



mineralogia óptica

Fábio Braz Machado
Antonio José R. Nardy

oficina de textos

mineralogia óptica

Fábio Braz Machado
Antonio José R. Nardy

oficina de textos

Copyright © 2016 Oficina de Textos

Grafia atualizada conforme o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990, em vigor no Brasil desde 2009.

CONSELHO EDITORIAL Arthur Pinto Chaves; Cylon Gonçalves da Silva;
Doris C. C. K. Kowaltowski; José Galizia Tundisi;
Luis Enrique Sánchez; Paulo Helene; Rozely Ferreira
dos Santos; Teresa Gallotti Florenzano

CAPA Malu Vallim

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO Alexandre Babadobulos

PREPARAÇÃO DE FIGURAS Letícia Schneiater

PREPARAÇÃO DE TEXTO Hélio Hideki Iraha

REVISÃO DE TEXTO Ana Paula Ribeiro

IMPRESSÃO E ACABAMENTO

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Machado, Fábio

Mineralogia óptica / Fábio Braz Machado, Antonio
José Ranalli Nardy. -- São Paulo : Oficina de Textos, 2016.

Bibliografia

ISBN 978-85-7975-245-2

1. Cristalografia 2. Geologia 3. Geologia de
engenharia 4. Minas e recursos minerais
5. Mineralogia 6. Mineralogia - Estudo e ensino
7. Rochas I. Nardy, Antonio José Ranalli.
II. Título.

16-05304

CDD-549

Índices para catálogo sistemático:

1. Mineralogia 549

Todos os direitos reservados à OFICINA DE TEXTOS
Rua Cubatão, 798 CEP 04013-003 São Paulo-SP – Brasil
tel. (11) 3085 7933
site: www.ofitexto.com.br
e-mail: atend@ofitexto.com.br



O estudo de lâminas delgadas de rochas é um dos alicerces do ensino da Geologia. Uma base fundamental para que esse aprendizado seja eficiente está no conhecimento das propriedades físicas que regem a microscopia óptica e as respostas dos minerais ao serem atravessados pela luz. É também importante saber para que servem os componentes do microscópio e como são produzidas as lâminas delgadas. Todo esse conhecimento é oferecido, de forma facilmente assimilável, nas páginas de Mineralogia Óptica, um excelente livro didático que chegou para ficar.

Prof. Dr. Antônio Carlos Pedrosa Soares

Professor Titular do Departamento de Geologia da UFMG

O presente livro é inteiramente dedicado a um assunto que fascina pela sua maneira de expor a “vida mineral” sob o olhar de um microscópio. Em Mineralogia Óptica, o tema se desenvolve a partir de conceitos básicos necessários a uma compreensão mais profunda das propriedades minerais, que se segue ao longo dos seus capítulos. São óbvios os benefícios, àqueles que se introduzem na Mineralogia, da chegada desta publicação, a qual deverá se tornar um guia prático na identificação cristalográfica dos minerais.

Prof. Dr. Gilmar Vital Bueno

Petrobras/Professor da UFF/Presidente da Sociedade Brasileira de Geologia

Esta publicação de Fábio Braz Machado e Antonio José R. Nardy vem em boa hora, trazendo de forma objetiva e clara, em uma linguagem acessível a estudantes de Geologia e Engenharia Geológica e seus docentes, bem como a profissionais de empresas (de mineração, petrolífera), um tema de suma importância para quem tem em lâminas delgadas seus estudos e/ou pesquisas. Nesse sentido, Mineralogia Óptica atende a uma demanda importante: a de suprir a falta de um livro em língua portuguesa atualizado, resgatando assim noções fundamentais em publicação com excelente qualidade gráfica. Para todos – boa leitura!

Prof. Dr. Marcos Antonio Leite do Nascimento
Professor Adjunto IV do Departamento de Geologia da UFRN

Mineralogia Óptica é fundamental para qualquer estudo de classificação, formação e evolução de rochas e minerais. Com uma linguagem acessível, esta obra representa um compêndio atualizado da disciplina e é essencial para embasar o conhecer, em especial, de estudantes e profissionais de Geologia.

Prof. Dr. Moacir José Buenano Macambira
Professor Associado da UFPA/Presidente da Sociedade Brasileira de Geologia (2012-2015)



Apresentação

É uma grande satisfação, para mim, ter o privilégio de apresentar a obra *Mineralogia Óptica*, de autoria dos competentes geólogos, acadêmicos, colegas e amigos Fábio Braz Machado e Antonio José Ranalli Nardy. Redigido em estilo claro e objetivo, este livro será seguramente de grande valia para pesquisadores e estudantes desse importante ramo da Mineralogia que trata da caracterização de minerais ao microscópio petrográfico.

