

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Minas

ISSN 0104-0553

BT/PMI/074

**A Mínero-Metalurgia e suas Ligações
com a Geologia e as Engenharias de
Minas, Metalúrgica e Química**

**Ricardo Alvares de Campos Cordeiro
Eduardo Camilher Damasceno**

São Paulo - 1997

O presente trabalho é parte da dissertação de mestrado apresentada por Ricardo Alvares de Campos Cordeiro, sob a orientação do Prof. Dr. Eduardo Camilher Damasceno "A Mínero-Metalurgia e suas Ligações com a Geologia e as Engenharias de Minas, Metalúrgica e Química", defendida em 03/11/97.

A íntegra da dissertação encontra-se à disposição dos interessados com o autor e na Biblioteca do Depto. de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da USP.

Cordeiro, Ricardo Alvares de Campos

A mínero-metalurgia e suas ligações com a geologia e as engenharias de minas, metalúrgica e química / R.A.C. Cordeiro, E.C. Damasceno. -- São Paulo : EPUSP, 1997.

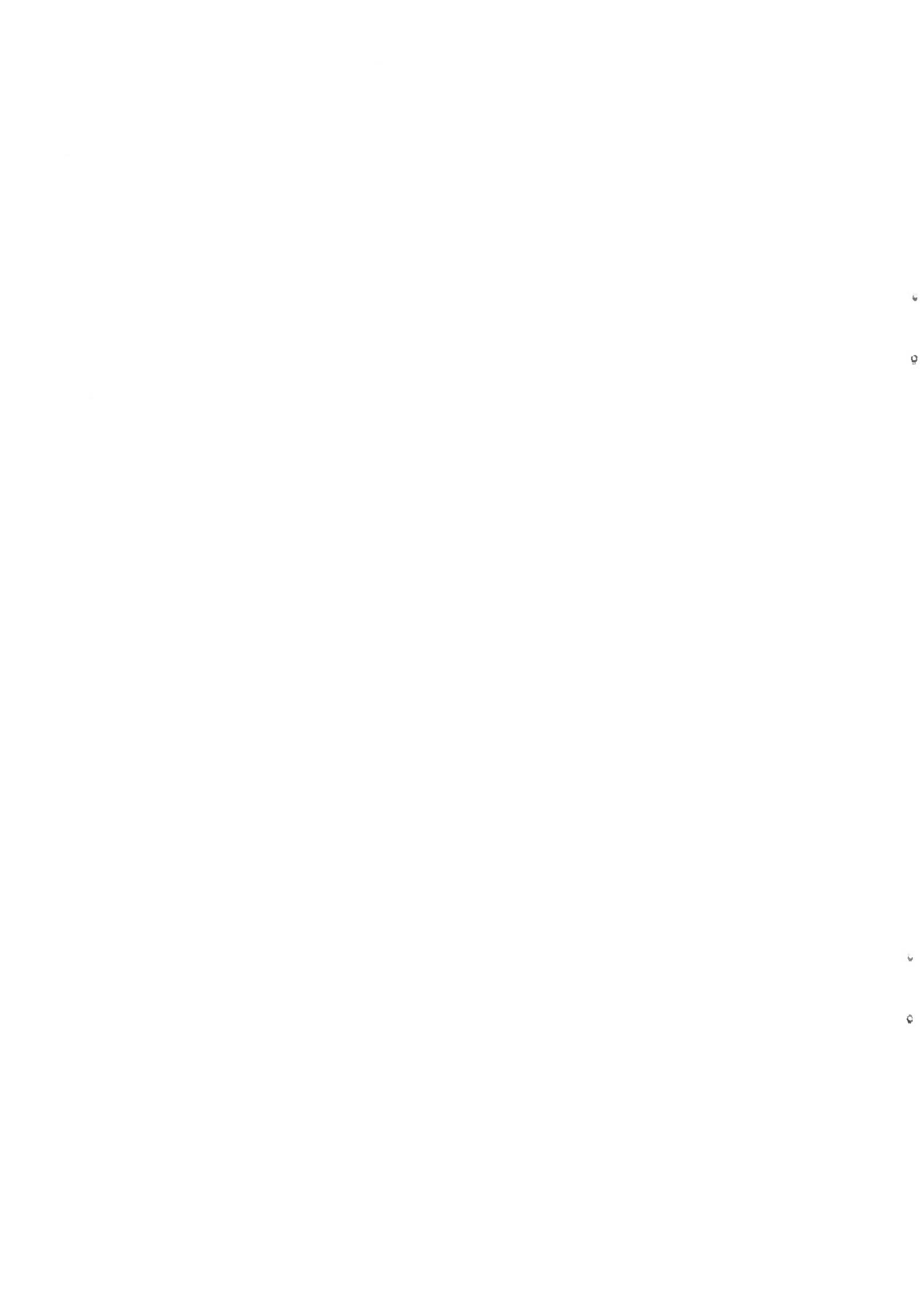
21 p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Minas, BT/PMI/074)

1. Mineração - Estudo e ensino 2. Empreendimento mineiro 3. Engenharia de minas 4. Mineração - Projetos I. Damasceno, Eduardo Camilher II. Universidad de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas III. Título IV. Série
ISSN 0104-0553

CDU 622
622.012
622
622.014

ÍNDICE

| | | |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------|----|
| Resumo | | |
| "Abstract" | | |
| 1 | Introdução | 01 |
| 2 | Revisão da literatura | 02 |
| 3 | Exemplos de minero-metalurgias | 04 |
| 4 | Engenharia mineral | 06 |
| 4.1 | A Geologia e a minero-metalurgia | 06 |
| 4.2 | A Engenharia de Minas e a minero-metalurgia | 08 |
| 4.3 | A Engenharia Metalúrgica e a minero-metalurgia | 09 |
| 4.4 | A Engenharia Química e a minero-metalurgia | 11 |
| 4.5 | Comentários gerais sobre os profissionais da Engenharia Mineral | 12 |
| 4.6 | O gerenciamento de minero-metalurgias | 14 |
| 5 | Conclusão | 17 |
| | Anexo A | 18 |
| | Referências bibliográficas | 20 |
| | Bibliografia recomendada | 21 |



RESUMO

A mineração, até tempos recentes, contava apenas com atividades de lavra e de tratamento mecânico de minérios, mas, em função das maiores exigências de qualidade dos concentrados e, devido à exaustão de reservas de altos teores e consequente predominância de jazidas de baixos teores em muitos tipos de minérios, está sendo muito comum a necessidade da existência de operações metalúrgicas conjugadas com as atividades de lavra e de tratamento mecânico, levando à implantação de empreendimentos com mina e metalurgia integrados, isto é, empreendimentos mínero-metalúrgicos.

Esses empreendimentos mínero-metalúrgicos, dependentes de uma só jazida, levam à necessidade da atuação conjunta de Geólogos, Engenheiros de Minas, Metalurgistas e Químicos desde a fase de avaliação quantitativa e qualitativa do depósito mineral, durante os estudos do seu aproveitamento técnico-econômico, na implantação do empreendimento e, também, na sua operação até a exaustão da mina.

Analisa-se neste trabalho os currículos dos quatro cursos envolvidos e busca-se avaliar as possíveis atividades dessas especialidades nas várias fases da mineração.

Os resultados do estudo indicaram que, em conjunto, essas quatro atividades especializadas contêm conhecimentos suficientes para implantar e operar um projeto mínero-metalúrgico se atuarem concomitantemente e integradamente durante todas as fases da mineração, mas, a atuação isolada e não integrada desses profissionais poderá trazer muitos riscos, retrabalhos e, muitas vezes, inviabilizar a implantação ou a operação do projeto.

Também, chegou-se à conclusão que os níveis de conhecimento são bastante diversos entre todas as profissões e com pouquíssimos pontos em comum, sendo muito difícil ocorrer a atuação conjunta e integrada entre elas, tendo sido aconselhado ao final desta dissertação a criação de um novo curso de engenharia, aqui chamado de Engenharia Mínero-Metalúrgica, que englobasse, basicamente, os conhecimentos necessários às atividades de mineração, pirometalurgia e hidrometalurgia e com especialização nessas três áreas diversas.

ABSTRACT

Until recently, mining consisted solely of exploitation and mineral dressing. Lately, due to the increasing demand for high-quality concentrates and the consequent exhaustion of high-grade ores, deposits of low-grade minerals currently predominates around the world. This has been creating a tendency to combine metallurgical procedures along with exploitation and mineral dressing, leading to the integration of mining ventures with metallurgy.

These mining and metallurgical projects, which depend on a single mine, call for a need to combine the expertise of geologists, mining engineers, metallurgists and chemical engineers, during the quantitative and qualitative analysis of a deposit, the technical and economic evaluation of its use, the implementation of the project and its exploitation until the exhaustion of the deposit.

A thorough analysis of the current mining stages and concepts was carried out along with an assessment of the curricula regarding the four professions involved in a project, in order to gauge all relevant tasks performed by each professional during the various stages of a mining venture.

The results of the analysis showed that the four professions possess sufficient knowledge to implement and operate a mining and metallurgic project, if acting as an integrated team during all stages of mining procedures. However, isolated action and lack of integration among these professions could lead to hazards and repetition of tasks, which may invalidate the implementation and operation of a project.

It was also concluded that the level of knowledge is quite different among all professions, having little in common, making combined and integration action difficult. At the end of this thesis, it will be suggested to consider the creation of a new mining engineering course, to be called mining-metallurgic engineering, which would combine the required knowledge from the fields of mining, pyro-metallurgy and hidro-metallurgy.

1. INTRODUÇÃO

A qualidade exigida para os produtos minerais está sempre em crescente evolução devido à procura dos consumidores por produtos de melhores qualidades, seja em função da própria necessidade do mercado, seja pela crescente exigência natural do ser humano, como também pela questão ambiental. Aliada a isso, tem-se, ainda, a diminuição dos teores médios das jazidas provocada pela exaustão das reservas de maiores teores. Com essa crescente necessidade de se obter produtos minerais mais puros, já está distante o tempo em que as minerações tinham apenas a mina e a usina de beneficiamento mecânico (britagem, moagem, deslamagem, pilhas de homogeneização e flotação). Nas instalações mineiras de hoje, têm-se, na maioria das vezes, além do beneficiamento mecânico, verdadeiras usinas de tratamento pirometalúrgico e/ou hidrometalúrgico, o que leva à necessidade de contar com especialistas dessas atividades dentro da mineração, em convívio diário com os engenheiros de minas e geólogos.

A tendência atual parece ser que as metalúrgicas passem a fazer parte das minerações, sendo supridas, portanto, por apenas uma mina. É uma mudança substancial, porque as unidades metalúrgicas exigem, na maioria das vezes, concentrados minerais com especificações de qualidade rigorosas, dentro de limites estreitos. O que leva, portanto, à necessidade de um maior conhecimento da qualidade dos tipos de minérios existentes na mina, pois o aparecimento de substâncias minerais imprevistas e deletérias ao processo poderiam exigir modificações substanciais na usina metalúrgica após a mesma já estar construída e em operação. Nas metalurgias, que são muito valiosas, quaisquer transformações ou trocas de seus equipamentos provocam, usualmente, a inviabilidade definitiva do projeto em implantação ou em funcionamento.

A execução de um empreendimento mineiro que contempla beneficiamento mecânico e tratamento metalúrgico exigirá a participação de geólogos, engenheiros de minas, metalurgistas e químicos nos planejamentos conceituais e básicos da usina e da mina. Neste trabalho, procura-se analisar a participação desses profissionais nas várias etapas da mineração porque considera-se que as interligações entre essas várias profissões, no momento de execução de um projeto minero-metalúrgico, são falhas, e, mesmo executando individualmente ótimos trabalhos, muitas vezes formam um conjunto que não alcança o objetivo maior que é fazer um empreendimento economicamente viável.

