

MINÉRIOS E AMBIENTE



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Reitor
JOSÉ TADEU JORGE

Coordenador Geral da Universidade
ALVARO PENTEADO CRÓSTA



Conselho Editorial

Presidente
EDUARDO GUIMARÃES

ESDRAS RODRIGUES SILVA – GUITA GRIN DEBERT
JOÃO LUIZ DE CARVALHO PINTO E SILVA – LUIZ CARLOS DIAS
LUIZ FRANCISCO DIAS – MARCO AURÉLIO CREMASCO
RICARDO ANTUNES – SEDI HIRANO

Bernardino Ribeiro Figueiredo

MINÉRIOS E AMBIENTE

EDITORA UNICAMP

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO
SISTEMA DE BIBLIOTECAS DA UNICAMP
DIRETORIA DE TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

F469m	Figueiredo, Bernardino Ribeiro Minérios e ambiente / Bernardino R. Figueiredo. – Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2000.
	1. Metalogenia. 2. Petrologia. 3. Jazidas. 4. Geoquímica. 5. Minas e mineração – Aspectos ambientais. I. Título.
	CDD 553.3 552.1 553 551.9
ISBN 978-85-268-0878-2	549

Índices para catálogo sistemático:

1. Metalogenia	553.3
2. Petrologia	552.1
3. Jazidas	553
4. Geoquímica	551.9
5. Minas e mineração	549

Copyright © by Bernardino R. Figueiredo
Copyright © by Editora da Unicamp, 2000

2ª reimpressão, 2014

Direitos reservados e protegidos pela Lei 9.610 de 19.2.1998.
É proibida a reprodução total ou parcial sem autorização,
por escrito, dos detentores dos direitos.

Printed in Brazil.
Foi feito o depósito legal.

Direitos reservados à

Editora da Unicamp
Rua Caio Graco Prado, 50 – Campus Unicamp
CEP 13083-892 – Campinas – SP – Brasil
Tel./Fax: (19) 3521-7718/7728
www.editora.unicamp.br – vendas@editora.unicamp.br

*A Vitório Takai (in memoriam)
e aos meus mestres e amigos que me mostraram como
começar: Tom Ekström, Hans Ramberg, Hans Koark,
Hans Annersten, Gunnar Kullerud, Bengt Lindqvist,
Bengt Collini, Beatriz Levy e Örian Amcoff.*

AGRADECIMENTOS

Este trabalho se nutriu de informações e idéias de um grande número de pessoas, em especial, do ambiente de discussão com os meus colegas e alunos do Instituto de Geociências da UNICAMP e da interação com os demais centros de excelência científica, empresas e órgãos públicos do Brasil e outros países. O apoio das agências financiadoras brasileiras e dos convênios internacionais foi fundamental para que a rica convivência com os nossos estudantes de pós-graduação ocorresse continuamente ao longo de quase duas décadas. A criação mais recente do programa de ciências da terra da UNICAMP e o encontro com os nossos primeiros alunos de graduação constituíram a principal motivação para a publicação destas aulas. A todos, os meus agradecimentos pela rica, cordial e estimulante atmosfera de cooperação e criatividade. Estendo este reconhecimento aos geólogos brasileiros que atuam nas empresas e serviços, pela paciência e generosa orientação nos trabalhos de campo e freqüentes visitas às minas, tão essenciais para o desenvolvimento da ciência e da educação geológicas em nosso país.

A elaboração deste livro-texto foi possível graças ao apoio do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Geociências e Tecnologia Mineral (PADCT–GTM), por meio do CNPq, em convênio que contou com interveniência da Fundação de Desenvolvimento da UNICAMP. Os meus sinceros agradecimentos a todos os diretores e técnicos que tiveram que me aturar pacientemente nos sucessivos adiamentos na conclusão desta obra, ocasionados pelos inúmeros afazeres e contratempos que caracterizam a vida universitária no Brasil. Também devo reconhecer o empenho da diretoria e corpo técnico da Editora da UNICAMP na viabilização da edição e impressão deste livro.

