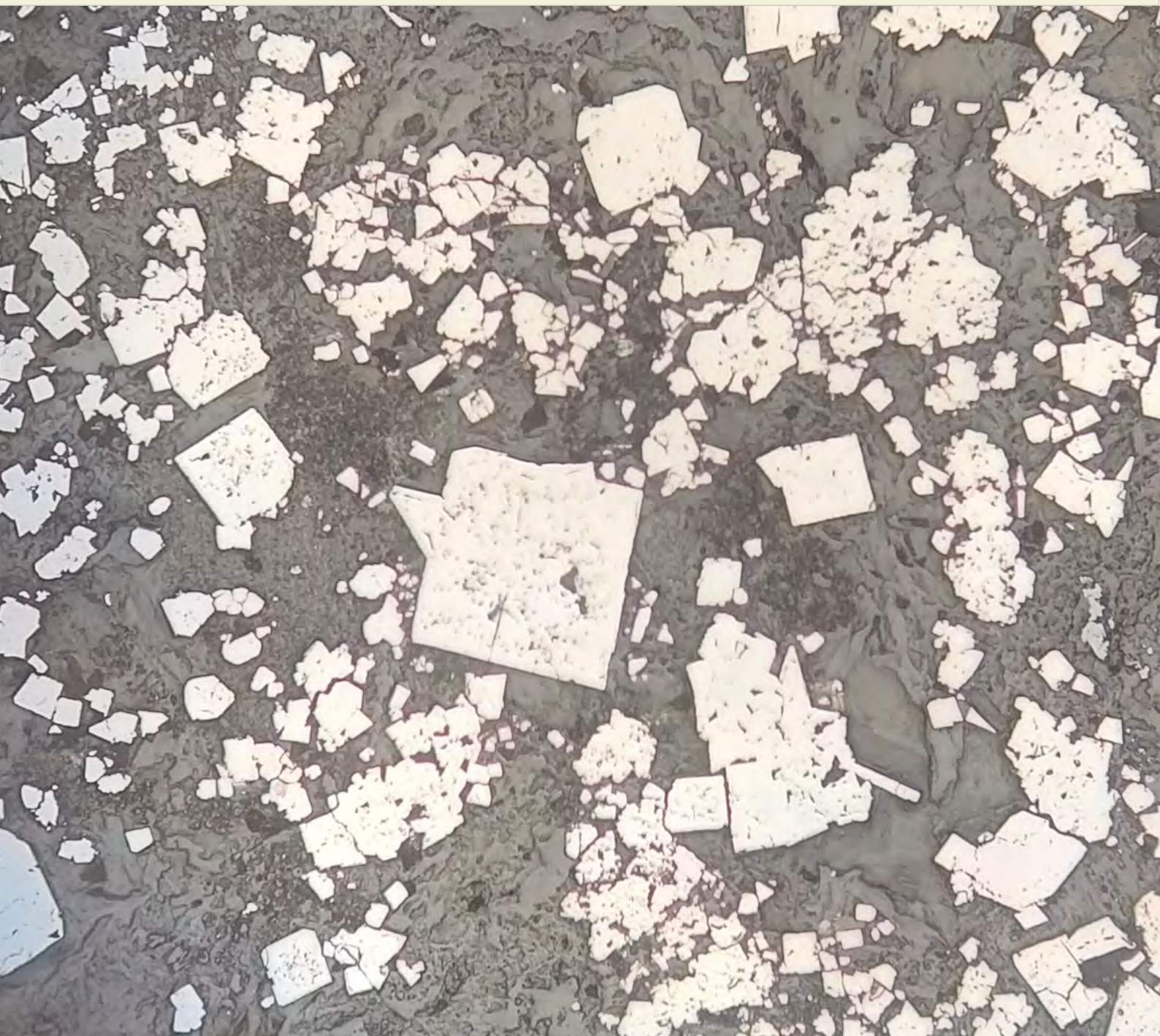


GUIA DE IDENTIFICAÇÃO DE MINERAIS DE MINÉRIO



HELENA PIVOTO PAIVA
MARCO AURELIO M. PEREIRA
CAROLINA PENTEADO N. MORETO

HELENA
PIVOTO
PAIVA

M A R C O
A U R E L I O
M. PEREIRA

CAROLINA
PENTEADO
N. MORETO

GUIA DE IDENTIFICAÇÃO DE MINERAIS DE MINÉRIO



BCCL

BIBLIOTECA CENTRAL
CESAR LATTES



2024

Realização
Instituto de Geociências
Universidade Estadual de Campinas UNICAMP

Apoio
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)
Processo número 121712/2023-0

Autores
Helena Pivoto Paiva
Marco Aurelio M. Pereira
Carolina Penteado N. Moreto

Diagramação, capa, ilustração, arte final e projeto gráfico
Helena Pivoto Paiva

Dados da Catalogação Internacional na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UNICAMP

P166g Paiva, Helena Pivoto, 1994-
Guia de identificação de minerais de minério [recurso eletrônico]: /
Helena Pivoto Paiva, Marco Aurelio M. Pereira, Carolina Penteado N.
Moreto. – Campinas, SP: UNICAMP/BCCL, 2024.
1 recurso online; il.

Modo de acesso: WWW
Publicação digital (e-book) no formato PDF. [380.000 MB]
ISBN 978-65-88816-71-4

1. Mineralogia – Classificação. 2. Mineralogia – Manuais, guias, etc.
3. Minérios. 4. Microscopia. I. Pereira, Marco Aurelio M., 1997-.
II. Moreto, Carolina Penteado Natividade, 1985-. III. Título.

