

# CAPÍTULO 7 – ENSAIOS DE CLASSIFICAÇÃO EM HIDROCICLONE

## **João Alves Sampaio**

Engenheiro de Minas/UFPE, Mestre e Doutor em  
Engenharia Metalúrgica e de Materiais/COPPE-UFRJ  
Tecnologista Sênior do CETEM/MCT

## **Gerson Pereira Oliveira**

Engenheiro Químico/UFPA  
Especialização em Tecnologia Mineral/UFPA  
Engenheiro da Mineração Bauxita Paragominas/MBP-CVRD

## **Antonio Odilon da Silva**

Técnico Químico/AFE – Associação Fluminense de Educação  
Técnico Químico do CETEM/MCT



## 1. INTRODUÇÃO

Embora a existência dos hidrociclones reporte a 1890, somente a partir de 1940 iniciou-se a fabricação desse equipamento com tecnologias avançadas. Nos anos seguintes, milhares de hidrociclones foram instalados e hoje esses equipamentos são considerados padrões em muitas empresas. Trata-se de um equipamento versátil, de capacidade elevada e sem partes móveis. Os hidrociclones possuem vasta aplicação na área de processamento mineral. Dentre outras, podem ser citadas:

- (i) nos circuitos fechados de moagem;
- (ii) na deslamagem de minérios para a flotação;
- (iii) na remoção de partículas menores que 10  $\mu\text{m}$ , operação de desaguamento.

Os hidrociclones são alimentados com polpa de minério, resultando como produtos o *underflow* e o *overflow*. O primeiro contém a maior parte das partículas grossas que foram alimentadas e o segundo engloba a maioria das partículas finas, que foram classificadas.

Basicamente um hidrociclone consiste de uma parte cilíndrica seguida de uma parte cônica que possui, em seu vértice, uma abertura, denominada *apex*, pela qual descarrega o *underflow*. A alimentação é introduzida tangencialmente à seção cilíndrica, em que há um tubo coaxial denominado *vortex finder*, pelo qual é descarregado o *overflow* (Carrisso, 2004).

A energia potencial armazenada na polpa, em razão do bombeamento é transformada em energia cinética, e devido à geometria do hidrociclone, esta produz um movimento rotacional da polpa. As partículas de diâmetros maiores tendem a ocupar as regiões mais periféricas do cilindro e, conseqüentemente, do cone. As partículas de diâmetros menores são deslocadas para a região central do hidrociclone. Desta forma, a região próxima à parede do hidrociclone é ocupada, preferencialmente, por polpa com predominância de partículas grossas e a região central, por polpa com predominância de partículas finas (Kelly, 1982).

Na região central do hidrociclone, na qual ocorre a mudança da seção cilíndrica para a cônica, o sentido do escoamento é invertido. Nessa seção cônica ocorre o estrangulamento no *apex* do cone, fazendo com que a maior parte do fluxo, com menor quantidade de partículas, seja descarregado no orifício oposto, o *vortex finder*, de diâmetro relativamente maior que o do *apex*. Isto possibilita a classificação, pois a polpa da região central, descarregada pelo *overflow*, contém uma população relativamente maior de partículas finas comparada àquela descarregada pelo *underflow*. A Figura 1 ilustra com detalhes as várias seções e/ou partes do hidrociclone.