Agradecimentos especiais são devidos ao professor Hartmut Beurlen, consultor do CNPq, que acompanhou a redação deste livro, pelas inúmeras preciosas sugestões que aprimoraram e complementaram os conteúdos dos assuntos aqui tratados e pela paciência diante das minhas limitações. A análise rigorosa de tudo que faz, o cuidado naquilo que ensina e a sua enorme devoção ao desenvolvimento e ensino da geologia econômica honram a comunidade geológica brasileira.

Agradeço a colaboração de meus alunos Renato Neder, Fernando Tallarico, Fernanda Cunha, Roberto Moraes, Robson Silva e Regla Toujague e, em especial, a inestimável ajuda recebida de Ricardo Borba e Patrícia Braga na editoração eletrônica das figuras e das fotografias. A estes, expresso a minha gratidão não apenas pela ajuda e dedicação, mas também pelo companheirismo e amizade. Estendo o meu reconhecimento ao Dailto, Aparecida, Creuza e Devisson, que me ajudaram de muitas maneiras durante a realização deste trabalho

Aos meus queridos, Leda, Guilherme e Francisco, a minha gratidão pela solidariedade e união incondicionais de todos os momentos.

SUMÁRIO

PREFÁCIO	15
Parte I — SISTEMAS QUÍMICOS E ISOTÓPICOS	
Capítulo 1 — INTRODUÇÃO À PETROLOGIA DE MINÉRIOS	21
1. Metodologias experimentais em petrologia de minérios	21
1.1 <i>Sínteses a seco</i> (dry synthesis)	22
1.2 <i>Sínteses hidrotermais</i> (hydrothermal crystallization)	24
2. Técnicas analíticas utilizadas na petrologia de minérios	25
2.1 <i>Microscopia óptica</i>	25
2.2 <i>Difratometria de raios X</i>	25
2.3 <i>Análise termodiferencial (ATD)</i>	26
2.4 <i>Microscopia eletrônica de varredura (MEV)</i>	26
2.5 <i>Microssonda eletrônica</i>	27
2.6 <i>Microssonda Raman</i>	27
2.7 <i>Espectrometria de refletância</i>	28
3. Conceitos básicos de química mineral	28
3.1 <i>Fugacidade</i> (fS_2 , fO_2 etc.)	28
3.2 <i>Atividade</i> (aS_2 , aO_2 , $aFeS$, $aNaCl$ etc.)	28
3.3 <i>Solução sólida (s.s.) e minerais estequiométricos</i>	29
3.4 <i>Solução sólida ideal e não ideal</i>	29
3.5 <i>Constante de equilíbrio (k)</i>	30
3.6 <i>Energia livre de Gibbs (G)</i>	30
3.7 <i>Potencial químico (μ)</i>	31
3.8 <i>Equilíbrio químico</i>	32
3.9 <i>Regra de fases de Gibbs</i>	33
3.10 <i>Potencial hidrogeno-iônico (pH) e potencial redox (Eh)</i>	34
3.11 <i>Unidades de concentração</i>	35
4. O enxofre e o oxigênio	35
4.1 <i>O enxofre</i>	35
4.2 <i>O oxigênio</i>	36
5. Tipos de diagramas de equilíbrio de fases	37
6. Limitações e propriedades dos diagramas de equilíbrio de fases	38
7. Microscopia, petrografia e petrologia de minérios	41
Quadro 1 — MODELOS DE DEPÓSITOS	42

