

13. CONCEITOS FUNDAMENTAIS DO TRATAMENTO DE MINERAIS

por

JOAQUIM MAIA

O F O P

Apresentado no 19 ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS
COPPE/UF RJ 24-25 de maio de 1973 Ilha do Fundão

CONCEITOS FUNDAMENTAIS DO TRATAMENTO DE MINERAISProf. Dr. Joaquim Maia

1. No sentido lato do processamento de minerais, o "tratamento mecânico dos minerais" é arte e prática industrial essencialmente científica. Há meio século perdeu o caráter quase totalmente empírico e experimental, tornando-se aplicação direta de princípios físico-químicos. A evolução não se processou, inicialmente, sem acentuadas restrições dos tradicionais tratadores de minerais, sob alegação de que, na prática, as partículas minerais e os meios constituidos, pólvas ou suspensões, eram muito diversos das concepções básicas teóricas formuladas. Fatores corretivos - de estorvamento, esfericidade, forma, viscosidade, etc - pareciam bastante arbitrários e amplos, para conduzir a dados quantitativos dignos de confiança e não simplesmente qualitativos e grosseiros. A larga aplicação posterior se encarregou de destruir essas dúvidas, provando a viabilidade de resultados altamente precisos, dentro das limitações práticas industriais e da inevitável variabilidade das alimentações dos engenhos e aparelhos de tratamento. A consequência direta desses fatos foi a condução do estudo do beneficiamento de minerais a um trato talvez excessivamente matemático, complexo e especializado. Dizemos talvez ,

2.

por reconhecer que todo excesso aparente, no trato de questões fenomenológicas, tem o mérito de melhor esclarecimento de princípios fundamentais, ainda que, de imediato, possa tornar complexa a compreensão das questões envolvidas.

2. A concepção de que o "tratamento mecânico dos minerais" — isto é, a parte do processamento que ocorre sem alteração da identidade física e química de todos os constituintes, ou seja, sem envolver processos metalúrgicos, cerâmicos ou de tecnologia de combustíveis — é fundamentalmente físico-químico e não empírico ou experimental, constitui o conceito básico dessa disciplina ou aplicação industrial. É sua essência, tornando-o facinante, um desafio à sagacidade e engenhosidade humanas, com caráter de domínio, certeza e previsão. Isso aplica-se tanto ao seu estudo como à utilização prática em laboratórios e nos engenhos industriais. Qualquer procedimento industrial tecnológico envolve, hoje em dia, acentuada contribuição científica. Mas, talvez, nenhum apresente tão acentuada aplicação científica direta como o Tratamento Mecânico dos Minerais. Em parte, isso decorre de que as operações industriais envolvidas são reprodução das de laboratório, não sujeitas às variações grandes que ocorrem, por exemplo, nos aparelhos metalúrgicos, nos quais as operações de escala acrescentam inúmeras variáveis, com condições diversas das verificadas nos ensaios de gabinete

ou de usinas pilotos.

3. É claro, porém, que elementos deduzidos por concepção teórica ou científica, permitindo estabelecimento preliminar de fluxogramas, não excluem necessidade de experimentações de laboratório ou de usinas pilotos, para confirmação ou otimização de resultados e para seleção dos aparelhos mais adequados a cada caso particular. Isso resulta, principalmente, de que não há dois minérios, ou agregados minerais, absolutamente idênticos, implicando composições minerais variáveis, diferentes granulções, ocorrência de minerais secundários e impurezas, condições físicas diversas, etc, além de fatores operacionais atuantes. Muitos elementos são facilmente verificados e controláveis nos estudos preliminares, procedidos com o material a ser tratado. Outros, entretanto, resultarão de proporções variáveis dos materiais alimentados, cujas características individuais foram bem determinadas. Daí, um requisito comum, nos fluxogramas, de permissibilidade de oscilação das proporções dos tipos de agregados minerais alimentados, acarretando certa capacidade ociosa das instalações. É rara uma alimentação bastante uniforme, capaz de possibilitar uma completa adequação entre a capacidade da instalação e a produção diária programada. Normalmente, uma instalação é projetada para certas proporções estabelecidas dos diversos tipos de agregados e sua

4.

capacidade máxima bem como seus índices técnicos de recuperação, relação de concentração e teores dos produtos só são atingidos para essas proporções programadas. Fora delas, fato usual na prática industrial, a capacidade decai e os índices são afetados. Surge, então, uma real discrepância entre os resultados de laboratório e os da prática industrial perfeitamente explicável e não decorrente de considerações puramente teóricas ou ideais.