Ambos os autores são especialistas de longa data em mineralogia e petrologia de rochas vulcânicas em geral, e sua preocupação científica particular tem sido o estudo da Província Magmática do Paraná, que tem uma enorme importância pela sua extensão geográfica no Sul do Brasil e pelo seu grande interesse na história geológica da América do Sul.

O primeiro autor, Fábio Braz Machado, formou-se em Geologia pelo IGCE da Unesp em 2003, obteve seus graus de mestre e doutor pela mesma universidade, e presentemente é professor da Unifesp. Digna de nota é sua atuação junto à Sociedade Brasileira de Geologia, onde foi presidente do núcleo de São Paulo e também presidente do 46º Congresso Brasileiro de Geologia, em 2012. Atualmente é o secretário-geral da SBG. O segundo autor, Antonio José Ranalli Nardy, também se formou em Geologia pela Unesp, em 1981, obteve seu mestrado em Geofísica pelo IAG-USP e o seu doutorado em Geologia Regional pelo IGCE da Unesp. Nardy é também pesquisador do CNPq, e foi orientador do Fábio, tanto no programa de mestrado como no doutorado. Ambos lecionam na área de Petrologia e Geoquímica de Rochas Ígneas e dividem a responsabilidade pela disciplina específica de Mineralogia Óptica há vários anos.

A respeito do conteúdo deste livro, o seu capítulo introdutório é uma revisão crítica sintética dos conceitos teóricos

básicos sobre Física Óptica, e o segundo capítulo mostra como funciona o microscópio petrográfico e também o que acontece quando a luz polarizada incide no mineral a ser estudado. Os quatro capítulos seguintes, os mais importantes do livro, são de natureza eminentemente prática, com o objetivo de fazer entender a cristalografia óptica dos minerais e como se pode determinar, no microscópio, as suas características ópticas. A importância desta obra decorre de que praticamente não há livros didáticos que possam atender com a necessária profundidade a matéria presente, numa área como a de Mineralogia, em que os próprios livros existentes são muito poucos. O livro de Fábio e Nardy tem texto direcionado aos alunos e profissionais do ramo e ilustrações cuidadosamente adaptadas para o que pretendem demonstrar.

A meu ver, não há qualquer dúvida de que *Mineralogia Óptica* é indispensável para todos os pesquisadores de Geologia e Petrologia que trabalham com identificação de minerais em rochas e especialmente para os estudantes dessa disciplina, normalmente obrigatória nos 36 cursos de Geologia e de Engenharia Geológica que existem no Brasil.

Umberto G. Cordani

Agosto de 2016

Prefácio

Poucos são os livros nacionais que tratam deste assunto tão importante que é a identificação de minerais ao microscópio petrográfico. A única obra exclusiva sobre o assunto foi publicada quase 40 anos atrás. Infelizmente, até o presente momento, as publicações estão restritas às obras internacionais em língua estrangeira e não traduzidas para o português.

Mineralogia Óptica, ou ainda o estudo de minerais ao microscópio, é uma disciplina obrigatória nos cursos de Geologia e Engenharia Geológica, imprescindível para o entendimento das Petrologias, da Cristalografia, Prospecção, Geologia Econômica, Paleontologia e Pedologia. Trata-se do pilar de uma boa interpretação sobre a gênese de uma rocha, a viabilidade econômica ou até mesmo a compreensão de um dado geoquímico.

De certa forma, ao longo dos anos, com a modernização tecnológica dos microscópios petrográficos, especialmente no tratamento de imagens, e o surgimento de novas empresas fabricantes no mercado, barateou-se seu custo. Isso promoveu sua disseminação nas empresas de geologia e mineração, aumentando o nível de exigência de conhecimento acerca de Mineralogia e Petrografia do profissional em comparação ao que até então se cobrava.

Texturas, estruturas, porosidade passaram a ser termos comuns no cotidiano de profissionais da área de mineração ou da prospecção. Assim, “cruzar os nicóis” tornou-se uma frase corriqueira para o geólogo.

Por isso, este livro vem preencher uma lacuna no conhecimento geocientífico nacional. Escrito de forma fácil, agradável, dinâmica e com muitas figuras cuidadosamente desenhadas, leva ao leitor a resposta sobre as mais diversas ferramentas de identificação de minerais ao microscópio.

O livro começa com as propriedades básicas de parte da Física Óptica, levando o leitor ao entendimento sobre o comportamento

da luz incidente no mineral. Após isso, são abordadas características importantíssimas, como hábito, clivagem, relevo, partição, cor, pleocroísmo e relação com a Cristalografia, seguindo para o sistema ortoscópico com sinal de alongação e tipos de extinção.