Capítulo 2 — CONDIÇÕES DE FORMAÇÃO DOS DEPÓSITOS MINERAIS	45
1. A influência da temperatura	45
2. A influência da pressão	47
3. As influências das fugacidades de O_2 e S_2	48
4. A influência do pH das soluções	51
5. A influência do tempo (t)	51
Quadro 2 — MINÉRIOS E SISTEMAS	55
Capítulo 3 — Os SULFETOS E ÓXIDOS DE FERRO	57
1. O sistema Fe-S	57
2. O sistema Fe-O	60
3. O sistema Fe-S-O	61
4. Uso de sulfetos e óxidos de ferro em geobarometria de S_2 e O_2	67
Quadro 3 — GRUPOS ESTRUTURAIS DE SULFETOS E ÓXIDOS	69
Capítulo 4 — Os SULFETOS DE COBRE	73
1. O sistema Cu-S	74
2. O sistema Cu-Fe-S	76
3. Aplicações no estudo da evolução dos depósitos	81
Quadro 4 — O MODELO CU-AU CARAJÁS	85
Capítulo 5 — Os ÓXIDOS DE TITÂNIO E OS ESPINÉLIOS	89
1. O sistema Fe-Ti-O	89
2. Os óxidos das séries dos espinélios	93
3. Texturas resultantes de exsolução por oxidação	95
4. Aplicações nos estudos de depósitos de Ni-Cu magmático	97
5. Aplicações nos estudos de depósitos de Cu-Ni metamorfizados	98
Quadro 5 — O MODELO CU-NI CARAÍBA	102
Capítulo 6 — Os SULFETOS DE NÍQUEL	105
1. Os sistemas Ni-S e Fe-Ni-S	105
2. Aplicações nos estudos de depósitos magmáticos de Ni e Cu	109
3. Os minerais de elementos do grupo da platina (EGP)	111
Quadro 6 — A JAZIDA DE NI-PT DE FORTALEZA DE MINAS	114
Capítulo 7 — Os SULFETOS ZINCO E CHUMBO	117
1. Os sulfetos de zinco	117
2. Relações de fases entre esfalerita e calcopirita	120
3. Os sulfetos de chumbo	122

4. Exemplos de modelos de depósitos Pb-Zn	125
Quadro 7 — AS JAZIDAS DE Pb-ZN DO VALE DO RIBEIRA	129
Capítulo 8 — OS SULFOSSAIS, TELURETOS E SELENETOS	131
1. Sulfossais e paragêneses minerais	131
2. O sistema Fe-As-S	134
3. O significado da presença de arsenetos nos minérios	137
4. O significado da presença de bismutetos, selenetos e teluretos nos minérios	138
5. Implicações em tecnologia mineral e gestão ambiental	139
Quadro 8 — A JAZIDA DE OURO E COBRE DO CABAÇAL	140
Capítulo 9 — O OURO E METAIS PRECIOSOS	143
1. Ligas e paragêneses do ouro	143
2. Mineralização mesotermal de ouro (<i>gold only</i>) em <i>greenstone belts</i>	146
2.1 Greenstone belt <i>do rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero (MG)</i>	146
2.2 Greenstone belt <i>de Crixás (GO)</i>	149
2.3 Greenstone belt <i>do rio Itapicuru (BA)</i>	149
3. Mineralização mesotermal de ouro associado a metais-base em <i>greenstone belts</i>	151
3.1 <i>Jazida de Au-Cu do Cabaçal (MT)</i>	151
3.2 <i>Depósito de Au-Cu de Bico de Pedra (MG)</i>	153
4. Outros depósitos hidrotermais de ouro	155
Quadro 9 — A JAZIDA DE OURO DE FAZENDA BRASILEIRO (BA)	158
FOTOMICROGRAFIAS	161
Capítulo 10 — SISTEMAS DE ISÓTOPOS ESTÁVEIS	195
1. Os isótopos estáveis mais comuns	195
2. Aplicações dos isótopos de hidrogênio e oxigênio nos estudos de fluidos	196
3. Aplicações dos isótopos de hidrogênio e oxigênio nos estudos de depósitos minerais	198
4. Aplicações dos isótopos de enxofre e de carbono nos estudos de depósitos minerais	201
5. Outros exemplos de aplicações dos isótopos de enxofre e de carbono	204
6. O uso dos isótopos de oxigênio e hidrogênio em exploração mineral	206
Quadro 10 — ISÓTOPOS ESTÁVEIS E AMBIENTE	207
Capítulo 11 — SISTEMAS DE ISÓTOPOS RADIOGÊNICOS	209
1. Determinações de idades das mineralizações	210
1.1 <i>Os sistemas K-Ar e Ar-Ar</i>	210
1.2 <i>O sistema Rb-Sr</i>	212
1.3 <i>O sistema Sm-Nd</i>	214