4. Em outros casos, porém, o desacôrdio ocorre mesmo dentro das faixas de alimentação previstas. É fácil compreender-se que há uma grande diferença entre operações de laboratório, processadas com quantidades limitadas, condições próximas de ótimos preestabelecidos e sob acurada observação e condução técnica categorizada e as operações industriais, em larga escala, mais ou menos tumultuadas e sujeitas a condução operacional de elementos humanos menos capacitados, quando não mesmo de muito reduzida formação técnica. As divergências são tão mais acentuadas quando mais elaborado é o circuito de beneficiamento ou mais delicada a operação, oferecendo maior número de variáveis influenciantes. Assim, é claro que resultados de uma concentração gravitacional são menos susceptíveis de grandes oscilações que os de uma concentração por flutuação, na qual simples variação ocasional de pH ou de irregular alimentação de reagentes podem conduzir a perdas acentuadas e

mais dificilmente observáveis de imediato, além de requerer correções que frequentemente escapam ao discernimento do operador. É, mesmo, um truismo que, conforme os elementos humanos disponíveis, processos menos rebuscados e menos eficiente podem ser preferíveis a outros potencialmente melhores. Tais fatos conduzem a preconizar que os projetos de instalações de beneficiamento de minerais sejam elaborados em moldes conservadores, viáveis na execução e condução industriais e não fundamentados simplesmente em resultados ótimos de laboratório. Frequentemente, essa negligência acarreta descrédito para planejamentos no mais bem executados.

5. Outro conceito fundamental do tratamento mecânico dos minerais é seu caráter unitário. Não tem sentido prático a consideração isolada das várias operações envolvidas. Em cada caso particular, elas constituem uma sequência harmônica, em mútua dependência. Não há comunicação para simples redução de tamanho, pois outros objetivos são conjugados. Mesmo que não se colime uma ulterior concentração envolvendo necessidade de liberação e limites estreitos de faixas granulométricas para as partículas, uma simples produção de brita ou areia requer tamanhos preferenciais ou mesmo formas desejáveis, influenciando seleção de aparelhos e condução operacional. A isso somam-se, quase sempre, rígidas limitações mecânicas

6.

das relações de redução - excluídos aparelhos de aerocafé (Aerofall Milling System). Assim, fragmentação de determinada quantidade diária de material - digamos, fragmentos de 1 m de espessura, para malha de moagem (mog) de 0,208 mm (65 mesh) - não poderá ser projetada com ignorância da natureza do processo de concentração visado. Por sua vez, este processo de concentração será influenciado pelo tamanho da grã do mineral valioso - além, obviamente, da constituição do agregado mineral, natureza química do mineral valioso, suas propriedades físicas e do material associado a ser rejeitado, limitações de "mog" em função das sucessivas reduções, tipos dos aparelhos, modalidades de alimentações, etc. Sem consideração global de um do fluxograma, não é possível a conveniente seleção de es tágios e de aparelhos para as operações envolvidas. Em alguns casos, conveniências econômicas forçarão o aproveitamento ou seleção de determinado equipamento. Neste caso, os aparelhos necessários às demais operações serão condicionados pelos impostos, podendo ou não haver um eficiente processamento. Se há perdas evitáveis com outros esquemas, elas deverão ser avaliadas, podendo conduzir à conclusão que a economia inicial foi mal ajuizada e se revela prejudicial. É fator frequentemente descuidado pelos industriais e até por projetistas. Também, no ensino da matéria não é razoável abordar-se as várias operações envolvidas sem prévia visão holística do conjunto. Esta

idéia mereceu ampla aprovação, em reunião realizada em 1966 na Universidade de Colúmbia, na qual participamos, bem como no "I Simpósio de Tratadores de Minérios", no mesmo ano promovido pela Universidade de São Paulo.