Visando obter subsídios para entender as causas das falhas possíveis nesses projetos minero-metalúrgicos, serão analisados, neste texto, alguns exemplos de minérios tratados concomitantemente por processos mecânicos e metalúrgicos e os currículos das engenharias envolvidas nas atividades básicas da indústria mineral e da metalurgia, buscando-se verificar quais os profissionais mais habilitados a conduzir as várias fases da mineração e tentando-se apresentar fluxos de atividades que deveriam estar completas antes do envolvimento de cada técnico.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Meadowcroft (1992) fez uma análise das necessidades das engenharias de metais e de materiais para o século XXI em função das mudanças ocorridas no mundo a partir dos anos 80, com o enxugamento radical das grandes organizações privadas e governamentais e implantação de uma economia globalizada e de forte competição. Ele detectou que a complementação da educação universitária responsável pela integração do estudante recém formado ao mercado de trabalho, antes realizada em treinamentos internos das grandes empresas e organizações governamentais, não vai mais se concretizar devido à completa modificação da postura gerencial em relação à questão. Hoje, existe a tendência de as empresas contratarem profissionais já preparados para as funções técnicas habituais e, ao mesmo tempo, com domínio das questões legais, ambientais, financeiras, de mercado e de qualquer outro assunto referente ao negócio a que estão ligadas.

Lynch (1989) demonstrou preocupação com a diminuição da procura por cursos de engenharia de minas e metalurgia na Austrália e fez previsão de que, caso não sejam tomadas providências, a indústria mineral passará, em futuro próximo, por problemas de falta de profissionais habilitados.

Lovering (1989) analisou a necessidade de reestruturação do sistema universitário australiano, discutindo as relações entre as instituições de ensino e o governo, a pesquisa de acordo com a estrutura interna das universidades, a cobrança de taxas de estudantes e os fundos para pesquisas.

Loton (1989) descreveu um fundo de doações de recursos do Australasian Institute of Mining and Metallurgy que tem o objetivo de atrair mais e melhores estudantes para a área mineral e de fortalecer as instituições responsáveis pelo ensino de mineração e de metalurgia da Austrália.

Peres e Galéry (1993) fizeram uma análise dos cursos de engenharia de minas do Brasil entre os anos de 1971 e 1992 e do mundo em 1992 e consideraram pequeno o número de alunos graduados, comparativamente com os dos outros cursos de engenharia. Traçaram o perfil dos docentes de engenharia de minas, indicando que necessitam ter, além de formação acadêmica, grande experiência prática. Alertaram da dificuldade que têm as universidades brasileiras de conseguir bons professores devido à escassez de profissionais que tenham prática e, ao mesmo tempo, titulação.

Hennies e Stellin Junior (1993) fizeram um histórico da Engenharia de Minas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), indicando que essa modalidade originou-se do desmembramento do antigo curso de Engenharia de Minas e Metalurgia em 1955.

Damasceno e Vinha (1991) teceram importantes considerações sobre a relevância dos bens minerais na indústria mundial, sobre o setor mineral na formação do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro e, também, a respeito do entendimento que a sociedade nacional, em geral, faz da atividade de mineração.

Chaves (1995) traçou os perfis dos profissionais brasileiros do setor mineral e indicou as deficiências e qualidades dos geólogos, dos engenheiros de

minas e dos metalurgistas, bem como, também, algumas interfaces entre os campos de atuação do engenheiro de minas e dos outros técnicos atuantes no setor. Demonstrou que as atividades mineiras são peculiares e não permitem improvisações de profissionais em substituição ao engenheiro de minas nas atividades de lavra, geologia de mineração, tratamento mecânico de minérios e hidrometalurgia. Informou que tem a convicção de que o profissional da indústria mineral do futuro terá que ter larga visão da mineração como um todo, começando pela geologia do corpo mineral e chegando até ao produto final a ser obtido de concentrados.

A impressão obtida da literatura estudada foi de que nos Estados Unidos, Canadá e Austrália, países mais desenvolvidos em mineração, existe uma grande preocupação com a diminuição de procura pelos cursos da área mineral. Esse fato é, genericamente, explicado pelo relativo decréscimo das atividades de mineração em função da queda de preços das matérias-primas minerais e das grandes pressões movidas por ambientalistas contra a indústria mineral. De maneira geral, todos os autores demonstraram que a mineração é uma atividade muito importante para a humanidade e dependente de tecnologias específicas que exigem a atuação de profissionais bem treinados e educados, não admitindo improvisações.

Os autores brasileiros manifestaram, também, estar atentos à diminuição da procura por cursos da área mineral, e mostraram, sobretudo, muita preocupação pela qualidade da educação ministrada nas universidades brasileiras, pelos conteúdos dos cursos e pela adequação das matérias ministradas às necessidades da indústria mineral atual e futura.

Ao explicarem que a Engenharia de Minas da EPUSP foi resultado do desmembramento da extinta Engenharia de Minas e Metalurgia, Hennies e Stellin Junior (1993) indicaram a tendência que todos os antigos cursos de engenharia de minas e metalurgia do Brasil nas décadas de 50 e 60 seguiram. Entretanto, Chaves (1995) evidenciou que o profissional da indústria mineral do futuro deverá ter conhecimentos amplos da área como um todo, abrangendo geologia, tratamento mecânico de minérios, hidrometalurgia, pirometalurgia, tecnologias de meio ambiente e, ainda, legislação mineral e ambiental. Isto é, precisará de conhecimentos que lhe permitam ir da geologia até o produto final da metalurgia.

O tema deste texto contém aspectos gerais semelhantes aos daqueles levantados na literatura analisada, tais como: a preocupação com a qualidade da educação dos estudantes da área mineral, a importância da mineração para o ser humano e as necessidades futuras da indústria mineral. Entretanto, difere da maioria dos autores ao particularizar a atuação de cada especialista em projetos mínero-metalúrgicos e, principalmente, ao enfatizar a tendência de as atividades de mineração estarem, a cada dia, mais integradas com a metalurgia. Porém, o tema se assemelha ao de Chaves (1995) em alguns pontos essenciais como: as deficiências e habilidades dos profissionais quanto às atividades de mineração, os danos à atividade mineral que as lacunas de conhecimentos podem causar e a necessidade de se formar engenheiros que tenham conhecimentos globais de metalurgia e mineração, abrangendo a geologia, a lavra e o tratamento mecânico dos minérios.

3. EXEMPLOS DE MÍNERO-METALURGIAS

Em um empreendimento mÍnero-metalúrgico, o depósito mineral torna-se jazida com a utilização concomitante de processos de tratamento mecânico e metalúrgico, e, na maioria dos casos, é impossível, na prática, estabelecer-se uma clara divisão entre essas operações, tal a interdependência entre elas. Como exemplos, pode-se citar a cominuição de sulfetos que, ao serem fragmentados, se alteram e formam uma camada superficial de óxido que, obviamente, poderá influir no rendimento das operações subsequentes de flotação e de lixiviação. Argilas, talco, grafita e asbesto, que em processos de moagem são pulverizados e se transformam em substâncias coloidais quando muito finos. Minérios sulfetados de Cu, Zn, e Pb, quando desmontados em minas subterrâneas, reagem violentamente com o oxigênio, provocando fortes reações exotérmicas e causando até incêndios. Atualmente, o minério de ferro granulado é concentrado através de tratamento mecânico (britagem, deslamagem e peneiramento). No entanto, é viável o tratamento de finos (moagem e flotação), que envolve, no estágio final, uma operação pirometalúrgica (aglomeração por pelotização ou sinterização). A flotação de finos de minério de ferro no Brasil é normalmente feita junto à mina, mas a operação de aglomeração é realizada usualmente em área próxima ao porto, pois quase todo o minério pelotizado é exportado. Entretanto, é previsível que, no futuro, dependendo da logística de produção e de consumo, essa operação de aglomeração também venha a ser executada perto da mina. Um outro exemplo: o minério de níquel sulfetado é britado e moído, sofrendo em seguida uma separação magnética para a retirada de pirrotita e, depois, é flotado, chegando a concentrações de até 14% de níquel. Tal conteúdo metálico torna viável o transporte desse concentrado até locais onde existe infra-estrutura e logística para as operações pirometalúrgicas e hidrometalúrgicas visando a produção de níquel eletrolítico e, às vezes, cobre, cobalto e platina como subprodutos. A concentração mecânica, até o estágio de flotação, é sempre feita próxima à mina. No caso de minério de níquel laterítico oxidado é impossível a concentração mecânica, sendo necessário que as operações pirometalúrgicas e hidrometalúrgicas sejam feitas junto à mina. O baixo teor de níquel do *run-of-mine*, no máximo 3%, não torna viável economicamente o transporte do minério oxidado para processamento metalúrgico em local afastado da jazida. Para o processamento pirometalúrgico, o minério oxidado laterítico é britado e peneirado, sendo a parte fina (<1/4") aglomerada por sinterização, ou pelotização. Todo o minério, após uma operação de calcinação, segue para um forno elétrico de fusão redutora quase com o teor original de níquel do minério *in situ*, para a produção de ferro-níquel ou *matte*. Neste caso, a metalurgia é feita junto à mina, influindo o planejamento de lavra decisivamente na qualidade do minério e, em consequência, na operação da metalurgia. É fundamental o controle dos teores de cobalto, ferro, silíca, magnésio e, às vezes, de cobre no minério laterítico. A fusão redutora não possibilita a recuperação de cobalto e cobre como sub-produtos. O rígido controle dos teores desses metais na lavra é necessário, pois são contaminantes indesejáveis na produção de aço inoxidável, principal aplicação final do ferro-

níquel. Na rota hidrometalúrgica, há duas técnicas de uso comercial: a lixiviação amoniacal, cujo principal contaminante é o ferro, e a sulfúrica, aonde a sílica e o magnésio são deletérios. Nestes casos, os teores desses elementos têm que ser controlados no minério *in situ*, no planejamento e na lavra da jazida. Nestes exemplos, o processamento pirometalúrgico e o hidrometalúrgico de minério laterítico de níquel dependem, fundamentalmente, do planejamento de lavra. Outro exemplo interessante ocorre com os minérios de ouro. Canning e Woodcock (1982) citam que a "recuperação de ouro de seus minérios é baseada, principalmente, na concentração gravimétrica, amalgamação e na cianetação (que inclui a dissolução de ouro, separação líquido-sólido e precipitação). Juntamente com outros processos auxiliares, como flotação, essas técnicas são aplicadas atualmente e deverão, certamente, continuar a ser usadas no futuro. Ouro nativo ocorre em diferentes faixas granulométricas e a distribuição de tamanho do grão determina o processo de tratamento. Esses simples conceitos são influenciados pelo teor de ouro no minério, pela presença de outros minerais contendo ouro e de sulfetos, pelas associações minerais com o ouro e por muitos outros fatores." Se o ouro é grosso, pode-se usar concentração gravimétrica e amalgamação para sua recuperação e, quando o ouro é fino, utiliza-se cianetação. Quase sempre existe a ocorrência concomitante de ouro fino e grosso nas jazidas, sendo necessária a combinação desses processos. No caso de minérios carbonáceos e/ou alguns sulfetos como arsenopirita e pirita, sendo o minério considerado refratário ao processo de cianetação, é necessária ustulação oxidante após flotação.

Pelos exemplos acima, observa-se que é grande o número de minerais e minérios que exigem, além do tratamento mecânico, também processamento pirometalúrgico e hidrometalúrgico na própria mina. É, também, comum a necessidade de tratamento térmico (calcinação, redução, aglomeração), com a possível utilização de fundente, seguido, ou não, de tratamento hidrometalúrgico. As atividades de piro e hidrometalurgia na própria mina modificam sobremaneira o projeto e a operação da mineração. Os processos metalúrgicos, na maioria das vezes, têm fatores restritivos e são mais sensíveis a contaminantes, exigindo perfeita caracterização geometalúrgica. O volume das reservas lavráveis é influenciado pelas questões de qualidade do produto final e pelos fatores dos processos metalúrgicos, afetando diretamente a escala do empreendimento. Em consequência, o método de lavra será de fundamental importância para o controle da qualidade do minério e definição da dimensão da minério-metalurgia. É muito relevante que o processo metalúrgico seja adequado à qualidade mineralógica e físico-química das tipologias de minério existentes na mina e que seus equipamentos sejam bem dimensionados em termos de capacidade e de qualidade de produção. Deve-se ter em conta que as unidades metalúrgicas são de alto custo e quase sempre é inviável substituí-las ou modificá-las.

