

Antonio Liccardo

**Inclusões cristalinas e fluidas
e seus aspectos gemológicos**

Área de Mineralogia-Gemologia
UFOP

Programação

- Definições
- Importância do estudo de inclusões na gemologia
- Equipamento
- Classificação descritiva das inclusões
- Classificação genética-temporal das inclusões
- Aspectos mercadológicos de gemas com inclusões
- Efeitos ópticos causados por inclusões
- Bibliografia recomendada

Definições

INCLUSÃO – **toda irregularidade óptica no interior de uma gema**

INCLUSÃO é qualquer mineral (ou outra substância sólida), cavidade com fluidos, defeito estrutural ou falta de homogeneidade no interior da pedra.

Inclusões sólidas



Inclusões cristalinas

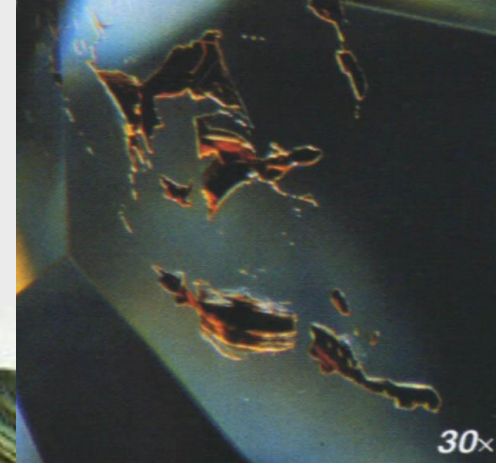




Agulhas de epidoto em
quartzo – Capelinha - MG

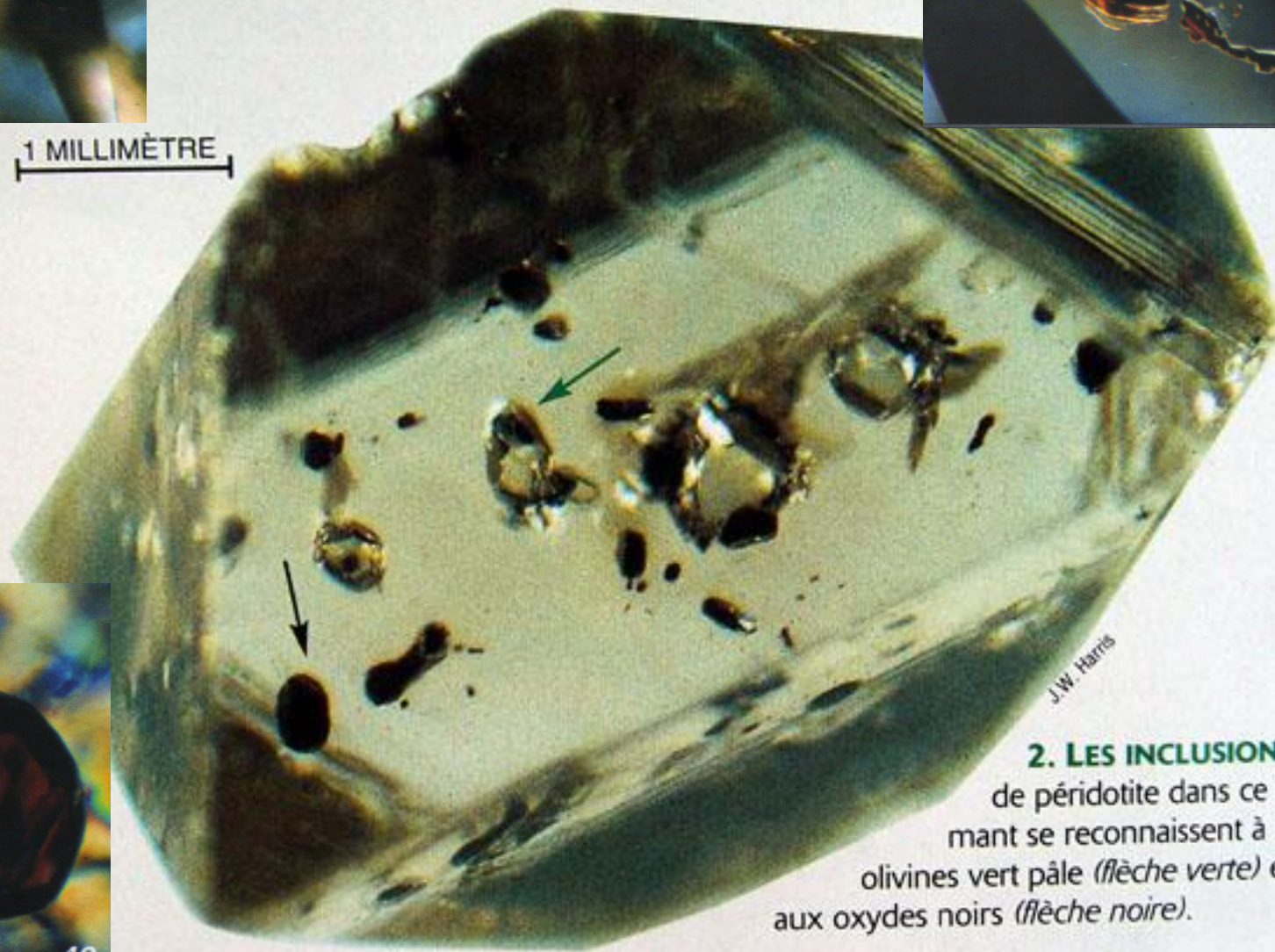


Onfacita

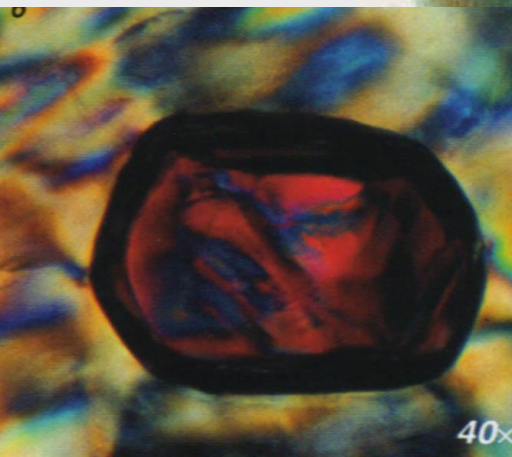


Cromita

1 MILLIMÈTRE



Piropo



40×

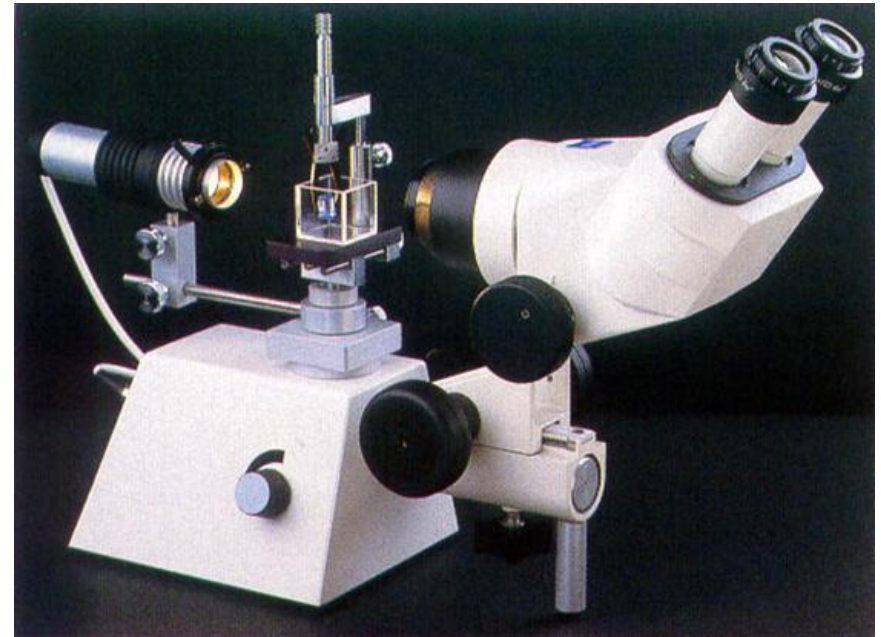
2. LES INCLUSIONS

de péridotite dans ce diamant se reconnaissent à leurs olivines vert pâle (*flèche verte*) et aux oxydes noirs (*flèche noire*).

Inclusões fluidas



Equipamentos
adequados para
observação de
inclusões



Técnicas de iluminação

- Campo escuro, útil para inclusões sólidas e linhas de crescimento
- Campo claro, útil para inclusões transparentes e zonas de cor
- Iluminação Obliqua (fibra óptica), útil para feições superficiais
- Campo difuso (vidro fosco incolor), útil para linhas de crescimento

Filtragem



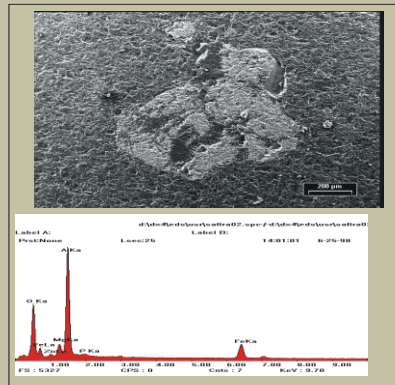


Microscópio USB
para gemologia
Portatibilidade,
didática e
custo/benefício

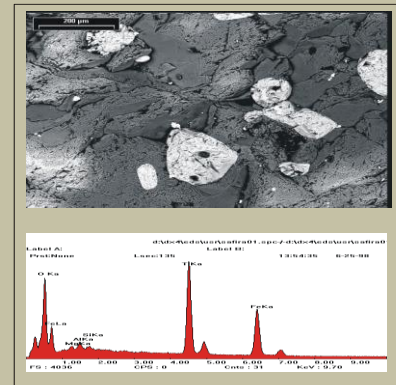


Uso de **MEV-EDS** em gemas mostrou-se altamente eficiente para identificação e caracterização química em inclusões. Ao lado, exemplo de rubis e safiras do Brasil,

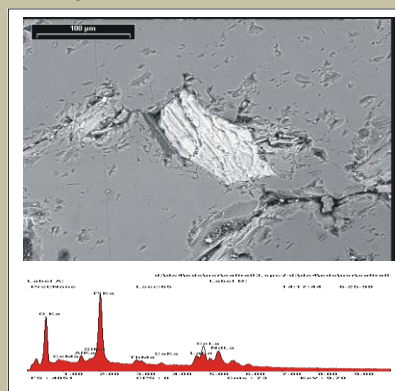
ESPINÉLIO - INDAIÁ



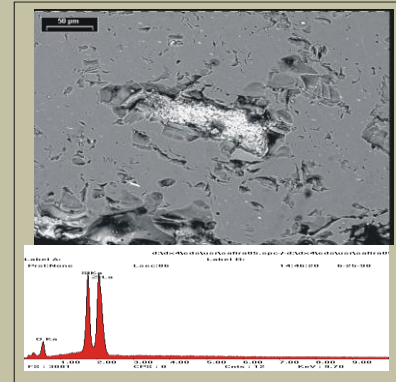
ILMENITA - PALMEIRAS



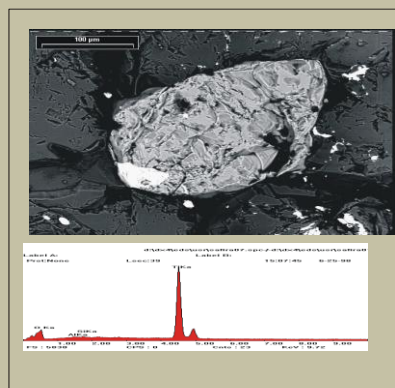
MONAZITA - BARRA VELHA



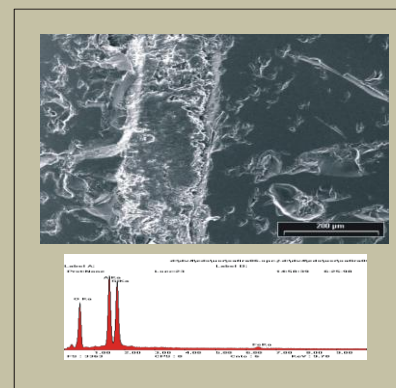
ZIRCÃO - CATINGAL



RUTILO - CAPUTIRA

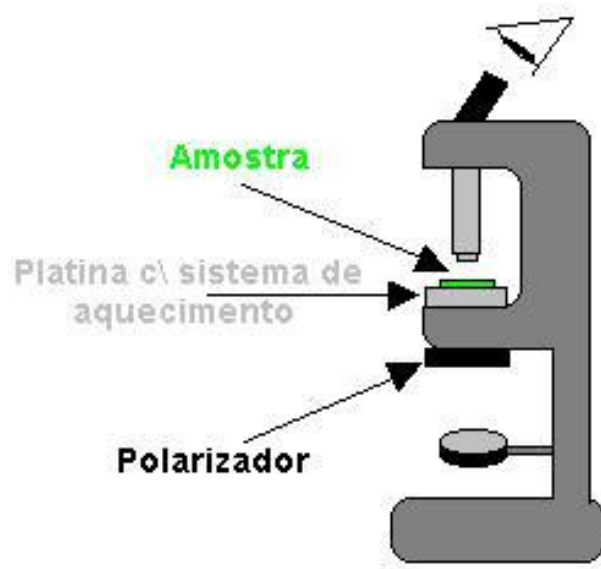


Al_2SiO_5 - INDAIÁ



Estudo de inclusões fluidas platina de aquecimento / resfriamento

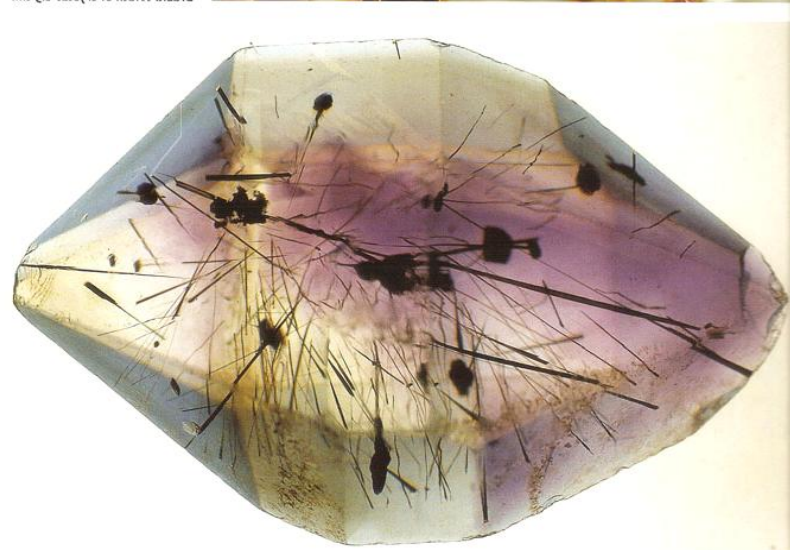
Comportamento de fluidos a partir de temperaturas muito baixas (nitrogênio) até acima da temperatura ambiente (aquecimento por resistência elétrica).