24-026 CDD – 549

Bibliotecário: Gildenir Carolino Santos – CRB-8ª/5447

Publicação digital – Brasil
1ª edição – agosto de 2024
ISBN 978-65-88816-71-4



Atribuição - Não Comercial - Compartilha Igual CC BY-NC-SA

Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho para fins não comerciais, desde que atribuam a você o devido crédito e que licenciem as novas criações sob termos idênticos.

Sumário

<i>Prefácio</i>	6
<i>Propriedades</i>	8
<i>Minerais de Minério</i>	10
Sulfetos de Ferro	10
Pirita	10
Pirrotita	15
Sulfetos de Cobre	20
Bornita	20
Calcocita	24
Calcopirita	28
Covelita	33
Sulfetos de Níquel	36
Millerita	36
Pentlandita	39
Outros Sulfetos	42
Arsenopirita	42
Cobaltita	45
Esfalerita	50
Galena	53
Molibdenita	56
Óxidos de Ferro	59
Hematita	59
Magnetita	64
<i>Tabela Resumo</i>	67
<i>Referências</i>	69

Prefácio

A caracterização de minerais de minérios pode ser realizada por meio da petrografia, com destaque para a microscopia de luz refletida, em função da opacidade que apresentam na microscopia de luz transmitida.

Contudo, a microscopia de minerais metálicos é menos difundida e não está incorporada em disciplinas obrigatórias da grade curricular da maioria dos cursos de Geologia no Brasil. Tem-se publicações internacionais que abordam o tema “microscopia de minerais de minério” de forma robusta e extensa, o que pormenoriza os principais minerais metálicos (Pracejus, 2015; Castroviejo, 2023). Adicionalmente, tem-se as publicações nacionais, que dão enfoque nos processos de formação dos depósitos (Figueiredo, 2014), gerando uma lacuna que aborde essencialmente o reconhecimento dos principais minerais metálicos por meio da ferramenta de microscopia.

Sendo assim, este guia de identificação de alguns minerais de minério de relevância econômica foi desenvolvido. Seu objetivo principal é a difusão de conhecimento em mineralogia de minérios com ênfase a alunos de graduação em Geologia, além de interessados em estudos na área de metalogênese, de forma didática, acessível e simplificada, tendo como ferramenta básica a petrografia de luz refletida.

O guia foi dividido em três seções principais. A primeira trata de definir e sintetizar as propriedades dos minerais de natureza óptica, estrutural e/ou morfológica. Propriedades essas que serão descritas em formato de tabela para cada mineral de minério na seção seguinte. A segunda traz uma abordagem detalhada de cada mineral escolhido, os quais pertencem à Classe dos sulfetos, e óxidos de ferro comumente encontrados em depósitos metálicos brasileiros. Os sulfetos estão separados em três diferentes grupos de acordo com o elemento químico predominante ou de interesse, ou seja, sulfetos de cobre, sulfetos de ferro e outros sulfetos. Este último grupo contempla sulfetos de diferentes elementos químicos como arsênio, cobalto, zinco, chumbo e molibdênio. Nesta segunda seção, além da síntese de características de cada mineral, tem-se fotomicrografias didáticas em luz refletida plana (*plane polarized light* - PPL) e em luz refletida cruzada (*cross polarized light* - XPL) evidenciando propriedades diagnósticas, diferentes hábitos e feições características de cada mineral. Ademais, para cada fotomicrografia é possível saber a qual província mineral a amostra pertence. Por fim, a terceira seção resume as propriedades de todos os minerais descritos a fim de facilitar a consulta e comparação entre eles.

Ademais, para que esse projeto se concretizasse foi de suma relevância a possibilidade de publicar este guia na Biblioteca Digital da UNICAMP (BDU) em parceria com a editora Biblioteca Central Cesar Lattes (BCCL). Por fim, agradeço a oportunidade de desenvolver este guia através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) custeado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo número 121712/2023-0.

Propriedades

Nesta seção são descritas as propriedades contidas na ficha de descrição de cada mineral. Essas propriedades podem ser de natureza óptica, estrutural e/ou morfológica.

Composição química: ao definir o termo “mineral” entende-se que o mesmo tem “uma composição química homogênea e definida (mas não necessariamente fixa)” (KLEIN, 2012), o que demonstra que podem haver variações em sua composição, contudo pode ser representado por uma fórmula química específica. Nesse sentido, para o estudo petrográfico, isso se traduz na aparência óptica do mineral já que expressa características físico-químicas específicas.

Polimorfismo: minerais são ditos polimorfos quando possuem mesma fórmula química, mas estruturas cristalinas diferentes entre si.

Sistema cristalino: os minerais são resultantes de um arranjo atômico de elementos químicos, o que configura sua estrutura cristalina. A partir da simetria apresentada por essas estruturas, pode-se agrupar os minerais em grupos pontuais. Contudo, aspectos comuns entre esses grupos permite que seja feito uma nova classificação mais abrangente, agora em sete sistemas cristalográficos, isto é, sistema triclinico, trigonal, monoclinico, ortorrômbico, tetragonal, hexagonal, cúbico/isométrico. Além disso, esses sistemas se baseiam nos comprimentos relativos dos eixos cristalográficos e nos ângulos entre eles.

Cor de reflexão: é a cor exibida pelo mineral em luz refletida a nicóis descruzados. É uma característica muito útil, porém podem haver divergências nas descrições devido ao treinamento ocular do petrógrafo, ao nível de luminosidade e ao microscópio empregado. Bem como, a cor também pode ser afetada por alterações superficiais ou oxidação espontânea da superfície polida. Outro ponto importante é a interação óptica do mineral analisado com seu entorno, ou seja, dependendo dos minerais nas adjacências a percepção de sua cor pode variar, por isso é necessário estar atento às possíveis associações minerais e ao sistema químico presente.