4. ENGENHARIA MINERAL

Neste capítulo tentar-se-á levantar os conhecimentos dos profissionais que atuam na "Engenharia Mineral", especificamente o Geólogo e os Engenheiros de Minas, Metalurgista e Químico. O levantamento efetuado está baseado nas estruturas curriculares dos cursos lecionados na Universidade de São Paulo (USP), uma instituição de ensino bem representativa da formação universitária brasileira. Por outro lado, tem-se por objetivo não transformar o assunto deste trabalho numa mera comparação entre universidades e escolas. Far-se-á, a seguir, a análise dos currículos dos diversos profissionais envolvidos na mineração, tentando-se identificar as matérias de cada um dos cursos que são aplicáveis às diversas etapas do empreendimento mínero-metalúrgico, e, ao mesmo tempo, a verificação das semelhanças e diferenças existentes entre eles. As relações das matérias encontram-se no Anexo A, classificadas e itemizadas de acordo com o conteúdo. Os comentários abaixo são baseados nos itens do Anexo A referentes, respectivamente, aos cursos de Geologia e Engenharias de Minas, Metalúrgica e Química.

4.1. A GEOLOGIA E A MÍNERO-METALURGIA

O item **a** apresenta matérias básicas, que têm o objetivo de ensinar ao Geólogo uma base de cálculo, física, química, desenho, computação, mecânica, geometria, estatística, biologia, químico-física e eletromagnetismo, assuntos que servem de instrumento às atividades que compõem a Geologia. Esse conjunto de informações não chega a representar uma base de engenharia, mas são importantes para o estudo de matérias científicas, nas quais se enquadra a Geologia. São insuficientes, entretanto, como base do planejamento e execução da lavra, bem como do beneficiamento mineral. O item **b** contém matérias técnicas, apresentado em sub-itens na tentativa de melhor entender e analisar o tema. O sub-item **b1** inclui as matérias de mineralogia, petrografia e petrologia, que compreendem as técnicas para o reconhecimento e a identificação de minerais e rochas. O sub-item **b2** apresenta as disciplinas sobre técnicas auxiliares usadas para dar suporte no desenvolvimento dos trabalhos de geologia. Finalmente, o sub-item **b3** mostra as matérias específicas de geologia, contendo conhecimentos suficientes para o entendimento dos fenômenos de formação, transformação e evolução da Terra, bem como para reconhecimento de seus componentes, com o objetivo final de definir substâncias minerais e fósseis úteis ao ser humano.

Basicamente, o curso de geologia é voltado para o reconhecimento das rochas, dos minerais e das estruturas, sendo esses tópicos aplicados quase que totalmente na prospecção (fase inicial da mineração que constitui-se basicamente da definição dos recursos minerais). Os pontos fortes do curso de geologia são as matérias voltadas para o profundo conhecimento da mineralogia, petrologia e dos fenômenos geológicos com o objetivo de conhecer a Terra e de definir concentrações de substâncias minerais.

Na exploração, etapa da mineração complementar à prospecção na qual se demonstra que os recursos minerais constituem realmente uma jazida, a participação do Geólogo continua importante porque, na medida que avançam os testes de caracterização tecnológica e de processo, ou os trabalhos de definição do *método de lavra*, vai-se conhecendo com maior profundidade o depósito e, a qualquer tempo, pode-se efetuar reavaliações das interpretações geológicas. Verifica-se, pela análise do currículo, que as matérias do curso de geologia em questão não abrangem o beneficiamento mineral e a lavra. Entretanto, as disciplinas sobre minerais e rochas lecionadas neste curso são importantes ferramentas para o bom entendimento do comportamento dos minérios durante seu tratamento e sua extração. Nas escolhas do *método de lavra* e do *processo de beneficiamento*, que são realizadas ainda na fase de exploração, dados geológicos, de natureza científica, têm que ser transformados em engenharia, o que torna essencial a participação do Geólogo no fornecimento dessas informações. Conclui-se, então, que a importante participação do Geólogo na exploração se dá, principalmente, na reavaliação constante da interpretação geológica realizada na prospecção, no apoio ao *tratamento de minérios*, através de seus conhecimentos de mineralogia e petrologia, e no suporte ao Engenheiro de Minas na escolha do *método de lavra*. A questão é curiosa, pois a geologia é quase totalmente embasada em ciência, enquanto que o *tratamento de minérios* e a *lavra* são atividades científicas, mas também de engenharia. O Geólogo não domina as suas técnicas, mas seus conhecimentos científicos são importantes para apoiá-las.

Recordando, o *desenvolvimento*, terceira fase da mineração, é a etapa na qual são empreendidos os serviços necessários para facultar a lavra da jazida. Nos estágios essencialmente de engenharia desta fase, nos quais incluem-se o projeto e a construção de vias de acesso e de transporte, da usina de beneficiamento e da infra-estrutura, não é exigida a participação do Geólogo. Entretanto, na abertura da mina, com o início do decapeamento, quando a *lavra* é a céu aberto, ou de túneis ou poços, quando a *lavra* é subterrânea, é aconselhável o acompanhamento pelo Geólogo. A reavaliação das interpretações geológicas feitas durante a prospecção e a exploração é muito recomendada, pois esse é o primeiro momento em que grandes áreas e extensões do minério são expostas à visitação.

A *lavra*, quarta e última etapa da mineração, é a fase na qual o minério é extraído e vendido, após o tratamento, para gerar lucros. Devem ser atendidas na *lavra* as necessidades do processo de tratamento e de transformação do minério em termos de qualidade, quantidade e economicidade. Na *lavra*, a presença do Geólogo continua necessária para checagem periódica do modelo geológico ou para abertura de novas frentes de minério menos conhecidas. Pode-se dizer que o Geólogo, no tocante às atividades de mineração, tem apenas o conhecimento do posicionamento dos corpos de minério e dos minerais na jazida, não tendo domínio sobre quaisquer técnicas operacionais de uma mina. Na coordenação e gerenciamento técnico de um empreendimento mÍnero-metalúrgico, que exige domínio de geologia, lavra, tratamento mecânico de minerais e metalurgia, a análise acima demonstra que o currículo do Geólogo fica muito aquém das exigências necessárias.

4.2. A ENGENHARIA DE MINAS E A MÍNERO-METALURGIA

O item **a**, Matérias Básicas de Engenharia, constitui a base de engenharia do curso de Minas, principalmente no tocante ao cálculo, à física e à química. O item **b**, Matérias Técnicas, engloba todas as disciplinas técnicas necessárias à Engenharia de Minas, divididos em sub-itens para o melhor entendimento dos seus significados: o sub-item **b.1**, Matérias Gerais de Apoio, comprehende as disciplinas técnicas diversas que suportam o estudo da Engenharia de Minas; os sub-itens **b.2** e **b.3**, respectivamente, Disciplinas de Geologia e de Minerais e Rochas, contém os conhecimentos necessários ao bom entendimento da importante parte científica, de interesse da indústria mineral, contida na Engenharia de Minas; o sub-item **b.4**, Matéria de Metalurgia, comprehende a interface entre a Metalurgia e a Engenharia de Minas; o sub-item **b.5**, Matérias Específicas de Engenharia de Minas, contém os conhecimentos fins da Engenharia de Minas, beneficiamento mineral e lavra, que foram subdivididos em dois sub-itens: o sub-item **b.5.1**, Matérias de Beneficiamento Mineral, que fornecem todos os conhecimentos importantes ao aproveitamento mineral, fundamental componente para a avaliação de reservas lavráveis; o sub-item **b.5.2**, Matérias Relativas à Lavra, onde se lecionam as técnicas específicas que possibilitam a extração de forma ordenada e segura das substâncias minerais, para permitir seu beneficiamento.

A presença do Engenheiro de Minas na prospecção pode ser relevante no auxílio ao Geólogo para o planejamento dos trabalhos e avaliação do possível aproveitamento de alvos pré-selecionados. Os seus conhecimentos de lavra, de tratamento de minérios e de infra-estrutura, bem como da utilização dos minerais e rochas podem evitar trabalhos inúteis do Geólogo em alvos inviáveis. A atuação do Engenheiro de Minas na prospecção deve ser apenas de apoio ao Geólogo.

Na exploração, considerando-se as atividades de lavra, tratamento de minérios e de infra-estrutura, a participação do Engenheiro de Minas é essencial. Nesta fase, as informações geológicas, de natureza científica, são transformadas em dados de engenharia, permitindo a definição das reservas lavráveis, dos métodos de lavra, dos sistemas de tratamento do minério e, em consequência, a verificação se o depósito mineral é aproveitável economicamente. Quanto aos métodos mecânicos de tratamento de minérios, as matérias do curso de Minas são amplas e completas, tornando possível ao Engenheiro de Minas trabalhar bem até o limite das *operações não-transformativas* (processos que não alteram as espécies minerais do minério tratado, mas que modificam apenas sua composição mineralógica). A sua atuação nas operações de metalurgia extractiva é possível em certos casos, pois conta com uma boa base de química, físico-química, petrografia, mineralogia e caracterização tecnológica, tendo, ainda, domínio da operação de vários equipamentos usados na indústria metalúrgica, muitas vezes similares aos de tratamento mecânico. É notória a presença do Engenheiro de Minas na cianetação de minérios auríferos e na lixiviação sulfúrica e clorídrica de minérios titaníferos e de quartzo, dentre outros. Entretanto, em processos complexos que envolvem a lixiviação completa de concentrados minerais, tais como, por exemplo, a fabricação de pigmentos de titânio por cloração e sulfatação

e a produção de fertilizantes fosfatados por solubilização com ácido sulfúrico, é mais difícil a contribuição do Engenheiro de Minas. Em operações pirometalúrgicas, o seu apoio é importante na caracterização tecnológica de minérios e na preparação das matérias-primas minerais. No entanto, seus conhecimentos de pirometalurgia não são profundos, ficando a sua participação restrita a operações secundárias.

Nos empreendimentos minero-metalúrgicos, onde a metalurgia do minério é complexa, exigindo a perfeita caracterização geometalúrgica das reservas lavráveis, a definição de seqüências de lavra para estabelecimento de teores do *cut-off* e a avaliação econômico-financeira de acordo com os custos de produção, é fundamental a participação do Engenheiro Metalurgista e/ou Químico, em estreita cooperação com o Engenheiro de Minas. Os conhecimentos básicos de metalurgia e química do Engenheiro de Minas, em conjunto com seus conceitos de geologia, mineralogia, petrografia, tratamento de minérios e lavra, são suficientes para a executar a perfeita interação entre a mineração e a metalurgia.

O *desenvolvimento* é a etapa na qual se executa a abertura das primeiras frentes de lavra, dos poços e galerias principais, das vias de acesso e de transporte, e, também, conceitua-se, projeta-se e constrói-se a usina de beneficiamento. A participação do Engenheiro de Minas nesta fase, com seu domínio de lavra, de tratamento de minérios e de infra-estrutura, é primordial.

Na *lavra*, pela natureza dos serviços existentes, que são dependentes de conhecimentos de métodos de extração, de beneficiamento, de geologia, de petrologia, de mineralogia e de engenharia, é essencial a presença constante do Engenheiro de Minas.