Ao término, é abordada a conosopia, com os tipos de figuras de interferência para minerais uniaxiais e biaxiais (algumas delas ausentes na literatura internacional) e medição e formação do ângulo $2V$.

Por fim, os autores desejam imensamente que este livro seja uma ferramenta útil, importante para estudantes e profissionais que necessitam saber, ou recordar, técnicas de uso do microscópio petrográfico.

Os Autores

Sumário

1. CONCEITOS BÁSICOS	11
2. O MICROSCÓPIO PETROGRÁFICO E TIPOS DE PREPARADO PARA ANÁLISES	22
2.1 Generalidades.....	22
2.2 Tipos de preparado para análises microscópicas	22
2.3 O microscópio petrográfico ou de luz polarizada	24
2.4 Objetivas	25
2.5 Objetivas secas e de imersão.....	27
2.6 Oculares.....	27
2.7 O aumento visual total do microscópio	28
2.8 Polarizador e analisador	28
2.9 Platina	30
2.10 Lente de Amici-Bertrand	30
2.11 Condensadores	30
2.12 Diafragma-íris.....	31
2.13 Filtros	31
3. AS INDICATRIZES DOS MINERAIS	32
3.1 Minerais isotrópicos e anisotrópicos uniaxiais.....	32
3.2 Minerais anisotrópicos biaxiais.....	41
4. OBSERVAÇÃO DOS MINERAIS À LUZ NATURAL POLARIZADA	52
4.1 Cor.....	52
4.2 Relevo.....	58
4.3 Determinação dos índices de refração com óleos de imersão	62
4.4 Clivagem.....	63
4.5 Partição	67
4.6 Hábito	67

5. OBSERVAÇÃO DOS MINERAIS SOB NICÓIS CRUZADOS: ORTOSCOPIA	69
5.1 Princípios de interferência da luz	69
5.2 Cores de interferência	72
5.3 Efeito da rotação da platina e posições de extinção e máxima luminosidade	74
5.4 Os compensadores e as posições dos raios lento e rápido de um mineral.....	76
5.5 Determinação da ordem de certa cor de interferência	81
5.6 Birrefringência	83
5.7 Determinação da espessura de um grão mineral.....	86
5.8 Ângulo e tipos de extinção	87
5.9 Sinal de elongação	89
6. OBSERVAÇÃO CONOSCÓPICA DOS MINERAIS	93
6.1 As figuras de interferência dos minerais uniaxiais	93
6.2 As figuras de interferência dos minerais biaxiais	105
ANEXO A1	122
FIGURAS COLORIDAS	124
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127

Conceitos básicos

Para entender os métodos de identificação de minerais ao microscópio, faz-se necessária a compreensão básica da parte mais elementar da Física Óptica, cujo conteúdo é resumidamente apresentado neste capítulo.

As propriedades ópticas de um mineral observadas ao microscópio petrográfico estão relacionadas à maneira como a luz se propaga em seu interior, trazendo informações importantes para a sua identificação.

A luz é a parte visível do espectro eletromagnético, que compreende desde os raios γ até as ondas longas de rádio, como mostra a Fig. 1.1.

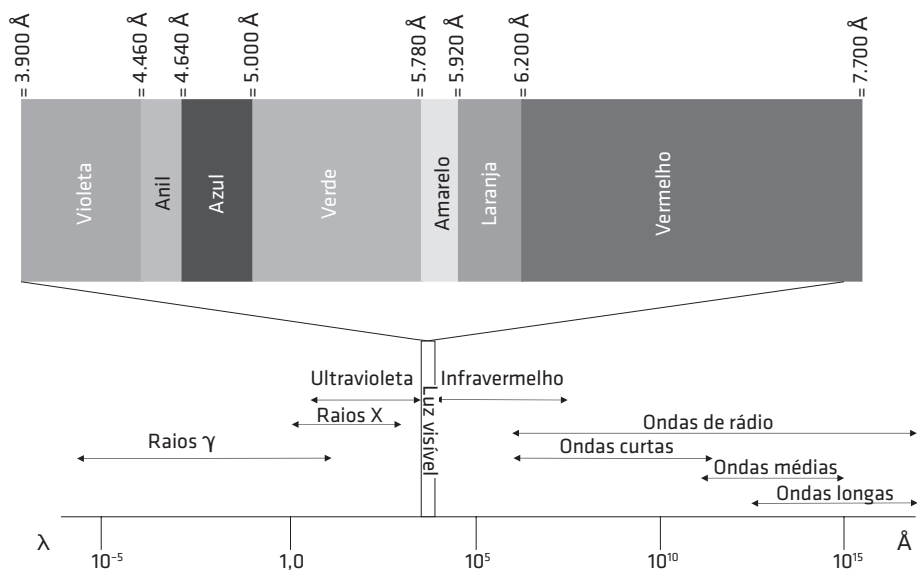


FIG. 1.1 O espectro eletromagnético, com destaque para a porção correspondente ao espectro da luz visível, compreendendo o intervalo de 3.900 \AA a 7.700 \AA