Importância do estudo de inclusões

- Informações sobre a gênese – condições de formação ou processo de fabricação
- Procedência da gema
- Classificação comercial
- Formação de efeitos ópticos especiais
- Valorização

1. Classificação descritiva - maior interesse gemológico
2. Classificação genética - maior interesse geológico



Variedades de
inclusões sólidas
em quartzo



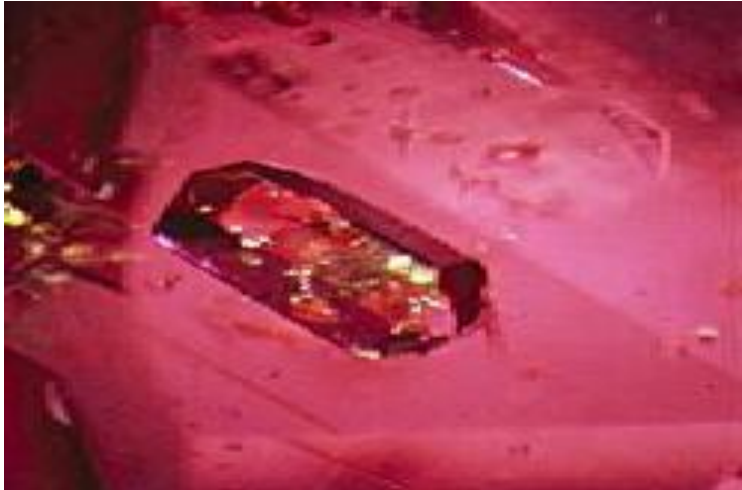


Inclusões de insetos e plantas em âmbar aumentam o valor da gema e são de grande interesse científico

Classificação descritiva das inclusões

- Inclusões sólidas
- Cavidades contendo inclusões fluidas
- Clivagem, fraturas e fissuras
- Geminações
- Zonação ou distribuição irregular de cor
- Falhas estruturais

- Inclusões sólidas



Rubi da Tanzânia: cristal de apatita. 25x

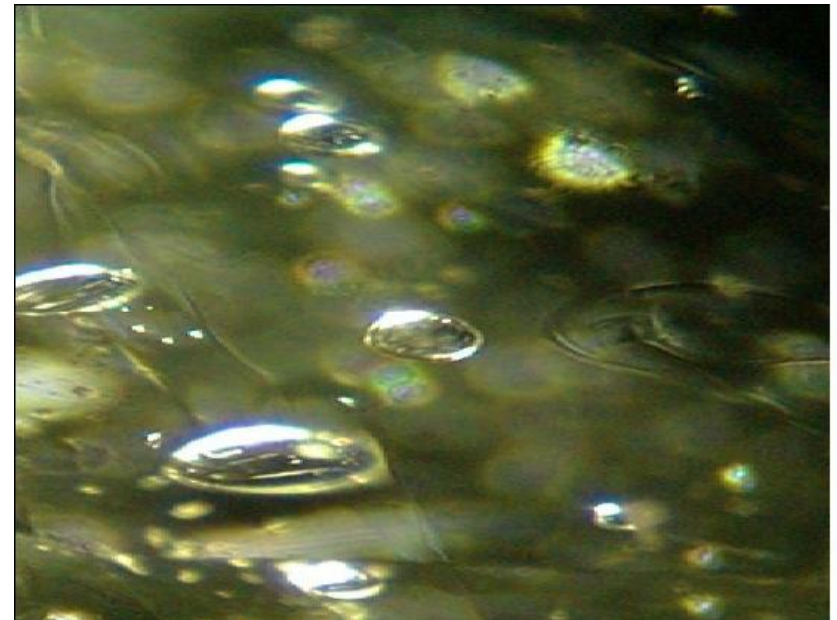


Safira Sri Lanka: octaedros de espinélio. 25x



Quartzo com hematita – Minas Gerais

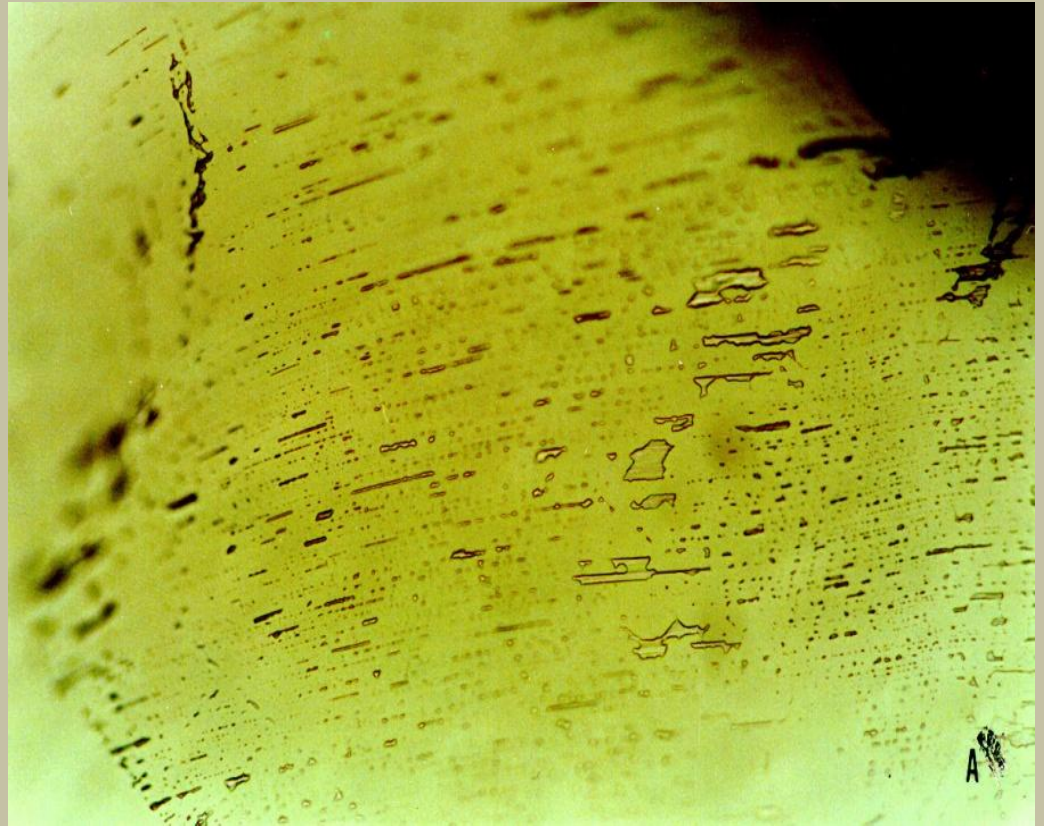
- Cavidades contendo inclusões fluidas



Tectito moldavita. Bolhas de CO₂ /SO₂ 45x

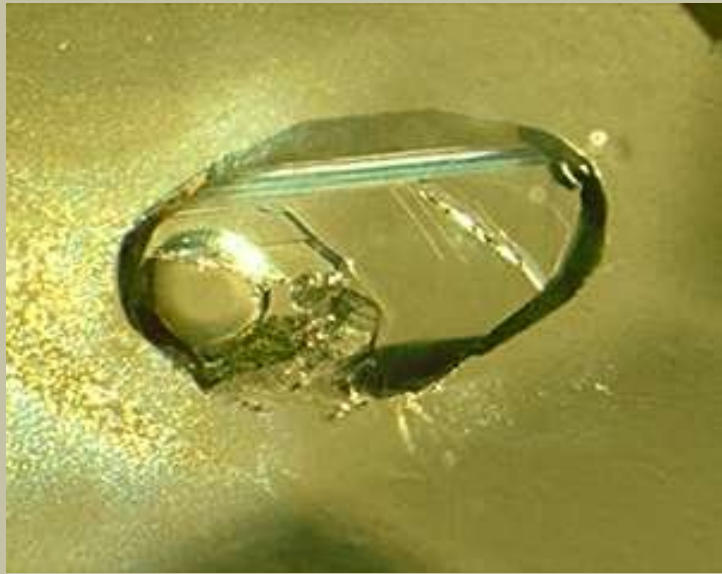
Tipos de Inclusões fluidas quanto às fases presentes (temperatura ambiente)

Fases $\neq$ estados da matéria



- **monofásicas** → L ou G

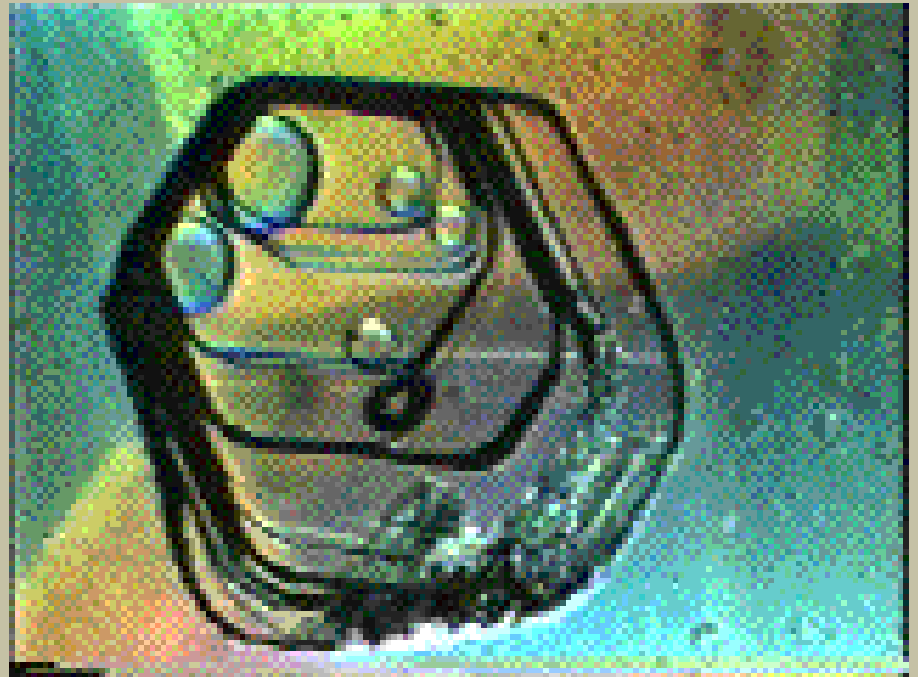
Ametista Alto Uruguai, RS



Safira do Sri Lanka

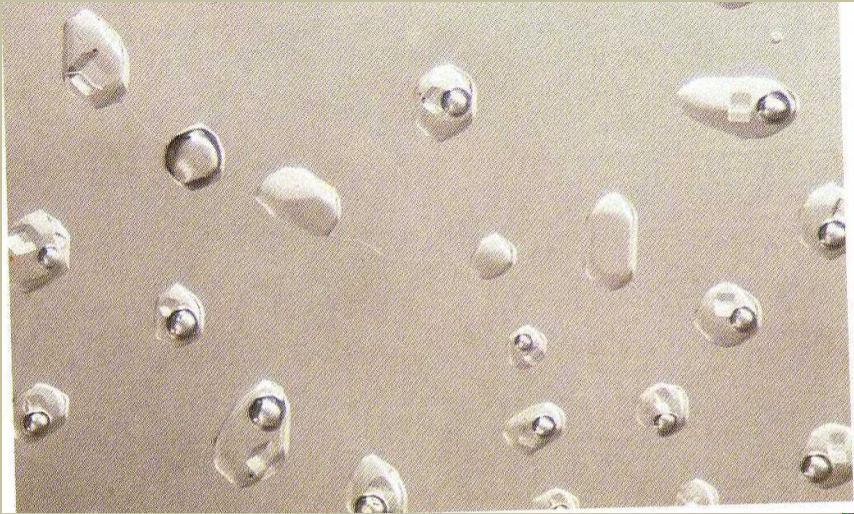


- **bifásicas** → L-G, L-L, L-S, S-G



IF l-g em topázio

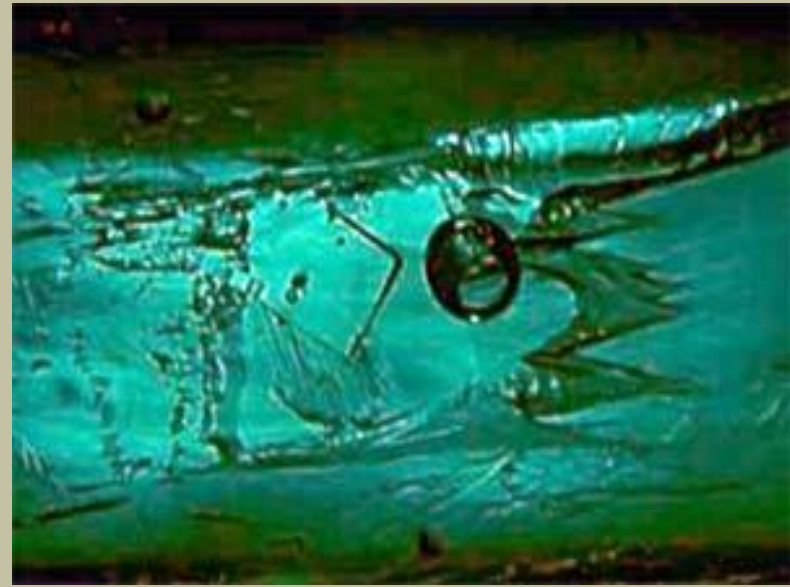
- **trifásicas** → S-L-G, L-L-G, etc..



