



UM ENGENHEIRO QUE FOI DA MINA À CÁTEDRA

Por **Tébis Oliveira**

Como estagiário, ele passou pela Multigeo, Cia. Brasileira de Alumínio e Cia. Níquel Tocantins antes de entrar na Vale, em 2004. Quando saiu, em 2011, era engenheiro sênior e já havia participado de grandes projetos de cobre no Brasil, como Sossego, e na África.

Numa opção pouco usual, quando se está em uma das maiores empresas de mineração do mundo, o engenheiro de minas, mestre e, então, cursando o doutorado em Engenharia Mineral, trocou a Vale pela Universidade Federal de Alfenas, em Minas Gerais, para ser professor assistente do curso de Engenharia de Minas.

Três anos depois, em 2014, voltou para a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), onde entrara como aluno aos 18 anos. Atualmente é professor doutor e coordenador do Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais do Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo da instituição.

Com o trabalho em campo, somado a projetos de pesquisa e desenvolvimento, Maurício Guimarães Bergerman acumulou experiência nas áreas de cobre, ferro, zinco, chumbo, fosfato, vanádio, titânio e materiais de construção civil e também na de aproveitamento de rejeitos da mineração.

Em entrevista exclusiva à In the Mine, Bergerman fala dos processos tradicionais de beneficiamento mineral, de suas aplicações e diferenciais. Fala também de novas tecnologias como biolixiviação, nanobolhas, nanofiltração e condicionamento de alta intensidade. Explica a importância da integração das equipes de processo com as de lavra e defende o compartilhamento entre mineradoras de estruturas como minerodutos e usinas de beneficiamento. Adverte para a necessidade de uma discussão mais aprofundada sobre o reaproveitamento de rejeitos minerais e recomenda aos jovens estudantes de Engenharia de Minas: "Participem ativamente de eventos do setor, façam iniciação científica e nunca percam de vista a característica interdisciplinar da mineração, valorizando sempre as aulas de Geologia, Mecânica, Elétrica, Física e Química".

ITM: Quais são os métodos convencionais para beneficiamento mineral?

Bergerman: Os principais métodos utilizados no beneficiamento de minerais são os métodos densitários, magnéticos, de separação eletrostática, flotação e a chamada tecnologia ore sorting, que pode se basear em diversas características dos materiais. É interessante lembrar que esses métodos, além de serem utilizados para minérios, podem servir a uma ampla gama de materiais, como resíduos industriais e da construção civil, por exemplo.

ITM: Quais são as principais diferenças entre esses métodos?

Bergerman: A separação magnética considera as diferenças de propriedades magnéticas dos materiais. Um exemplo clássico, no minério de ferro, é a separação da hematita ou magnetita do quartzo. Nos métodos densitários, consideramos as diferenças de densidade dos materiais, enquanto os eletrostáticos baseiam-se na propriedade do material ser ou não condutor. Na flotação, conta a propriedade do material ser hidrofóbico ou hidrofílico, de ter ou não afinidade com água. Por fim, no ore sorting há uma grande gama de características que podem ser usadas. Basicamente, identifica-se uma propriedade e faz-se uma separação física. Há diversos tipos de sensores para identificar teor, radioatividade, magnetismo, cor e brilho, entre outras características.

ITM: Como se define a rota de processamento mineral mais adequada?

Bergerman: Deve-se considerar caso a caso sempre, estudando o minério para identificar suas características. O cobre, por exemplo, vai ter rotas de processo completamente diferentes conforme sua ocorrência em sulfetos, óxidos ou carbonatos. Também dentro de uma mesma mina podem haver depósitos minerais com características bem distintas. Assim, mesmo que, ao longo da vida útil dessa mina, não se mude o processo como um todo, haverá diferenças de liberação, variações da forma de moagem - material mais grosso ou mais fino - ou necessidade de alterar algum reagente químico. Ou seja, é preciso estar continuamente estudando

para acompanhar as variações do mineral até o fim da vida útil de cada depósito.

ITM: Quando pode ser empregado o peneiramento a umidade natural?