Constata-se, pela análise acima, que o Engenheiro de Minas tem pleno domínio das atividades da indústria mineral, constituída, principalmente, da lavra e do tratamento mecânico de minérios. Considerando-se um empreendimento minero-metalúrgico, seu currículo fica a desejar em pirometalurgia e, em certos casos, em metalurgia extractiva. Entretanto, sua participação na caracterização tecnológica e na preparação dos concentrados estabelece uma conexão fundamental entre a mineração e a metalurgia. Pode-se dizer que o Engenheiro de Minas não está habilitado, salvo as exceções já enumeradas anteriormente, para a coordenação e o gerenciamento técnico de um empreendimento minero-metalúrgico na sua totalidade, mas pode atuar desde a lavra até a preparação das matérias-primas para a metalurgia.

4.3. A ENGENHARIA METALÚRGICA E A MÍNERO-METALURGIA

O item **a**, Matérias Básicas de Engenharia, constitui a base de engenharia do curso de Metalurgia, principalmente no tocante ao cálculo, física e química. O item **b**, Matérias Técnicas, engloba todas as disciplinas técnicas necessárias à engenharia metalúrgica, e foi dividido em sub-itens para melhor entendimento de seus significados. O sub-item **b.1**, Matérias Gerais de Apoio, compreende as disciplinas técnicas diversas necessárias ao estudo da engenharia metalúrgica. Os sub-itens **b.2** e **b.3**, respectivamente, Matérias Sobre Minerais e Rochas e de Beneficiamento Mineral, contêm as disciplinas da área mineral responsáveis pela

interface com a Engenharia de Minas. O sub-item **b.4**, Matérias Específicas de Engenharia Metalúrgica, apresentam as disciplinas fins da Engenharia Metalúrgica.

Basicamente, a Engenharia Metalúrgica trata das operações *pirometalúrgicas transformativas* (processos de fusão que alteram profundamente as espécies do mineral tratado) e da metalurgia extractiva de não-ferrosos com concentrados minerais aproveitáveis economicamente.

Na prospecção, a contribuição do Engenheiro Metalurgista não pode ser significante, pois seus conhecimentos de geologia e de mineração (lavra, caracterização tecnológica de minérios e tratamento mecânicos de minérios) são nulos ou muito pequenos. Sua participação se resume a informações ao Geólogo sobre características de concentrados minerais exigidos por fornos e elementos deletérios nos produtos finais.

No objetivo principal da *exploração*, que é a definição de reservas lavráveis, a participação do Engenheiro Metalurgista é, também, de caráter informativo ao Engenheiro de Minas. É relevante, entretanto, porque influí diretamente no trabalho de *exploração* do Engenheiro de Minas, que depende dos dados técnicos e econômicos de todas as áreas do empreendimento. A composição dos custos totais e a definição dos teores de *cut-off* torna possível a simulação da lavra, o cálculo das reservas lavráveis e, enfim, a definição do tamanho do empreendimento de acordo com o mercado disponível. Entretanto, os conhecimentos de atividades de mineração (tratamento de minérios, métodos mecânicos, caracterização tecnológica, lavra e geologia) do Engenheiro Metalurgista são básicos, têm caráter apenas secundário e se resumem à mineralogia e à petrografia. Essa deficiência torna, naturalmente, difícil a interação entre a metalurgia e a mineração, isto é, entre o Engenheiro de Minas e o Metalurgista.

Como demonstra o sub-item **b.4**, Matérias Específicas de Engenharia Metalúrgica, o Engenheiro Metalurgista é preparado para a atuação na pirometallurgia, sendo clara a necessidade de sua presença nas fases de *exploração, desenvolvimento e lavra* no que concerne a trabalhos relativos à essa área. Em um empreendimento mínero-metalúrgico, as atividades de mineração continuam a ter exigências tecnológicas semelhantes àquelas de uma indústria mineral normal, sendo até muito mais rigorosas conforme já foi explicado no início deste trabalho. Não podem prescindir da presença de profissionais habilitados tecnicamente em lavra e em tratamento mecânico de minérios em nenhuma das fases da mineração.

Os conhecimentos de metalurgia extractiva do Engenheiro Metalurgista, conforme mostra o item **b.4** do currículo, se limitam à dos não-ferrosos, tornando pouco abrangente a sua atuação na hidrometalurgia.

Quanto à coordenação e ao gerenciamento técnico de um empreendimento mínero-metalúrgico, a sua atuação estaria restrita à área de pirometallurgia de metálicos e de hidrometalurgia de não-ferrosos, faltando a este profissional visão global de etapas básicas como a geologia, a lavra e o tratamento mecânico.

4.4. A ENGENHARIA QUÍMICA E A MÍNERO-METALURGIA

O item **a**, Matérias Básicas de Engenharia, constitui a base de engenharia do curso de Química, principalmente no tocante ao cálculo, física e química. O item **b**, Matérias Técnicas, engloba todas as disciplinas técnicas necessárias à Engenharia Química, tendo sido dividido em sub-itens para melhor compreensão de seus significados. O sub-item **b.1**, Matérias Gerais de Apoio, compreende as disciplinas técnicas diversas necessárias ao estudo da Engenharia Química. O sub-item **b.4**, Matérias Específicas de Engenharia Química, contém as disciplinas fins da Engenharia Química.

O currículo de Engenharia Química não contém disciplinas de geologia, mineralogia, petrografia, tratamento mecânico de minérios e de pirometalurgia. Da área mineral, tem apenas matérias específicas sobre tecnologias de fertilizantes, de cerâmica e de petróleo. Observa-se que a Engenharia Química apresenta uma base de conhecimentos genérica e ampla, que engloba tecnologia de alimentos, cerâmica, celulose, papel, álcool, petroquímica, fertilizantes e algumas outras. Feita uma análise do currículo do Engenheiro Químico, conclui-se que ele estaria habilitado tecnicamente a atuar na mineração apenas em processos químicos que envolvam fertilizantes, petróleo e materiais cerâmicos. Entretanto, os autores deste trabalho já conheciam, ao longo de suas vidas profissionais, muitos engenheiros químicos atuando em tratamento mecânico (britagem, moagem, flotação, classificação, peneiramento e outros), na hidrometalurgia de metálicos e de não-metálicos, na amostragem de frentes de lavra, na lavra, na avaliação técnico-econômica de jazidas e até mesmo em pirometalurgia. Por isso, incluíram neste texto a análise do currículo desta engenharia, pois seria curioso entender como o Engenheiro Químico consegue atuar em vários campos tão complexos da mineração e da metalurgia sem ter base específica para tal. Entende-se que a Engenharia Química, pelo seu forte embasamento em química e físico-química, pode ser fonte de formação de profissionais passíveis de serem adaptados a alguns setores da indústria mineral que lidem com processos de concentração de minérios fundamentados nessas matérias. É razoável considerar que os conhecimentos dessas disciplinas tornem o Engenheiro Químico habilitado a trabalhar no tratamento hidrometalúrgico de alguns minerais. Portanto, nesta dissertação será considerado que o Engenheiro Químico poderá adaptar-se às operações *hidrometalúrgicas transformativas* (processos químicos que alteram profundamente as espécies minerais do minério tratado) com concentrados minerais aproveitáveis economicamente.

Contando com parcisos conhecimentos de geologia e de mineração (mineralogia, petrologia, lavra, caracterização tecnológica de minérios e tratamento mecânicos de minérios), a contribuição do Engenheiro Químico à prospecção e à exploração é insignificante. Pode ajudar somente com informações ao Geólogo e ao Engenheiro de Minas sobre características de concentrados minerais exigidos por reatores e elementos deletérios em concentrados e em produtos finais. Na definição de reservas lavráveis, item fundamental da exploração, a atuação do Engenheiro Químico é, também, apenas informativa. Apresenta alguma relevância porque o trabalho de exploração do Engenheiro de Minas depende dos dados

técnicos e econômicos de todas as áreas do empreendimento. Os custos totais estimados, incluindo os de hidrometalurgia, são usados para a definição dos teores de *cut-off* da jazida a ser lavrada, o que permite a simulação da lavra, o cálculo das reservas lavráveis e a definição do tamanho do empreendimento de acordo com o mercado disponível. O fato de o Engenheiro Químico não ter familiaridade com a geologia e com as atividades normais da indústria mineral torna, naturalmente, difícil a interação entre a hidrometalurgia e a mineração.

Como demonstra o sub-item **b.4**, Matérias Específicas de Engenharia Química, o Engenheiro Químico tem boa base de química e físico-química, podendo, como já foi dito anteriormente neste trabalho, ser treinado para atuação na área hidrometalúrgica. Devidamente adaptado, a sua presença nas *fases de exploração, de desenvolvimento e de lavra*, no que concerne aos trabalhos relativos à metalurgia extractiva, pode ser útil. As especificações de concentrados minerais para a hidrometalurgia são, geralmente, muito rigorosas porque o poder de solubilização dos reagentes depende da natureza dos constituintes da matéria-prima. Essa maior exigência de qualidade dos concentrados leva, naturalmente, à necessidade de trabalhos mais intensos e detalhados de caracterização tecnológica e de melhor controle da lavra e do tratamento mecânico. Torna imprescindível a presença de profissionais habilitados nessas matérias em todas as *fases da mineração*.

Como falta a este profissional visão global de etapas básicas como a geologia, a lavra e o tratamento mecânico, a sua participação técnica e gerencial em empreendimentos mÍnero-metalúrgicos ficaria limitada à área de hidrometalurgia.

4.5. COMENTÁRIOS GERAIS SOBRE OS PROFISSIONAIS DA ENGENHARIA MINERAL

Antes de avançar mais nesta análise, os autores deste artigo esclarecem que não pretendem atacar os geólogos e os engenheiros de outras formações que hoje labutam, com sucesso, na mÍnero-metalurgia, em áreas como: lavra, tratamento mecânico, pirometalurgia, hidrometalurgia e outras. Todas essas técnicas estão disponíveis em bibliografia vasta, não são monopólio de ramo específico da engenharia e seu aprendizado depende apenas da vontade e do esforço da pessoa interessada. Portanto, este trabalho não tem o objetivo de tornar proibitiva ou ser contrária à atuação técnica e gerencial de qualquer setor da engenharia na mineração e na metalurgia. Os autores deste trabalho desejam que esses técnicos e gerentes (engenheiros de várias formações) continuem a dar sua contribuição ao setor mineral e que acolham as observações aqui contidas como crítica no sentido construtivo. E as tomem até como subsídios que ajudem a ampliar seus campos de atuação na Engenharia Mineral com base de conhecimentos cada vez mais sólida.

Voltando, então, ao tema central, verificou-se que, em conjunto, os currículos analisados abrangem todos as disciplinas necessárias a empreendimentos mÍneros-metalúrgicos. Entretanto, constatou-se que nenhum dos profissionais tem o domínio global de todas as técnicas utilizadas na mÍnero-

metalurgia. Faltam aos Engenheiros Metalurgista e Químico conhecimentos de geologia, lavra e tratamento mecânico, que são atividades básicas e, pode-se dizer, os alicerces de engenharia e científicos do empreendimento mÍnero-metalúrgico. Com exceção de petróleo, fertilizantes e de cerâmicas, a Engenharia Química não abrange outra questão específica da Engenharia Mineral, mesmo as básicas e essenciais como a mineralogia e a petrografia. Tem-se a clara impressão que a atuação do Engenheiro Químico na hidrometalurgia é baseada apenas em seus bons conhecimentos de química e físico-química, isto é, ele pode ser adaptado a essa função. O Geólogo também não tem domínio das atividades de mineração (lavra e tratamento mecânico) e de metalurgia. Aos Engenheiros de Minas e Químico e ao Geólogo falta domínio da pirometalurgia. A presença do Engenheiro de Minas na hidrometalurgia é semelhante à do Engenheiro Químico, pois se baseia apenas em seus razoáveis conhecimentos de química e de físico-química, isto é, ele reúne, também, condições de ser adaptado a esse setor. O Engenheiro Metalurgista tem conhecimentos específicos de metalurgia extrativa dos não-ferrosos, sendo, portanto, passível de ser treinado na hidrometalurgia de outros minerais.