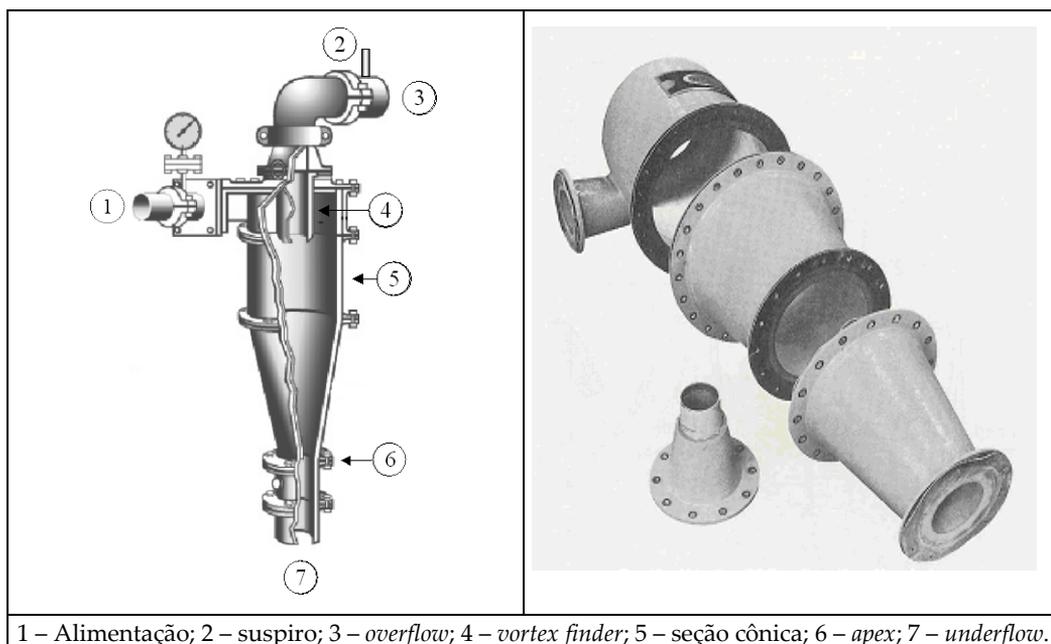


Figura 1 – Desenhos ilustrativos das seções e/ou partes de um hidrociclone.

A classificação em hidrociclone inclui o escoamento de duas fases: a líquida, composta de água, e a sólida, que é constituída pelas partículas do minério.

Neste Capítulo é feita uma descrição dos procedimentos básicos para realização de testes unitários (contínuos e descontínuos) de hidrociclonagem

em escala piloto, os quais resultaram da prática operacional e das pesquisas realizadas no CETEM.

## 2. MECANISMO DE FUNCIONAMENTO DE UM HIDROCILONE

O fenômeno de esvaziamento de um tanque, por um dreno central em sua base, provoca o escoamento rotacional livre do fluido, através do dreno e forma um vórtice no meio da massa fluida (Kelly, 1982). Observando-se o comportamento de uma partícula isolada em suspensão, o seu movimento está associado a pelo menos três componentes de velocidade, a saber:

- (i) velocidade linear, tangencial à trajetória circular da partícula;
- (ii) velocidade angular, referente ao seu deslocamento radial em relação ao eixo da coluna de ar no dreno central;
- (iii) velocidade vertical, referente a um dado plano de referência (a base do tanque, por exemplo).

O exame de cada velocidade atuante nas partículas, em processamento no hidrociclone, permitirá compreender a classificação de partículas no processo de hidrociclonagem, entretanto esse não é o objetivo deste trabalho.

## 3. INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS NA CLASSIFICAÇÃO POR HIDROCICLONE

Na hidrociclonagem ocorre uma classificação de partículas, ou seja, estas estão contidas numa polpa, com as quais se obtêm, após a classificação, duas classes de partículas, uma contida no *underflow* e outra no *overflow*. Teoricamente essas duas classes de partículas deveriam ser uma fina e outra grossa, mas na prática, a fração contida no *underflow* inclui a maior quantidade de partículas grossas, enquanto aquela contida no *overflow* inclui a maior quantidade de partículas finas. É conclusivo que a classificação não é perfeita, ou seja, a classificação não ocorre num tamanho bem definido. No caso do peneiramento, esse corte é exato, porque a classificação acontece sob um determinado tamanho, bem definido pela abertura da peneira (Mular, 1980).

Desse modo, o exame da classificação por hidrociclone é feito segundo o conceito de percentagem das partículas passantes na abertura de uma

determinada malha. Por convenção, ficou estabelecido que o diâmetro de corte seria  $P_{80}$  ou  $P_{50}$ . Trata-se de um procedimento útil à análise da eficiência de classificação por hidrociclone.

Na operação do hidrociclone há uma regra, quase universal, para utilização do  $P_{50}$ , como diâmetro de corte na classificação, mais conhecido como  $d_{50}$ , isto é, o diâmetro ou tamanho de partículas com 50% de probabilidade de ir para o *underflow* ou *overflow*, durante a classificação. A determinação desse valor dá-se por meio da análise granulométrica, em laboratório, de amostras dos fluxos da alimentação e *underflow*. Os resultados das análises granulométricas são plotados em um gráfico, em que, no eixo das abscissas estão os tamanhos das partículas em  $\mu\text{m}$  e, no eixo das ordenadas, estão os valores da recuperação no *underflow*. A curva obtida é chamada de curva de partição, na qual se determina o diâmetro ( $\mu\text{m}$ ) mediano de partição, conforme ilustrado na Figura 2.