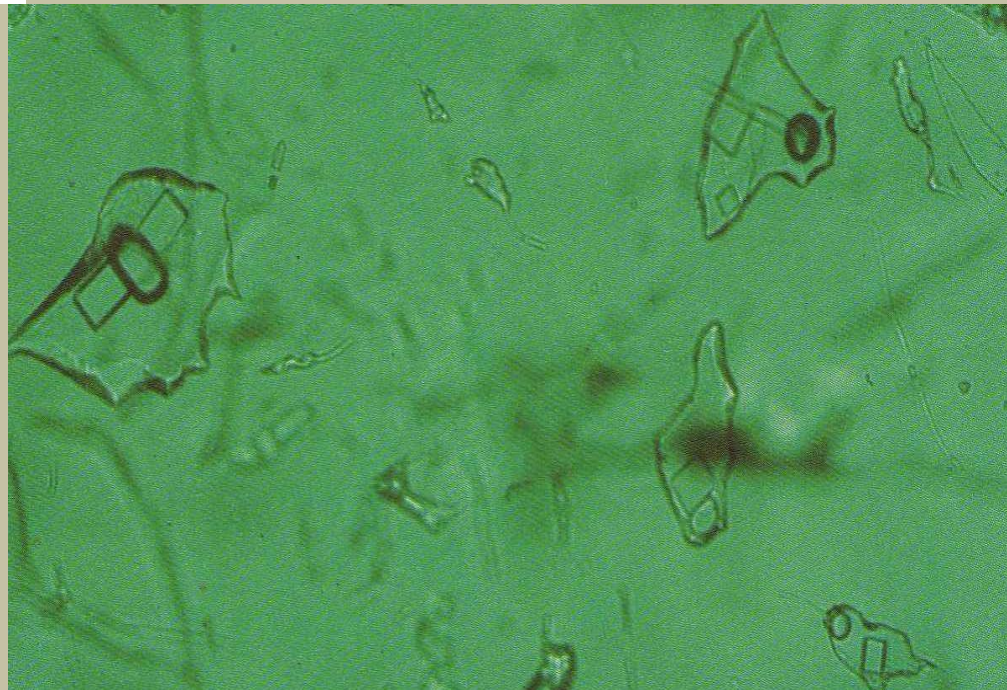
S-L-G em quartzo – cristais negativos



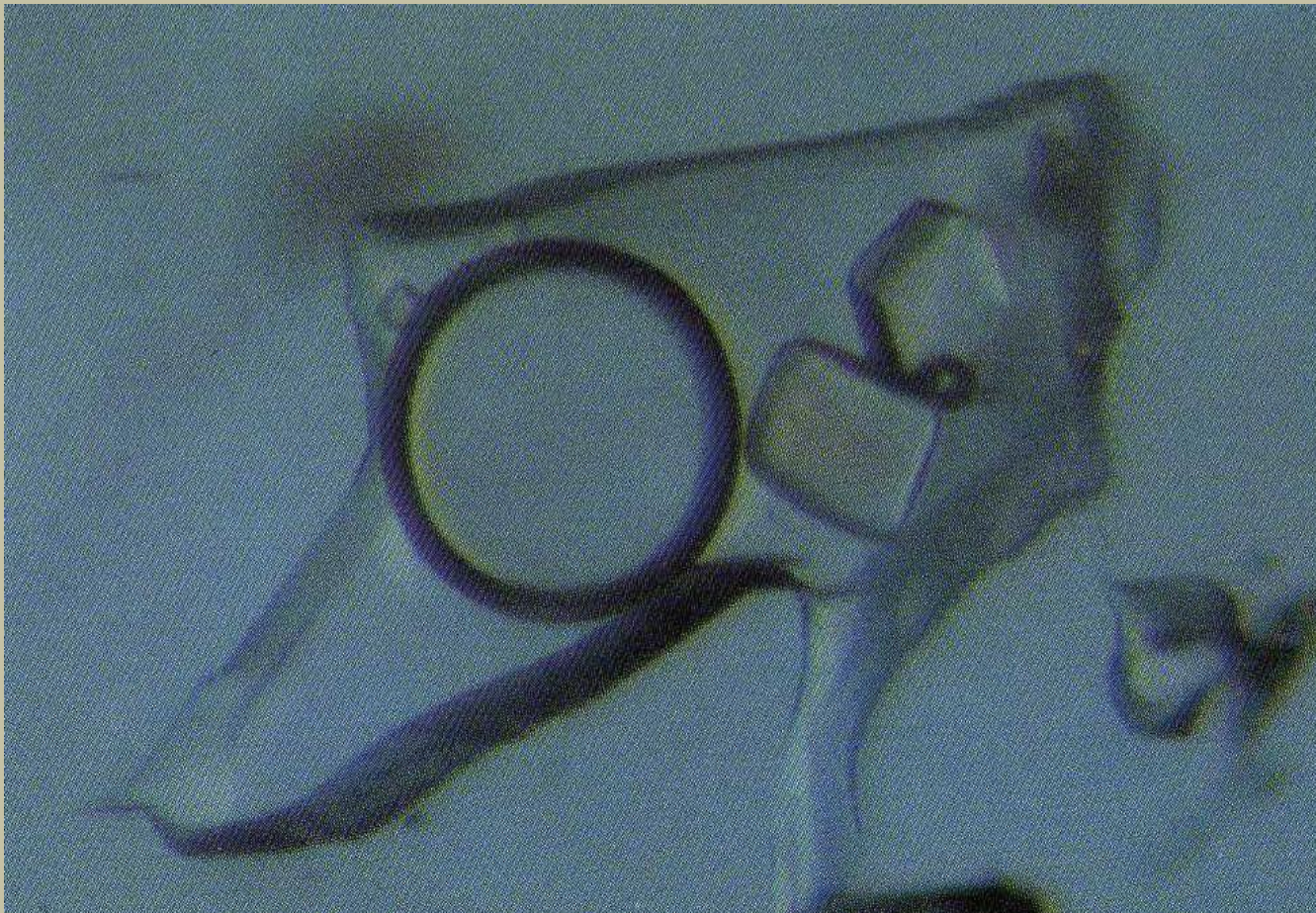
L-L-G em esmeralda de Itabira



S-L-G em esmeralda da Colômbia



- polifásicas → S-S-L-G, S-L-L-G, etc..



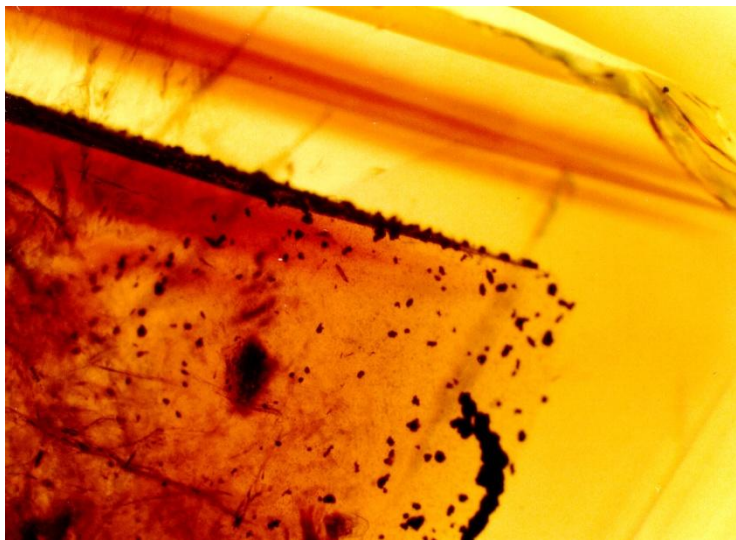
S-S-L-G em topázio do Afeganistão



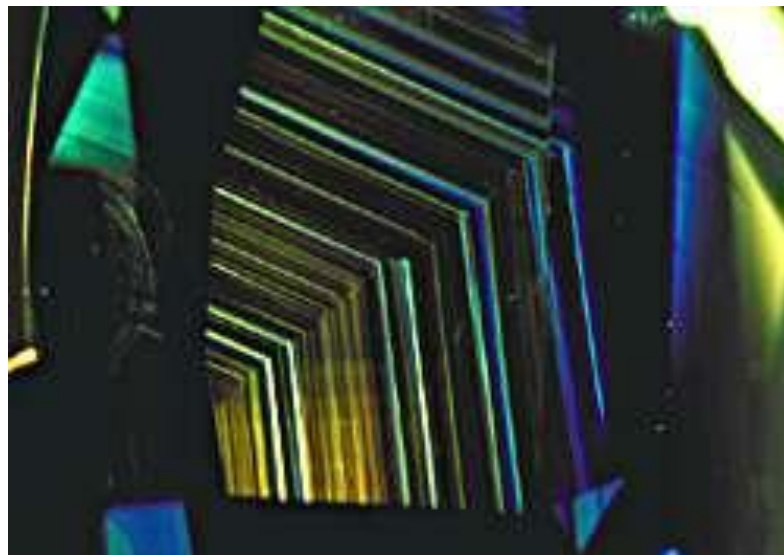
- Zonação ou distribuição irregular de cor em safiras tipo BGY de Coxim, MS