Então, a hidrometalurgia de muitos minerais suporta-se unicamente no esforço individual de cada pessoa treinada, que é uma improvisação e, portanto, uma ação de alto risco. Constatata-se que a base para o ensino de hidrometalurgia nas universidades brasileiras é boa, mas os estudos de metalurgia extrativa são limitados aos dos não-ferrosos e à tecnologia dos fertilizantes. É desejável que sejam ampliados, fiquem mais específicos e contemplem maior número de minerais.

A improvisação de profissionais em geologia, lavra, tratamento mecânico, pirometalurgia, hidrometalurgia, gerenciamento e demais atividades da área mineral, com o treinamento constituindo-se da própria prática dos serviços, é extremamente danosa às empresas e instituições que dependam de seus trabalhos. É normal que o aprendizado prático seja assimilado com maior intensidade em função da ocorrência de erros. Sendo a mineração e a metalurgia operações muito caras, até pequenos enganos técnicos podem ser muitos onerosos.

Em função da falta de domínio por parte dos Engenheiros Metalurgista e Químico de técnicas de mineração e de geologia, os autores deste texto consideram que é extremamente perigosa, para qualquer empreendimento mÍnero-metalúrgico, as relações entre os Engenheiros de Minas e Metalurgista. Por exemplo, o Metalurgista e o Químico podem fornecer as características de qualidade do minério para o processo metalúrgico ao Engenheiro de Minas e este fazer todos os cálculos de reserva lavrável e a amostragem da jazida corretamente. Entretanto, nos testes para dimensionamento dos equipamentos metalúrgicos, o Metalurgista e o Químico podem não compor as amostras de acordo com as variáveis da lavra e usar amostras médias, inutilizando os próprios testes, os dimensionamentos dos equipamentos metalúrgicos e, também, as estimativas das reservas.

4.6. O GERENCIAMENTO DE MÍNERO-METALURGIAS

A questão gerencial é complexa porque depende de fatores técnicos de geologia, de tratamento mecânico de minérios, de mineralogia, de petrografia, de lavra, de caracterização tecnológica, de pesquisa tecnológica, de metalurgia, de economia e de meio ambiente. Eliminações de etapas essenciais de cada uma dessas matérias técnicas não podem ter seus efeitos avaliados no curto prazo, sendo difícil, posteriormente, a constatação das causas de resultados ruins por mau gerenciamento. Por isso, exige-se intensa atividade de coordenação em função das interfaces existentes, que são difíceis de serem detectadas e identificadas. Em complemento, é necessário aos gerentes incansável acompanhamento do mercado e das suas tendências, e, ainda, bom entendimento das legislações mineral e ambiental. Não se fala aqui de líderes natos, pessoas raríssimas que não se fazem em escolas ou através de estudos científicos, mas nascidas com aptidão natural para o comando. O gerente de empreendimentos mínero-metalúrgicos referido neste trabalho é aquele profissional preparado e treinado tecnicamente para coordenar esses projetos de acordo com as suas necessidades tecnológicas e econômicas, presentes e futuras.

No caso dos currículos analisados, percebe-se que não há técnicos provenientes de universidades cujas formações abranjam, simultaneamente, geologia, mineração e metalurgia. Cada um deles apresenta uma ou mais lacunas, conforme já foi explicado neste artigo e, por isso, há o risco de essas carências serem transmitidas aos projetos. Isso faz com que as mineradoras fiquem dependentes de profissionais de geologia, de mineração e de metalurgia auto-treinados ou práticos para o gerenciamento de mínero-metalurgias. Como nem sempre o auto-treinamento ou o aprendizado prático são completos e suficientes para o preenchimento de todas as exigências normais do setor, a probabilidade de esses projetos não serem adequadamente gerenciados é muito grande. Além do mais, muitos proprietários ou diretores de empresas mineradoras, por serem leigos em mineração e metalurgia, desconhecem totalmente os campos de atuação dos técnicos cujos currículos foram aqui analisados. Há, por isso, o risco de etapas da mineração serem colocadas sob a coordenação de profissionais não habilitados. Ocorrem muitas interpretações errôneas oriundas de falta de preparo técnico e gerencial, como por exemplo:

- havendo processo que utiliza reagentes químicos, contrata-se um engenheiro químico, mesmo que seja metalurgia extractiva de não-ferrosos, mais adequada à atuação de um metalurgista;
- coloca-se o tratamento mecânico em conjunto com a metalurgia, sob o comando de químicos e/ou metalurgistas, quando o mais produtivo seria entregá-lo a um engenheiro de minas;
- quaisquer furos de sondagem, poços, galerias e outros serviços, para coleta de amostras, são colocados sob coordenação de geólogos, mesmo aqueles para a definição ou escolha de métodos de lavra e de caracterização tecnológica de minérios, que teriam melhor aproveitamento se fossem executados por engenheiros de minas;

- mesmo quando os profissionais estão em seus corretos campos de atuação, divide-se o gerenciamento por áreas (geologia, mineração e metalurgia) e não se faz nenhuma integração entre elas;
- comumente, apenas uma parte da jazida, correspondente a 5 (cinco) anos de lavra, é caracterizada tecnologicamente, o que pode não ser satisfatório para certos projetos mínero-metalúrgicos; são construídas caríssimas e enormes usinas pilotos, para testar, muitas vezes, essas porções que não representam completamente a jazida;
- a caracterização do minério é feita parcialmente, compondo-se somente da determinação de teores químicos de elementos principais e desconsiderando-se a geologia, a mineralogia, a granulometria, a petrografia e, em consequência, alguns deletérios ou fatores importantes;
- os resultados das caracterizações tecnológicas raramente são usados para simulações de lavra, não se obtendo previsões reais das qualidades dos concentrados;
- os levantamentos de mercado e de preços quase sempre consistem apenas do balanço da oferta e da demanda e não consideram a qualidade do produto mineral em função dos tipos de minério existentes na jazida;
- tamanho e qualidade de amostras para testes de importantes e caros equipamentos metalúrgicos, como fornos e reatores, são determinados por fabricantes e, muitas vezes, não têm representatividade;
- testes de bancada são executados com amostras aleatórias, sem preocupação de seus resultados buscarem as características geometalúrgicas da jazida, e servem, mesmo assim, de base para construção de caríssimas usinas pilotos e até de industriais.

Os resultados desses enganos são extremamente graves e causam diversas dificuldades, tais como: reservas lavráveis sub ou super-estimadas, tratamento mecânico ineficaz e com falhas operacionais, área metalúrgica incompatível com o concentrado mecânico e preços e mercados dos produtos abaixo dos valores estimados. Provocam, além de tudo, inúmeros e onerosos retrabalhos, quando passa a existir o interesse em tornar o projeto realmente eficiente e tecnicamente correto. Os exemplos acima não se referem aos riscos naturais inerentes à atividades de mineração e de metalurgia, como: mudanças de usos de produtos minerais, catástrofes naturais que impossibilitem a lavra, maiores exigências de qualidade do mercado, aumentos de restrições ambientais e outros. Muitos desses fatores são imprevistos, mas sabe-se de antemão que podem ocorrer. Tem-se, ainda, que a interpretação da geologia da jazida depende de dados que são naturalmente restritos por serem oriundos de trabalhos de altos custos. Daí, em jazidas de geologia complexa, é natural ocorrerem falhas de interpretação geológica motivadas por insuficiência de informações. Entretanto, nesses casos, é perfeitamente possível, pela própria inexistência dos dados, prever-se a probabilidade de maiores riscos de erros. Muitos projetos são feitos sabendo-se que a interpretação geológica não está totalmente consolidada, podendo o corpo de minério sofrer variações que desfavoreçam completamente os resultados da lavra. Exemplos são alguns projetos de ouro em jazidas filonares, cujas interpretações geológicas completas exigiriam investimentos em exploração muitos

maiores do que o retorno esperado com a lavra. Nesses casos, o investidor tem que assumir esses riscos ou desistir do projeto.

Há, ainda, posições políticas e estratégicas das empresas que nem sempre são adotadas em consonância com as exigências técnicas, causando, também, muitos contratemplos. Por razões de mercado ou de momento favorável de preços, tomam-se a decisões de implantar minero-metalurgias sem que todas as questões tecnológicas estejam devidamente equacionadas e resolvidas. Queimam-se etapas com o objetivo de acelerar os serviços e os resultados costumam ser, quase sempre, desastrosos.

Na opinião dos autores deste trabalho, simples procedimentos organizacionais poderiam eliminar a maior parte desses enganos técnicos e gerenciais. As empresas poderiam estabelecer, pelo menos a partir da exploração, e persistindo até o desenvolvimento e a lavra, colegiados de técnicos habilitados e experientes em geologia, mineração e metalurgia para discutirem e planejarem, sempre em conjunto, cada etapa técnica antes de sua elaboração. Essa medida pode, algumas vezes, não funcionar em função de divergências técnicas entre os componentes desse colegiado e até de discordâncias com o próprio gerente, mas é uma razoável medida a ser adotada na atual conjuntura.

Outra solução poderia ser a divisão do gerenciamento em duas áreas distintas, uma de mineração e outra de metalurgia. Atuariam completamente interdependentes, mas da seguinte forma: em termos globais, a metalurgia seria considerada, junto com lavra e o tratamento mecânico, uma parte da mineração. Como parte desse conjunto, seria coordenada pela gerência de mineração em todos os aspectos relativos ao minério (lavra, tratamento mecânico, caracterização tecnológica, concentrado mecânico e outros). A gerência de metalurgia ficaria responsável pelo gerenciamento específico da metalurgia, mas teria sempre que se submeter à área de mineração em assunto de minérios, concentrados e correlatos. É um procedimento difícil de ser implementado, pois coloca os Engenheiros Metalurgista e Químico submetidos ao Engenheiro de Minas. Mas essa medida evitaria, pelo menos, que Metalurgistas e Químicos testem e inventem processos utilizando amostras não representativas das jazidas.

Entretanto, o ideal seria que as universidades adaptassem seus currículos e passassem a formar profissionais de Engenharia Mineral com base técnica ampla de geologia, mineração e metalurgia, tornando possível o surgimento no mercado de bons gerentes de projetos minero-metalúrgicos.

5. CONCLUSÃO

A análise dos currículos confirma que o Geólogo e os Engenheiros Metalurgista, de Minas e Químico não têm, individualmente, o domínio completo de todas as técnicas envolvidas em um projeto mÍnero-metalúrgico, sendo óbvio que a atuação de cada um deles nesta área será improvisada quando o assunto for adverso à sua qualificação técnica.

Na revisão da literatura, constatou-se que os autores estão muito preocupados com os rumos da educação na área mineral e, principalmente, não consideram a improvisação de profissionais como um caminho a ser trilhado. Entendem ser de alto grau a qualificação exigida pelos técnicos nas atividades de geologia, de mineração e de metalurgia, devido aos seus altos custos e avançadas tecnologias.

É possível prever-se que, em futuro próximo, a metalurgia da maior parte dos concentrados minerais passará a ser feita sempre em conjunto com a mineração, conforme já foi explicado neste trabalho. Será preciso, portanto, que as universidades criem cursos que atendam à esta já crescente demanda. Haverá, evidentemente, muitas formas de minimizar o problema ora existente com a criação de cursos mistos, tais como:

- *Geologia e Engenharia de Minas*: o Engenheiro de Minas ganharia maior domínio de geologia, mineralogia e petrografia. Entretanto, a Geologia, como ciência, seria colocada dentro de um ramo específico de engenharia, de cunho mais lógico e matemático. Isto poderia inibir a formulação de novas teorias geológicas e até prejudicar a sua evolução. A fusão desses cursos não contribuiria, entretanto, para integrar a mineração e a metalurgia.
- *Engenharia Química e Metalúrgica*: teria a desvantagem de voltar a Engenharia Química somente para a área mineral, pois ela é, também, muito importante em muitas atividades, tais como: alimentos, biologia, sanitarismo e muitos outras. Não seria solução também para a integração da metalurgia com a mineração.
- *Engenharia Metalúrgica e Engenharia de Minas*: resolveria o problema da integração da geologia e da mineração com a pirometalurgia e a metalurgia extractiva dos não-ferrosos, mas, ainda assim, o ensino de hidrometalurgia de outros minerais continuaria deficiente.