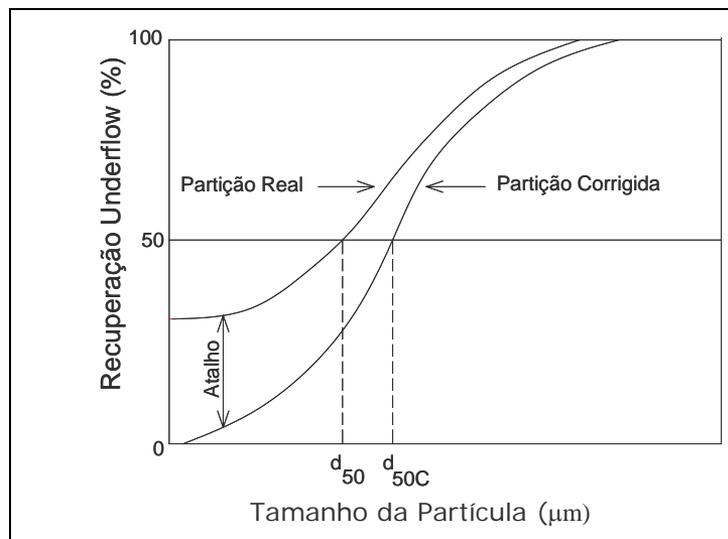


Figura 2 – Curvas de partição típicas de um hidrociclone com a ilustração dos diâmetros medianos de corte.

O diâmetro de corte  $d_{50}$  é influenciado por inúmeras variáveis, sob o aspecto conceitual (parâmetros de equipamento) e pela operação em si. Nos hidrociclones industriais pouco se constata alterações desses parâmetros, pois as variações podem implicar em mudanças no projeto do equipamento.

Entretanto, os hidrociclones usados em escala piloto permitem modificações de alguns parâmetros. Aqui serão discutidos apenas os parâmetros considerados importantes na operação de hidrociclones: diâmetro do hidrociclone, diâmetro e comprimento do *vortex finder*, área do injetor (*inlet*), diâmetro do *apex*, comprimento da parte cilíndrica e ângulo de cone (Mular, 2003).

**Diâmetro do hidrociclone** - Na prática, o diâmetro de corte é determinado pelas dimensões do hidrociclone. Este parâmetro exerce maior influência no diâmetro de corte da classificação, e o diâmetro interno da seção cilíndrica determina a capacidade do equipamento. A classificação em granulometrias finas requer a utilização de hidrociclones com pequenos diâmetros, exigindo que se trabalhe com grupos desses equipamentos, conhecidos como baterias, instalados em paralelo, para capacidades elevadas. Resumindo, quanto maior o diâmetro do hidrociclone, maior será o corte granulométrico da classificação, porque esses equipamentos proporcionam menor aceleração às partículas, isto é, a força de aceleração é inversamente proporcional ao diâmetro do hidrociclone.

**Área do injetor (AI)** - Determina a velocidade de entrada e, conseqüentemente, a velocidade tangencial, que também varia com o raio da seção cilíndrica. No dimensionamento do hidrociclone é comum usar, para cálculo da área do injetor (AI) de um hidrociclone com diâmetro  $D$ , a expressão da Equação 1.

$$(AI) = 0,05 D^2 \quad [1]$$

De modo análogo, a velocidade tangencial  $V_t$  é, aproximadamente, igual à velocidade de entrada ( $V_e$ ) na seção cilíndrica do equipamento (Mular, 1980).

Variações na área de entrada implicarão em variações na capacidade (kg/h) do hidrociclone e na redução da pressão. Portanto, torna-se indispensável a realização de ensaios em unidade piloto para otimização deste parâmetro.

**Comprimento da seção cilíndrica e ângulo de cone** - São os parâmetros que afetam o tempo de residência da polpa no hidrociclone. É comum, o uso

do comprimento da seção cilíndrica  $C$  igual ao seu diâmetro  $D$ . O aumento de  $C$  eleva o tempo de residência e, em consequência, se obtém uma classificação mais fina.

Para um hidrociclone com seção cilíndrica de diâmetro fixo, a diminuição do ângulo da seção cônica aumenta o comprimento da seção cilíndrica, induzindo um aumento do tempo de residência. Nesse caso, a classificação também será mais fina.

**Diâmetro e altura do *vortex finder*** - O diâmetro do *vortex finder* situa-se entre 35 e 40% do diâmetro interno do hidrociclone, entretanto não se trata de uma regra absoluta. As dimensões deste parâmetro exercem uma influência significativa sobre a:

- (i) eficiência da classificação e capacidade (kg/h) do hidrociclone;
- (ii) pressão, cujo valor pode reduzir ou aumentar.

Para um mesmo hidrociclone, acréscimos no diâmetro do *vortex finder* provocam também acréscimos no diâmetro de corte de classificação e na percentagem de sólidos no *overflow*.