Pleocroísmo: quando uma amostra polida é analisada em luz refletida com nicóis descruzados e exibe mudança de cor com o giro da platina, o mineral em questão apresenta pleocroísmo, o que demonstra sua capacidade em absorver/refletir luz de diferentes comprimentos de onda. Além disso, o mineral pode ser dicróico, ou seja, é uniaxial, ou tricróico, sendo biaxial. Adicionalmente, vale lembrar que minerais do sistema cúbico ou seções basais de minerais do sistema hexagonal ou tetragonal não exibem pleocroísmo.

Anisotropia: ao analisar, em luz refletida e a nicóis cruzados, minerais do sistema cúbico ou seções basais de minerais do sistema hexagonal ou tetragonal nota-se que permanecem sempre extintos (escuros) em qualquer posição da platina, ou seja, são minerais isotrópicos. Por outro lado, minerais que não ficam extintos, nessas condições, são ditos anisotrópicos e variam de cor de anisotropia com o giro da platina. Neste caso, é necessário que seja analisada a intensidade e a variação de cores da anisotropia. Além disso, alguns minerais isotrópicos como pirita ou galena podem, ocasionalmente, apresentar anisotropia anômala devido a uma composição química não estequiométrica.

Reflexão interna: minerais semitransparentes ou translúcidos não refletem toda a luz incidente, isso faz com que parte da luz penetre no cristal e seja refletida de dentro dele como manchas difusas, ou seja, ocasiona as reflexões internas devido às falhas, microfissuras e clivagem no cristal ou devido ao limite entre cristais minerais adjacentes (borda dos cristais). Para analisar as reflexões internas, que podem não estar presentes em todos os cristais do mesmo mineral da superfície polida, é necessária uma luminosidade intensa com nicóis cruzados e preferencialmente cristais maiores. Além disso, a abundância, a cor e a intensidade das reflexões internas são propriedades diagnósticas valiosas, contudo, podem se modificar com a variabilidade composicional do mineral analisado.

Hábito: o hábito está relacionado ao desenvolvimento preferencial de faces específicas durante o crescimento de um cristal, o que leva a formatos de cristais típicos para cada mineral. O cristal bem formado com faces desenvolvidas trata-se de um cristal euédrico enquanto cristais disformes são anédricos.

Macla/geminação: ocorre quando dois ou mais cristais intercrescem ordenada e simetricamente, sendo esse intercrescimento controlado pela estrutura cristalina. Também, as maclas podem ser resultantes de deformação das rochas. Três tipos principais de geminação podem ser vistos em minerais opacos: crescimento, inversão de fases e deformação.