6. Quanto aos princípios técnicos envolvidos, são bem conhecidos e nada há a acrescentar, bastando rememorá-los sucintamente.

a - Concentrados e rejeitos devem ser retirados do circuito de beneficiamento no maior tamanho compatível com a desejada manutenção de teor para o concentrado. -

Desta forma, a custa de maior complexidade do fluxograma, minoram-se as vultosas despesas de cominuição e o encarecimento pela concentração de partículas finas e diminuem-se as perdas que estas inevitavelmente acarretam, obtendo-se melhores recuperações.

b - Em tese, concentrações por características físicas dos minerais componentes podem ser efetuadas com qualquer tamanho das partículas, desde que os constituintes estejam suficientemente liberados para permitir indicação individual de partículas de concentrado e de rejeito. -

Contudo, a flutuação requer moagem geralmente inferior a 0,417 mm ou 0,295 mm (35 ou

48 mesh) e, usualmente, a menos de 0,208mm (65 mesh). Existem vários critérios práticos para essas possibilidades de separações, conforme o método de concentração adotado, o meio em que se processa e o tamanho das partículas. "Verbi-gratia", na concentração gravitacional em água, a separação de partículas até 74 micra (200 mesh) é eficiente quando a relação $\frac{\Delta - \Delta'}{\Delta' - 1}$ é superior a 2,5 — sendo Δ e Δ' as densidades dos constituintes a serem separados. Se esta relação está compreendida entre 2,5 e 1,75, o limite de tamanho se eleva para 147 micra (100 mesh); entre 1,75 e 1,5, a separação eficiente cinge-se a partículas superiores a 1,65 mm (10 mesh); para relação entre 1,5 a 1,25, as partículas devem ter mais de 4,7 mm (10 mesh); para relação inferior a 1,25, outro método de concentração deve ser adotado. No caso de concentração gravitacional por vibração e lavagem, tem-se em conta a estratificação fundada na aceleração inicial :

$$\frac{dy}{dt} = \frac{\Delta - \Delta'}{\Delta'} g ,$$

sendo Δ a densidade do sólido e Δ' a do fluido.

2 - Excetuado o caso da flutuação, a concentração dependerá de apreciável diferença de alguma propriedade física do mineral valioso e da ganga (tamanho, cor, densidade, dureza, magnetismo, condutibilidade elétrica, etc).

Essa "apreciável diferença" é função do método e do meio. Assim, uma diferença de densidade de 0,5 é, comumente, necessária para concentração gravitacional em água, podendo cair para 0,2 em ar e 0,1 em meios densos.

3 - Tempo é fator essencial na consideração das concentrações, afetando drasticamente a capacidade das instalações e, conseqüentemente, o custo operacional.

Como, geralmente, o tempo é maior, para separação de material mais fino, a capacidade de um determinado concentrador decai para partículas mais finas.

4 - Em identidade de condições, uma grande unidade (britador, moinho, concentrador, aparelhos desaguidores e auxiliares, etc) é mais eficiente e mais econômico que várias unidades menores.

Obviamente, isto requer que a unidade maior seja igualmente bem concebida e que possa trabalhar a plena carga. Há, no caso, a

10.

desvantagem de menor flexibilidade para variação de alimentação, podendo ser desaconselhável se isto ocorre com frequência. Daí, o recurso usual, se não imposto por limites dos aparelhos, de circuitos em paralelo, mas que devem ser reduzidos ao estritamente necessário.

7. Conquanto o tratamento mecânico dos minerais seja fundamentalmente científico, suas aplicações práticas são regidas por conceitos econômicos. Isso não elimina pesquisas básicas, teóricas ou práticas, para melhor estudo e entendimento dos fenômenos e causas envolvidas. Mas, o seu ensino e sua aplicação são orientados, como ramo da engenharia, para maior obtenção de lucros. Onde, o conceito que os índices de eficiência técnica - como os de seletividade, eficiência metalúrgica, de recuperação econômica - são de reduzida valia prática, uma vez que, normalmente, a finalidade precípua do tratamento mecânico de minerais não é a obtenção dos maiores teores, das melhores recuperações ou dos mais baixos custos, mas sim uma adequada combinação desses elementos que conduza aos maiores lucros finais.

É bem sabido que não se obtém completa separação dos constituintes da massa mineral tratada, Quanto maior o teor dos concentrados, maiores são as perdas e mais baixa a recuperação. Se o valor do concentrado, por unidade

de de peso, depende, genericamente, do seu teor, o valor glôbal estará também condicionado à sua quantidade total e, portanto à recuperação obtida. Por outro lado, usu almente o custo do tratamento aumenta, para obtenção de maiores teores e melhores recuperações. Portanto, para se conseguirem maiores lucros, esses vários itens devem ser judiciosamente balanceados e combinados. A mais con veniente harmonização afeta os projetos e as operações, im pondo cuidados na escolha e elaboração dos fluxogramas e na condução operacional do tratamento. Não é uma ques tão simples de técnica ou de ensaios do material a ser efe tivamente alimentado. São envolvidos custos de instalações e de todas as operações, especificações, preços e ten dências dos consumidores, custos de fretes e de energia, vulto e vida do engenho, despesas de manutenção, amortizações, etc. Qualquer negligência poderá afetar a rentabi lidade ou malograr o empreendimento. Usualmente, a maior deficiência decorre de superestimar teores e recuperações, fundamentando-se em resultados experimentais de laboratório.