Zonação ou distribuição irregular de cor



Ametista do Alto Uruguai, RS



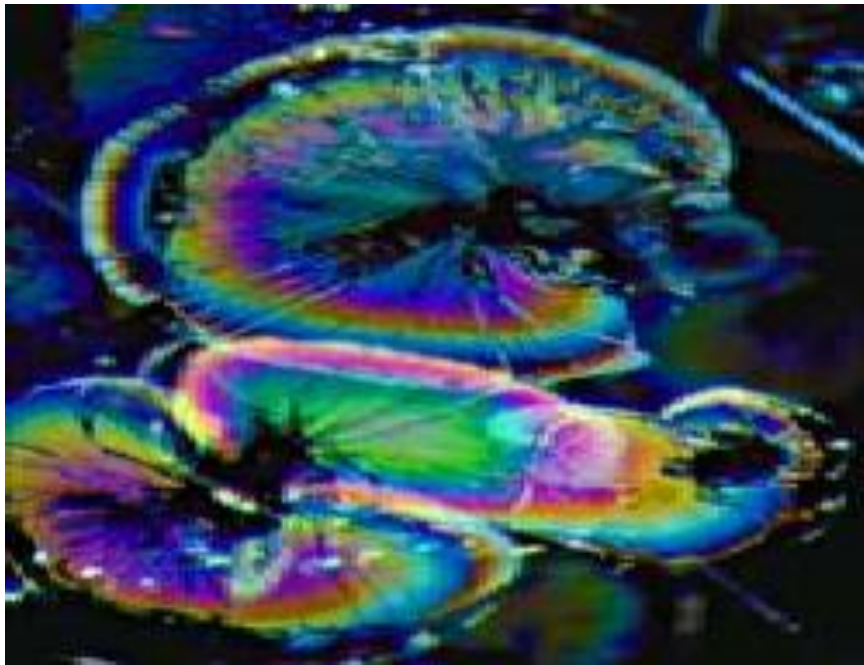
Safira da Austrália



Iolita, ES

Turmalina, MG





- Clivagem, fraturas e fissuras

Safira Australiana: fraturas discóides causadas por aquecimento térmico. 45x



- Maclas

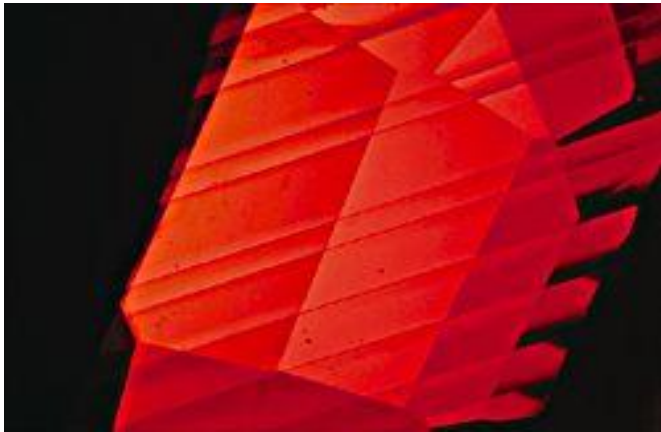
Partição em rubi de Myanmar



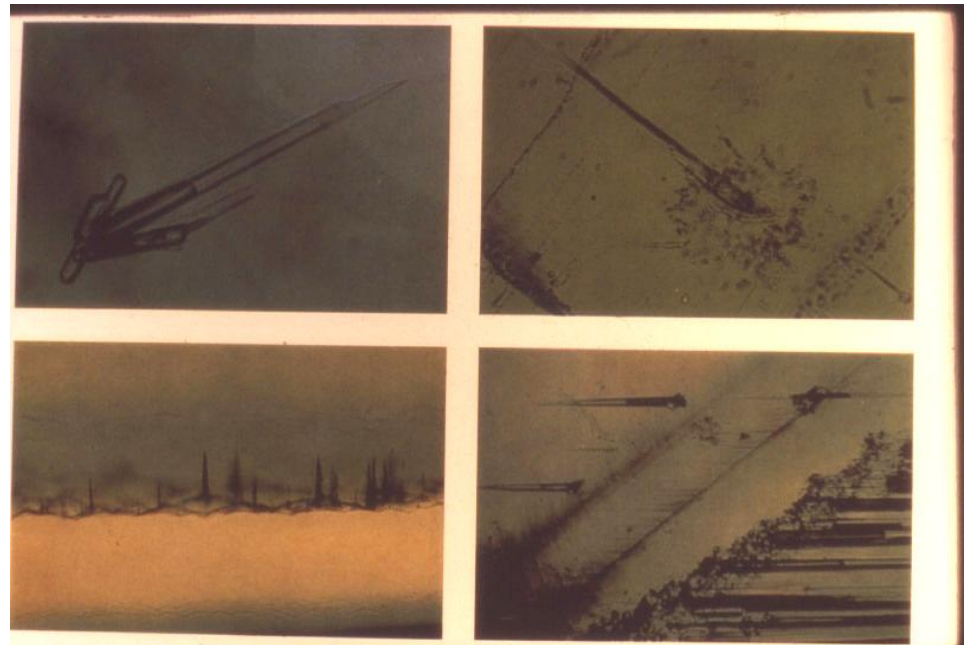
- Maclas

Safiras Barra Velha SC:
geminção polissintética
evidente

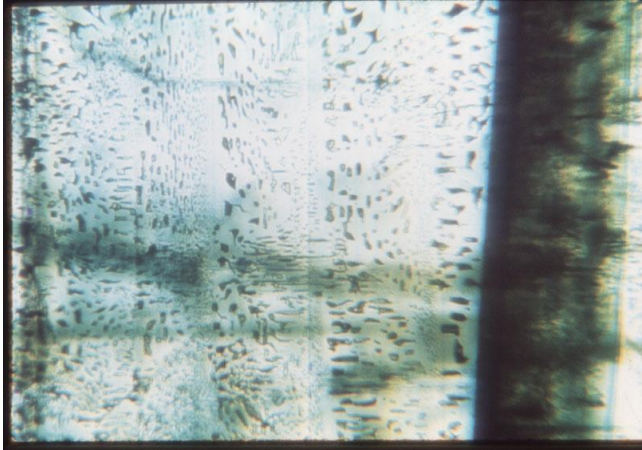
- Falhas
estruturais



Macla polissintética em rubi do
Cambodja



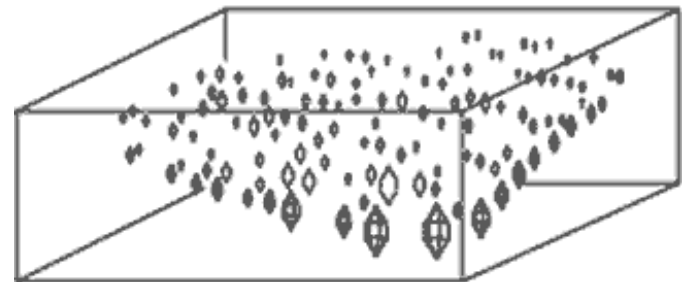
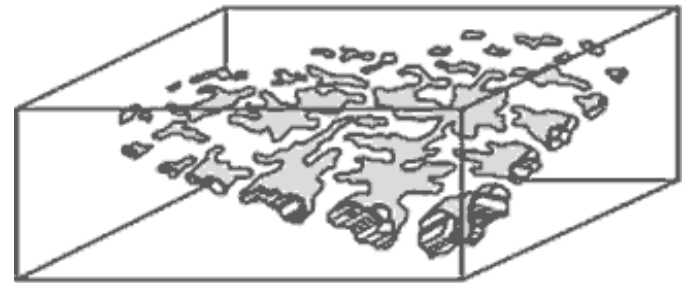
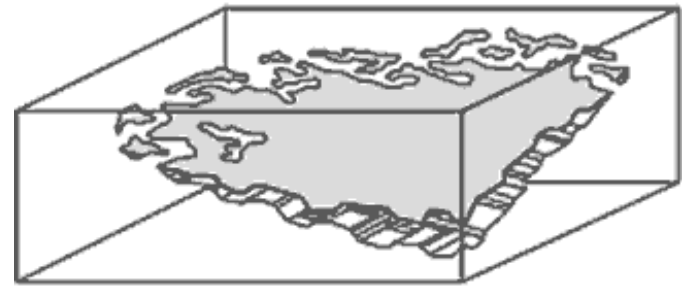
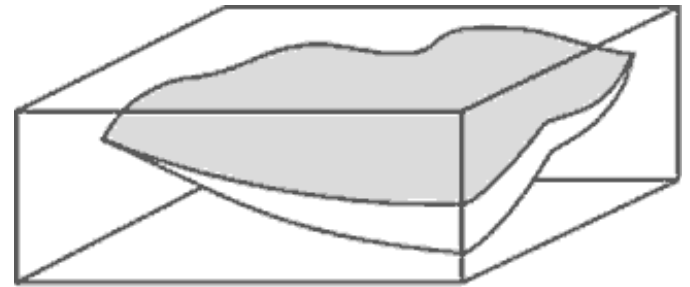
Origem e evolução de uma fratura cicatrizada



Esmeralda Zerfass



Esmeralda Chatam



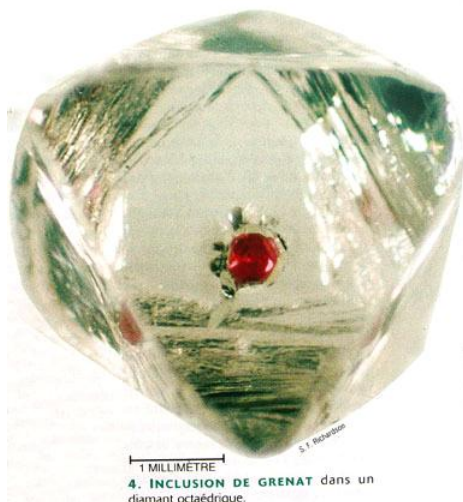
Classificação genética-temporal das inclusões

- Pré-existentes – protogenéticas
- Contemporâneas – singenéticas
- Formadas a posteriori - epigenéticas

- Fluidas Primárias – (P)
- Fluidas Pseudo-secundárias - (PS)
- Fluidas Secundárias – (S)

Tabela 2 – Minerais encontrados como inclusão em diamantes

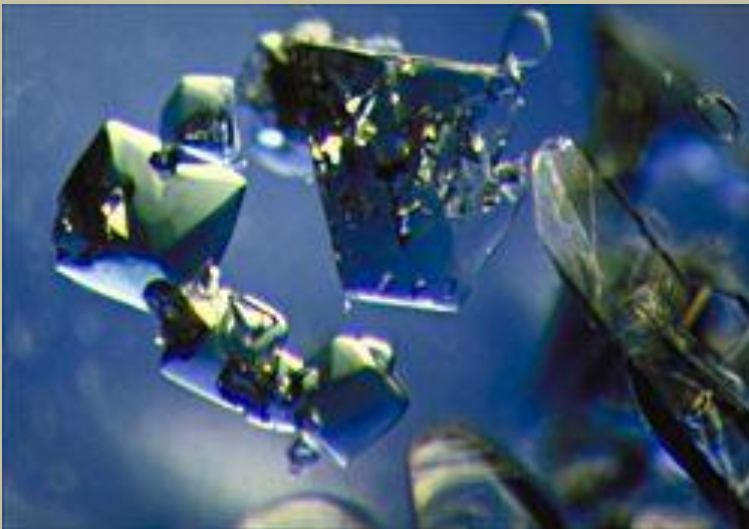
Até 1900	1900-1950	Peridotítica	Eclogítica	Transição	Manto inf.	Epigenéticas
CO ₂ /líquido topázio	granada grafita	forsterita enstatita	onfacita piropo- almandina	majorita SiC	ferropericlásio magnetita	serpentina calcita
quartzo diamante vegetais	ilmenita diopsídio olivina	diopsídio Cr-piropo Cr-Espinelio	cianita sanidina coesita		perovskita pirrotita almand-piropo tetragonal	grafita hematita caulinita
ouro pirita hematita ilmenita	calcita quartzo cromita zircão biotita	Mg-ilmenita Sulfetos zircão diamante ferro nativo	rutilo corindon ilmenita cromita sulfetos diamante		MgSi-perovskita Olivina CaSi-Perovskita	acmita richterita perovskita Mn-ilmenita espinélio xenotímio goethita



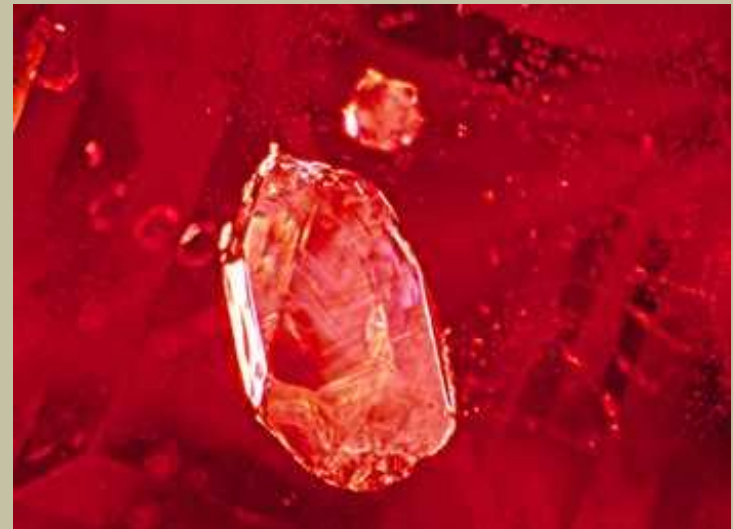
Juína (MT)

Inclusões protogenéticas

- Sempre inclusões sólidas, cristalinas
- Sem orientação dentro do hospedeiro
- Bordos corroídos ou não