O comprimento do *vortex finder* deve ser suficiente para que sua base seja horizontalmente posicionada abaixo do injetor. Desse modo, evita-se curto-circuito de partículas, isto é, passagem direta das partículas ao *overflow*, sem sofrer classificação.

**Diâmetro do *apex*** - Os hidrociclones pequenos, com diâmetros menores que 250 mm, usados nos estudos em escala piloto, possuem o ângulo do cone da ordem de  $12^\circ$ , enquanto os maiores possuem um ângulo de, aproximadamente,  $20^\circ$ . É aconselhável que o *apex*, ponto de maior desgaste do equipamento, possua um diâmetro menor que um quarto do diâmetro do *vortex finder*.

O aumento do diâmetro do *apex* diminui o diâmetro de classificação. A relação inversa é mais limitada, pois as partículas maiores só podem ser descarregadas pelo *apex*. Se o diâmetro do *apex* for muito pequeno, deverá ocorrer um acúmulo de material grosso no cone, aguardando a sua descarga. Conseqüentemente, partículas que já foram rejeitadas pelo *vortex finder* podem

retornar e serão descarregadas, o que aumentará o diâmetro da classificação granulométrica. Quando a operação resulta na descarga do *underflow*, segundo o formato de cordão, denota uma sobrecarga do *apex* com partículas grossas ou, de modo inadvertido, seu estrangulamento. Nesta situação, essas partículas são forçadas a sair pelo *overflow*, prejudicando, de forma expressiva, a eficiência da classificação. Por outro lado, a descarga em forma de guarda-chuva é característica de um *apex* muito aberto. Finalmente, o operador percebe a operação eficiente do hidrociclone, quando o *underflow* descarrega na forma de um cone de ângulo pequeno, ou chuveiro, que é a posição adequada à classificação perfeita. As três situações estão esquematizadas na Figura 3.

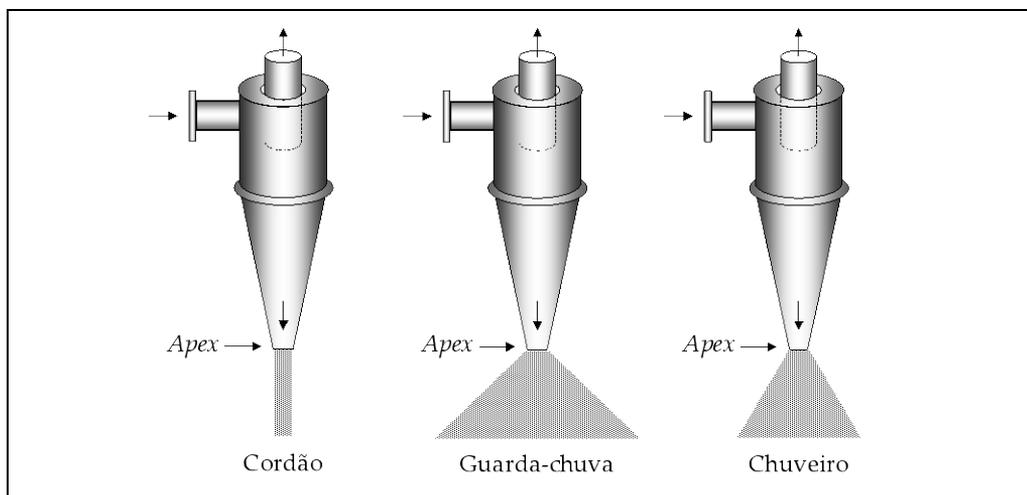


Figura 3 – Diagramas ilustrativos de três formas de descarga do *underflow* do hidrociclone.

#### 4. INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS OPERACIONAIS NA CLASSIFICAÇÃO POR HIDROCICLONE

As variáveis operacionais são aquelas que o operador pode modificar por razões diversas, decorrentes, em muitos casos, das peculiaridades inerentes à pesquisa realizada e/ou operação. Aquelas mais importantes à operação dos hidrociclones serão discutidas neste trabalho e constam da relação a seguir:

- (i) concentração de sólidos na alimentação;
- (ii) distribuição granulométrica do minério;
- (iii) formas das partículas na alimentação;
- (iv) pressão na alimentação;
- (v) viscosidade e densidade da polpa.

**Percentagem de sólidos na alimentação** - O aumento dessa variável tende a aumentar o diâmetro de corte. Logo, quanto maior o valor desta variável, as partículas mais grossas enfrentarão mais obstáculos para atravessar a zona de partículas mais finas e decantam na zona de centrifugação. O controle da percentagem de sólidos é feito pelo operador, primeiro, medindo o valor dessa variável com auxílio de uma balança MARCY, ou com procedimentos operacionais para medidas mais confiáveis.