8. Em contraposição à finalidade lucrativa precípua, há um conceito social restritivo, que não pode ser olvidado e que deve decorrer de preceito legal: o princípio de conservação, que rege toda a engenharia mineral. Já mencionava Steidle que, conquante os processos geológicos

perdurem em nossos dias, são tão lentos que praticamente não poderão afetar as reservas minerais, em futuro imediato. Para todas as finalidades práticas, o mundo mineral é um fenômeno estático e como tal deve ser encarado. As reservas comprovadas e lavráveis são relativamente escassas e a humanidade não se pode permitir o luxo de malbaratá-las, no presente imediato de uns poucos privilegiados. As necessidades minerais crescem geometricamente, com as populações e evolução do padrão de vida, ao passo que a descoberta de novas reservas e os avanços técnicos não as acompanham no mesmo acelerado ritmo. Novas descobertas, com os atuais métodos de aproveitamento, não bastarão às demandas futuras e novas técnicas e aptidões se impõem, bem como consideração de novos materiais, para que os já conhecidos tenham mais eficaz e duradora utilização. O conceito de preservação dos recursos minerais é imperativo que mais se firma, dia a dia. "Os possuidores de riquezas minerais devem ser considerados custodiários. Os recursos devem ser utilizados para felicidade da maioria. O máximo lucro obtido no menor prazo pode não ser o melhor interesse público, em consideração a longo prazo".

A política de conservação impõe, portanto, um ritmo de utilização subordinado aos interesses sociais, acelerado ou retardado conforme as circunstâncias imediatas ou previsíveis. Conservação não é, porém, a parcimônia de

ga da avareza, mas o uso prudente e inteligente, atendendo às conveniências nacionais e, possivelmente, às da humanidade. Requer que todos recursos sejam controlados por métodos eficazes, que todo desperdício seja evitado e que a cada material se dê o emprêgo mais consentâneo com sua natureza. A legítima conservação mineral pode ser conceituada como ativa descoberta, completa extração, exato uso. A sociedade não pode permanecer como assistente impassível ante a dilapidação de recursos minerais por técnicas de lavra ou de processamento extremamente primitivas e ineficientes. Nem pode um estado, que considera as riquezas minerais pertencentes à nação, assentir no provento imediato e irracional de uns poucos, em detrimento do futuro, como devastadores inconscientes que sacrificam uma árvore para retirar um palito. "Onde não há visão, o povo parece. A chave da sobrevivência está em adequado suprimento e sábio emprêgo dos recursos minerais".

Ninguém preconiza que uma instalação de beneficiamento trabalhe com porções que não lhe fornecem lucros, apenas para melhor recuperação e maior utilização de bens minerais. Mas nada justifica que ela não seja legalmente compelida a aproveitar partes menos lucrativas, ou quase marginais, por simples desejo de obtenção de pingues lucros, com desenfreada ambição de máximo provento imediato, dentro da limitada capacidade de suas instalações. Se há lavras

14.

ambiciosas ou predatórias, existem também beneficiamentos ambiciosos e predatórios, produzindo rejeitos inaproveitáveis, malbaratando bens minerais que poderiam ser utilizados, posto que com menores lucros unitários mas com melhor serventia social. Compreende-se o egoísmo humano, mas não a impassibilidade estatal, a liberalidade legal ou negligência de órgãos reguladores e fiscalizadores. Ou o estado age, dentro de sua função, ou continuarão a poluir instalações de beneficiamento de minerais que são excelentes fontes de proventos imediatos mas verdadeiros crimes de lesa nacionalidade e lesa humanidade. Tal conceito deve ser integrado no processamento de minerais, tanto quanto a sua técnica e economia. Cabe a todos reconhecê-lo e acatá-lo.