Espinélio em safira do Sri Lanka

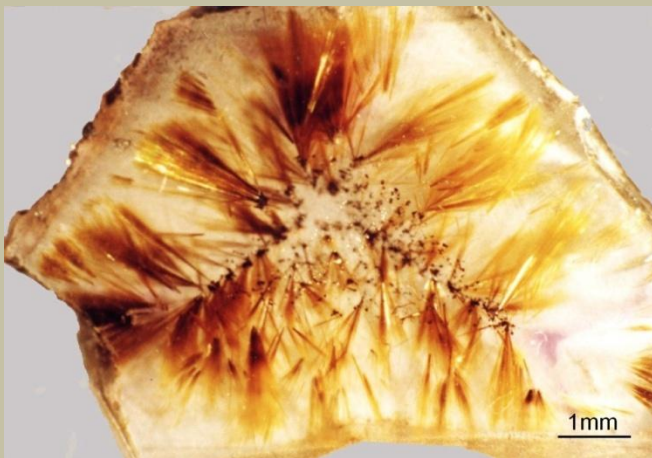


Calcita em rubi de Myanmar

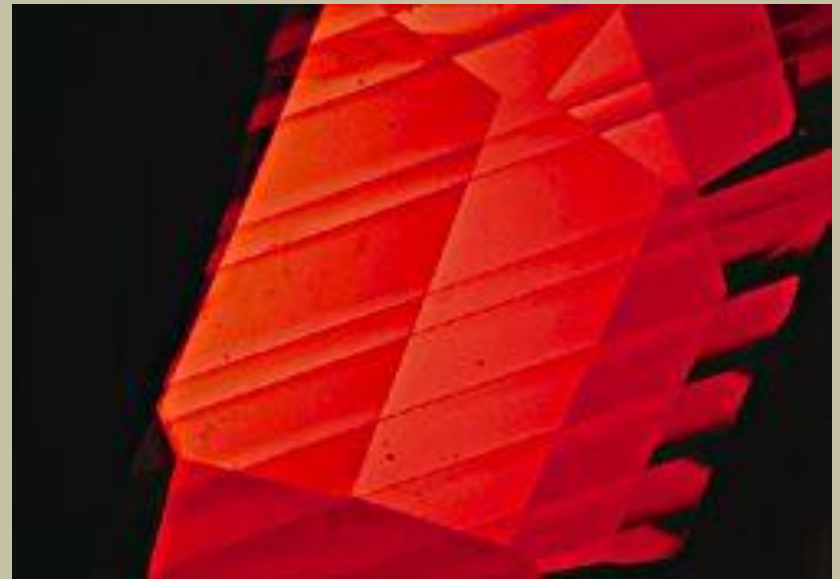
Inclusões singenéticas



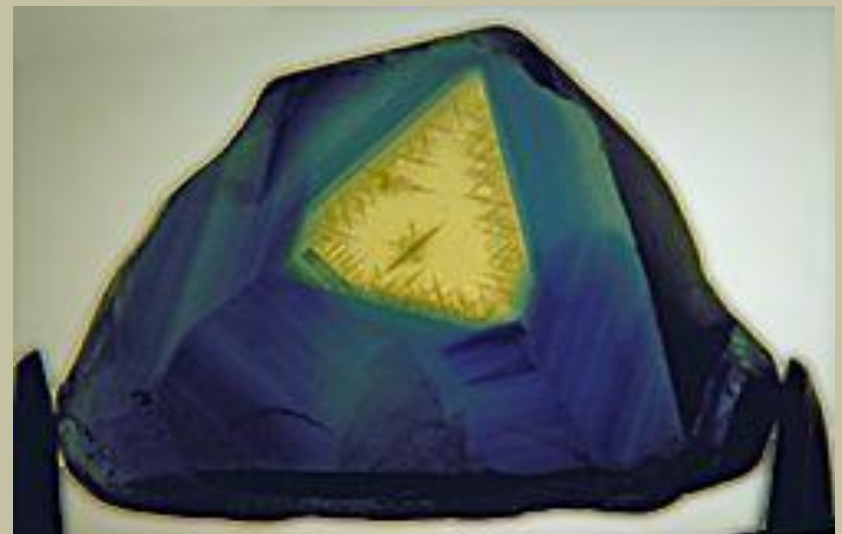
IF l-g em safira do Sri Lanka



Goethita em ametista - RS



Macla polissintética em rubi do Camboja



Zonação de cor em safira da Austrália

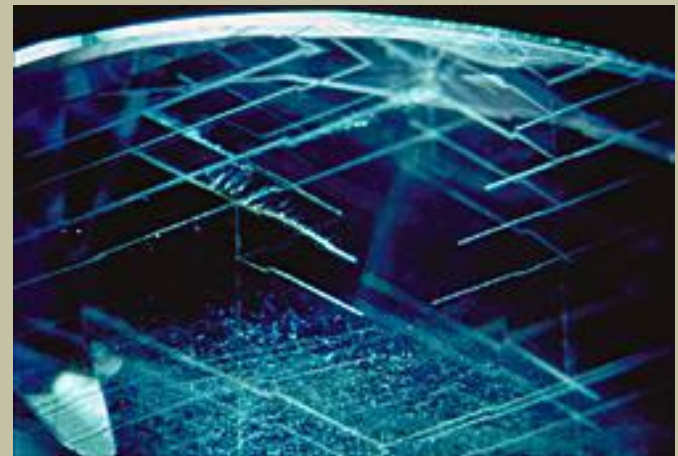
Inclusões epigenéticas



Rutilo em safira de Myanmar

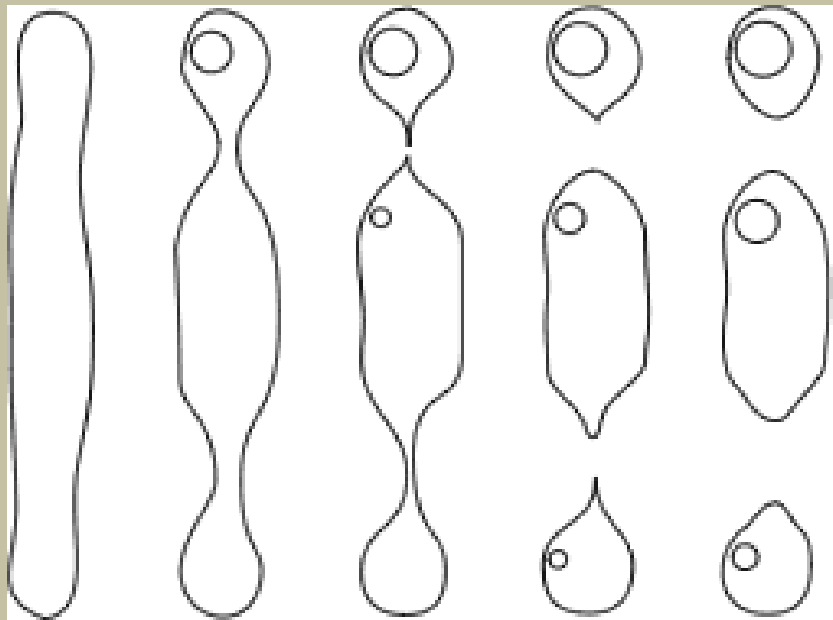


Bohemita em safira de Myanmar

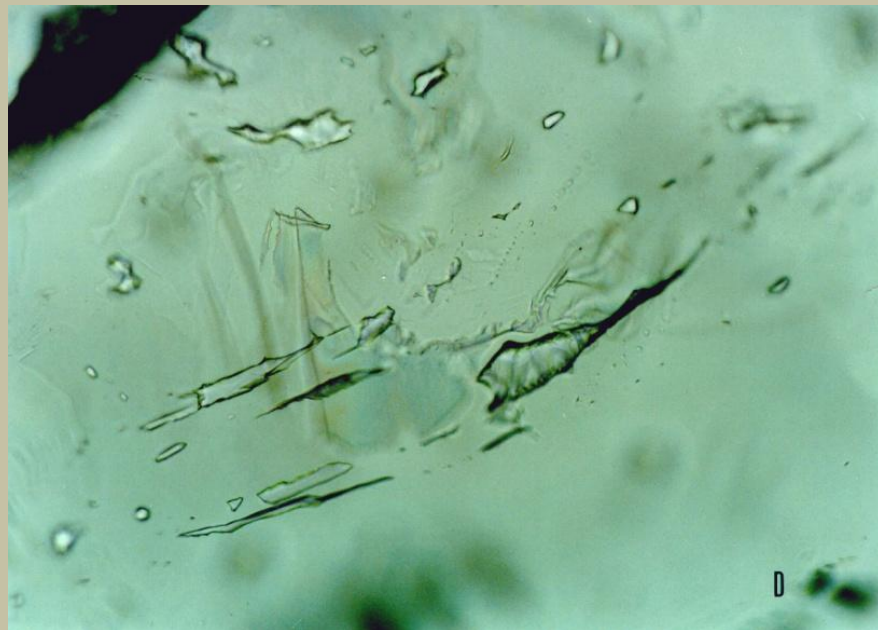


Inclusões epigenéticas

Inclusões fluidas secundárias

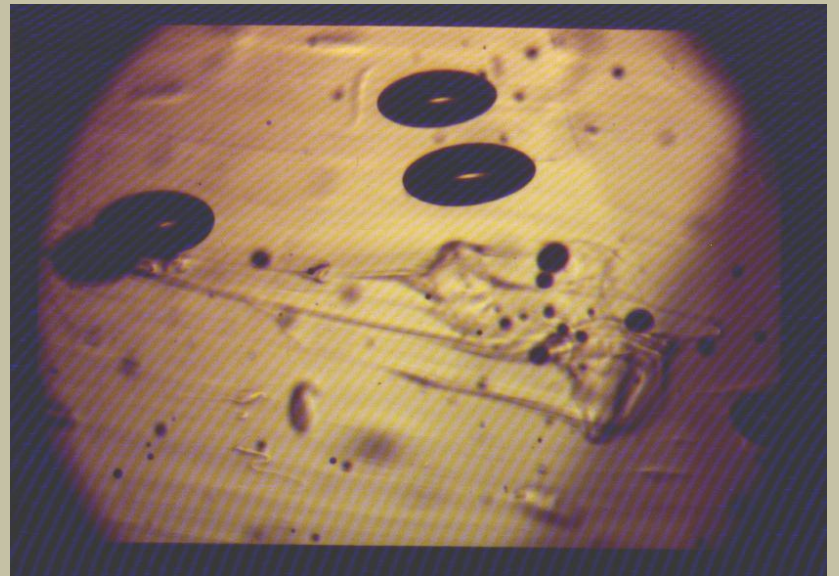
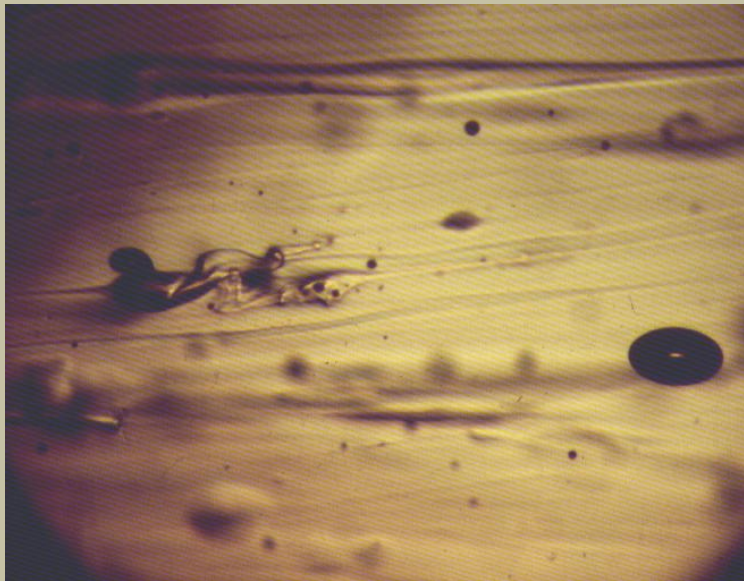


Modificação de IF – “necking down”



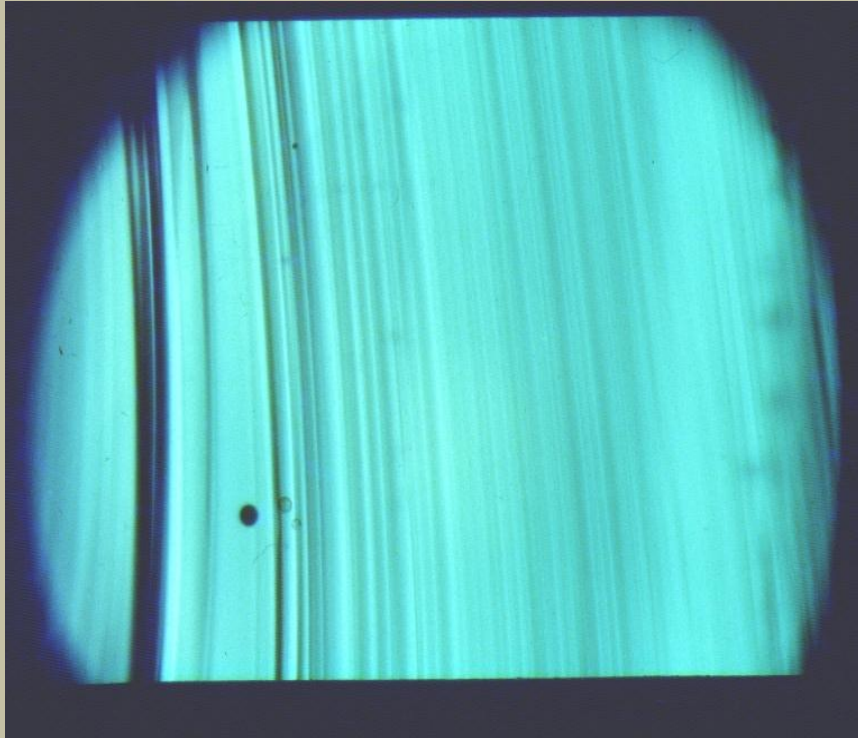
Ametista do Alto Uruguai - RS

Inclusões em vidros



Bolhas isoladas e estruturas de fluxo irregulares em vidro sintético

Inclusões em vidros

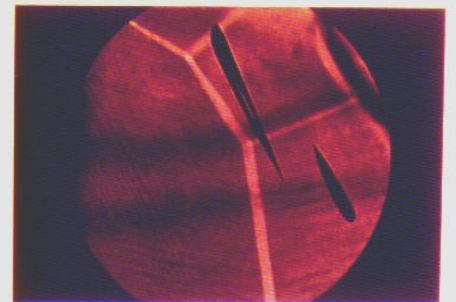
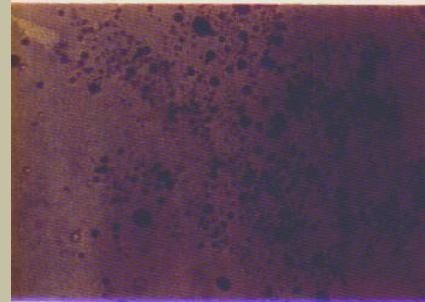
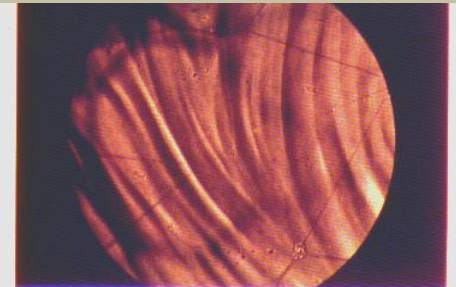


Bolhas isoladas e estruturas de fluxo regulares

A



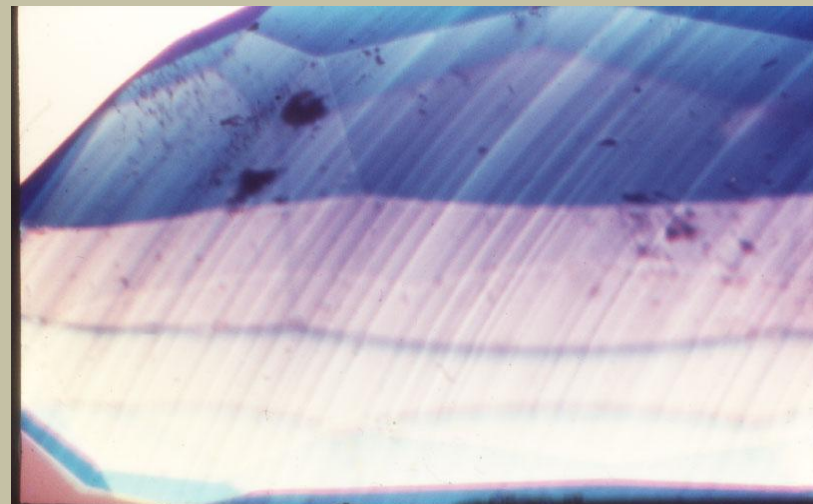
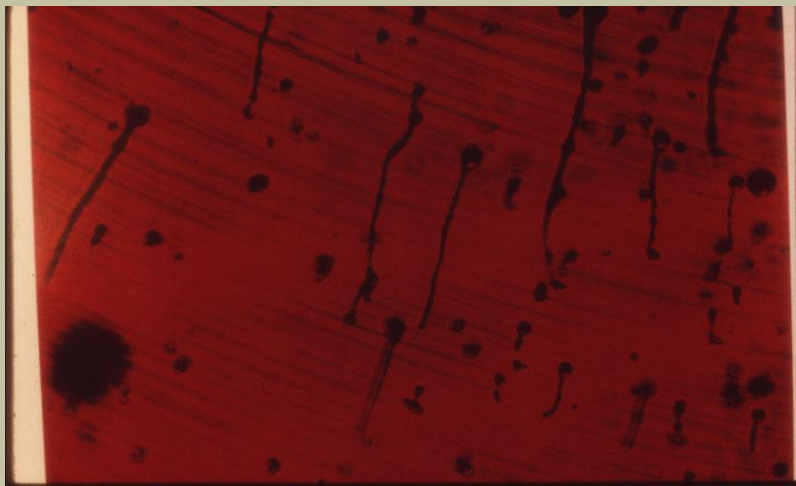
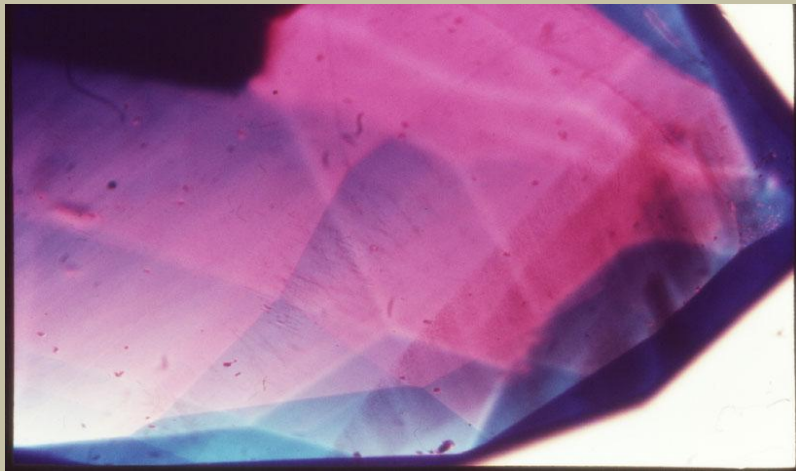
B