1.4 <i>O sistema U-Th-Pb</i>	215
2. Avaliação das fontes de fluidos e metais	220
2.1 <i>Aplicação da geologia isotópica do estrôncio</i>	220
2.2 <i>Aplicação da geologia isotópica do neodímio</i>	222
2.3 <i>Aplicação da geologia isotópica do chumbo</i>	223
3. Relações temporais (<i>timing</i>) e duração dos eventos mineralizantes	226
Quadro 11 — ISÓTOPOS DE CHUMBO E AMBIENTE	228
 Parte II — PROCESSOS E MODELOS	
Capítulo 12 — PROCESSOS MAGMÁTICOS E SEDIMENTARES	233
1. Depósitos magmáticos	233
2. Depósitos de segregação magmática	234
3. Depósitos porfíricos e outros relacionados a granitos	236
4. Depósitos sedimentares	237
5. Depósitos tipo placer	239
6. Depósitos vulcanogênicos e sedimentar-exalativos	240
Quadro 12 — DEPÓSITOS SULFETADOS DE ASSOALHO OCEÂNICO ATUAIS	243
Capítulo 13 — PROCESSOS HIDROTERMAIS	245
1. O transporte	245
2. Condições de deposição	248
2.1 <i>Precipitação a partir dos complexos de Cl</i>	248
2.2 <i>Precipitação a partir de tiocomplexos</i>	249
3. Depósitos mesotermiais de ouro (<i>gold only</i>)	252
4. Depósitos mesotermiais de ouro e metais-base	254
5. Depósitos epitermais de Au-Ag	257
Quadro 13 — FLUIDOS E ESTRUTURAS	259
Capítulo 14 — METAMORFISMO E DEFORMAÇÃO	263
1. Efeitos do metamorfismo	263
2. Efeitos da deformação	264
3. Metamorfismo e texturas deformacionais de minérios	269
4. A teoria poligenética e as transformações pós-deposicionais	272
Quadro 14 — CONTRIBUIÇÃO DA PETROGRAFIA DE MINÉRIOS À TECNOLOGIA MINERAL	273
Capítulo 15 — TERMOBARMETRIA GEOLÓGICA	277
1. Exemplos de geotermômetros e geobarômetros	277
1.1 <i>Minerais índices e grids petrogenéticos</i>	277

1.2 <i>Termometria de admistura</i>	278
1.3 <i>Termometria isotópica</i>	279
1.4 <i>Intercâmbio iônico intercrystalino</i>	280
1.5 <i>Composições químicas de minerais e de inclusões fluidas</i>	284
2. Geobarômetros de O ₂ e S ₂	289
3. O significado da exatidão em geologia	292
Quadro 15 — INTERPRETAÇÃO DE PARAGÊNESES NATURAIS	294
Capítulo 16 — PROCESSOS SUPERGÊNICOS	297
1. Depósitos lateríticos de Fe, Mn, Ni, Al e Au	297
2. Zonas de oxidação e de enriquecimento secundário	300
3. Alteração supergênica de jazidas minerais metálicas	302
Quadro 16 — EXPLORAÇÃO MINERAL EM PAÍSES TROPICAIS	305
Capítulo 17 — MODELOS DE DEPÓSITOS MINERAIS	307
1. Conceito de modelos de depósitos minerais	307
2. Classificação de depósitos minerais	308
3. Quais são as propostas de modelos mais comuns?	309
4. Modelos descritivos e genéticos	310
5. O método DPC	311
6. O modelo teor/tonelagem	312
7. O modelo de probabilidade de ocorrência	314
8. Aplicações de sensoriamento remoto na construção de modelos exploratórios	317
9. Quais as principais aplicações dos modelos de depósitos minerais?	318
Quadro 17 — ROTEIRO DE DESCRIÇÃO DE DEPÓSITOS	321
 Parte III — AMBIENTE E SAÚDE HUMANA	
Capítulo 18 — MINERAÇÃO: EFEITOS NO MEIO AMBIENTE E SAÚDE HUMANA	325
1. Os impactos ambientais da mineração	325
2. Os metais e a saúde humana	326
3. A formação de drenagens ácidas de minas	328
4. Propriedades do Fe e Cu e saúde humana	329
5. Propriedades do Ni, Co e Cr e saúde humana	330
6. Propriedades do Pb, Zn e Cd e saúde humana	331
7. Propriedades do arsênio e saúde humana	333
8. Propriedades do mercúrio e saúde humana	334
9. Estudos biogeoquímicos e ecotoxicológicos	335
Quadro 18 — ANÁLISE DE RISCO AMBIENTAL	337