**Distribuição granulométrica da alimentação** - Esta variável determina a relação entre as frações retida e passante na malha de classificação, ou seja, os sólidos residuais no *overflow*, que influenciarão no diâmetro de classificação. Quanto maior for a quantidade de lamas na alimentação, mais viscosa será a polpa e, conseqüentemente, maior será o diâmetro de classificação, pelas razões citadas no item 3 deste Capítulo. As medidas das percentagens de sólidos são feitas para os fluxos da alimentação, *overflow* e *underflow*, com auxílio da balança MARCY. Também devem ser determinadas as vazões de polpa dos três fluxos.

**Pressão da alimentação** - Reservam-se cuidados especiais com o aumento da pressão na alimentação do hidrociclone, por razões várias. Na prática, aumenta-se a pressão quando a velocidade de rotação (rpm) da bomba é elevada. O aumento da pressão provoca um acréscimo na capacidade (kg/h) do hidrociclone, que implicará no aumento da velocidade tangencial e, por conseqüência, estende o mesmo efeito à velocidade angular. O resultado é um campo centrífugo com maior intensidade. Portanto, prover maior valor à pressão de alimentação significa oferecer maior chance de decantação centrífuga às partículas menores, diminuindo o diâmetro de corte. No entanto, operações com demasiado valor da pressão (superiores a 7,0 atm) resultam em

excessivos custos operacionais e de manutenção da bomba de polpa, o que é indesejado.

Entende-se por queda de pressão na hidrociclonagem, a diferença entre as pressões de entrada do hidrociclone e àquela medida no *overflow*. O hidrociclone deve sempre descarregar sob pressão atmosférica, isto é, o ideal seria que a pressão de entrada fosse igual à queda de pressão. É comum o uso de um suspiro, pequeno tubo livre para a atmosfera, localizado na parte mais elevada da tubulação do *overflow* (Figura 1). O operador deve sempre estar atento ao suspiro, a fim de evitar a sua obstrução e, em especial, nas operações em escala piloto. Desse modo, não há chance de ocorrer o fenômeno da sifonagem pelo *overflow*.

## 5. PROCEDIMENTO DOS TESTES

As condições operacionais da hidrociclonagem em testes unitários são previamente definidas pelo responsável por toda a investigação. Os experimentos possuem um objetivo de maior extensão, qual seja, a otimização do processo e sua viabilidade econômica. Desse modo, a operação preceitua um ajuste das variáveis operacionais do equipamento para fazê-lo funcionar em regime estabelecido nas condições definidas para o processo. Para isso acontecer, torna-se necessária a atuação de um operador experiente, capaz de conduzir os testes com a habilidade e o cuidado requeridos em cada caso, além de possuir habilidades pessoais para lidar com a equipe.

Os experimentos de hidrociclonagem, como operação unitária, são realizados num conjunto dimensionado e instrumentado para esta finalidade. Neste conjunto, normalmente, se disponibilizam hidrociclones com várias capacidades, bem como peças sobressalentes do injetor, *apex*, *vortex finder*, de maneira a proporcionar diferentes possibilidades de testes direcionados aos resultados desejados na classificação.

### Testes Unitários em Hidrociclones

Em unidade piloto o objetivo dos testes é otimizar o processo de classificação, avaliar as suas variáveis e as possíveis rotas a serem implementadas industrialmente em um projeto novo, ou modificações em um já existente. Isso explica porque os circuitos de hidrociclonagem, em escala

piloto, devem possuir características semelhantes às daquelas do circuito industrial. Dessa forma, os dados obtidos devem ser consistentes e confiáveis. Em decorrência disso, tornou-se prática comum incluir nos hidrociclones das unidades piloto:

- (i) inversores de frequência nos motores das bombas e medidores de pressão na linha de alimentação;
- (ii) grupos de injetor, *apex* e *vortex finder*, com vários tamanhos e diâmetros, para eventuais mudanças de condições operacionais;
- (iii) sistema constituído por tanque de alimentação e bomba horizontal de polpa para facilitar o controle operacional.

A otimização do processo em escala piloto demanda tempo operacional para o controle do processo, principalmente quando o operador e/ou sua equipe de trabalho não possuem a devida experiência. Quando não há disponibilidade da amostra em quantidade suficiente para realização dos estudos, o rigor na condução dos testes torna-se essencial para obtenção dos resultados desejados.

Entre outras recomendações, destacam-se os lembretes registrados no Quadro 1 para a realização de ensaios em hidrociclone. Antes de iniciar os testes, o operador deve comprovar se todos os itens do Quadro 1 foram regularmente obedecidos e se são suficientes à operação. Além disso, o mesmo operador ainda usufrui a liberdade de ampliar aqueles itens, caso seja necessário, em razão das peculiaridades inerentes a cada estudo realizado.