A) Bolhas vistas com luz transmitida (abaixo) e luz refletida (acima)

B) Bolhas alongadas e estruturas de fluxo irregulares

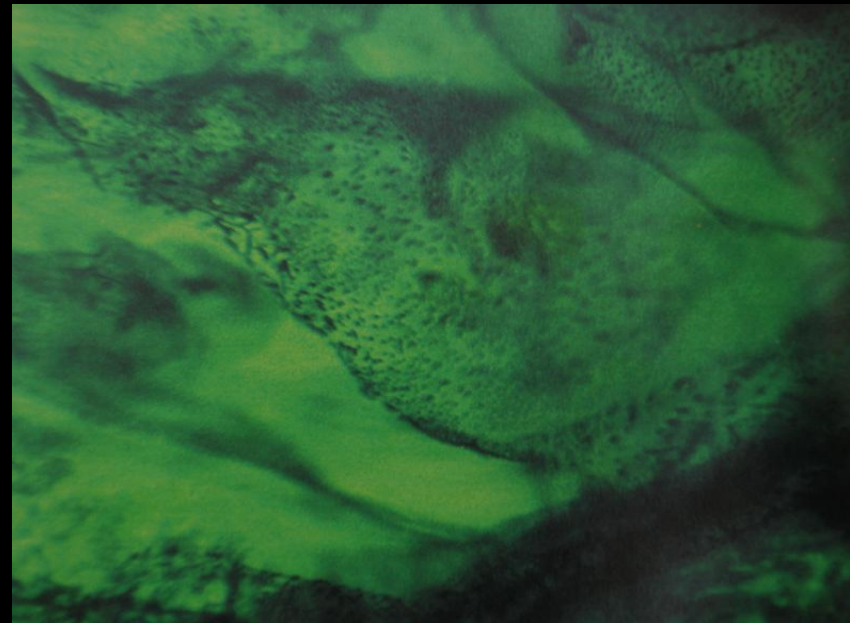
Inclusões em coríndon sintético



Bolhas isoladas, bolhas ligadas a fraturas e linhas de crescimento curvas em coríndon sintético Verneuil

Inclusões em esmeraldas sintéticas

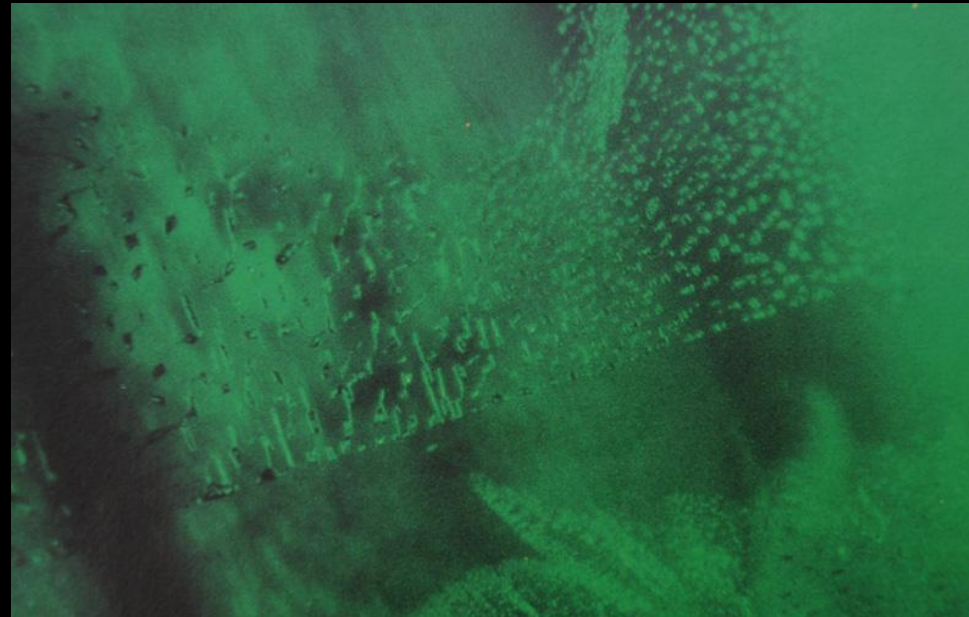
Asas de resíduos de fundente em esmeralda sintética Chatam



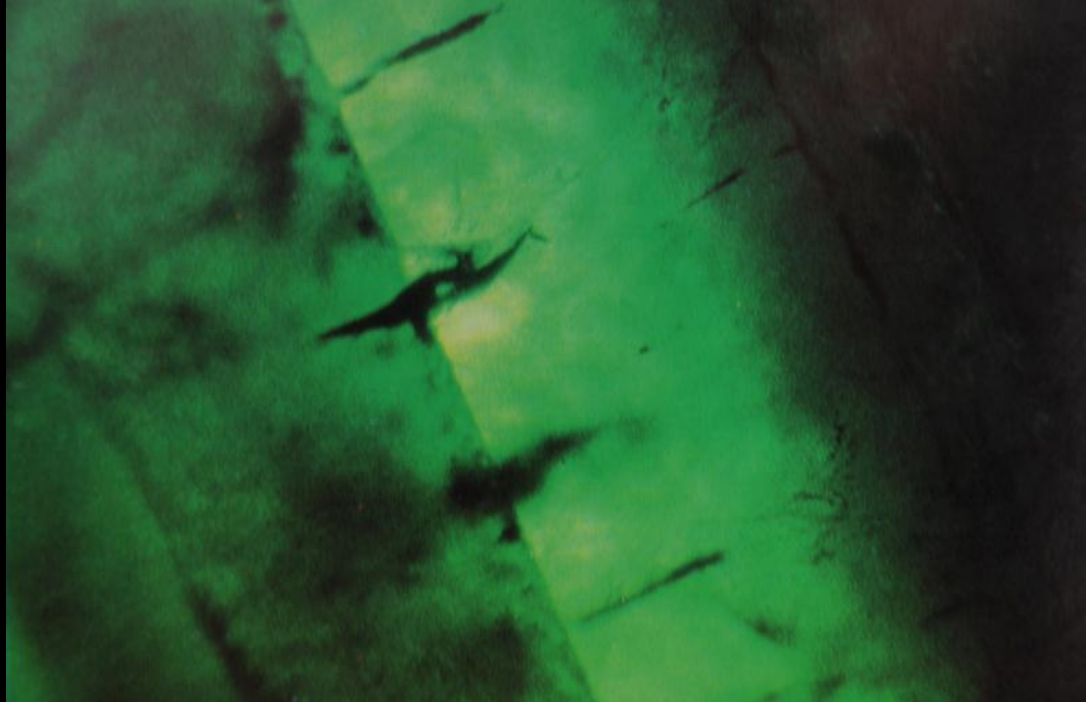
Cristal de fenacita e cavidade cônica em esmeralda sintética hidrotermal - Linde



Resíduos de fundente em "escritura árabe" esmeralda Gilson



Inclusões em esmeraldas sintéticas



Plano de separação
entre núcleo natural e
revestimento sintético
em esmeralda
Lechleitner



*Fig. 134 - Strutture
di crescita angolari
"a ginocchio" in
smeraldo sintetico
idrotermale russo*

Estruturas de
crescimento angular em
"joelho" – esmeralda
hidrotermal russa

Aspectos mercadológicos de gemas com inclusões

- Clarity do diamante
- Gemas coloridas
- Gemas valorizadas por inclusões
- Comprometimento no preço de gemas coloridas – 20 a 30% (IBGM)

Graduação de pureza

As inclusões são analisadas segundo:

- Tamanho: quanto menor, melhor
- Quantidade: quanto menos, melhor
- Contraste (cor e relevo): quanto menor, melhor
- Localização: quanto mais escondido, melhor
- Natureza: quanto menos impactar na durabilidade, melhor

Diamante - Clarity (pureza)

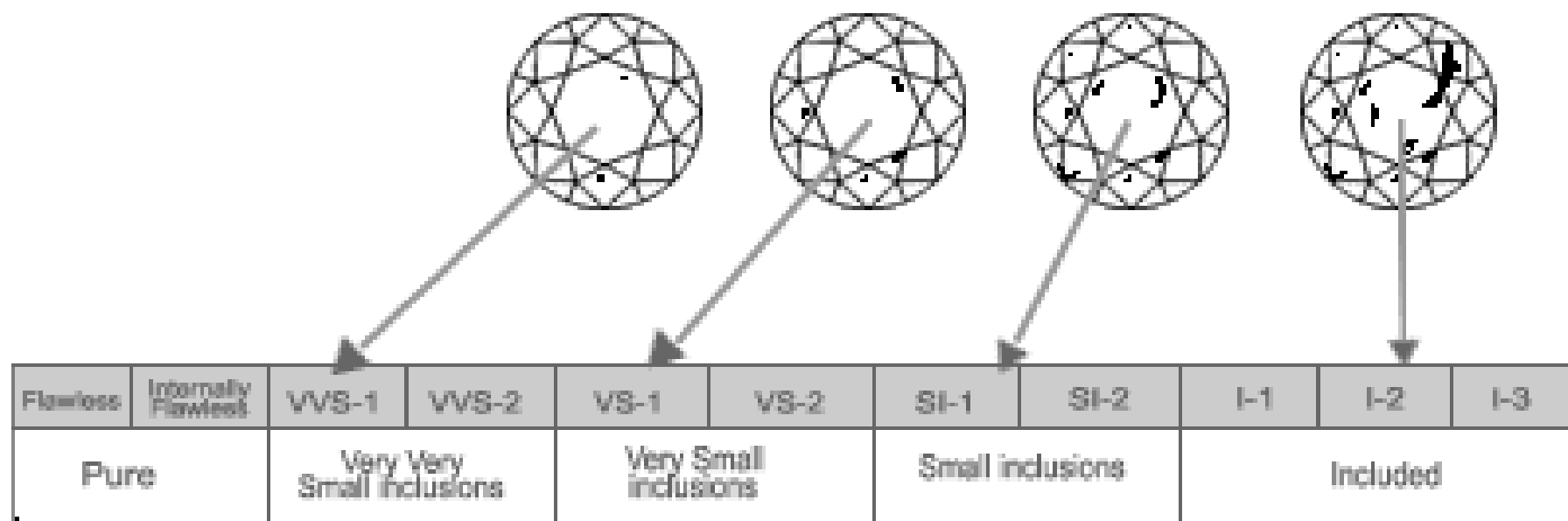


Image Copyright 1998 Harold Weinstein Ltd.

GIA Clarity Grading Scale

TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DE PUREZA DE DIAMANTE

GIA	CIBJO	ABNT / IBGM (BRASIL)
Flawless	Puro à lupa	Internamente e externamente puro
IF		Internamente livre de inclusões
VVS ₁ VVS ₂	VVS ₁ VVS ₂	Inclusão ou inclusões pequeníssimas, muito difíceis de serem visualizadas com a lupa de 10x
VS ₁ VS ₂	VS ₁ VS ₂	Inclusões muito pequenas, difíceis de serem visualizadas com a lupa de 10x
SI ₁ SI ₂	SI ₁ SI ₂	Inclusões pequenas, fáceis de serem visualizadas com a lupa de 10x
I ₁	P ₁	Inclusões evidentes com a lupa de 10x
I ₂	P ₂	Uma inclusão grande ou inúmeras inclusões menores, fáceis de serem visualizadas a olho nu
I ₃	P ₃	Uma inclusão grande ou inúmeras inclusões menores, muito fáceis de serem visualizadas a olho nu

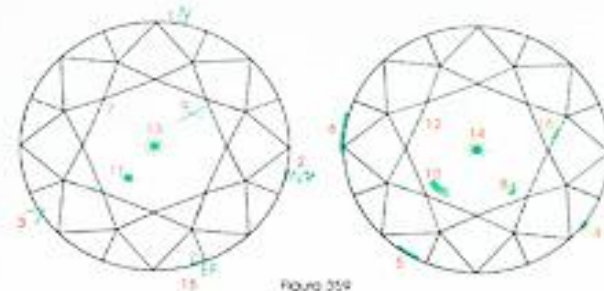
Simbologia utilizada na descrição

SIMBOLOGIA INTERNACIONAL UTILIZADA PARA REPRESENTAR AS IMPERFEIÇÕES DO DIAMANTE

A - CARACTERÍSTICAS EXTERNAS

Todos os símbolos são desenhados com tinta verde.

Figura 357

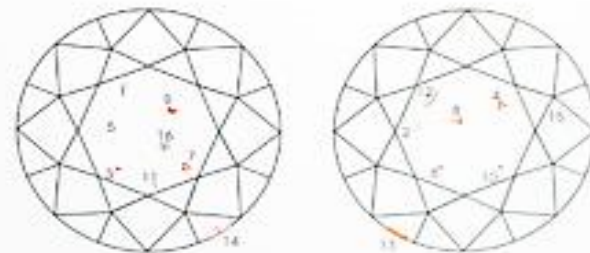


- | | |
|--|---------------------------|
| 1 - Natural (ou natural) | 9 - Risco ou ranhura |
| 2 - Natural com trigonos | 10 - Linhas de polimento |
| 3 - Inclusão ou entalhe na cintura | 11 - Marcas de percussão |
| 4 - Pequeno pedaço da cintura em bruto | 12 - Linha de crescimento |
| 5 - Franjas da cintura | 13 - Cúlata em bruto |
| 6 - Cintura em bruto | 14 - Cúlata danificada |
| 7 - Grupo de buracos | 15 - Faceta extra |
| 8 - Buraco ou cavidade | 16 - Aresta danificada |

B - CARACTERÍSTICAS INTERNAS

Todos os símbolos são desenhados com tinta vermelha (exceção símbolo de perfuração a laser = círculo verde e ponto vermelho).