Capítulo 19 — MODELOS GEOLÓGICOS E AMBIENTAIS	341
1. Estudos biogeoquímicos	342
1.1 Águas superficiais	343
1.2 Sedimentos	344
2. A província de Pb-Zn do Vale do Ribeira (PR-SP)	344
2.1 Contexto geológico e mineralizações	344
2.2 Fisiografia e hidrografia (Vale do Ribeira)	345
2.3 Efeitos no meio ambiente	346
2.4 Efeitos na saúde humana	347
3. A província aurífera do Quadrilátero Ferrífero (MG)	347
3.1 Contexto geológico e mineralizações	348
3.2 Fisiografia e hidrografia	349
3.3 Efeitos no meio ambiente	350
3.4 Águas superficiais e sedimentos	350
3.5 Água subterrânea	351
3.6 Paleodepósitos de rejeitos, solos e plantas	351
3.7 Efeitos na saúde humana	351
4. Alguns comentários sobre os estudos de caso	352
5. A elaboração dos modelos geológicos e ambientais de depósitos minerais e suas aplicações	353
Quadro 19 — ESTRATÉGIAS E TECNOLOGIAS DE REMEDIAÇÃO AMBIENTAL	355
Capítulo 20 — A GEOLOGIA ECONÔMICA E NÓS	359
1. O breve século XX	359
2. Evolução da mineração	360
3. A mineração no Brasil	362
4. Evolução da geologia econômica	362
5. A Geologia Econômica e Ambiental — GEA	364
Quadro 20 — A ÉTICA PROFISSIONAL E A AGENDA 21	366
BIBLIOGRAFIA	369
Apêndice — ELEMENTOS DE PETROGRAFIA DE MINÉRIOS	391
1. Os materiais	391
2. Petrografia de minérios	393
3. Os minerais de minérios que devemos saber de cor	397
4. Interpretação de paragêneses e modelos de depósitos	398

PREFÁCIO

Este livro é dedicado a todas as pessoas interessadas nas ciências da terra. Ele contém um estudo dos minérios metálicos à luz dos experimentos de laboratório e outras metodologias de pesquisa, com o objetivo de contribuir para melhor compreensão da origem e evolução de um grande número de jazidas minerais, fontes de insumos essenciais ao bem-estar das sociedades, e para o desenvolvimento de tecnologias de prevenção dos efeitos adversos ao meio ambiente e à saúde humana eventualmente provocados pela indústria de mineração e metalúrgica.

Diante da vastidão do tema, são aqui enfocadas as associações contendo os sulfetos, óxidos e metais mais frequentes nos diversos tipos de jazidas minerais metálicas. As suas inter-relações na natureza são estudadas em função de alguns parâmetros, tais como, composição química, temperatura, fugacidades de S_2 e O_2 , pressão, pH e tempo.

As condições de deposição, transporte, remobilização, metamorfismo e deformação dos minérios metálicos, e suas relações com os processos formadores e transformadores das rochas mineralizadas, são estudadas à luz das informações geradas pela mineralogia experimental, estudos de inclusões fluidas, de geologia isotópica e do comportamento reológico dos materiais. Dessa forma, as relações composicionais e texturais entre as fases minerais são exploradas como indicadoras dos prováveis ambientes e processos de mineralização e como potenciais geotermômetros, geobarômetros e geocronômetros.