Portanto, conclui-se que seria vantajoso o ensino integrado de metalurgia e de mineração nas universidades e, talvez, em um curso único. Pelo exposto acima, uma união das Engenharias de Minas e Metalúrgica iria tornar o quadro mais favorável e possibilitar a implantação e operação de projetos mÍnero-metalúrgicos com menores riscos do que os atuais, que são muitos. No novo curso integrado deveriam ser acrescentadas mais matérias de hidrometalurgia, estudando-se formas de composição das disciplinas dos cursos atuais para permitir a manutenção da duração de cinco anos.

Essa nova profissão, provavelmente, atrairia mais alunos e os cursos ficariam mais baratos para as universidades do que as atuais Engenharias de Minas e Metalúrgica. Observa-se que estas duas engenharias, hoje, atraem pouquíssimos alunos e, por isso, são de alto custo unitário.

| ENGENHARIA METALÚRGICA | ENGENHARIA DE MINAS | ENGENHARIA QUÍMICA | GEOLOGIA |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>a) Matérias Básicas de Engenharia:</p> <ul style="list-style-type: none"> - cálculo diferencial e integral I - cálculo diferencial e integral II - cálculo diferencial e integral III - cálculo diferencial e integral IV - cálculo numérico I - física I - física II - física III - física IV - física V - laboratório de física I - laboratório de física II - laboratório de física III - laboratório de física IV - mecânica geral III - mecânica geral IV - mecânica dos fluidos V - química inorgânica I - química inorgânica II - química analítica e quantitativa III - físico - química XIV - físico - química XV - desenho p/eng I - desenho p/eng II - vetores e geometria - álgebra linear p/engenharia - intr à comp p/ciênc ex e tecnol - físico - química experimental III <p>b) Matérias Técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1) Matérias Gerais de Apoio <ul style="list-style-type: none"> - eletrônica e eletrônica geral I - lab de eletrônica geral I - resistência dos materiais V - economia geral - ciências do ambiente - elementos de const de máq IX - instituições de direito - noções de administração industrial - noções de administração geral - estatística - fluidomecânicos - termodinâmica e suas aplicações - topografia básica - técnica topográfica e cartográfica 2) Matérias de Apoio à Geologia <ul style="list-style-type: none"> - introdução à geociência - topografia para geologia - fotogrametria - fenômenos ondulatórios para geociência - aerofotogeologia - geofísica aplicada - elementos de mecânica dos solos - elementos de geodésia - prospecção - elementos de mecânica das rochas - pesquisa e avaliação de jazidas - recursos energéticos - desenho e mapeamento geológico | <p>a) Matérias Básicas de Engenharia:</p> <ul style="list-style-type: none"> - cálculo diferencial e integral I - cálculo diferencial e integral II - cálculo diferencial e integral III - cálculo diferencial e integral IV - cálculo numérico I - física I - física II - física III - física IV - laboratório de física I - laboratório de física II - laboratório de física III - laboratório de física IV - mecânica geral III - mecânica geral IV - mecânica dos fluidos V - química analítica e quantitativa IV - físico - química I - química inorgânica II - química analítica e quantitativa V - físico - química III - desenho p/eng I - desenho p/eng II - vetores e geometria - álgebra linear p/engenharia - intr à comp p/ciênc ex e tecnol - físico - química experimental IV <p>b) Matérias Técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1) Matérias Gerais de Apoio <ul style="list-style-type: none"> - eletrônica e eletrônica geral I - lab de eletrônica geral I - resistência dos materiais V - economia geral - ciências do ambiente - elementos de const de máq IX - instituições de direito - noções de administração industrial - noções de administração geral - estatística - fluidomecânicos - termodinâmica e suas aplicações - topografia básica - técnica topográfica e cartográfica 2) Matérias de Apoio à Geologia <ul style="list-style-type: none"> - introdução à geociência - topografia para geologia - fotogrametria - fenômenos ondulatórios para geociência - aerofotogeologia - geofísica aplicada - elementos de mecânica dos solos - elementos de geodésia - prospecção - elementos de mecânica das rochas - pesquisa e avaliação de jazidas - recursos energéticos - desenho e mapeamento geológico | <p>a) Matérias Básicas Gerais</p> <ul style="list-style-type: none"> - cálculo diferencial e integral I - cálculo diferencial e integral II - cálculo diferencial e integral III - cálculo diferencial e integral IV - cálculo numérico I - física I - física II - física III - física IV - laboratório de física I - laboratório de física II - laboratório de física III - laboratório de física IV - mecânica geral III - mecânica geral IV - mecânica dos fluidos V - química inorgânica I - química inorgânica II - química analítica e quantitativa III - físico - química XIV - físico - química XV - desenho p/eng I - desenho p/eng II - vetores e geometria - álgebra linear p/engenharia - intr à comp p/ciênc ex e tecnol - físico - química experimental V <p>b) Matérias Técnicas</p> <ul style="list-style-type: none"> 1) Matérias Sobre Minerais e Rochas <ul style="list-style-type: none"> - introdução à mineração e petróleo - mineralogia geral - cristalografia fundamental - mineralogia II - minérios metálicos e minerais industriais - intro à microscopia petrográfica - petrologia das rochas ígneas - petrologia das rochas metamórficas 2) Matérias de Apoio à Geologia <ul style="list-style-type: none"> - introdução à geociência - topografia para geologia - fotogrametria - fenômenos ondulatórios para geociência - aerofotogeologia - geofísica aplicada - elementos de mecânica dos solos - elementos de geodésia - prospecção - elementos de mecânica das rochas - pesquisa e avaliação de jazidas - recursos energéticos - desenho e mapeamento geológico | <p>a) Matérias Básicas Gerais</p> <ul style="list-style-type: none"> - cálculo diferencial e integral I - cálculo diferencial e integral II - cálculo diferencial e integral III - cálculo diferencial e integral IV - cálculo numérico I - física I - física II - física III - física IV - laboratório de física I - laboratório de física II - laboratório de física III - laboratório de física IV - mecânica geral III - mecânica geral IV - mecânica dos fluidos V - química inorgânica I - química inorgânica II - química analítica e quantitativa IV - físico - química I - química orgânica I - química orgânica II - química analítica e quantitativa V - físico - química III - desenho p/eng I - desenho p/eng II - vetores e geometria - álgebra linear p/engenharia - intr à comp p/ciênc ex e tecnol - físico - química experimental IV <p>b) Matérias Técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1) Matérias Gerais de Apoio <ul style="list-style-type: none"> - eletrônica e eletrônica geral I - lab de eletrônica geral I - resistência dos materiais V - economia geral - ciências do ambiente - elementos de const de máq IX - instituições de direito - noções de administração industrial - noções de administração geral - estatística - fluidomecânicos - termodinâmica e suas aplicações - topografia básica - técnica topográfica e cartográfica 2) Matérias de Apoio à Geologia <ul style="list-style-type: none"> - introdução à geociência - topografia para geologia - fotogrametria - fenômenos ondulatórios para geociência - aerofotogeologia - geofísica aplicada - elementos de mecânica dos solos - elementos de geodésia - prospecção - elementos de mecânica das rochas - pesquisa e avaliação de jazidas - recursos energéticos - desenho e mapeamento geológico |