Figura 358



- | | |
|---|--|
| 1 - Pequeno ponto (ponto de afiação) | 10 - Inclusão escura cercada por nuvem |
| 2 - Grupo de pequenos pontos | 11 - Pequena clivagem |
| 3 - Ponto escuro | 12 - Clivagem grande |
| 4 - Grupo de pontos escuros | 13 - Franjas ou baba da cintura |
| 5 - Nuvem de finíssimos pontinhos | 14 - Clivagem na cintura cercada por nuvem |
| 6 - Cristal incolor | 15 - Linha de crescimento ou geminação |
| 7 - Grupo de cristais incolores | 16 - Perfuração a laser |
| 8 - Cristal com clivagem ao redor (cristal incolor) | |
| 9 - Inclusão escura | |

Características internas para classificação do Clarity

- Inclusões cristalinas: grãos de tamanho diminuto (pontos), isolados ou em grupo (nuvens), ou maiores (incolores, coloridos a opacos)
- Planos de fratura ou clivagem ("penas"), halos de tensão
- Linhas de crescimento/geminação internas
- Canais de perfuração a "laser"
- Características externas, especialmente danos devidos ao uso, que se prolonguem para o interior da pedra

P₁

Half-moon shaped cleavage under the table



Cleavage under the table

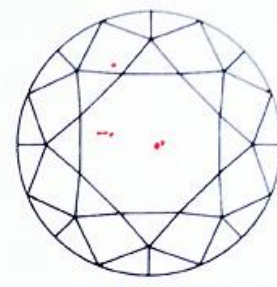


Crystal inclusion and fissure under the table



Horseshoe-shaped curved light fissure and small crystal under the table

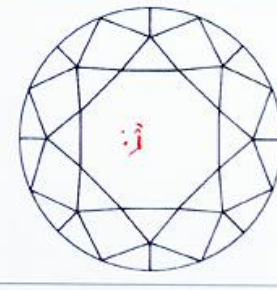
VS



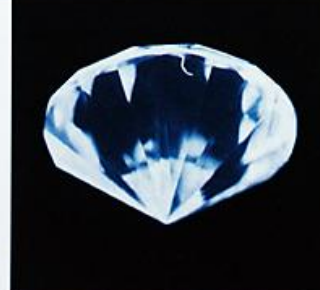
Several very small light inclusions in the crown



A light cleavage in a pavilion main facet



Several light inclusions under the table



Small nick below the girdle

Graus de pureza em gemas de cor (IBGM/DNPM)

GRAU DE PUREZA	DESCRIÇÃO DO GRAU DE PUREZA
SI	Sem inclusões e sem imperfeições externas quando examinada sob a luz difusa, com lupa 10 x.
IL	Inclusões leves ou muito pequenas quando examinada com lupa 10 x. Pequenas imperfeições externas. A categoria IL é descrita como muito próxima da categoria anterior, SI.
IM	Inclusões moderadas que podem ser vistas facilmente com lupa 10 x e com pouca dificuldade a olho nu. Pequenas imperfeições externas. Nesta categoria, as inclusões ou imperfeições não podem afetar a mesa da gema.
IA	Inclusões acentuadas, facilmente vistas a olho nu. Imperfeições externas também são facilmente encontradas.
IE	Inclusões excessivas. Esta categoria envolve todas as gemas que apresentam muitas inclusões e imperfeições externas, afetando seriamente a beleza, a transparência e a durabilidade do material. As gemas desta categoria são quase sempre translúcidas ou opacas.

Os graus de pureza dos grupos I, II e III para gemas coloridas (IBGM/DNPM)

VARIAÇÃO DOS GRAUS DE PUREZA DOS GRUPOS I, II E III					
Grupo/Pureza	SI	IL	IM	IA	IE
Grupo I					
Grupo II					
Grupo III					

Uma gema do Grupo I só receberá nota 10 no quesito pureza caso não apresente inclusões sob 10x. Já uma gema do grupo III poderá receber a nota máxima mesmo apresentando pequenas inclusões visíveis sob 10x.

Gemas do grupos I – SEM inclusões

- Água marinha
- Turmalina verde
- Topázio



Topázio imperial



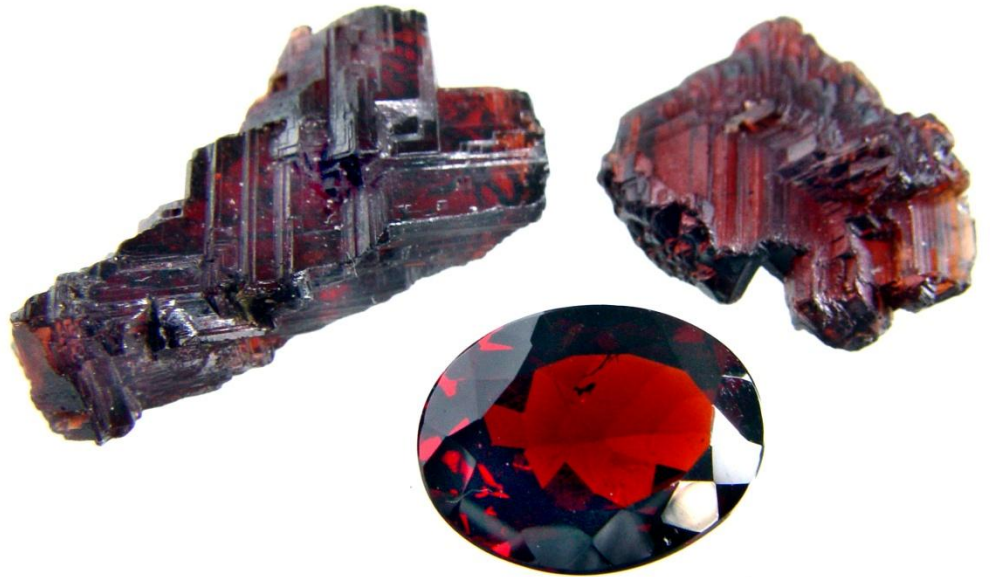
Água marinha



Turmalina verde

Gemas do grupos II – pequenas inclusões

- Safira
- Rubi
- Granadas
- Alexandrita



Gemas do grupos II

Diferentes graus de pureza
(granada espessartita)



Oval: não são vistas inclusões a olho nu (IL)

Gota: inclusões óbvias a olho nu (IA)

Triangular: inclusões em excesso prejudicando a transparência (IE)

Gemas do grupos III – raramente puras

- Esmeralda
- Rubelita



Esmeralda

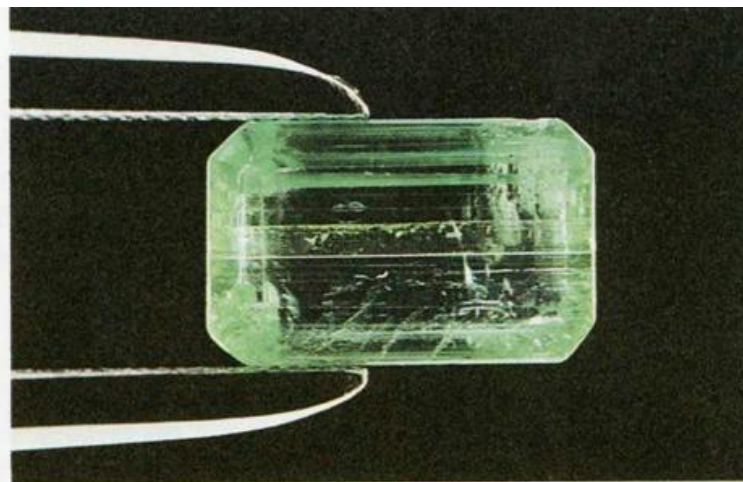


Gemas do grupos III

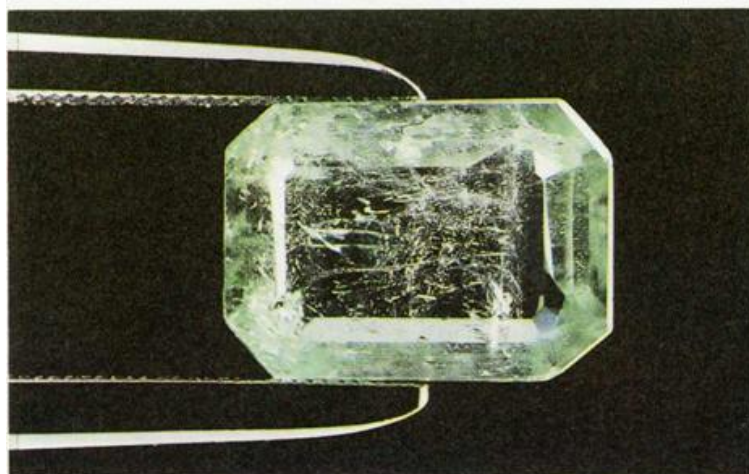
Diferentes graus de pureza em esmeraldas



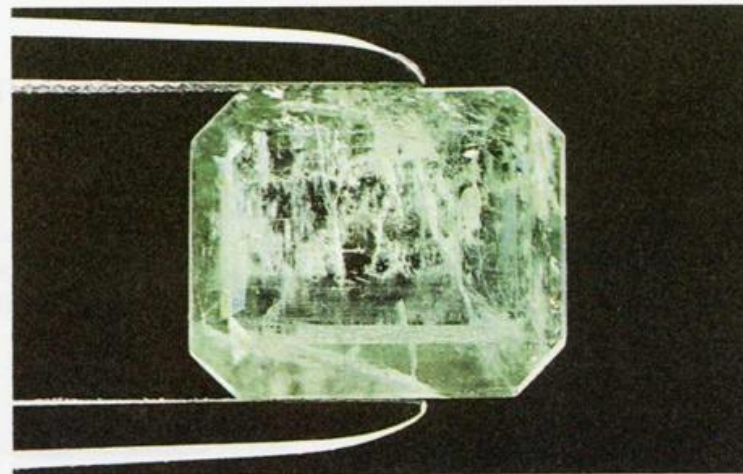
Emerald (Type III) VVS



Emerald (Type III) VS



Emerald (Type III) SI1



Emerald (Type III) I1

Graduação de pureza no GIA

PLOTTING SYMBOLS

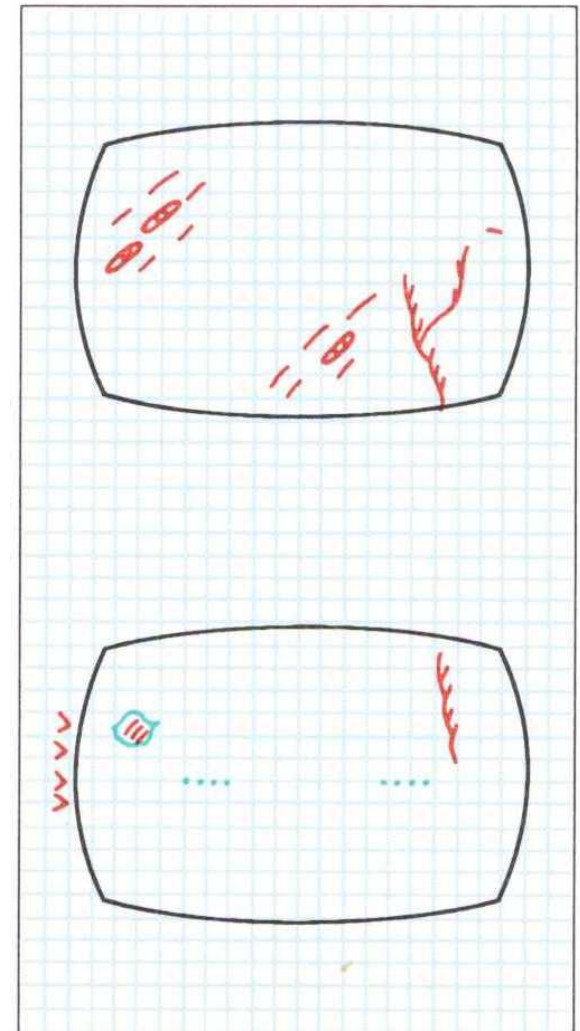
INCLUSIONS

- Cavity (Cv) 
- Chip (Ch) 
- Cloud (Cld) 
- Dendrite (Dnd) 
- Feather (Ftr) 
- Fingerprint (Fpt) 
- Growth Zoning (Gth) 
- Included Crystal (Xtl) 
- Liquid Inclusion (Liq) 
- Needle (Ndl) 

- Percussion Mark or Bruise (PM) 
- Pinpoint (Pp) 

BLEMISHES

- Abrasions (Abr) 
- Natural (N) 
- Nick (Nk) 
- Pit (Pit) 
- Polish Lines (PL) 
- Rough Girdle (RG) - not plotted
- Scratch (S) 



Key to Symbols  FTR,  NDL,
 LIQ,  CH,  CV,  ABR

CLARITY

II
(Type)

noticeable inclusions
(Description)