Os limites dos intervalos de comprimento de onda (λ) das diferentes cores do espectro da luz visível são arbitrários, uma vez que as cores passam umas para as outras gradualmente. Se na

O microscópio petrográfico e tipos de preparado para análises

2.1 GENERALIDADES

A primeira descrição microscópica de uma rocha foi efetuada em 1849 por um inglês de nome Henry Clifton Sorby (Fig. 2.1).

Evidentemente, na época foi considerado insano e ridicularizado por seus colegas. Cético, o cientista afirmava: “Eu acredito que não há necessariamente conexão entre o tamanho do objeto e sua importância na explicação de um fato”. Hoje, ele é considerado o pai da Petrografia Microscópica.

Dois métodos básicos de microscopia óptica são empregados em Geologia (Fig. 2.2):

- ▶ *Luz transmitida*: utilizada para a análise de minerais transparentes, em que a luz atravessa o objeto a ser estudado e atinge a objetiva do microscópio e, depois, a ocular.
- ▶ *Luz refletida*: usada para a análise de minerais opacos, sendo que a luz incide na superfície do mineral e é refletida em direção à objetiva do microscópio e, depois, à ocular.



FIG. 2.1 Henry Clifton Sorby
Foto: cedida pela Geological Society of London.

2.2 TIPOS DE PREPARADO PARA ANÁLISES MICROSCÓPICAS

A análise de minerais transparentes por meio de microscopia óptica de transmissão é feita mediante dois tipos de preparado principais:

As indicatrizes dos minerais

3.1 MINERAIS ISOTRÓPICOS E ANISOTRÓPICOS UNIAXIAIS

3.1.1 DEFINIÇÃO

Indicatriz é uma figura geométrica tridimensional que mostra os valores dos índices de refração (n) nas diferentes direções no interior de um mineral. Assim, cada raio vetor da indicatriz representa uma direção de vibração, cujo comprimento é proporcional ao índice de refração do mineral para as ondas de luz que vibram paralelamente àquela direção.

As indicatrizes dos minerais são muito parecidas entre si, mas constituem grandezas inversamente proporcionais. Enquanto a superfície de velocidade de onda representa o valor da velocidade da luz, a indicatriz representa o seu índice de refração.

Essas indicatrizes são figuras abstratas, ou seja, não podem ser observadas ao microscópio. No entanto, essa abstração permite localizar e determinar os índices de refração associados às diferentes faces ou seções de um mineral.

3.1.2 MINERAIS ISOTRÓPICOS

Em um mineral isotrópico, o índice de refração é constante independentemente da direção considerada, isto é, o raio de luz se propaga com a mesma velocidade em todas as direções. Assim, as indicatrizes desses minerais correspondem a esferas cujos raios vetores são proporcionais aos seus índices de refração, conforme mostra a Fig. 3.1. Dada a homogeneidade desses minerais, somente aqueles que se cristalizam em um sistema de maior simetria serão isotrópicos, ou seja, aqueles do sistema isométrico ou cúbico. No outro extremo, substâncias que não possuem nenhum arranjo cristalino também serão isotrópicas.

A propagação de um raio de luz que atravessa um mineral isotrópico é bastante simples de avaliar, pois ele não promove o

3.2.1 RELAÇÕES MORFOLÓGICAS DOS CRISTAIS COM AS INDICATRIZES

Na Fig. 3.15 está representado um cristal biaxial caracterizado por diversas faces e sua indicatriz disposta em seu centro geométrico, a exemplo do que foi feito no estudo das indicatrizes uniaxiais. Observar que as diferentes faces do cristal cortam a indicatriz resultando em elipses de intersecção distintas e, assim, índices de refração diferentes em cada face específica.