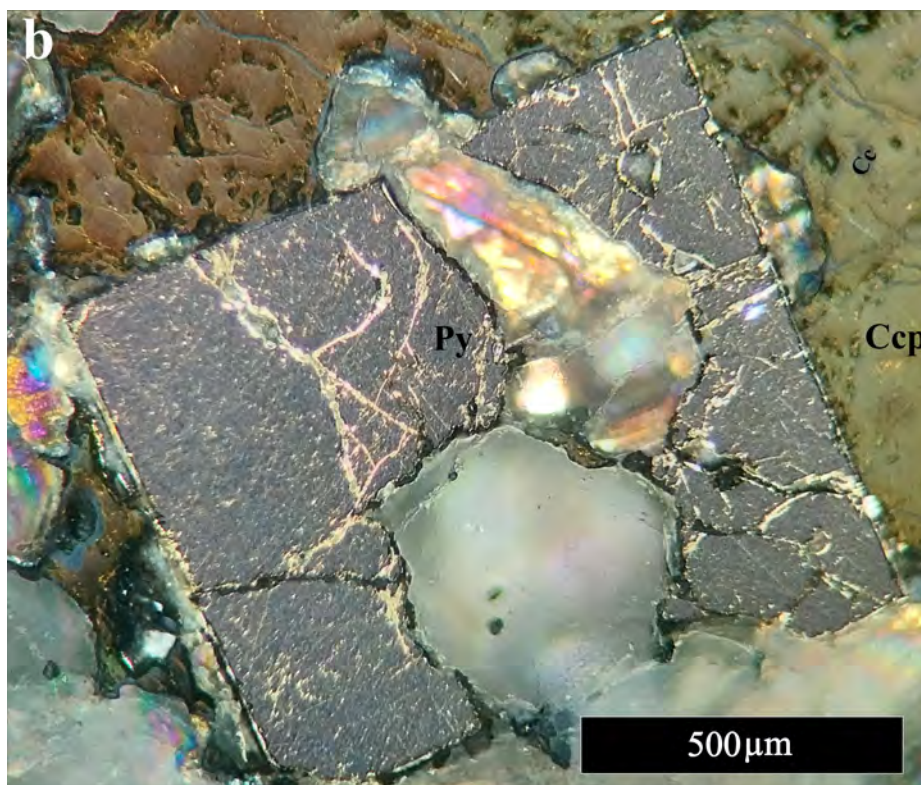
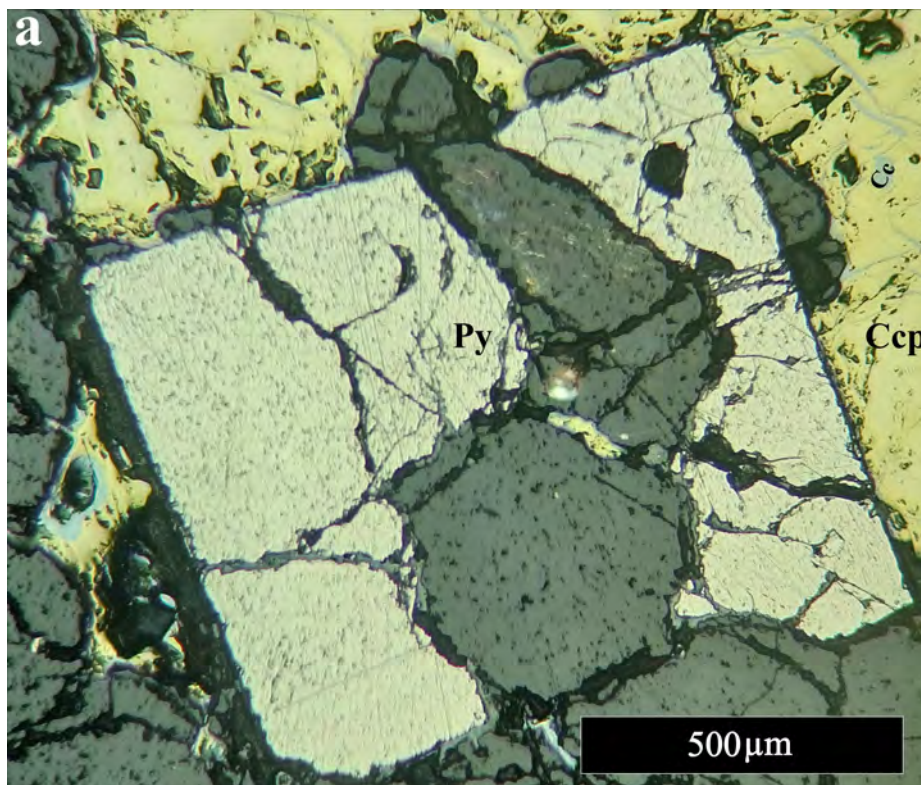
Dureza: a dureza pode ser analisada de três principais formas, sendo duas delas qualitativas. A primeira é relativa ao polimento, ou seja, minerais mais duros são mais resistentes ao polimento enquanto os mais macios são menos resistentes. Isto evidencia uma diferença de relevo entre cristais adjacentes de durezas distintas. Essa diferença pode ser notada através da “linha de Kalb”, isto é, um contorno luminoso que se forma na borda de contato dos cristais. Para definir a diferença de dureza relativa entre os cristais é necessário aumentar a distância entre a objetiva e a platina, assim a “linha de Kalb” se deslocará em direção ao mineral mais mole. Na sequência, a segunda analisa a natureza dos riscos gerados pelo polimento. Geralmente, riscos mais grossos e profundos estão presentes em minerais macios e tornam-se mais finos ou desaparecem em minerais mais duros. Em contrapartida, a análise quantitativa se baseia na escala de Mohs de dureza ao risco, universalmente empregada, que classifica o mineral em um intervalo de 1 a 10 em relação aos minerais de referência.

Clivagem: a clivagem reflete a configuração da rede cristalina de cada mineral e ocorre pois o mineral tem ligações mais fracas entre os átomos em certas direções específicas, isso faz com que apresente direções preferenciais de rompimento. Contudo, em superfície polida nem sempre é observável por conta do polimento.