Bergerman: Há grande interesse das mineradoras em simplificar seus métodos de beneficiamento, como no processo a umidade natural, que elimina o uso de água e de barragens para rejeitos. O projeto S11D, da Vale, é o grande caso de sucesso no emprego dessa tecnologia, que já está migrando para as minas mais antigas de Carajás. Isso foi possível porque o alto teor do minério lá permite um beneficiamento mais simples, com menos etapas e sem uso de água. Infelizmente, não é uma situação comum. Se o material contiver muita argila, por exemplo, não há como não usar água para fazer a separação. É o mesmo caso de minérios de zinco, cobre ou chumbo, que têm uma liberação muito fina e precisam passar pela moagem para serem concentrados. É claro que esse tema vem sendo estudado e pode resultar em novas tecnologias no futuro.

“
É preciso estudar continuamente para acompanhar as variações do mineral até o fim da vida útil de cada depósito”

ITM: Há mineradoras que estão substituindo a flotação pela separação magnética. Quais as diferenças entre esses dois processos?

Bergerman: Assim como no peneiramento a umidade natural, a separação magnética também é uma alternativa mais barata e mais simples que a flotação. No entanto, a flotação ainda é a rota de beneficiamento mais utilizada no mundo porque permite o processamento de materiais mais finos, gerando um produto de alta qualidade, com custos relativamente baixos. Se o material estiver com uma liberação muito fina não será possível utilizar a separação magnética. Agora, com os problemas ocorridos em barragens, está havendo esse retorno a processos mais simples. A qualidade do produto final na separação magnética também pode ser boa, dependendo do tipo de minério processado. Os custos, sem dúvida, são um pouco menores e, em termos de impacto ambiental, a maior vantagem é a de não empregar reagentes químicos. Porém, a flotação usa quantidades muito baixas de reagentes químicos, que não têm toxicidade alta, como o

amido de milho e a amina. Ao contrário de outros processos, como a cianetação.

ITM: E quanto à biolixiviação, condicionamento de alta intensidade, nanofiltração e nanobolhas?

Bergerman: O condicionamento de alta intensidade e as nanobolhas são processos que podem, inclusive, otimizar plantas já existentes. Já a biolixiviação implica em mudanças mais complexas. Esse processo vem sendo muito estudado, mas seu emprego também depende de como o material se adaptará a ele. Há também a questão de custo. Essas novas tecnologias ainda precisam se mostrar econômicas. A mineração tem uma característica peculiar que é a de ser uma indústria de base, ou seja, que está no início da cadeia produtiva e não pode ter produtos muito caros.

ITM: Quando uma rota de processamento deve ser reavaliada?

Bergerman: Como eu disse, são raros os depósitos onde há uma qualidade homogênea e pouca variação do material. O engenheiro de processo precisa ter um olhar de curto prazo para acompanhar o desempenho da rota. Mas também uma visão de longo prazo, junto com a equipe de geologia, para entender se o depósito passará por mudanças significativas e poder adequar o processo.

ITM: O rompimento recente de barragens também evidenciou soluções como o empilhamento a seco de rejeitos. Qual a sua avaliação desse método?

Bergerman: A disposição ou empilhamento de rejeitos a seco vem da expressão em inglês dry stacking. Conceitualmente o correto é falar em disposição de rejeitos espessados ou filtrados. Até porque esses rejeitos mantêm uma umidade residual, ainda que muito menor que a daqueles que saem direto da flotação para a barragem. Como está claro que a mineração precisa mudar seus paradigmas, esse método é, sem dúvida, uma alternativa à disposição em barragens, embora as operações de espessamento ou filtragem tragam custos adicionais à usina. Hoje, inclusive, já é possível contar com espessadores

e filtros de alta capacidade, que conseguem processar elevadas quantidades de massa e obter umidades baixas.

ITM: É uma boa solução então?

Bergerman: É uma solução, mas não é o bastante. É preciso olhar para o processo da usina e considerar como melhorá-lo. Por exemplo, minimizando a quantidade de minério contida nos rejeitos, o que já reduziria a sua geração. Ou descartar o rejeito por etapas do processo: após a britagem, na chamada pré-concentração, antes de moer o material mais fino, descartando um rejeito mais grosseiro, que não seria moído e dispensaria o uso de barragem.

ITM: E quanto ao reaproveitamento desses rejeitos?