9. Também, outro conceito deve ser considerado, bastante em voga atualmente: o de minorar a poluição e preservar as condições ecológicas. Atravessamos, certamente, uma fase de algum exagero. Mas, de excesso benéfico, por se contrapor à impassibilidade absoluta e à negligência, conduzindo ao meio termo em que reside a virtude. Normalmente, o tratamento mecânico dos minerais - sem a concepção lata de processamento - não é fonte de grande poluição ambiental. Excluem-se, certamente, algumas instalações de britação e despejos de águas poluídas. Se qui

sermos considerar o caso da chamada "poluição sonora", o assunto poderá mudar de aspecto. Entretanto, é inegável que a eliminação dos rejeitos do tratamento mecânico é fator de apreciável poluição. O lançamento desses rejeitos em águas teóricamente é regulamentado por lei. Na prática, essa poluição ocorre abusivamente, sem um órgão que possa agir, prejudicando flora e fauna. A decantação de polpas e lamas, se minora a poluição das águas extravasadas e recipientes, acarreta um novo problema: o da disposição dos resíduos sólidos. É, também, o que sucede quando não existem correntes carreantes ou massas aquáticas que mascarem a deposição efetuada.

Que fazer com essas pilhas de material que ocupam e tornam inaproveitáveis terrenos e são permanente fonte de poeiras, arrastadas por ventos ou chuvas? A solução é algo onerosa mas simples: restauração dos terrenos. Ela é obrigatória na Inglaterra e em outros países, tanto no que se refere a bota-foras de minas como de instalações de tratamento. Há, mesmo, obrigatoriedade de pagamento de uma taxa por tonelada de material depositado, concorrendo o governo com mais um terço dessa taxa, a fim de se fazer a restauração e urbanização dos terrenos ocupados. Em muitos casos, essa urbanização conduz a melhoria das condições iniciais, com retificação de correntes de água, fertilização do solo, plantações selecionadas. No Canadá, montes

16.

de despejos foram consolidados contra poeiras excessivas que se produziam, por fortes ventos locais, mediante adubação e plantação de trigo, que propiciou colheitas. A poluição por águas extravasadas pode ser bastante atenuada com a redução do emprêgo de água, além disto constituir fator de preservação. Em trabalho apresentado no Seminário Inter-Regional sôbre Concentração de Minerais em Zonas Áridas, promovido pelo Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais da ONU, A. M. Gaudin mencionava que a necessidade de água, para elaboração de materiais minerais brutos, atinge 20 a 30 toneladas, por tonelada de material, em concentrações gravitacionais sem economizar água; 4 a 5 toneladas, em flutuação; 0,9 a 1,2 toneladas, em flutuação com reutilização da água residual; 0,2 a 0,25, em flutuação, mediante filtração da água empregada para todos os produtos, a fim de recuperá-la e reutilizá-la; 0,1 a 0,15, com desagüamento dos compostos solúveis, recuperando o máximo de água mediante filtração. É claro que mesmo no caso de concentração gravitacional o consumo de água - é, conseqüentemente, os despejos - poderá ser extremamente reduzido, até cerca de um décimo ou um vigésimo da empregada sem recuperação. Em pequenas instalações, essa economia é mais difícil e custosa. Mas, simples substituição de alguns aparelhos - como classificadores de taça por hidrociclones - pode produzir apreciável economia, conforme observou. A. Sutulov, em

seu trabalho "Métodos de Recuperação de Águas Usadas", no mesmo simpósio. Em locais em que águas são escassas, isso é prática corrente, utilizando diversos métodos para precipitação dos sólidos nos produtos e, remanuseio dos precipitados, construção de enormes cubas de decantação e espessadores, filtrações, secagens em secadores rotativos especiais, briquetagem, etc. Os tratamentos das águas servidas se processam segundo métodos especialmente adequados a cada caso, obtendo-se não só grande economia de água, como recuperação de produtos e despejos finais de águas muito reduzidamente contaminadas. Não há razão alguma para que tratamentos algo menos elaborados não possam ser aplicados em quase todos os casos, exceto implicarem despesas, nem sempre compensadas, e diminuir lucros diretos. É questão, porém, de ordem social e não puramente de economia particular. Os exemplos ocorrentes no Brasil são, por vezes, profundamente lamentáveis, dispensando citações nominais. Acreditamos que a conscientização do problema é bastante para que os projetistas das instalações de beneficiamento de minerais considerem o caso e despesas suplementares envolvidas como integrantes irremovíveis dos fluxogramas elaborados. Ou que os órgãos reguladores os imponham.

10. Nesta simples focalização dos conceitos fundamentais que são, ou devem ser, considerados no tratamento mecâ-

18.

nico dos minerais procuramos, apenas, recordar ou enfatizar coisas bastante conhecidas mas frequentemente negligenciadas ou propositamente desconsideradas. Possivelmente, os debates que se seguirão aduzirão fatos e argumentos mais valiosos.

Ouro Preto, 18 de abril de 1973.