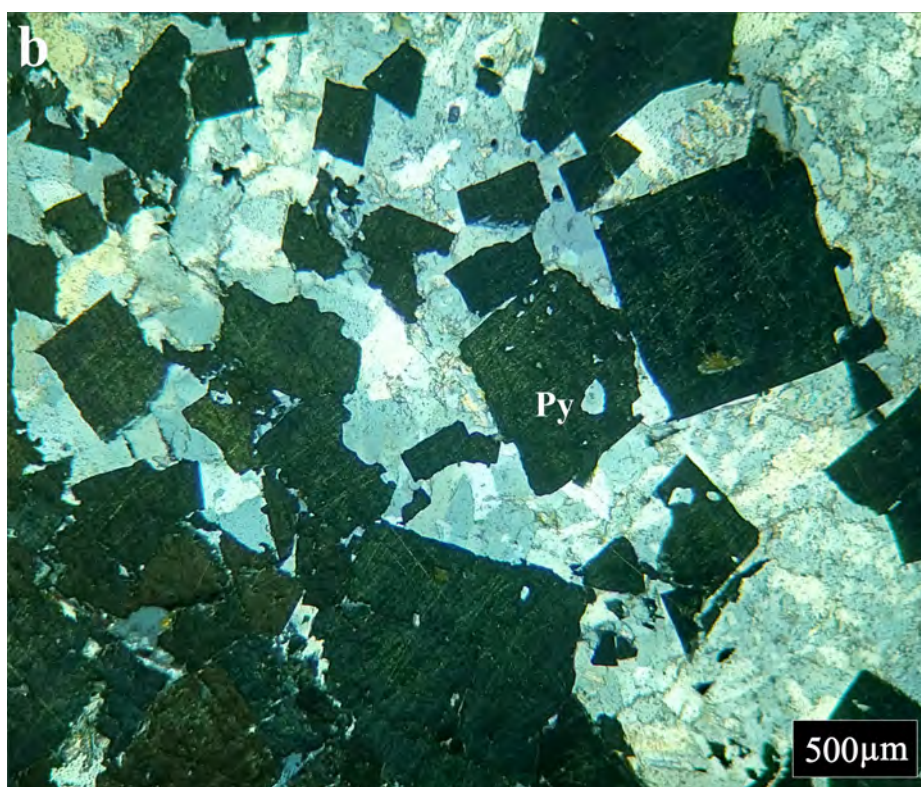
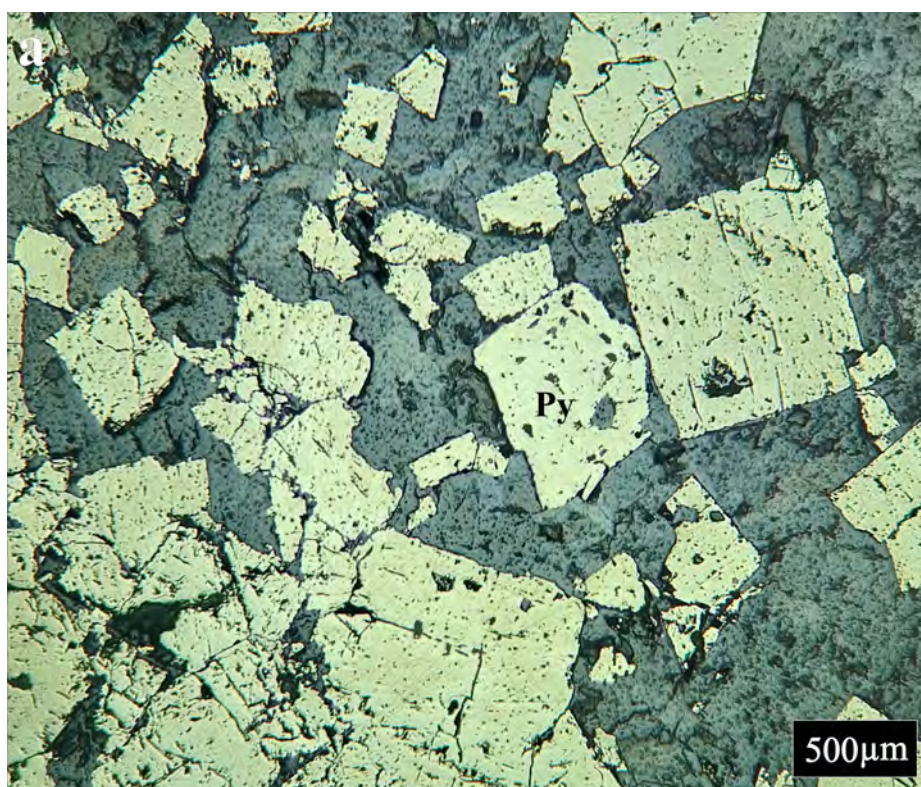
Fratura: minerais sob estresse físico que não se rompem ao longo de alguma das superfícies de clivagem produzem fissuras irregulares, ou seja, fraturas, as quais, muitas das vezes, são preenchidas com fases de alteração secundária.

Pirita - Py

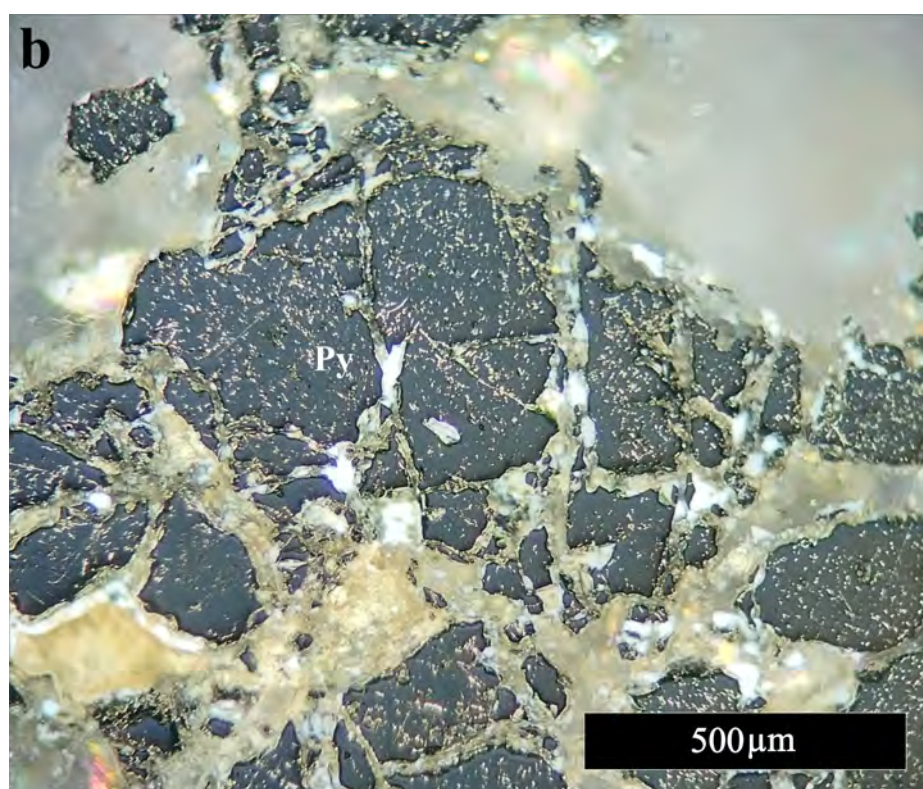
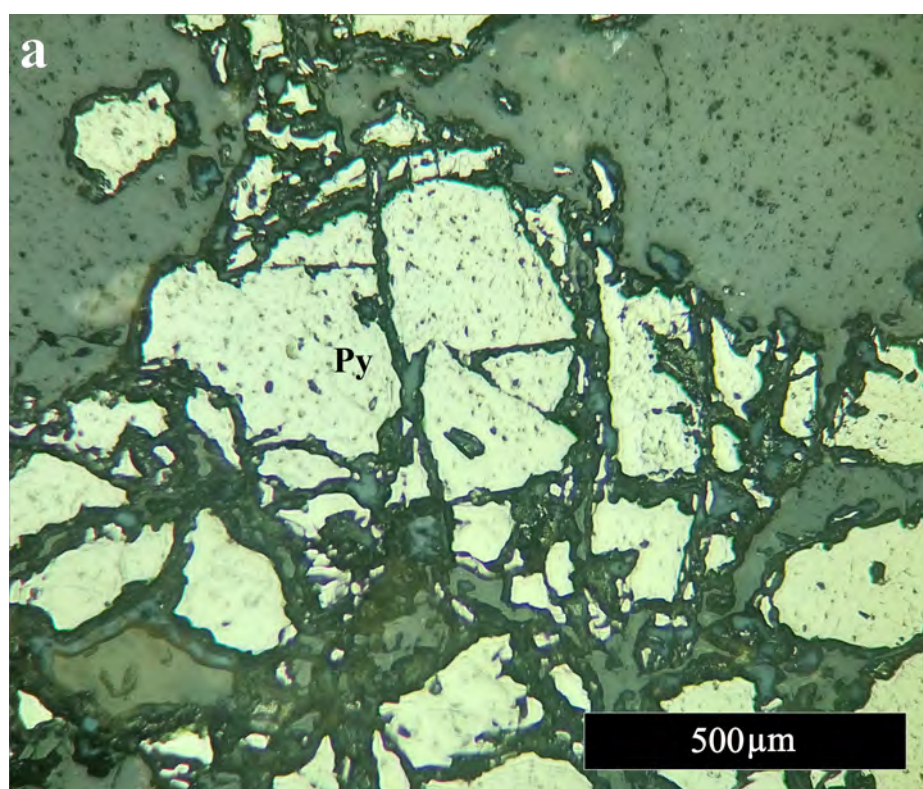
Fórmula Química:	FeS_2
Composição Química:	Fe - 46,55% S - 53,45%
Polimorfo com:	marcassita
Sistema Cristalino:	isométrico ou cúbico
Cor de Reflexão:	creme a branco
Pleocroísmo:	ausente
Anisotropia:	isotrópico. Pode apresentar anisotropia anômala em tons de violeta, marrom e azul-turquesa
Reflexão Interna:	não apresenta
Hábito:	maciço, granular, framboidal, acicular, reniforme, discoidal, globular, cúbico/piritoédrico (dodecaédrico pentagonal)/octaédrico estriado, drusa, estalactítico
Macla:	de contato e interpenetração
Dureza:	6,0 - 6,5
Clivagem:	ruim
Fratura:	conchoidal a irregular