Quadro 1 – Procedimentos, materiais e equipamentos utilizados em testes unitários de hidrociclonagem em escala piloto, a cargo do operador.

ITEM	DISCRIMINAÇÃO
1	Proceder à limpeza de toda a área de trabalho, inclusive dos equipamentos a serem utilizados nos testes. Ao final de cada teste, deixá-los todos limpos e em perfeitas condições operacionais.
2	Verificar a disponibilidade de amostra: quantidade, granulometria, umidade da amostra, para o caso de testes com amostras secas.
3	Preparar a amostra para o teste. No caso de teste com amostra seca, procede-se a secagem, desagregação e quarteamento da mesma em frações adequadas a cada teste.
4	Conferir se todos os equipamentos a serem utilizados estão em bom estado de conservação, inclusive aqueles com partes móveis, verificando se estas partes estão devidamente lubrificadas.
5	Verificar se há disponibilidade dos equipamentos: caixa de hidrociclone com bomba horizontal de polpa, motor da bomba controlado por inversor de frequência, medidor de pressão na linha de alimentação, entre outros.
6	Confirmar se há opções para obtenção de diferentes configurações dos hidrociclones em termos de: injetor, <i>vortex finder</i> , <i>apex</i> , seções cilíndrica e cônica, além de uma balança MARCY para medida da percentagem de sólidos.
7	Comprovar a disponibilidade de um homogeneizador de polpa e alimentador vibratório para alimentação do tanque do hidrociclone.
8	Providenciar um cronômetro para medida dos intervalos de tempo de operação, amostragens e outros.
9	Disponibilizar amostradores para tomadas de amostras e baldes para acondicionamento das mesmas, entre outros.
10	Disponibilizar conjunto de peneiras, série <i>Tyler</i> , para efetuar análises granulométricas das amostras dos fluxos da hidrociclonagem.
11	Disponibilizar estufa adequada à secagem de amostras em escala piloto e balança para pesagem das amostras.
12	Averiguar se todos os registros instalados nas linhas do circuito estão em perfeitas condições de uso.

Nesta etapa da operação, o operador adiciona água ao tanque de alimentação, o suficiente para formar a polpa com a amostra do minério. Liga-se a bomba para circular a água em todo o circuito. A velocidade de rotação da

bomba deve ser aquela estabelecida para o ensaio, isto é, o suficiente para prover a pressão adequada ao hidrociclone, indispensável à classificação do minério. O seu ajuste deve ser feito por meio do inversor de frequência e pelo medidor de pressão, instalados na linha elétrica de alimentação do motor e na linha de alimentação de polpa do hidrociclone, respectivamente, conforme ilustrado na Figura 4.