| ESTRUTURA CURRICULAR DA USP - ENGENHARIA MINERAL E GEOLOGIA | |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ENGENHARIA METALURGICA | ENGENHARIA DE MINAS b 2) Matérias Sobre Minerais e Rochas - elementos de mineralogia e petrologia b 3) Matérias de Benefíc. Mineral - introd. ao tratamento dos minerais b. 4) Matérias Específicas de Eng. Metalúrgica - introd. à eng. metalúrgica - ciências dos materiais I - ciências dos materiais II - métalografia I - tén. metatológicas - métalografia II - teoria de transf. de fase - métalografia III - métalografia e trat. térm. de ferro e suas ligas - métalografia IV - métalografia e trat. térm. de metais e ligas não ferrosas - métalografia V - prob. metalúrgicos em materiais e componentes - siderurgia I - siderurgia II - férden. de transp. em eng. de materiais - diagramas de fase - termodinâmica aplicada à eng. de materiais - físico-química metalúrgica - cinética - lab. de proc. metalúrgicos - lab. de proc. de fabricação II - lab. de metrologia e ensaios mecânicos II - fundição I - mecânica dos materiais metálicos I - metalurgia extractiva dos metais não-ferrosos I - metalurgia extractiva dos metais ferrosos II - corrosão e proteção - metalurgia e processos de scidagem - estágio supervisionado - mód. matemát. e simul. na eng. metalúrgica - mecânica dos materiais metálicos II - transform. mecânica dos metais II - processos de pós metálicos e cerâmicos - trabalho e formatura I - trabalho de formatura II ENGENHARIA QUÍMICA b 2) Matérias Específicas de Eng. Química - introd. à eng. química - química orgânica III - química orgânica IV - fundam. e mecanismos bás. da corrosão - cálculo de reatores - materiais de constr. da ind. química - combustíveis e combustão - estágio superv. em eng. química - química analítica quantitativa V - operações unitárias da ind. química I - operações unitárias da ind. química II - operações unitárias da ind. química III - análise dos proc. da eng. química - lab. de fundam. da eng. química I - lab. de fundam. da eng. química II - cont. de proc. da ind. química I - cont. de proc. da ind. química II - prevenção de perdas da ind. química - simul. de proc. da ind. química - lab. de eng. biocímlica I - lab. de eng. biocímlica II - engenharia biocímlica I - engenharia biocímlica II - proj. de processos da ind. química - engenharia de alimentos I - engenharia de alimentos II - quím. industri. VII proc. quím. inorgânicos - quím. industri. I tecnologia cerâmica - quím. industri. V tecnol. de fertilizantes - quím. industri. X cont. de pol. da ind. química - aval. econôm. de proj. da ind. química - quím. industri. VIII proc. quím. orgânicos - quím. industri. VI fermentação biológica - quím. industri. II tecnol. petroquímica - quím. industri. III tecnol. de altos polímeros - quím. industri. IV tecnol. de celul. e papel - quím. industri. IX etanol e etanoquímica - termodinâmica química aplicada I - termodinâmica química aplicada II - fenômenos de transporte I - fenômenos de transporte II - fenômenos de transporte III GEOLOGIA b 3) Matérias Específicas de Geologia - geologia estrutural - geologia histórica - geologia física - geomorfologia - geoquímica - geologia de campo - geologia econômica e recursos minerais - geologia de argentina I - geologia do Brasil II - estratigrafia - paragenese de minerais - gênese de jazidas minerais - geotectônica - hidrogeologia - paleontologia geral - sedimentologia I - sedimentologia II |
| ENGENHARIA DE MINAS | ENGENHARIA QUÍMICA b 2) Matérias Específicas de Eng. Química - introd. à eng. química - química orgânica III - química orgânica IV - fundam. e mecanismos bás. da corrosão - cálculo de reatores - materiais de constr. da ind. química - combustíveis e combustão - estágio superv. em eng. química - química analítica quantitativa V - operações unitárias da ind. química I - operações unitárias da ind. química II - operações unitárias da ind. química III - análise dos proc. da eng. química - lab. de fundam. da eng. química I - lab. de fundam. da eng. química II - cont. de proc. da ind. química I - cont. de proc. da ind. química II - prevenção de perdas da ind. química - simul. de proc. da ind. química - lab. de eng. biocímlica I - lab. de eng. biocímlica II - engenharia biocímlica I - engenharia biocímlica II - proj. de processos da ind. química - engenharia de alimentos I - engenharia de alimentos II - quím. industri. VII proc. quím. inorgânicos - quím. industri. I tecnologia cerâmica - quím. industri. V tecnol. de fertilizantes - quím. industri. X cont. de pol. da ind. química - aval. econôm. de proj. da ind. química - quím. industri. VIII proc. quím. orgânicos - quím. industri. VI fermentação biológica - quím. industri. II tecnol. petroquímica - quím. industri. III tecnol. de altos polímeros - quím. industri. IV tecnol. de celul. e papel - quím. industri. IX etanol e etanoquímica - termodinâmica química aplicada I - termodinâmica química aplicada II - fenômenos de transporte I - fenômenos de transporte II - fenômenos de transporte III GEOLOGIA b 3) Matérias Específicas de Geologia - geologia estrutural - geologia histórica - geologia física - geomorfologia - geoquímica - geologia de campo - geologia econômica e recursos minerais - geologia de argentina I - geologia do Brasil II - estratigrafia - paragenese de minerais - gênese de jazidas minerais - geotectônica - hidrogeologia - paleontologia geral - sedimentologia I - sedimentologia II |
| ENGENHARIA METALURGICA | b 2) Matérias Sobre Minerais e Rochas - elementos de mineralogia e petrologia b 3) Matérias de Benefíc. Mineral - introd. ao tratamento dos minerais b. 4) Matérias Específicas de Eng. Metalúrgica - introd. à eng. metalúrgica - ciências dos materiais I - ciências dos materiais II - métalografia I - tén. metatológicas - métalografia II - teoria de transf. de fase - métalografia III - métalografia e trat. térm. de ferro e suas ligas - métalografia IV - métalografia e trat. térm. de metais e ligas não ferrosas - métalografia V - prob. metalúrgicos em materiais e componentes - siderurgia I - siderurgia II - férden. de transp. em eng. de materiais - diagramas de fase - termodinâmica aplicada à eng. de materiais - físico-química metalúrgica - cinética - lab. de proc. metalúrgicos - lab. de proc. de fabricação II - lab. de metrologia e ensaios mecânicos II - fundição I - mecânica dos materiais metálicos I - metalurgia extractiva dos metais não-ferrosos I - metalurgia extractiva dos metais ferrosos II - corrosão e proteção - metalurgia e processos de scidagem - estágio supervisionado - mód. matemát. e simul. na eng. metalúrgica - mecânica dos materiais metálicos II - transform. mecânica dos metais II - processos de pós metálicos e cerâmicos - trabalho e formatura I - trabalho de formatura II ENGENHARIA QUÍMICA b 2) Matérias Específicas de Eng. Química - introd. à eng. química - química orgânica III - química orgânica IV - fundam. e mecanismos bás. da corrosão - cálculo de reatores - materiais de constr. da ind. química - combustíveis e combustão - estágio superv. em eng. química - química analítica quantitativa V - operações unitárias da ind. química I - operações unitárias da ind. química II - operações unitárias da ind. química III - análise dos proc. da eng. química - lab. de fundam. da eng. química I - lab. de fundam. da eng. química II - cont. de proc. da ind. química I - cont. de proc. da ind. química II - prevenção de perdas da ind. química - simul. de proc. da ind. química - lab. de eng. biocímlica I - lab. de eng. biocímlica II - engenharia biocímlica I - engenharia biocímlica II - proj. de processos da ind. química - engenharia de alimentos I - engenharia de alimentos II - quím. industri. VII proc. quím. inorgânicos - quím. industri. I tecnologia cerâmica - quím. industri. V tecnol. de fertilizantes - quím. industri. X cont. de pol. da ind. química - aval. econôm. de proj. da ind. química - quím. industri. VIII proc. quím. orgânicos - quím. industri. VI fermentação biológica - quím. industri. II tecnol. petroquímica - quím. industri. III tecnol. de altos polímeros - quím. industri. IV tecnol. de celul. e papel - quím. industri. IX etanol e etanoquímica - termodinâmica química aplicada I - termodinâmica química aplicada II - fenômenos de transporte I - fenômenos de transporte II - fenômenos de transporte III GEOLOGIA b 3) Matérias Específicas de Geologia - geologia estrutural - geologia histórica - geologia física - geomorfologia - geoquímica - geologia de campo - geologia econômica e recursos minerais - geologia de argentina I - geologia do Brasil II - estratigrafia - paragenese de minerais - gênese de jazidas minerais - geotectônica - hidrogeologia - paleontologia geral - sedimentologia I - sedimentologia II |
| ENGENHARIA DE MINAS | b 2) Matérias Sobre Minerais e Rochas - elementos de mineralogia e petrologia b 3) Matérias de Benefíc. Mineral - introd. ao tratamento dos minerais b. 4) Matérias Específicas de Eng. Metalúrgica - introd. à eng. metalúrgica - ciências dos materiais I - ciências dos materiais II - métalografia I - tén. metatológicas - métalografia II - teoria de transf. de fase - métalografia III - métalografia e trat. térm. de ferro e suas ligas - métalografia IV - métalografia e trat. térm. de metais e ligas não ferrosas - métalografia V - prob. metalúrgicos em materiais e componentes - siderurgia I - siderurgia II - férden. de transp. em eng. de materiais - diagramas de fase - termodinâmica aplicada à eng. de materiais - físico-química metalúrgica - cinética - lab. de proc. metalúrgicos - lab. de proc. de fabricação II - lab. de metrologia e ensaios mecânicos II - fundição I - mecânica dos materiais metálicos I - metalurgia extractiva dos metais não-ferrosos I - metalurgia extractiva dos metais ferrosos II - corrosão e proteção - metalurgia e processos de scidagem - estágio supervisionado - mód. matemát. e simul. na eng. metalúrgica - mecânica dos materiais metálicos II - transform. mecânica dos metais II - processos de pós metálicos e cerâmicos - trabalho e formatura I - trabalho de formatura II ENGENHARIA QUÍMICA b 2) Matérias Específicas de Eng. Química - introd. à eng. química - química orgânica III - química orgânica IV - fundam. e mecanismos bás. da corrosão - cálculo de reatores - materiais de constr. da ind. química - combustíveis e combustão - estágio superv. em eng. química - química analítica quantitativa V - operações unitárias da ind. química I - operações unitárias da ind. química II - operações unitárias da ind. química III - análise dos proc. da eng. química - lab. de fundam. da eng. química I - lab. de fundam. da eng. química II - cont. de proc. da ind. química I - cont. de proc. da ind. química II - prevenção de perdas da ind. química - simul. de proc. da ind. química - lab. de eng. biocímlica I - lab. de eng. biocímlica II - engenharia biocímlica I - engenharia biocímlica II - proj. de processos da ind. química - engenharia de alimentos I - engenharia de alimentos II - quím. industri. VII proc. quím. inorgânicos - quím. industri. I tecnologia cerâmica - quím. industri. V tecnol. de fertilizantes - quím. industri. X cont. de pol. da ind. química - aval. econôm. de proj. da ind. química - quím. industri. VIII proc. quím. orgânicos - quím. industri. VI fermentação biológica - quím. industri. II tecnol. petroquímica - quím. industri. III tecnol. de altos polímeros - quím. industri. IV tecnol. de celul. e papel - quím. industri. IX etanol e etanoquímica - termodinâmica química aplicada I - termodinâmica química aplicada II - fenômenos de transporte I - fenômenos de transporte II - fenômenos de transporte III GEOLOGIA b 3) Matérias Específicas de Geologia - geologia estrutural - geologia histórica - geologia física - geomorfologia - geoquímica - geologia de campo - geologia econômica e recursos minerais - geologia de argentina I - geologia do Brasil II - estratigrafia - paragenese de minerais - gênese de jazidas minerais - geotectônica - hidrogeologia - paleontologia geral - sedimentologia I - sedimentologia II |

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CANNING, R.G. ; WOODCOCK, J.T. Innovations and problems in gold recovery from ores and minerals products. In: AUSIMM CONFERENCE, Melbourne, 1982. */Proceedings/*. s.l., 1982. p. 365-81.
- CHAVES, A.P. **The profile of the brazilian mining professionals**. Rio de Janeiro, CETEM, 1995. 25p (Série Qualidade e Produtividade. n. 7).
- DAMASCENO, E. C. ; VINHA, L. C. Tema para reflexão: mineração ou indústria extrativa? **Jornal do Economista**, n. 36. p. 3, jun. 1991.
- HENNIES, W. T.; STELLIN JR., A. Histórico da engenharia de minas da EPUSP. **Poli-Memória**, n. 15, p. 1-4, abr. 1993.
- LOTON, B. Education - The focus for our future. */Editorial/*. **The AusIMM Bulletin and Proceedings**, v. 294, n. 2, p. 16*, Apr. 1989.
- LOVERING, J. F. Green papers/white papers - restructuring the universities and the mining industry for the 21st century. **The AusIMM Bulletin and Proceedings**, v. 294, n. 1, p. 11-7, Feb. 1989.
- LYNCH, A. Education and advanced technology: keys to the future of the mineral industry. **The AusIMM Bulletin and Proceedings**, v. 294, n. 6, p. 28-30, Oct. 1989.
- MEADOWCROFT, T. R. The metals and materials engineer in the 21st century. **Engineering & Mining Journal**, v. 193, n.11, p. 19-21, Nov. 1992.
- PERES, A. E. C. ; GALÉRY, R. **O ensino de Engenharia de Minas e seu papel na sociedade**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESINO DE ENGENHARIA, 21., Belo Horizonte, 1993. Trabalhos técnicos. São Paulo, ABENGE. V. 2, p. 661-8

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

- DORRICOT, M. Future direction in mining engineering education. **The AusIMM Bulletin**, n. 7, p. 15-8, Dec. 1991.
- FORTES, P. T. F. O. Mudanças no currículo do curso de graduação em Geologia da Universidade de Brasília: um convite à reflexão. **Cadernos IG-UNICAMP**, v. 5, n. 2, 1995. p 3-21.
- GILLIES, A.D.S. Educating australian mining engineering students for the future. **AusIMM Bulletin**, n. 4, p. 23-4, July 1992.
- HENNIES, W.T. **Ensino de engenharia de minas**. São Paulo, 1996. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Minas, BT/PMI/052).
- LANE, F. K. **The economic definition of ore**: cut-off grades in theory and practice. London, Mining Journal, 1988. 149p.
- LYNCH, A. Science, technology and the mineral industry mines and universities - a vital link. **The AusIMM Bulletin and Proceedings**, v. 294, n.3, p. 34-8, May. 1989.
- MAIA, J. **Pesquisa mineral**. UFOP, Escola de Minas e Metalurgia. Ouro Preto, Imprensa Universitária, 1979. p. 239-61.
- MAIA, J. **Desenvolvimento**. Ouro Preto, Fundação Gorceix, 1980. p. 3-5.
- MARTINS, L. A. M.; DAMASCENO, E. C. **Exploração mineral**: conceitos e papel do estado. São Paulo, EPUSP, 1992. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Minas, 008).
- MCDONALD, E. A revolution in the faculty ...industry - universities Initiativies. **The AusIMM Bulletin and Proceedings**, v. 294, n. 1, p. 19-22, Febr. 1989.
- SILVA, A. T. **Curso de Tratamento de Minérios**. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 1973. V. 1, p. 1-2. V. 2, p. 134-6.
- TAGGART, A. F. **Handbook of Ore Dressing**. New York, John Wiley, 1945. Sec. 1, p. 1-4.
- THE EDUCATION And Accreditation Committee. The AusIMM policy on education. **The AusIMM Bulletin and Proceedings**, v. 294, n. 1, p. 4-8, May 1989.