Bergerman: Na literatura já existem vários estudos de reaproveitamento de rejeitos para uso em pavimentação ou na construção civil. Então, em termos técnicos, esse desafio já está equacionado. Resta resolvê-lo do ponto de vista econômico. Quando se fala, por exemplo, em fabricar tijolos com esses rejeitos, cria-se uma concorrência direta com pequenas cerâmicas, que têm acesso muito mais fácil à matéria-prima e possuem uma cadeia produtiva instalada. Aliás, a

ideia não é acabar com cadeias produtivas já existentes. O tema do reaproveitamento de rejeitos é complexo e envolve questões técnicas, econômicas, ambientais e sociais. É preciso evoluir com essa discussão enquanto setor e trabalhar de forma muito integrada com as comunidades da região. As mineradoras também poderiam estar abertas a parcerias com empresas do próprio setor ou externas para, por exemplo, aproveitar os subprodutos contidos nos rejeitos que não sejam o foco de seu negócio.

ITM: Em sua opinião, quais são as principais tendências de configuração de plantas de cominuição e concentração mineral?

Bergerman: Uma tendência que se observa é o aumento do porte dos equipamentos. Mas o que atrai mais a atenção é chamada indústria 4.0. Na área de processamento, há a



O peneiramento a seco no projeto S11D foi possível pelo alto teor do minério, que permite um beneficiamento mais simples, com menos etapas e sem uso de água”

automação cada vez mais intensiva, com novos sensores e instrumentos que trazem informação em tempo real. Isso já existe há algum tempo, mas tem evoluído muito de forma que, com a redução de custos, até empresas menores conseguem ter um bom nível de instrumentação. A questão agora é trabalhar com esse enorme volume de dados através de softwares específicos de análise e da inteligência artificial. Outra tendência de que já falei é a nova forma de ver a concentração, com a pré-concentração ou a concentração seletiva. Não é mais o processo tradicional de britar, moer e concentrar. Mas, a cada etapa, observar o processo e os produtos que são gerados. Também não é uma novidade, mas esse conceito vem sendo retomado agora. Também destaco a questão da integração. Não só para destinar um subproduto que não interessa à empresa mas, a exemplo do que já ocorre em outros países, de formar um consórcio de empresas para compartilhar um mesmo mineroduto. Ou para compartilhar usinas de beneficiamento mineral. E, mesmo internamente a cada empresa, concentrar o beneficiamento de vários depósitos em uma só usina. O compartilhamento é muito citado nas redes sociais, mas acho que também está chegando no mundo da mineração, com potencial de alavancar projetos de pequeno e médio porte, sem condições de investir tanto em infraestrutura.

ITM: Como os gargalos de elevado consumo de água e energia no beneficiamento podem ser solucionados?

Bergerman: Com a disposição a seco já se recupera grande parte da água utilizada na própria usina, evitando perdas significativas posteriores por evaporação e percolação nas barragens. Seria possível reduzir bem a captação de água ou mesmo evitar qualquer captação, armazenando a água da chuva em um reservatório para uso no processo. E, ainda, mesmo que não se faça a disposição a seco, pode-se ter um espessador de rejeito para maximizar o uso de água. Nessa questão, então, temos alternativas.

ITM: E quanto à energia?

Bergerman: Investir em pessoal e inteligência para, junto

com as informações geradas pelos sensores, otimizar o processo. Em paralelo, buscar novos equipamentos ou tecnologias que permitam um consumo menor de energia. No caso das usinas já existentes é preciso contar com engenheiros experientes, que saibam fazer amostragens, interpretar os resultados, realizar modelagens e simular cenários mais eficientes de operação. A equipes da mina e da usina precisam trabalhar integradas para que o desmonte de rocha, por exemplo, seja otimizado. Plantas com alto custo de moagem devem olhar para a mina. Também existe um potencial muito grande de emprego de fontes alternativas como a solar ou a eólica.

“

O tema do reaproveitamento de rejeitos é complexo e envolve questões técnicas, econômicas, ambientais e sociais”

ITM: Antes de entrar para a Poli, você trabalhou por sete anos na Vale. Como você vê a interação entre mineradoras e academias?