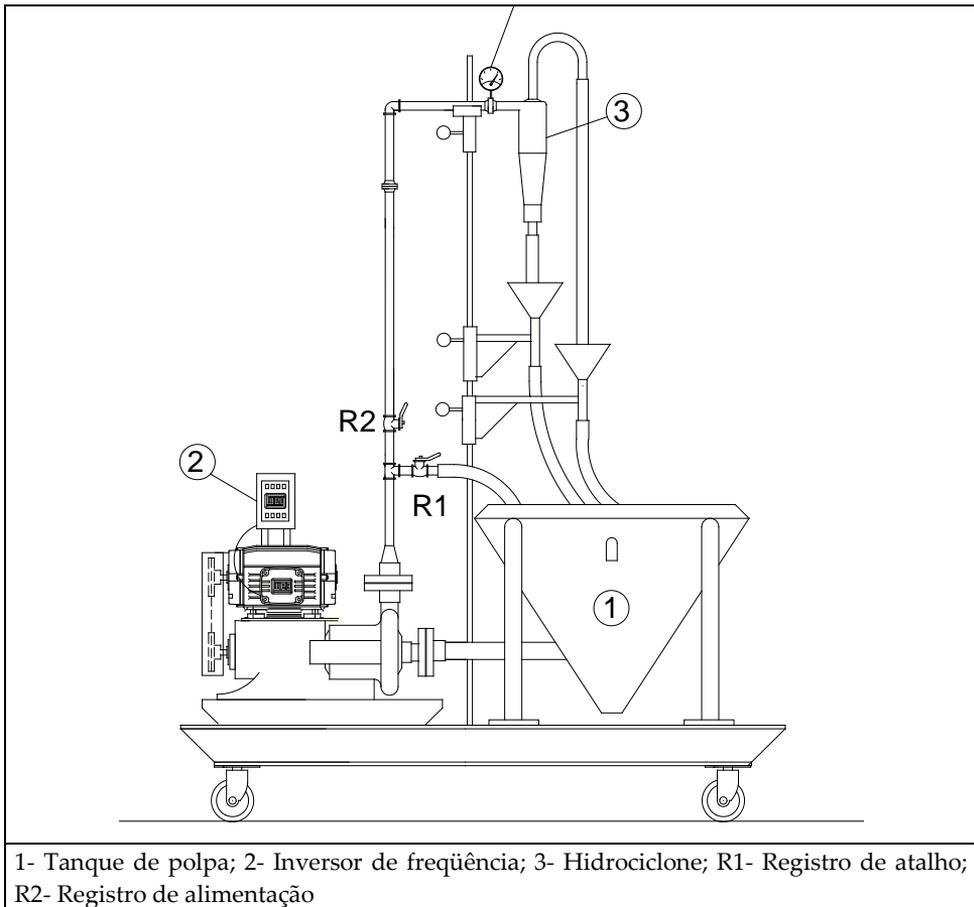


Figura 4 – Desenho esquemático de um circuito fechado de hidrociclonação em escala piloto.

A vazão (L/min) de água na alimentação do tanque deve ser igual à vazão volumétrica de polpa naquela corrente do circuito, isto é, a vazão de retorno da água ao tanque, para não ocorrer esvaziamento do mesmo ou

entrada de ar na sucção da bomba, de sorte que, não interrompa o recalque. Por essa razão, é imprescindível que as bombas de alimentação, por serem centrífugas, trabalhem afogadas. Assim, se justifica a existência de tanques de alimentação para acúmulo de polpa, de forma a trabalhar com uma margem de segurança operacional, sem comprometer a performance operacional do hidrociclone.

Na etapa seguinte adiciona-se a amostra ao tanque, vagarosamente, de modo que o sistema absorva toda a carga. Ao final da adição, o operador deve verificar se a pressão está correta, ou seja, se o valor registrado no medidor de pressão é o mesmo estabelecido previamente. Caso contrário procede-se ao ajuste do mesmo com auxílio do inversor de frequência e do medidor de pressão.

Verificar a circulação da água entre o tanque de alimentação e a bomba, com auxílio do atalho ou registro R1 (Figura 4). Segue-se então a adição da amostra, também vagarosamente. Logo após, abre-se o registro R2 de alimentação e, ao mesmo tempo, fecha-se o registro R1 do atalho. Inicia-se, então, a alimentação do hidrociclone de forma lenta e gradativa. Procede-se à operação até que o hidrociclone seja alimentado com toda vazão da bomba e a pressão seja mantida constante com valor igual ao preestabelecido pelo responsável por toda a pesquisa.

O operador deve observar se os fluxos do *apex* e do *vortex finder* estão normais. A descarga do *apex* deve ter o formato de um cone com pequeno ângulo, caso da operação normal, e não em forma de cordão ou de guarda-chuva. Quando há partição dos fluxos para o *apex* e *vortex finder*, o operador deve corrigir os valores dessas vazões. Muitas vezes isso pode ocorrer por insuficiência da pressão ou obstrução do *apex*.

Após o ajuste do circuito, suposto em regime, procede-se à etapa de amostragem. Os fluxos da alimentação, *apex* e *vortex finder* devem ser amostrados em curtos intervalos de tempo para não causar distúrbio ao sistema. Procede-se, então, às medidas das percentagens de sólidos, feitas com auxílio da balança MARCY. Em seguida determinam-se as vazões de polpa.

Em seguida, efetuam-se as amostragens dos fluxos da alimentação, *underflow* e *overflow*, para análises granulométricas de cada amostra. Com esses dados o operador deverá traçar a curva de partição e determinar o diâmetro mediano de partição.

## 6. TESTES CONTÍNUOS COM HIDROCICLONES

Os teste contínuos realizados em unidade piloto, com mais freqüência, são aqueles ligados aos circuitos de moagens. Os testes contínuos e descontínuos guardam entre si relações muito próximas, em muitos casos coincidentes. Assim, vários procedimentos operacionais, já descritos para os ensaios descontínuos, serão utilizados nos ensaios contínuos.

### Procedimento do Ensaio

De início, alimenta-se o tanque com água e, com a bomba ligada, inicia-se a circulação de água em circuito fechado, mediante a utilização do registro R1 (Figura 4).

O fluxo de polpa que alimenta o tanque do hidrociclone deve incluir percentagem de sólidos, vazão de alimentação (L/h) e distribuição granulométrica do minério moído de acordo com os valores programados, para o ensaio, missão do engenheiro responsável pelas investigações. O fluxo de polpa descarregado no tanque de alimentação provém de um circuito de moagem ou de outro processo.