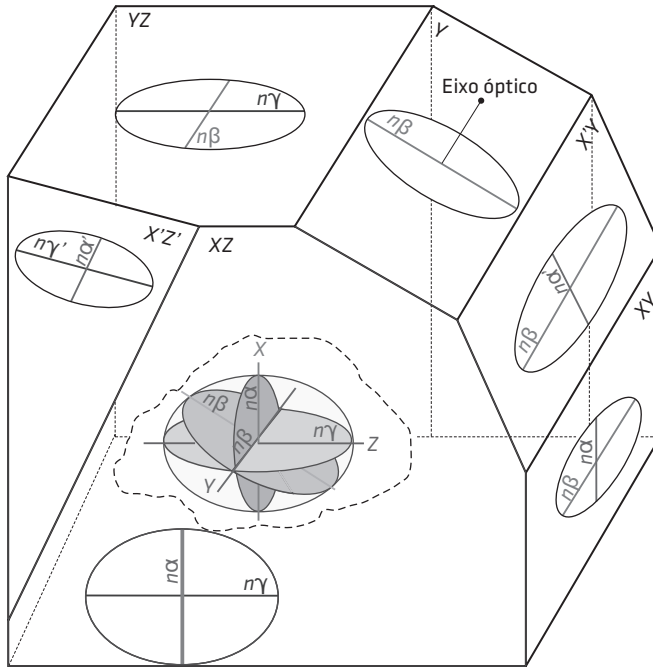


FIG. 3.15 Relações entre os índices de refração associados às diferentes faces de um cristal biaxial (versão colorida na p. 124)

Notar, por exemplo, que a face XZ (paralela à seção principal) corta a indicatriz resultando em uma elipse de intersecção com eixo maior igual a Z e menor igual a X, ou seja, os índices de refração associados a ela serão $n\alpha$ e $n\gamma$. Seguindo o mesmo raciocínio, para a face XY, os índices de refração associados seriam $n\alpha$ e $n\beta$, para YZ, $n\beta$ e $n\gamma$, e até que, em Y, apenas $n\beta$, pois ela é exatamente paralela à seção circular da indicatriz.

Na mesma figura, a face X'Y corta a indicatriz segundo Y, mas de forma inclinada em relação a X, e, conseqüentemente, os índices de refração associados seriam $n\alpha'$ e $n\beta$. Para a face X'Z', ver que ela secciona a indicatriz de forma inclinada em relação a X e a Z e, portanto, os índices de refração associados seriam $n\alpha'$ e $n\gamma'$.

3.2.2 ALGUNS CASOS DE INCIDÊNCIA DA LUZ EM SUPERFÍCIES CRISTALINAS BIAXIAIS

Todos os casos a serem analisados referem-se à incidência normal sobre a superfície cristalina, ou seja, $i = 0$. Sempre que um raio de luz incide em uma

4

Observação dos minerais à luz natural polarizada

Neste capítulo serão estudadas as propriedades dos minerais observadas ao microscópio petrográfico sob luz natural polarizada a nicóis descruzados, ou seja, o analisador estará fora do caminho óptico do microscópio.

As propriedades aqui descritas são de extrema importância para uma definição rápida do mineral investigado e não exigem conoscofia nem uso de carta de cores. Assim, recomenda-se grande atenção do leitor.

4.1 COR

Os minerais, quando observados ao microscópio petrográfico, são iluminados por uma lâmpada de filamento de tungstênio, a qual fornece uma luz de cor amarelada que, filtrada por uma placa translúcida azul, apresenta-se como branca. Essa radiação, de caráter fortemente policromático, interage com o mineral por meio da dispersão de seus índices de refração, que será maior para cores próximas ao vermelho e menor em direção àquelas do violeta.

Ainda, a intensidade de um raio de luz decresce quando esse raio atravessa um meio material qualquer, devido a parte da energia luminosa ser transformada em calor. Esse efeito é denominado absorção e é mais acentuado em alguns meios do que em outros. Dessa forma, pode-se definir o coeficiente de absorção relativa como a razão entre as intensidades da luz incidente (I_0) e refratada (I) em um mineral (I_0/I).

A cor de um mineral transparente em uma seção delgada depende da absorção pelo mineral dos diferentes comprimentos de onda que compõem a luz branca incidente sobre a sua superfície. Certo mineral que apresenta cor branca, ou é incolor, não absorve nenhuma cor específica (ou radiação visível) (Fig. 4.1A).

Ao contrário, se um mineral iluminado absorver todos os comprimentos de onda da luz branca incidente, ele mostrará cor negra

Já as formas produzidas por três direções de clivagem são normalmente figuras reticuladas, retangulares ou com vértices em forma de cunha. Entre os tipos de clivagem em três direções têm-se:

- ▶ *Clivagem cúbica*: planos de clivagem paralelos às faces do cubo. Ao microscópio, a clivagem cúbica apresenta-se na forma de quadrados (Fig. 4.12).