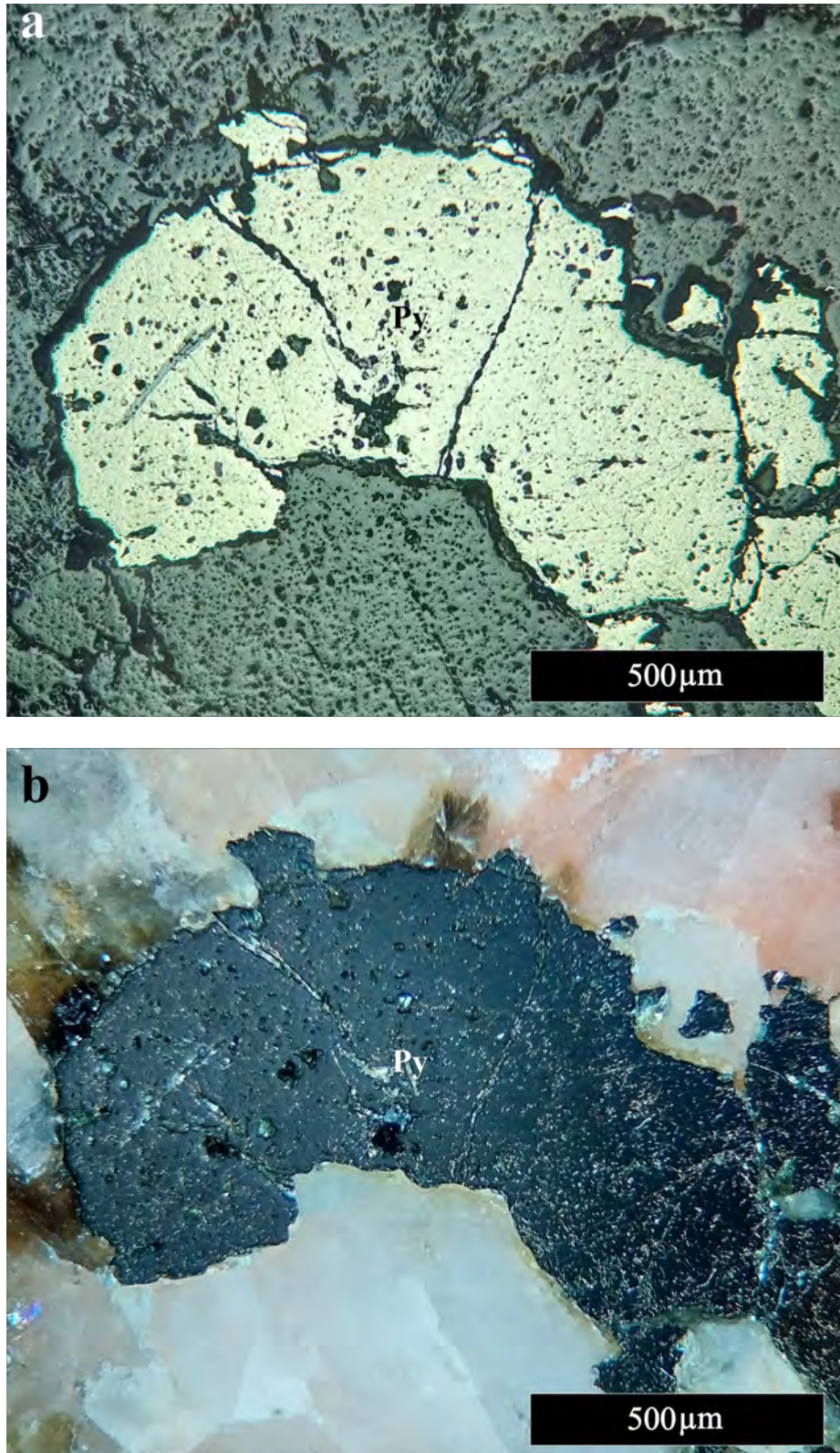
Fotomicrografia 1) Cristal cúbico de pirita (creme; PPL) em associação com calcopirita (amarelo; PPL). Depósito Paraíba - Província Mineral de Alta Floresta. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Ccp: calcopirita; Py: pirita.