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

BT/PMI/001 - Características Geométricas da Escavação Mecânica em Mineração: Exemplo de Escavadora de Caçamba de Arraste - ANTONIO STELLIN JUNIOR

BT/PMI/002 - Prospecção Geoquímica Experimental na Ocorrência de Ouro Tapera Grande - PAULO BELJAVSKIS, HELMUT BORN

BT/PMI/003 - Estudo de Processo de Dupla Flotação visando o Beneficiamento do Minério Carbonático de Fosfato de Jacupiranga - JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

BT/PMI/004 - Desenvolvimento de um Equipamento Não-Convencional em Beneficiamento Mineral: A Célula Serrana de Flotação Pneumática - RICARDO NEVES DE OLIVEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

BT/PMI/005 - Aluste de Modelos Empíricos de Operação de Ciclones - HOMERO DELBONI JUNIOR, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/006 - Contribuição ao Estudo dos Explosivos Permissíveis - AMILTON DOS SANTOS ALMEIDA, WILDOR THEODORO HENNIES

BT/PMI/007 - Contribuição ao Dimensionamento de Pilares em Minas Subterrâneas de Manganês - LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA, ANTONIO STELLIN JUNIOR

BT/PMI/008 - Exploração Mineral: Conceitos e Papel do Estado - LUIZ AUGUSTO MILANI MARTINS, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

BT/PMI/009 - Otimização do Projeto de Pátios de Homogeneização através do Método da Simulação Condisional - FLAVIO MOREIRA FERREIRA, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/010 - Considerações Gerais sobre Desmonte de Rocha: Análise de Custo - Índice de Produtividade e Otimização da Malha de Perfuração - MARCO ANTONIO REZENDE SILVA, FERNANDO AMOS SIRIANI

BT/PMI/011 - Aglomeração de Rejeitos de Fabricação de Brita para sua Reciclagem - ARTHUR PINTO CHAVES, BRADDLEY PAUL

BT/PMI/012 - Método de Dimensionamento de Peneiras para a Classificação Granulométrica de Rochas ou Minérios - FERNANDO AMOS SIRIANI

BT/PMI/013 - Processo de Beneficiamento para Obtenção de uma Carga Mineral Nobre a partir do Fosfogesso - WALTER VALERY JUNIOR, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/014 - Estudo da Carboxi-Metil-Celulose como Aglomerante para Pelotização - JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/015 - A Influência do Amido de Milho na Eficiência de Separação Apatita/Minerais de Ganga Via Processo Serrana - LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/016 - Beneficiamento de Criolita Natural - Estado da Arte - HENRIQUE KAHN, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/017 - Estudo da Variação do Úndice Energético Específico - W_i , segundo a Granulometria do Ensaio, Obtida através de um Moinho de Bolas Padrão, em Circuito Fechado - MARIO SHIRO YAMAMOTO, FERNANDO AMOS SIRIANI

BT/PMI/018 - Fluorita - FERNANDO FUJIMURA, WILDOR THEODORO HENNIES

BT/PMI/019 - O Aproveitamento de Recursos Minerais: Uma Proposta de Abordagem a Nível Nacional - CELSO PINTO FERRAZ, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

BT/PMI/020 - Comparação de duas Metodologias - A de Bieniawski e a de Panek, para Dimensionamento de Tirantes em Galerias Subterrâneas de Seção Retangular em Camadas Estratificadas - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA

BT/PMI/021 - Caracterização de Maçilhos Rochosos através de Envoltórios de Resistência por Tratamento Estatístico utilizando Dados de Laboratório do IPT Simulando Condições Geotécnicas do Maçilho - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, WILDOR THEODORO HENNIES

BT/PMI/022 - Avaliação de Impactos Ambientais na Mineração de Combustíveis Fósseis Sólidos - GILDA CARNEIRO FERREIRA, ANTONIO STELLIN JUNIOR

BT/PMI/023 - O Lado Nocivo do Elemento Quartzo no Desgaste Abrasivo de Mandíbula de Britadores - FERNANDO FUJIMURA

BT/PMI/024 - Conceitos Básicos de Iluminação de Minas Subterrâneas - SÉRGIO MEDICI DE ESTON, WILDOR THEODORO HENNIES

BT/PMI/025 - Sistema Computadorizado para Ajuste de Balanço de Massas e Metalúrgico - ANTONIO CARLOS NUNES, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/026 - Caracterização Mineralógica/Tecnológica das Apatitas de alguns Depósitos Brasileiros de Fosfato - SARA LAIS RAHAL LENHARO, HELMUT BORN

BT/PMI/027 - Classificação de Maciços quanto à Escarificabilidade - GUILHERME DE REZENDE TAMMERIK, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO, LINDOLFO SOARES

BT/PMI/028 - Análise Comparativa de Métodos de Amostragem de Depósitos Auríferos - FÁBIO AUGUSTO DA SILVA SALVADOR, HELMUT BORN

BT/PMI/029 - Avaliação da Qualidade de Corpos Moedores para o Minério Fosfático de Tapira - MG - GERALDO DA SILVA MAIA, JOSÉ RENATO B. DE LIMA

BT/PMI/030 - Contribuição ao Estudo da Cominuição Inicial à Partir da Malha de Perfuração - MARCO ANTONIO REZENDE SILVA, WILDOR THEODORO HENNIES

BT/PMI/031 - Análises Químicas na Engenharia Mineral - GIULIANA RATTI, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/032 - Usos Industriais da Atapulga de Guadalupe (PI) - SALVADOR LUIZ MATOS DE ALMEIDA, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/033 - Minerais Associados às Apatitas: Análise de sua Influência na Produção de Ácido Fosfórico e Fertilizantes Fosfatados - ROBERTO MATTIOLI SILVA, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES

BT/PMI/034 - Beneficiamento dos Caulins do Rio Capim e do Jari - ADÃO BENVINDO DA LUZ, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/035 - Dimensionamento de Suportes em Vias Subterrâneas - LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA, WILDOR THEODORO HENNIES

BT/PMI/036 - Estudos da Modelagem Matemática da Moagem com Seixos para Talco de Diversas Procedências - MARIO VALENTE POSSA, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA

BT/PMI/037 - Mecânica de Rochas Aplicada ao Dimensionamento do Sistema de Atirantamento em Minas Subterrâneas - LEONCIO TEÓFILO CARNERO CARNERO

BT/PMI/038 - Geometria de Minas a Céu Aberto: Fator Crítico de Sucesso da Indústria Mineral - FÁBIO JOSÉ PRATI, ANTÔNIO JOSÉ NAGLE

BT/PMI/039 - Substituição do Aço por Polímero e Compósitos na Indústria Automobilística do Brasil: Determinantes e Consequências para o Mercado de Minério de Ferro - WILSON TRIGUEIRO DE SOUSA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO, ANTONIO JOSÉ NAGLE

BT/PMI/040 - Aplicação de uma Metodologia que Simule em Moinho de Laboratório Operações Contínuas de Moagem com Seixos para Talco - REGINA COELI CASSERES CARRISSO, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA

BT/PMI/041 - A Indústria Extrativa de Rochas Ornamentais no Ceará - FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL, ANTONIO STELLIN JÚNIOR

BT/PMI/042 - A Produção de Fosfato no Brasil: Uma Apreciação Histórica das Condicionantes Envolvidas - GILDO DE A. DE SÁ C. DE ALBUQUERQUE, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

BT/PMI/043 - Flotação em Coluna - Estado de Arte - JULIO CESAR GUEDES CORREIA, LAURINDO SALIES LEAL FILHO

BT/PMI/044 - Purificação de Talco do Paraná por Flotação e Alvejamento Químico - IVAN FALCÃO PONTES, LAURINDO SALLES LEAL FILHO

BT/PMI/045 - Pequena Empresa - A Base para o Desenvolvimento da Mineração - GILSON EZEQUIEL FERREIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

BT/PMI/046 - Máquinas de Flotação - ROGÉRIO CONTATO GUIMARÃES, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES

BT/PMI/047 - Aspectos Tecnológicos do Beneficiamento do Carvão de Candiota (RS) - ANTONIO RODRIGUES DE CAMPOS, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/048 - Efeito das Dimensões de Provetas no Dimensionamento de Espessadores - ELDON AZEVEDO MASINI, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/049 - Água no Processamento Mineral - RODICA MARIA TEODORESCU SCARLAT, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/050 - Drenagens Ácidas do Estéril Pilítoso da Mina de Urânio de Poços de Caldas: Interpretação e Implicações Ambientais - VICENTE PAULO DE SOUZA, LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ

BT/PMI/051 - "Caracterização Tecnológica de Minérios Auríferos. Um Estudo de Caso: O Minério Primário da Jazida de Salamangone, AP." - MARIA MANUELA MAIA LÉ TASSINARI, HENRIQUE KAHN

BT/PMI/052 - Ensino de Engenharia de Minas - WILDOR THEODORO HENNIES

BT/PMI/053 - Redistribuição de Tensões e Desenvolvimento da Zona Clástica em Túneis Circulares - FERNANDO FUJIMURA

BT/PMI/054 - Projeto de Barragem para Reservação de Mistos de Minerais Pesados Rejeitados pelo Beneficiamento de Cassiterita na Mina do Pitinga - MARCELO PIMENTEL DE CARVALHO, EDER DE SILVIO, LINDOLFO DE SILVIO

BT/PMI/055 - A Segurança e a Organização do Trabalho em uma Mineração Subterrânea de Carvão da Região de Criciúma - Santa Catarina - DÓRIVAL BARREIROS, WILDOR THEODORO HENNIES

BT/PMI/056 - Diagnóstico de Lixiviação para Minérios de Ouro - VANESSA DE MACEDO TORRES, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/057 - O Estado da Arte em Tratamento de Minérios de Ouro - RONALDO DE MOREIRA HORTA, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/058 - Vias Subterrâneas em Rocha - Escavação por Explosivos - WILDOR THEODORO HENNIES, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA

BT/PMI/059 - Aumento da Seletividade na Separação da Fluorita/Calcita/Barita/Apatita por Flotação. Jazida de Mato Preto - PR - MONICA SPECK CASSOLA, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMC/060 - Desenvolvimento de Processo para Extração de Gálio do Licor de Bayer por Resinas de Troca-Iônica de Poli (Acrilamidoxima) - WALDEMAR AVRITSCHER, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO

BT/PMI/061 - Estudo de Aspectos Geomecânicos Aplicados ao Projeto de Minas Subterrâneas - EDUARDO CÉSAR SANSONE, LINEU A. AYRES DA SILVA

BT/PMI/062 - Avaliação da Recuperação de Áreas Degradadas por Mineração na Região Metropolitana de São Paulo - OMAR YAZBEK BITAR, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/063 - Avaliação Técnica dos Processos de Cianetação/Adsorção da Mina de Fazenda Brasileiro - ÁUREA MARIA DIAS, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/064 - A Nova Configuração da Indústria de Fertilizantes Fosfatados no Brasil - YARA KULAIF, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

BT/PMI/065 - Estudos de Flotação em Coluna com Finos de Fosfato da Ultrafértil em Escala Piloto - JOSÉ PEDRO DO NASCIMENTO, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO

BT/PMI/066 - Flotação da Apatita da Jazida de Tapira - MG - LUIZ A. F. BARROS, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO- LUIZ A. F. BARROS, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO

BT/PMI/067 - Minerais Industriais: Conceituação, Importância e Inserção na Economia - FRANCISCO REGO CHAVES FERNANDES, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

BT/PMI/068 - Atividades Micro-Sísmicas e a Ruptura de Rochas - FERNANDO FUJIMURA

BT/PMI/069 - Metodologia para Caracterização Tecnológica de Matérias Primas Minerais - LÍLIA MASCARENHAS SANTAGOSTINO, HENRIQUE KAHN

BT/PMI/070 - Aplicação de Modelos Numéricos ao Projeto de Escavação por Explosivos de Túneis e Galerias - LUIZ CARLOS RUSILO, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA

BT/PMI/071 - O Estado da Arte da Cianetação de Minérios Auríferos - ROBERTO GOULART MADEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

BT/PMI/072 - Revisão da Indústria Mineral de Titânio - ANTÔNIO HELENO DE OLIVEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

BT/PMI/073 - Sistematização de Casos de Instabilidades em Encostas Rochosas no Município de Santos, Através de Nova Metodologia de Avaliação de Estabilidade - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, WILDOR THEODORO HENNIES