Bergerman: A mineração é uma atividade muito prática. Então, eu acho interessante ter no corpo docente das universidades uma boa mescla de pessoas com perfil acadêmico e com vivência na indústria. Para mim, o período na Vale foi muito rico, no sentido de conhecer o dia a dia do setor, o que me ajuda como professor e pesquisador agora. Sobre a relação entre empresa e academia, os dados disponíveis mostram que o financiamento da pesquisa no Brasil

é majoritariamente público. Em países mais desenvolvidos, a contribuição maior vem do setor privado. Esse caráter público do financiamento fica bem evidente na quantidade de universidades e centros de pesquisa públicos que realizam essas pesquisas. Eu acredito que a interação com as empresas privadas poderia sim ser maior. A Vale, por exemplo, tem o Instituto Tecnológico Vale, que financia pesquisas, mas ainda é um percentual pequeno para o setor. Essa é uma via de mão dupla: as empresas precisam avaliar como apoiar mais a pesquisa e as universidades, de seu lado, precisam se estruturar melhor para buscar essa parceria.

ITM: Como estão os investimento em softwares e outras tecnologias no curso de Engenharia de Minas da Poli?

Bergerman: Nós sempre buscamos trazer novidades para os alunos e temos feito algumas parcerias nesse sentido. No ano passado trouxemos um software de simulação de pro-



PERFIL

Nasceu em: São Paulo (SP), em 22 de maio de 1980

Trajatória acadêmica: Graduação em Engenharia de Minas e mestrado e doutorado em Engenharia Mineral pela Universidade de São Paulo.

Trajatória profissional: Estagiário na Multigeo, na Cia. Brasileira de Alumínio, no Instituto Socioambiental, na Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, na Cia. Níquel Tocantins e no Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo. Trainee, Engenheiro e Engenheiro Sênior na Vale. Professor da Universidade Federal de Alfenas (MG). Professor Doutor e Coordenador do Laboratório de Minérios e Resíduos Industriais do Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo da Escola Politécnica de São Paulo (USP)

Família: Casado com a Raíssa e tenho dois filhos, o Inácio, de três anos, e a Teresa, de sete meses

Time de futebol: São Paulo

Um hobby: Atualmente, estar com a família, em programas com os filhos, como teatro, parque e cinema

Um projeto: Contribuir cada vez mais com a formação de profissionais qualificados para o desenvolvimento do setor mineral

Um “conselho aos jovens engenheiros de minas”: Gostar do que fazem, se envolver, participar de eventos e atividades do setor, fazer iniciação científica e realmente mergulhar na mineração. E ter em mente que o setor é muito interdisciplinar. É preciso valorizar as aulas de Geologia, Mecânica, Elétrica, Física e Química.

cessos. Além de conhecer a ferramenta, o aluno consegue fazer simulações e avaliar vários cenários em usinas de beneficiamento, por exemplo. Isso nos ajuda a estudar as opções de processo e a entender como cada tipo de minério pode impactar as condições de beneficiamento. Um trabalho que seria muito moroso se fosse manual. Os softwares especialistas complementam bem o uso do Excell, que continua sendo uma ferramenta básica do dia a dia.

ITM: Você está patenteando uma nova rota para reduzir o teor de urânio no processamento de cobre. Como é esse projeto?

Bergerman: Foi um projeto de que participei ainda na área de desenvolvimento de projetos de cobre da Vale. Lá, em alguns depósitos, o concentrado de cobre possui um teor um pouco mais elevado de urânio. Embora seja uma ocorrência bastante normal em depósitos sulfetados, ela dificulta a venda do produto. Então, desenvolvemos uma rota para reduzir esses teores de urânio. A patente já foi requerida, um processo demorado que depende de validação em vários países.

ITM: Como você vê a mineração do futuro?

Bergerman: Já falamos de várias acontecimentos no setor como a disposição de rejeitos a seco, indústria 4.0, pré-concentração, integração entre projetos ou interna a eles. Mas, além disso, a mineração precisa olhar com muito carinho para dois pontos principais. O primeiro é a capacitação de profissionais que já estão no setor e a atração de jovens profissionais. Em qualquer país há essa discussão sobre como atrair e reter novos talentos. Para mim, isso é importante porque a mineração do futuro deve ser muito calcada em pessoas para conseguir uma produção eficiente, organizada e séria. O segundo ponto é um grande desafio: o relacionamento com as comunidades, que precisa ser mais aberto, transparente e interativo. Se o setor não estabelecer uma relação cada vez mais positiva com a sociedade, será muito difícil começar novos projetos. ■