É adotada aqui a visão de que os minérios são parte integrante de associações de rochas particulares e, por isso, os ambientes geológicos nos quais os depósitos minerais se formaram no passado ou estão se formando no presente devem ser considerados. A petrologia de minérios é parte da petrologia *latu sensu* ou, como afirmou Djalma Guimarães, gênese de depósitos minerais (*ore genesis*) e gênese de rochas (*petrogenesis*) são a mesma coisa, portanto, a formação das jazidas minerais é nada mais, nada menos do que parte de um processo mais global de evolução do planeta e, em especial, da crosta terrestre.

A Parte 1 — Sistemas químicos e isotópicos — deste livro é dedicada a (i) apresentar os resultados obtidos pela mineralogia experimental sobre os sistemas químicos mais importantes e aplicar este conhecimento no estudo das associações minerais e na interpretação das feições observadas no campo e laboratório, e (ii) discutir os sistemas isotópicos mais conhecidos e suas aplicações nos estudos dos minérios e ambiente.

A Parte 2 — Processos e modelos — é destinada a discutir os processos formadores originais dos minérios (magmáticos, sedimentares, hidrotermais) e as mudanças pós-deposicionais (metamorfismo, deformação, alteração supergênica), tentando relacionar estas informações com os conteúdos desenvolvidos na primeira parte do livro.

A Parte 3 — Ambiente e saúde humana — é destinada a discutir alguns aspectos relacionados à influência da mineração no meio ambiente e na saúde humana para os quais o conhecimento das mineralizações e dos modelos de depósitos minerais têm muito a contribuir. As propostas atuais de elaboração de modelos geológicos e ambientais de distritos minerais ensejam a integração de conhecimentos em favor de uma geologia econômica e

ambiental (GEA), fundamentada no argumento de que, sim, os recursos minerais continuarão sendo sempre necessários, mas os aspectos ambientais já se converteram no principal fator de viabilidade econômica da mineração.

Este livro segue aproximadamente os roteiros dos cursos Petrologia de Minérios e Modelos de Depósitos e Paragêneses Minerais, ministrados pelo autor em várias universidades, empresas e encontros científicos, ao longo dos últimos 20 anos. A partir da interação com estudantes e profissionais, esses cursos passaram por várias atualizações, entre elas a inclusão dos estudos dos fluidos e de geologia isotópica, ferramentas modernas indispensáveis para a elaboração de modelos de depósitos e para os estudos de tecnologia mineral e gestão ambiental.

A ligação dessa matéria com o conhecimento fundamental dos processos formadores de minérios é feita ainda por meio da intercalação de modelos de depósitos, com destaque para as jazidas minerais metálicas mais importantes do Brasil. São assim enfocados os minérios de ferro, cobre, níquel, zinco, chumbo, ouro e metais nobres, de uma variedade de modelos de depósitos (magmáticos, sedimentares, exalativos, mesotermiais, epitermais, metamorfizados e outros). Porém não são contemplados os estudos dos minérios não metálicos nem alguns tipos importantes de jazidas, tais como as derivadas dos processos lateríticos e as associadas aos granitos, pegmatitos, carbonatitos e escarnitos, informações disponíveis em outras publicações.

No Apêndice, são expostos os procedimentos para a identificação qualitativa de minerais de minérios e texturas e listados os 30 minerais de minério que os geólogos devem saber de cor. Ainda no final, o leitor encontrará as referências bibliográficas utilizadas pelo autor, as quais estão longe de estar completas, mesmo no que se refere às teses e monografias publicadas no Brasil. O autor pede desculpas pelas muitas omissões e incorreções que serão, à medida do possível, corrigidas com o tempo. Ao longo de todo o livro, são feitas sugestões de leitura que podem servir para o aprofundamento teórico por parte dos interessados nos vários temas estudados.

