - d_{25}) / 2d_s$	0,57
Recuperação de massa no underflow, θ	$\theta = M_u / (M_u + M_o)$	0,33
Divisão de Volume de Suspensão para o Overflow, α_o	$\alpha_o = Q_o / (Q_o + Q_u)$	0,85
Recuperação de massa reduzida, χ	$\chi = \theta + \alpha_o - 1$	0,18
Recuperação de líquido no underflow, R_v	$R_v = L_u / (L_u + L_o)$	0,15
Recuperação de líquido no overflow, $(1 - R_v)$	$1 - R_v = L_o / (L_u + L_o)$	0,85
Eficiência de separação, ε	$\varepsilon = \theta - R_v$	0,18

Para o diâmetro de corte " d_{50} " obtido, comparou-se a recuperação real (calculada a partir dos resultados experimentais) e a ideal (calculada a partir da consideração de separação perfeita no hidrociclone) de alguns componentes do resíduo, tais como: manganês, arsênio, chumbo, cromo total e zinco, componentes esses que se encontravam acima do limite, nos testes de solubilização e lixiviação, realizados logo no início do estudo. Os resultados estão na tabela 2.

Tabela 2 – Comparação entre a composição dos fluxos do hidrociclone no caso de separação ideal e real.

Componentes	Teor dos Componentes do Resíduo nas Amostras de Sólidos dos Fluxos do Hidrociclone (% em peso)			
	Separação Real		Separação Ideal	
	Overflow	Underflow	Overflow	Underflow
Manganês	4,50	10,4	0,2	86,4
Chumbo	< 0,01	< 0,01	0,002	0,3
Zinco	0,07	0,11	0,005	1,5
Cromo Total	< 0,005	< 0,005	0,0002	0,10
Arsênio	< 0,01	< 0,01	0,004	0,8

Cálculos feitos com as massas de overflow, underflow e alimentação, mostram que há um erro significativo na massa que vai para o overflow e underflow de acordo com os gráficos das figuras 01 e 02 e a tabela 2. Para o underflow o erro é de +161,7%, significando que há um excesso de material neste fluxo, em relação ao esperado; para o overflow, o erro é de -23,1%, significando que está faltando material.

Como a recuperação de massa no underflow (θ) foi muito acima da esperada, pode-se dizer que, parte das partículas com $d \leq d_{50}$, que deveriam sair pelo overflow, migraram para o underflow, aumentando a recuperação de massa e diminuindo assim o teor real dos componentes em relação ao teor estimado para uma separação ideal. O baixo valor da nitidez de separação ($I=0,57$) também comprova esta afirmativa.

De acordo com a distribuição granulométrica do resíduo e de seus diferentes constituintes (Figura 1), uma deslamagem do resíduo em d_{50} aproximadamente igual a $16\mu\text{m}$ permitiria, em uma separação perfeita (ideal), a obtenção de um produto de underflow rico nos constituintes acima, uma vez que, o resíduo apresenta em $d=16\mu\text{m}$, uma porcentagem retido acumulado de 15% em massa; 98,6 % de manganês; 97,6 % de zinco; 96,6 % de arsênio; 85,0% de cádmio, 95,0% de chumbo e 98,4% de cromo. Ou seja, numa separação ideal, neste diâmetro de corte, haveria uma recuperação ideal de massa no underflow de 15%, equivalente à porcentagem em massa do resíduo retido acumulado neste d_{50} .

Teoricamente, com uma deslamagem neste d_{50} seria, então, possível, obter-se, como desejado e proposto neste estudo, um produto de underflow rico nos constituintes que conferem o caráter não-inerte a este resíduo, especialmente o manganês; e, um produto de topo (overflow), pobre nesses constituintes. Além, disso, a separação perfeita representaria uma redução de 15 % em peso do material a ser disposto (ou seja, o overflow). Desta forma, estaríamos numa direção correta de reaproveitamento deste resíduo.

Com as amostras de sólidos contidos no overflow e underflow, foram realizados testes de solubilização, de acordo com a NBR ABNT 10.006/87, a fim de se verificar se a deslamagem do resíduo no diâmetro acima, teria possibilitado a obtenção de, pelo menos um produto não - inerte. A composição das soluções resultantes está na tabela 3.

Tabela 3: Composição das soluções dos testes de solubilização dos sólidos nos fluxos do hidrociclone

Componente	Valor permitido mg/L	Composição das soluções dos teste de solubilização (mg/L)	
		Underflow	Overflow
Manganês	0,1	704,6	434,6
Chumbo	< 0,05	< 0,10	< 0,10
Crmo total	0,05	< 0,01	< 0,01
Zinco	5,0	0,102	0,062
Arsênio	< 0,05	<1,0	< 1,0

Os resultados dos testes de solubilização dos sólidos contidos no overflow e underflow demonstram que os produtos mantêm seu caráter não - inerte, depois da ciclonagem. Os resultados também demonstram que, tanto o zinco como o cromo ficaram em concentrações abaixo do permitido.