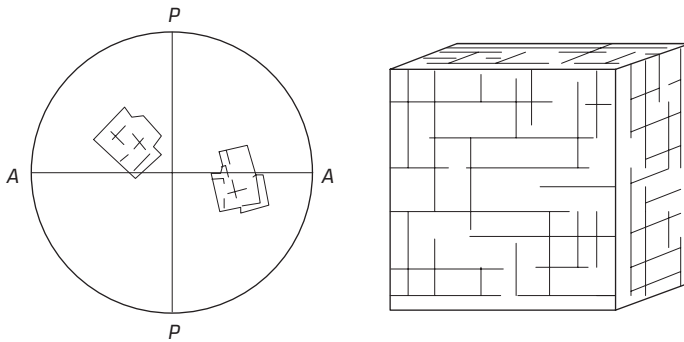


FIG. 4.12 Clivagem cúbica da halita observada ao microscópio petrográfico. Para melhor visualização, é apresentado seu modelo óptico-cristalográfico

- ▶ *Clivagem romboédrica*: planos de clivagem paralelos às faces do romboedro. Ao microscópio, a clivagem romboédrica apresenta-se na forma de losangos ou figuras reticuladas (em duas direções) com linhas de crescimento paralelas às diagonais maior e/ou menor das faces externas (Fig. 4.13).

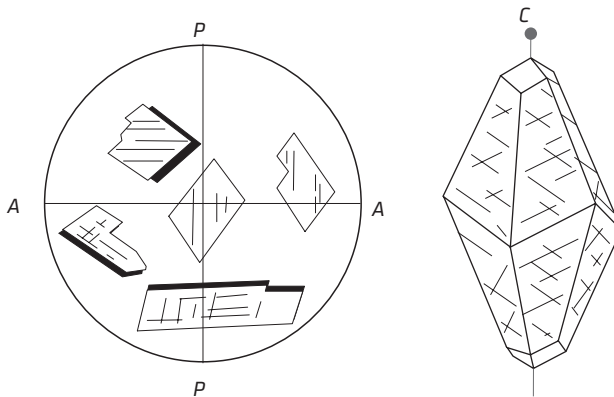


FIG. 4.13 Clivagem romboédrica da calcita observada ao microscópio petrográfico e seu modelo óptico-cristalográfico

- ▶ *Clivagem retangular*: semelhante à clivagem cúbica, ou seja, em três direções. A clivagem retangular ocorre em minerais do sistema ortor-

5 Observação dos minerais sob nicóis cruzados: ortoscopia

No sistema ortoscópico, ou seja, estando o analisador inserido no sistema óptico, as ondas de luz que passam através do polarizador e penetram em um cristal estão vibrando somente em uma direção. Ao atingir um mineral anisotrópico, a luz se divide em dois raios que estão polarizados em planos ortogonais. Entretanto, ao deixarem o mineral, esses dois raios são incoerentes e, assim, não interferem entre si. Quando atingem o analisador para atravessá-lo, eles se combinam, produzindo uma onda resultante e gerando cores de interferência, assunto deste capítulo.

5.1 PRINCÍPIOS DE INTERFERÊNCIA DA LUZ

Para analisar o fenômeno de interferência entre ondas de luz, veja-se o comportamento físico de duas ondas de luz distintas, polarizadas em um mesmo plano ou em planos diferentes.

5.1.1 ONDAS POLARIZADAS EM UM MESMO PLANO

A Fig. 5.1 mostra o trem de ondas de um raio de luz que se propaga segundo a direção OP . Os vetores representados pelas letras $a1$, $a2$ e $a3$ apresentam a mesma direção, sentido e amplitude de vibração. O mesmo ocorre para os pontos $b1$, $b2$ e $b3$. Diz-se então que os vetores a , e também aqueles b , estão em fase entre si.

Por outro lado, os vetores $a1$ e $b1$ têm a mesma direção e amplitude, porém sentidos opostos de vibração, ou simplesmente estão fora de fase entre si (Fig. 5.1). Denomina-se a distância entre dois pontos dentro

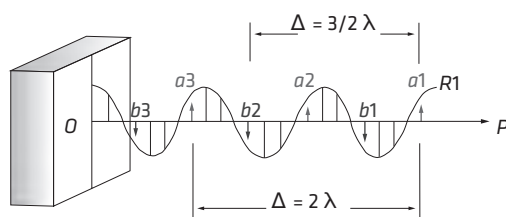


FIG. 5.1 Representação esquemática de um raio de luz OP polarizado verticalmente mostrando a diferença de percurso ou atraso (Δ) para um conjunto de pontos em fase (por exemplo, $a1$, $a2$ e $a3$) e fora de fase (por exemplo, $a1$ e $b1$)