Fotomicrografia 2) Aglomerado de cristais euédricos de pirita (creme, PPL). Isotropia característica (XPL). Província Mineral de Alta Floresta. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Py: pirita.



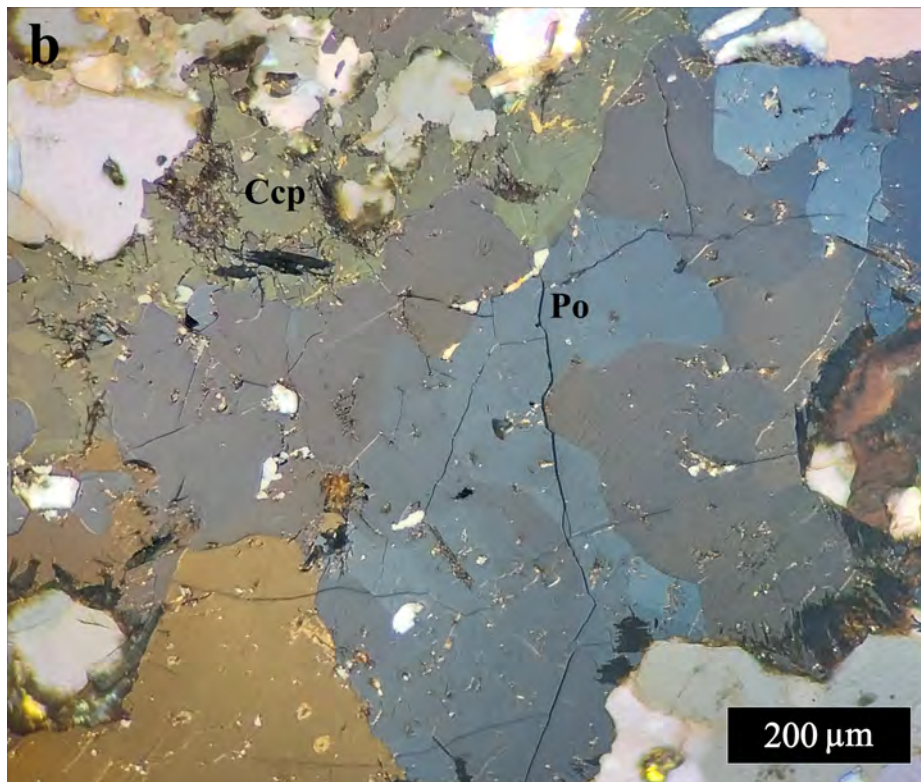
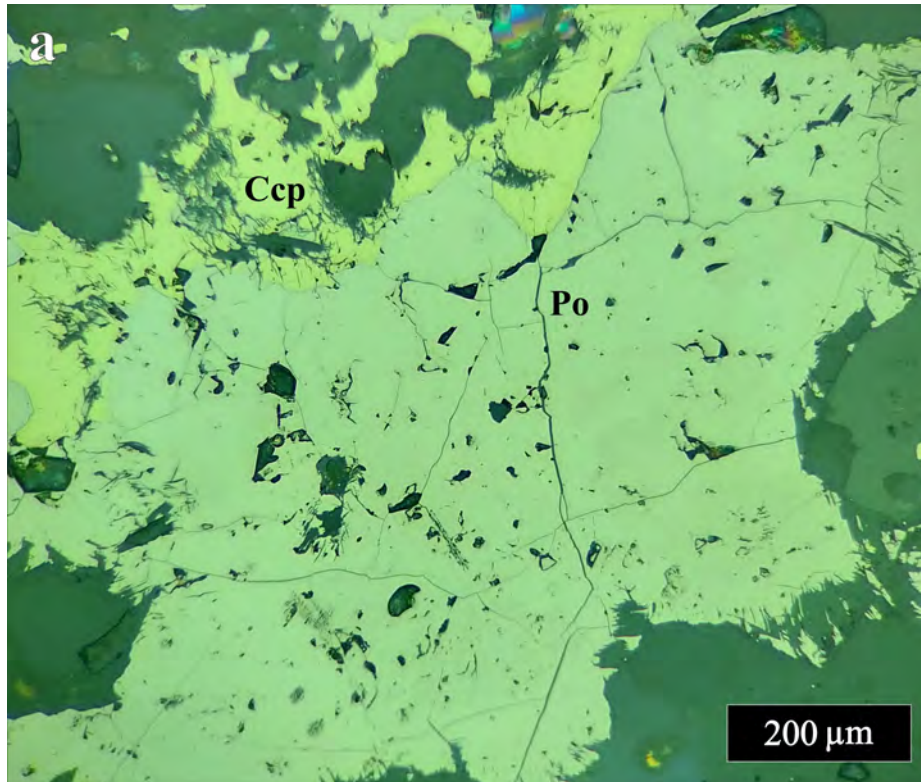
Fotomicrografia 3) Pirita subédrica com textura brechada (creme; PPL). Depósito Paraíba - Província Mineral de Alta Floresta. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Py: pirita.