Os fatores de enriquecimento do overflow (ou seja, a razão entre a concentração do metal no overflow e na alimentação) e de empobrecimento do underflow (razão entre a concentração do metal na alimentação e no underflow) e o rendimento ("yield") dos metais no overflow (Y, ou seja, a porcentagem do metal originalmente

encontrado na lama que é removido e encontra-se concentrado na suspensão do overflow) para cada componente, calculados a partir dos resultados experimentais, foram:

- ✓ O fator de enriquecimento do overflow: 46,2% para Mn; 73,1% para Pb; 73,1 % para Cr; 76,5% para Zn; 73,1% para As;
- ✓ O fator de empobrecimento do underflow: 49,1% para Mn; 71,6 % para Pb; 71,6% para Cr; 43,1% para o Zn; 71,6% para o As.
- ✓ Rendimento (Y): 53,77% para Mn; 26,85% para Pb; 26,85% para Cr; 23,48% para o Zn; 26,85% para o As.

A partir dos resultados dos fatores de enriquecimento (Z) e empobrecimento (S) e do rendimento (Y) pode-se verificar que: o manganês está distribuído de forma praticamente uniforme no overflow e no underflow, como indicam os valores de Y (aproximadamente 54%) e Z (aproximadamente 46%); os demais componentes concentram-se mais no underflow.

Considerando-se que, a relação "Z x S" expressa a concentração do metal no overflow em relação à sua concentração no underflow, pode-se também que: para o manganês o valor é 0,23; apesar da concentração de manganês no overflow ser cerca de 0,20 vezes menor do que no underflow, tal fato não contradiz a afirmativa acima de que o manganês se distribui uniformemente nesses dois fluxos, pois, como pode ser visto na tabela 1, a divisão de volume de suspensão da alimentação para o overflow (α) é de 0,85. Isto indica que, para uma mesma massa de manganês no overflow e no underflow, a concentração no overflow será menor do que no underflow.

CONCLUSÕES

O resíduo constituído da lama de MnO e MnSO₄, de acordo com a norma NBR 10.004/87 é um resíduo não-inerte, que exige disposição controlada ou inertização antes de sua disposição final, a fim de se evitarem impactos ambientais. Os constituintes responsáveis por esta classificação são, especialmente, Mn, Zn, As, Cd, Pb e Cr.

A deslamagem do resíduo em suspensão contendo 5% de sólidos em peso resultou em um diâmetro de corte de 16,3 μ m. A recuperação de massa no underflow foi de 33%, muito acima da esperada com base nos valores estimados a partir da distribuição granulométrica do resíduo sólido e dos constituintes acima. Este dado indica que uma porção elevada de partículas que deveriam ter saído no overflow migraram para o underflow, levando a uma nitidez de separação de 57%, muito baixa.

Como consequência, houve um aumento do teor (além do esperado) não só de manganês como dos demais constituintes no overflow, em razão da diminuição da massa de sólidos com partículas de diâmetro menor do que d_{50} , neste fluxo.

O manganês se distribuiu uniformemente no overflow e no underflow, como demonstrado pelos valores de Rendimento (Y) de 54%, e de "Empobrecimento x enriquecimento" (Zx S) igual a 0,23.

O produto de topo (overflow) continuou tendo um caráter não-inerte, comprovado pelo teste de solubilidade dos sólidos nele contidos.

Como base no acima exposto, pode-se concluir que não foi possível separar, em uma única etapa de deslamagem, o resíduo em dois produtos com as características pretendidas:

- ✓ Um produto de fundo (underflow) rico em manganês, para reaproveitamento;
- ✓ Um produto de topo (overflow), pobre em manganês e com os demais constituintes em concentrações tais, que o sólido pudesse ser considerado inerte e disposto sem posteriores tratamentos.

Todavia, apesar de não se ter alcançado o objetivo desejado neste trabalho, o processo, após otimização, pode ser viável técnica e economicamente, e pode representar uma solução a ser usada pelas empresas do ramo de produção de óxido de manganês e sulfato de manganês para tratarem seus resíduos, sujeitos à imposições cada vez mais restritivas da legislação ambiental.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, e, em especial, ao Dr.Ing. Volker Eisenlohr (*in memorium*), Diretor da AKW do Brasil S/A, e, à NETZSCH do Brasil S/A pelo fornecimento dos recursos laboratoriais necessários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. NB-66; referências bibliográficas. Rio de Janeiro, 1989. 19p.
- FIGUEIRA, M.E. M. Aplicação de Hidrociclone na Deslamagem da Rocha Fosfática de Itatiaia - Ceará. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1981. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Metalúrgica).
- FIGUEIRA, M.E. M. Operações Unitárias A. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1989. Cap 2: Função Distribuição, pg.25 –30.
- SILVA, K. R. M. M. Utilização de Hidrociclones no Tratamento e ou Reaproveitamento de Resíduo Constituído pela lama do Processo de Produção de $MnSO_4$ e MnO . Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, Julho de 2003. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas).
- TRAWINSKI, H. F. Soild – Liquid Separation – Equipmente and Scaleup.1977, cap. 7: Hydrocyclones, pg 86 - 104.