A presente obra resgata as grandes contribuições científicas da segunda metade do século XX, retratadas nos trabalhos pioneiros de Kullerud, Barton, Naldrett, Lindsley, Edwards, Haggerty, Barnes, Fyfe, Scott, Roedder e de vários outros cientistas, aos quais são devidas importantes inovações na mineralogia experimental de sulfetos, óxidos, metais e nos estudos dos fluidos. Dessa época datam também os grandes progressos dos métodos analíticos com destaque para a difusão do uso da microsonda eletrônica e de outros métodos não destrutivos na análise de minerais e rochas.

As décadas de 1960 e 1970 foram muito profícuas no que tange à pesquisa e à publicação de textos didáticos, reunindo os resultados experimentais da mineralogia de minérios e suas aplicações no estudo dos depósitos minerais. As obras que assinalam esse período são, entre outras, Stanton (1972), Ribbe (1974), Vaughan e Craig (1978), Rumble (1976), Barnes (1979, 1997) e a edição em inglês da obra magistral de Ramdohr (1980). Até o final da década de 1970, os sistemas químicos binários e ternários, contendo os minerais de minérios mais comuns na natureza, já haviam sido pesquisados pelas técnicas experimentais mais modernas. Estas, entre outras virtudes, dedicavam atenção especial à influência da fase de vapor nos experimentos e aos aspectos cinéticos das reações entre minerais.

Mais recentemente, a literatura de geologia econômica vem reservando um grande espaço para os resultados de estudos de inclusões fluidas e de geologia isotópica, ferramentas modernas que se difundiram no Brasil apenas nos últimos anos. Também fazem parte desta passagem de século a popularização das metodologias de elaboração de modelos de depósitos minerais, orientados a servir a uma geologia exploratória, cada vez mais sofisticada, e aos estudos ambientais que visam tornar viáveis econômica, social e politicamente os empreendimentos de produção mineral.

Os diversos capítulos desta obra são apenas guias metodológicos que podem contribuir para o aperfeiçoamento das descrições e interpretações das mineralizações metálicas, para compreender a gênese e evolução dos depósitos minerais e para subsidiar as atividades subseqüentes de tecnologia mineral e gestão ambiental.

Os professores devem contar com as condições para combinar as discussões teóricas com práticas de campo e de laboratório, durante as quais poderão ser examinadas amostras e lâminas de rochas, minérios e seus produtos de alteração. Os alunos e professores não devem hesitar em consultar os artigos e livros, listados na bibliografia, comparar com as informações mais atuais, disponíveis, por exemplo, na Internet. É muito importante que as citações sejam fiéis às fontes originais dos dados e figuras e que, por meio de uma atitude crítica diante dos temas aqui propostos, os eventuais erros sejam apontados e superados.

Durante os futuros ciclos de desenvolvimento econômico e crescimento do setor de produção mineral, o sucesso das atividades de prospecção e de pesquisa mineral dependerá crescentemente da intensificação do conhecimento técnico-científico dos nossos depósitos minerais já descobertos e de como influenciam o seu entorno natural e humano. Ao sistematizar um grande número de informações que se encontram dispersas na literatura nacional e internacional, relacionando-as com as jazidas minerais brasileiras, pretende-se complementar os estudos de várias disciplinas, tais como a geologia econômica, petrologia, geoquímica, geoquímica ambiental, química inorgânica, ecotoxicologia e outras, beneficiando, assim, geólogos econômicos, prospectores, engenheiros, geógrafos, químicos, ecólogos, estudantes de graduação e de pós-graduação, professores universitários, estudiosos das ciências do ambiente e das ciências da terra.

A partir das experiências de sala de aula e da leitura atenta dos profissionais, espera-se o envio de sugestões e críticas ao texto, figuras e tabelas deste livro. As consultas também são bem-vindas e podem ser dirigidas ao endereço abaixo:

Instituto de Geociências — Unicamp

Caixa postal 6152

CEP 13083-970

Campinas (SP) – Brasil

Fax: (19) 3289-1562

Parte I

SISTEMAS QUÍMICOS E ISOTÓPICOS