6 Observação conoscópica dos minerais

O sistema conoscópico, no microscópio petrográfico, é composto de analisador, condensador móvel, lente de Amici-Bertrand e objetiva de grande aumento linear (40x a 60x). A observação conoscópica dos minerais transparentes consiste no estudo de figuras de interferência, o que permite analisar um grande número de propriedades ópticas ao mesmo tempo, entre elas:

- ▶ caráter isotrópico ou anisotrópico;
- ▶ caráter uniaxial ou biaxial;
- ▶ sinal óptico dos minerais uniaxiais e biaxiais;
- ▶ estimativa da birrefringência;
- ▶ valor aproximado do ângulo $2V$ para minerais biaxiais;
- ▶ orientação óptica dos minerais, que consiste na localização das direções ordinária e extraordinária dos minerais uniaxiais e daquelas X , Y e Z dos minerais biaxiais;
- ▶ tipos de dispersão da luz.

No sistema conoscópico, o feixe de luz proveniente do polarizador e incidente sobre a face inferior de um mineral não é paralelo, mas sim fortemente convergente, devido à atuação do condensador móvel, de tal forma que em seu interior se desenvolve um cone de luz fortemente divergente que se dirige para a lente de Amici-Bertrand (Fig. 6.1). Com isso, mesmo para um mineral com espessura constante, os raios de luz percorrem espessuras diferentes em seu interior, o que resulta no aparecimento das figuras de interferência.

Os minerais isotrópicos não geram figuras de interferência, enquanto os minerais anisotrópicos apresentam figuras de interferência de vários tipos, conforme sua natureza óptico-cristalográfica.

6.1 AS FIGURAS DE INTERFERÊNCIA DOS MINERAIS UNIAXIAIS

Toda substância anisotrópica observada sob nicóis cruzados e iluminada por um feixe de luz convergente fornece uma figura de

das contornando os melatopos, que correspondem às linhas isocromáticas (Fig. 6.25). Entretanto, se a birrefringência do mineral é baixa ou se a sua espessura é pequena, não se verificam linhas isocromáticas, aparecendo no campo cores de interferência de baixa ordem, normalmente de cor cinza.

Formação das isógiras

As direções de vibração da figura de interferência do tipo *BXA* determinam uma indicatriz com diferentes linhas de igual caminhamento (linhas isocromáticas). A Fig. 6.26 mostra o exemplo de um mineral biaxial negativo com $2V$ na direção de *X*. Na projeção dessas linhas no plano *Z-Y* (perpendicular a *BXA*), pode-se observar as diferentes direções de vibração dos raios emergentes nos diferentes pontos da

figura (Fig. 6.27).

A formação das isógiras pode ser também explicada elementarmente aplicando-se a regra de Biot-Fresnel, segundo a qual os planos

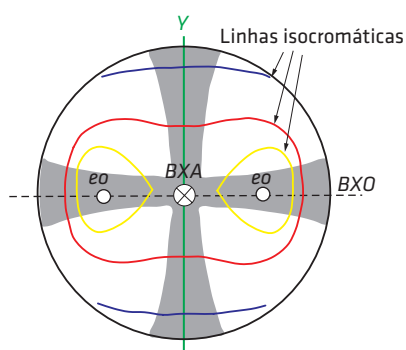


FIG. 6.25 Representação esquemática das linhas isocromáticas na figura de interferência do tipo *BXA*

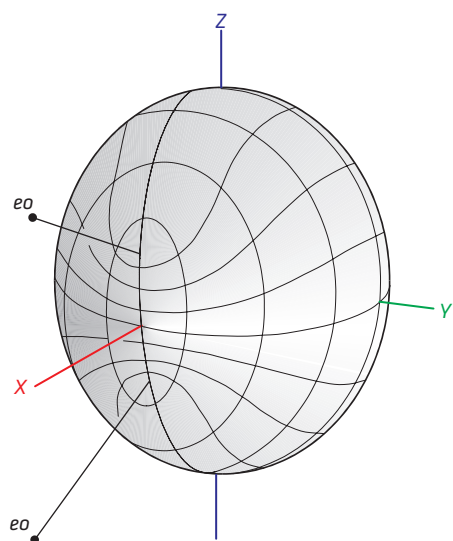


FIG. 6.26 Indicatriz de um mineral biaxial negativo mostrando as diferentes direções de caminhamento

Fonte: adaptado de Nesse (2004).