O operador conduz a alimentação do hidrociclone, fechando o registro R1 e, ao mesmo tempo, abrindo o registro R2 para direcionar o fluxo da bomba ao hidrociclone. Essa manobra deve ser lenta e gradativa e, ao seu final, o operador deve verificar se o valor da pressão no medidor é igual ao programado para o ensaio. Assim, os fluxos do *overflow* e do *underflow* são, imediatamente, redirecionados e não retornam ao tanque de alimentação do hidrociclone. Desse modo, inicia-se a operação em circuito aberto e contínuo, desde que o fluxo de polpa descarregado no tanque de alimentação, também seja contínuo.

As variáveis operacionais são as mesmas já discutidas para o ensaio descontínuo, às quais o operador deve guardar a devida atenção e controle.

Quando o circuito atinge a sua capacidade máxima e, também, o seu estado de equilíbrio, o operador efetua a etapa de amostragem. Ele deve confirmar, ainda, por meio da amostragem, se a pressão de alimentação, taxa de polpa (L/h) e percentagem de sólidos nos fluxos do *overflow*, do *underflow* e da alimentação estão de acordo com os valores programados pelo engenheiro responsável pela investigação.

O procedimento de amostragem inclui a coleta de incrementos, de forma sistematizada, em intervalos de tempos preestabelecidos. Ao final da amostragem, compõe-se a amostra final, que será quarteadada para a realização de análises química, granulométrica, balanços de massa e metalúrgico, determinação de percentagens de sólidos, densidade de polpa, entre outros.

## 7. COMENTÁRIOS

O hidrociclone é mais uma ilustração emocionante de toda ação criativa da engenharia. Sem partes móveis, esse equipamento é extremamente simples em desenho e altamente eficiente, como classificadores dinâmicos. Neste contexto, falta-lhe ainda uma exatidão no processo de classificação. Na realidade, há uma partição granulométrica e não um tamanho de corte definido, como desejariam todos os operadores e pesquisadores.

Há muitas tentativas de análise e descrição das relações entre os fluxos internos dos hidrociclones, algumas delas teóricas e outras baseadas em dados experimentais de laboratório, unidade piloto e, até mesmo, resultados operacionais. A análise desses dados resultou em ferramentas úteis para o cálculo e estudo dos hidrociclones. No entanto, essas ferramentas ainda possuem suas limitações em decorrência do elevado número de variáveis, conhecidas ou não, as quais estão ligadas ao projeto e à operação.

A análise desse conjunto não é trivial, por mais que os hidrociclones sejam equipamentos mecanicamente simples. Não existe um sistema capaz de relacionar todas essas variáveis e expressar, de forma precisa, a operação dos hidrociclones. Há sempre uma necessidade, seja qual for a extensão, dos estudos em escala piloto, de os dados proporcionarem mais precisão e confiança ao dimensionamento dos hidrociclones industriais.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Chaves, A. P. Teoria e Prática do Tratamento de Minérios. São Paulo: Signus Editora. 1ª Edição, 1996.
- Carriso, R. C. C. e Correia, J. C. G. Classificação e Peneiramento. In: Luz, A. B.; Sampaio, J. S e Almeida, S. L. M. (Ed). Tratamento de Minérios. 4ª ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2004. p.197-237.
- Gomes, J. I. A. e Carriso, R. C. C. Aplicação da simulação de hidrociclones em circuitos de moagem. Brasília: DNPM/CPRM, 1985 (Série Tecnologia Mineral, nº 35. Seção Beneficiamento, nº 22.).
- Kelly, E. G. e Spottiswood, D. J. Introduction to mineral processing. New York: John Wiley & Sons, 1982, p.199-236.
- Mular, A. L. Size Separation. In: Principles of Mineral Processing. Fuerstenau, M. C. and Han, K. N. (Ed.) Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. Colorado, 2000.
- Mular, A. L. e Jull, N. A. Cyclone classifiers, pumps and pump boxes for grinding circuits. In Mular, A. L. e Bhappu, R. B. (Ed.) Mineral processing plant design. 2<sup>nd</sup> Edition. Society of Mining Engineers. New York, 1980.
- Mular, A. L. Size separation. In: Fuerstenau, M. C. Han, K. N. (Ed.) Principles of mineral processing. SME, 2003, p.119-172.
- Trawisnk, H. Teoria, Aplicações e Emprego Prático dos Hidrociclones. Separata da Edição nº 394, janeiro de 1978, Revista Mineração Metalurgia.