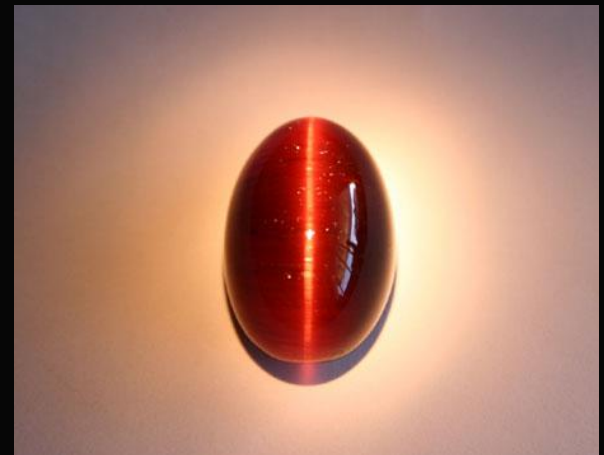
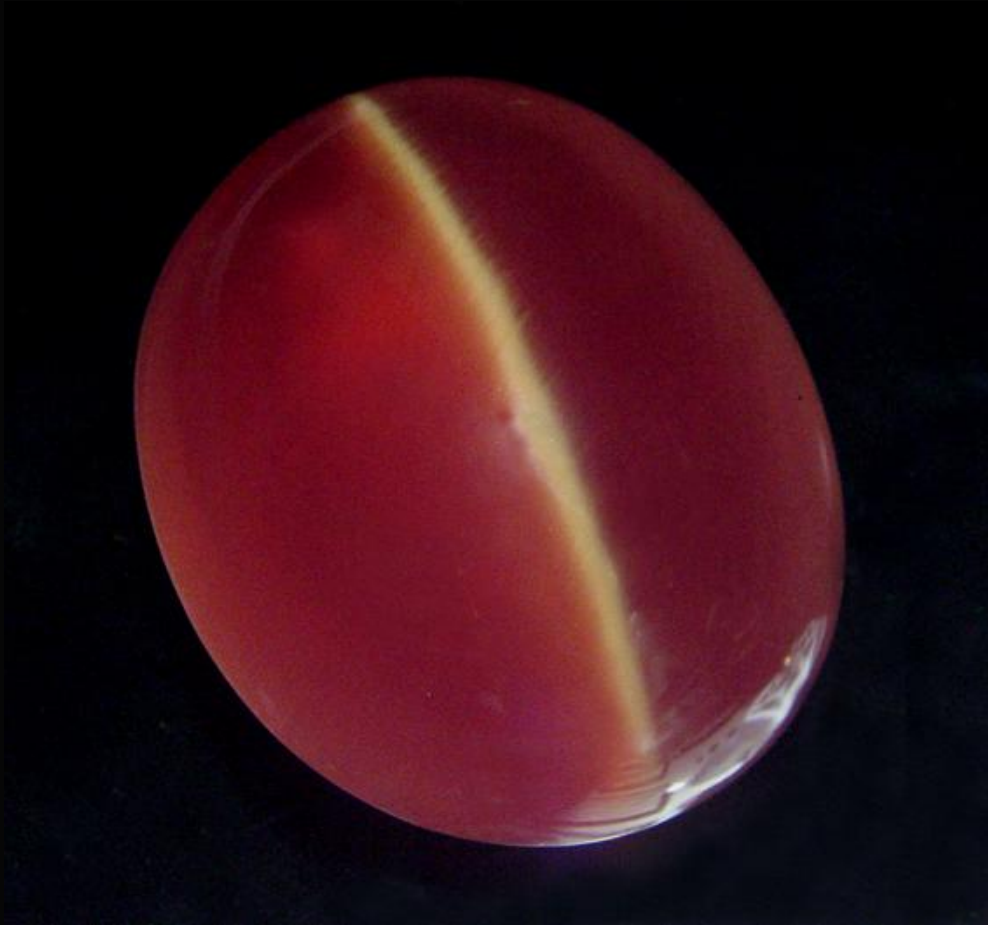
VS
Grade

Efeitos ópticos causados por inclusões

- Asterismo



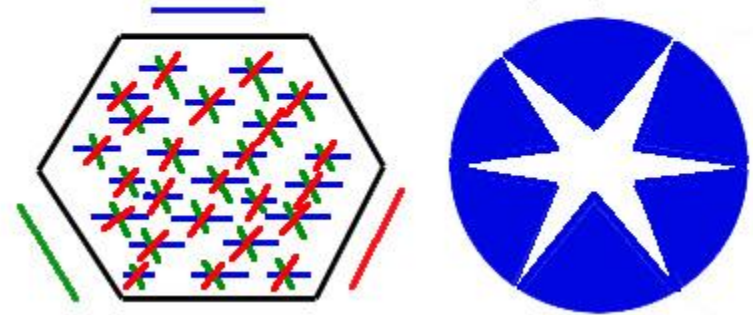
- Chatoyance



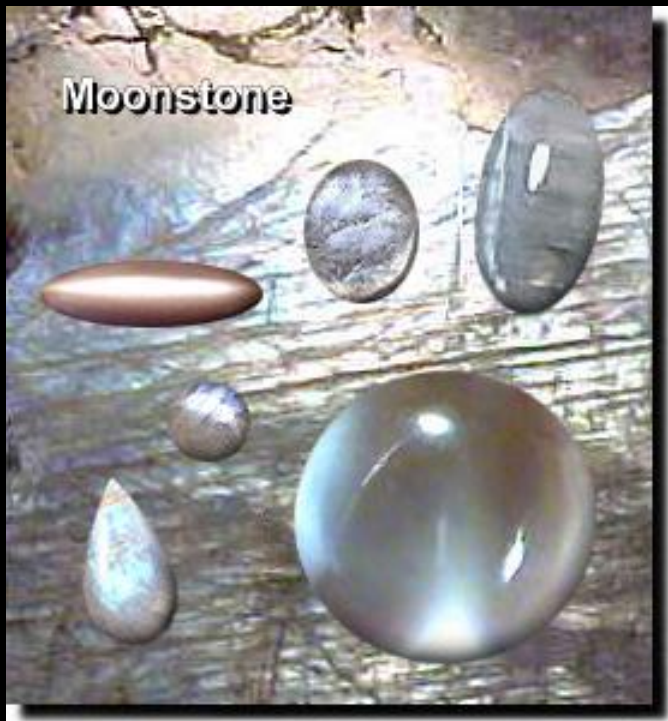


Olho-de-gato/tigre (chatoyance) e efeito estrela (asterismo): espalhamento da luz em inclusões orientadas dentro de um cristal

Star sapphires are due to the orientation of needles of rutile (TiO_2).



- Adularescência



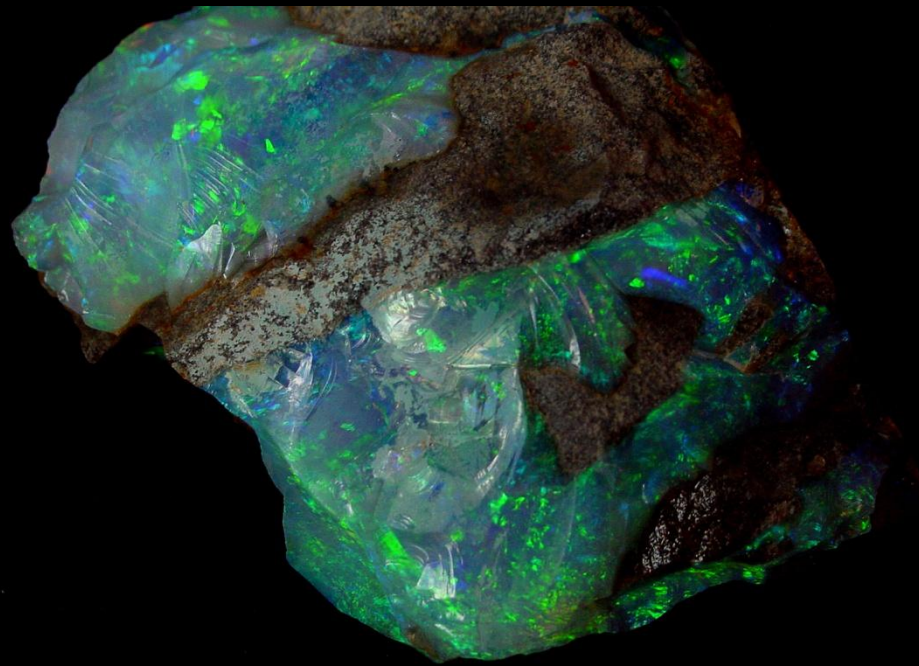
diminutas exsoluções de albita em feldspato potássico

- Aventurinização

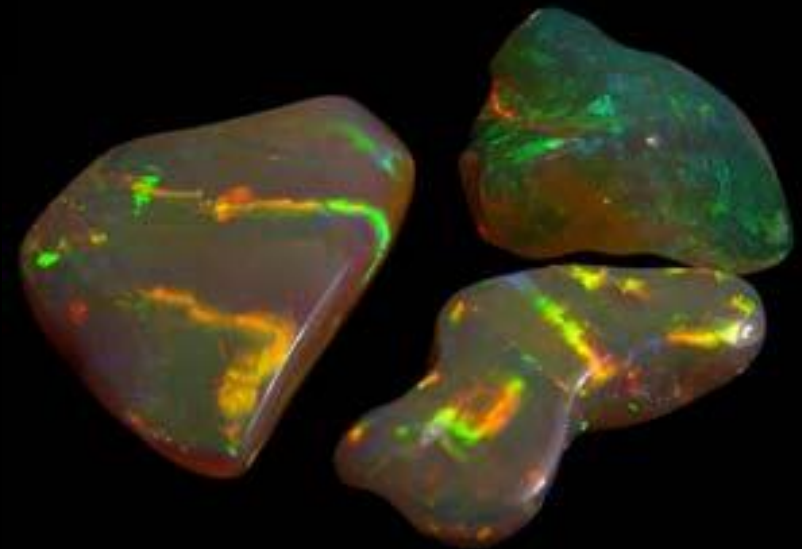


Pedra do sol e pedra da lua da Índia –
partículas de mica dourada em feldspato

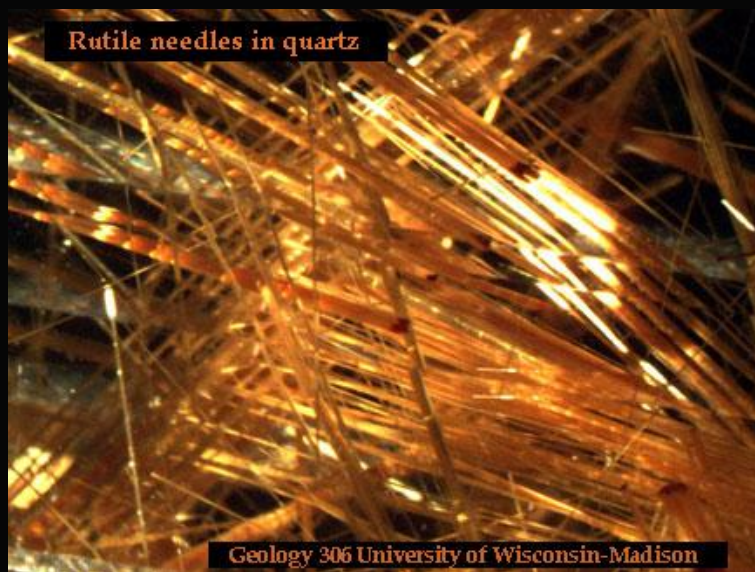




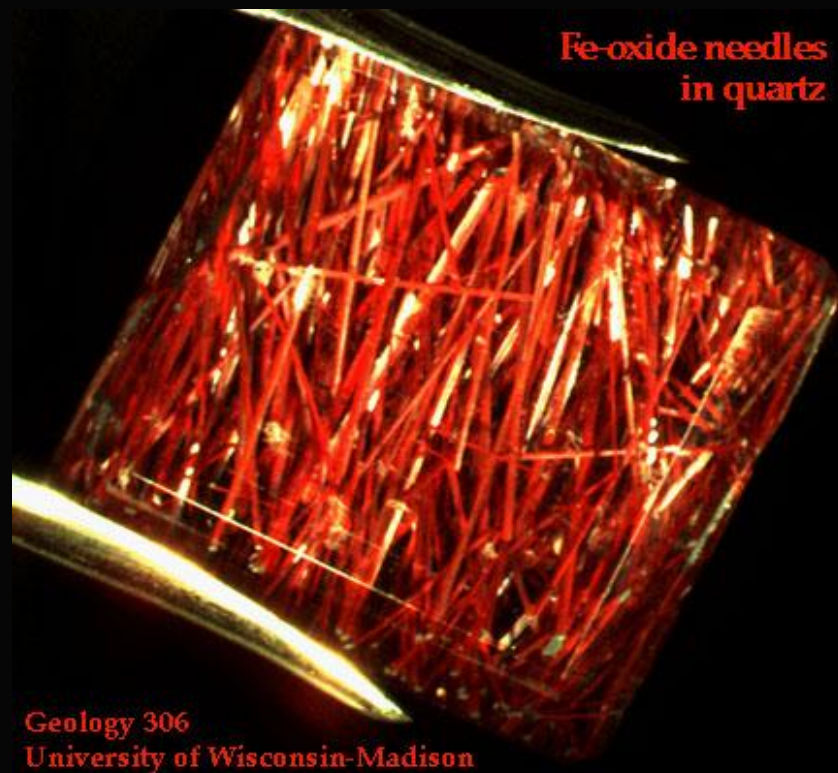
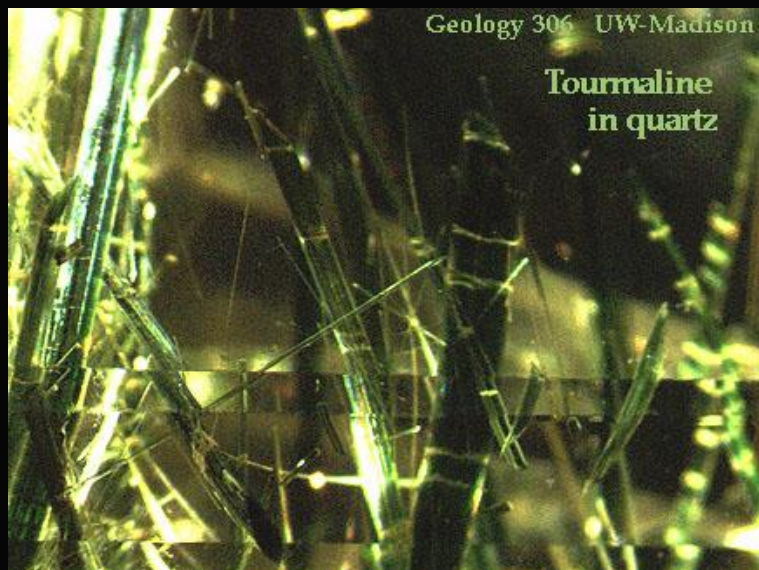
- Jogo de cores na opala



Esférulas vistas em MEV resultam no jogo de cor da opala nobre



Inclusões podem conferir cor a algumas gemas





Variedades de quartzo com inclusões cristalinas e fraturas preenchidas por óxidos



Para saber mais...

- **Schwarz D.**, Esmeraldas (Inclusões em Gemas). Ouro Preto, Imprensa Universitária, Universidade Federal de Ouro Preto, 1987
- **Gubelin E. & Koivula, J.**, Photoatlas of Inclusions in Gemstones. Opinio Publishers, Basel, Switzerland. Hardbound, 672 p. 1986
- **Svisero, D.P.**, 1978. Composição química, origem e significado geológico de inclusões minerais de diamantes do Brasil. Tese de Livre Docência, Instituto de Geociências USP.