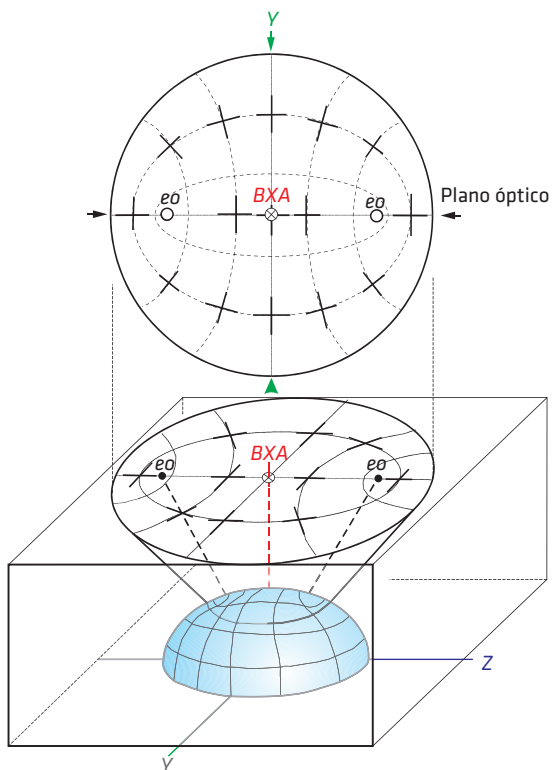
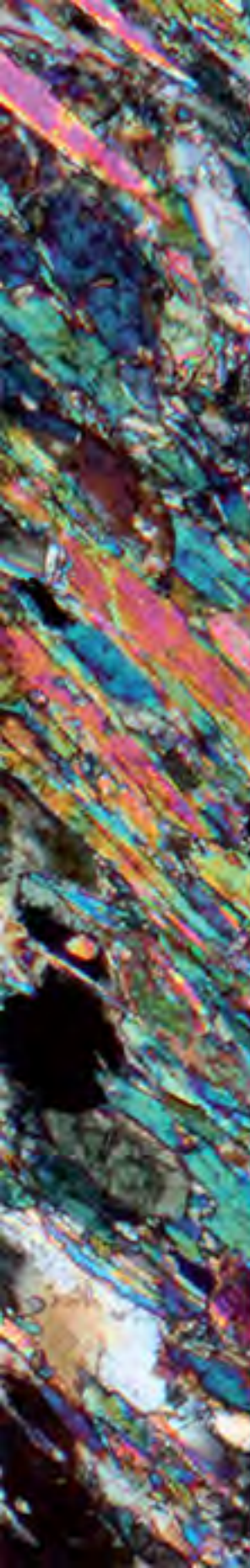


FIG. 6.27 Esquema da determinação das direções de vibração por meio da projeção das direções de caminhamento da seção perpendicular à *BXA* da indicatriz da figura de interferência

Fonte: adaptado de Nesse (2004).



Após décadas sem bibliografia em português, temos a satisfação de preencher a biblioteca do estudante das áreas de Mineração e Prospecção. Cada vez mais relevante, a Mineralogia Óptica é fundamental em Petrologia, Cristalografia, Prospecção, Geologia Econômica e Pedologia.

Esta obra apresenta o microscópio petrográfico, peça-chave ao estudo mineralógico, e seus componentes e explica os conceitos básicos de Física Óptica, as indicatrizes dos minerais e as principais propriedades ópticas observadas em sistemas de luz natural, ortoscópicos e conoscópicos.

Ricamente ilustrada e com linguagem didática, é uma referência para estudantes de Geologia e Engenharia Geológica.

Esta é uma obra de destacada importância para a formação de geólogos. Utilizando linguagem clara, combinada com muitas ilustrações, os autores produziram um livro de caráter notadamente didático, mas também rico em conteúdo. Com ele, passamos a contar com um livro referencial em português que certamente será adotado pelos cursos de Geologia do País.

Prof. Dr. Alvaro Penteado Crósta
Professor Titular e Vice-Reitor da Unkamp

Chegará um tempo em que não nos lembraremos mais do quanto foi preciso estudar Geologia em livros escritos em língua estrangeira. É quando nós, professores, estaremos em permanente débito com colegas como Fábio Braz Machado e Antonio José R. Nardy, que, altruisticamente, dedicaram tempo e esforço para escrever livros de Geologia de qualidade, em apoio à formação de nossos estudantes. São obras como esta que nos lembram de que bons livros são simplesmente insubstituíveis. Minha sugestão? Leve sempre um exemplar desta obra quando for se debruçar sobre o microscópio petrográfico.

Prof. Dr. Sérgio de Castro Valente
Professor Adjunto da UFRRJ

ISBN 978-85-7975-245-2



9 788579 752452