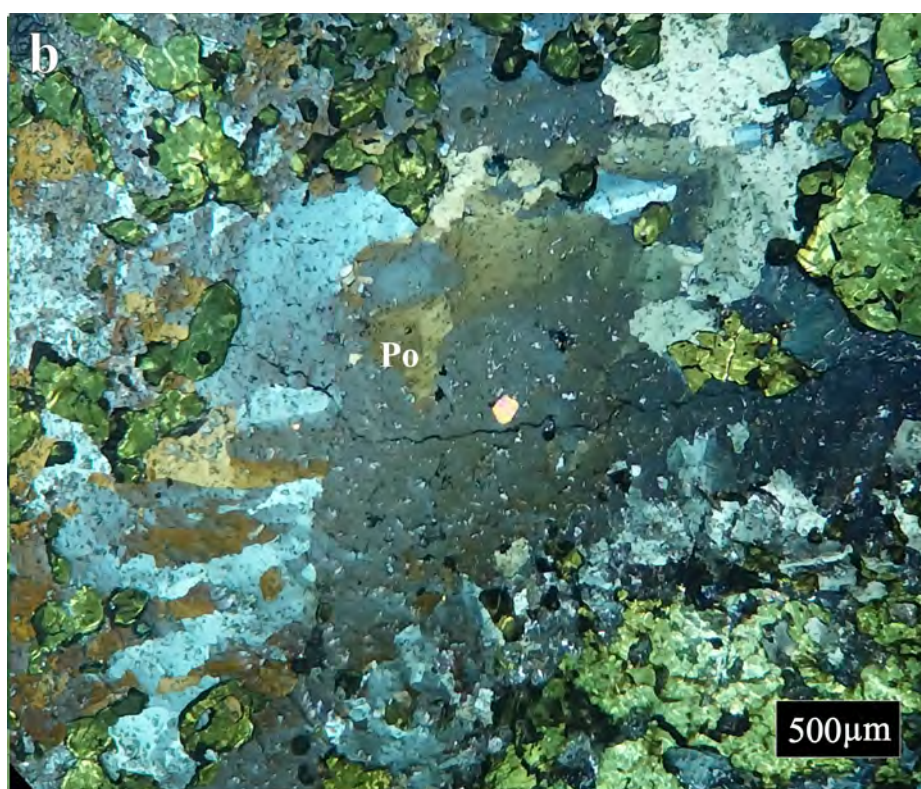
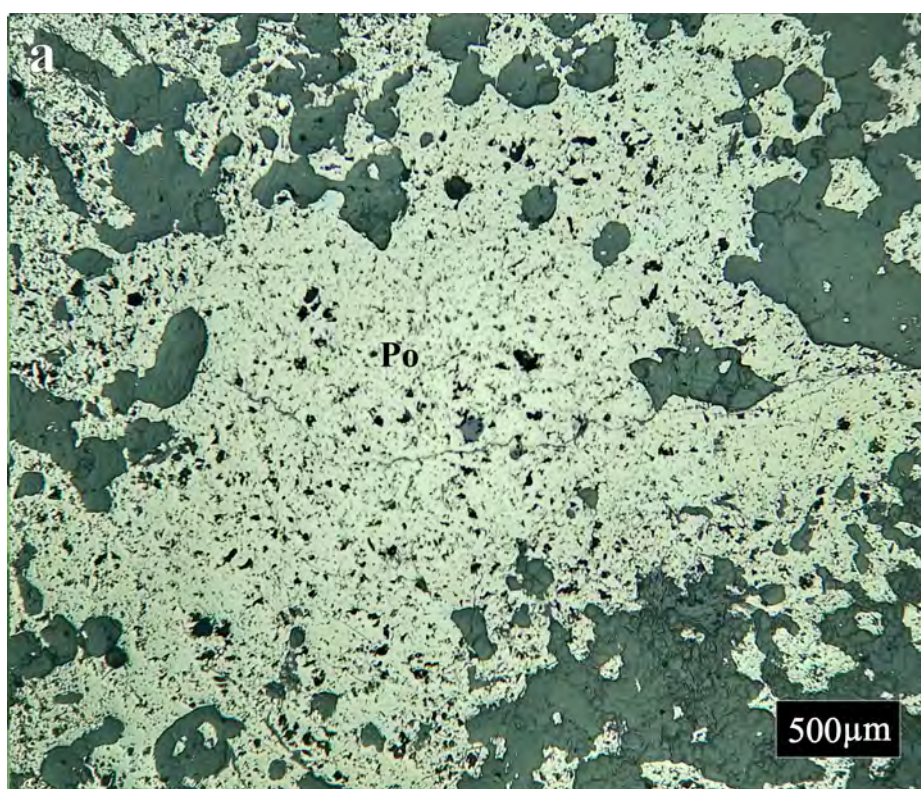
Fotomicrografia 4) Cristal de pirita (creme; PPL) com hábito reniforme e isotropia característica (XPL). Depósito Paraíba - Província Mineral de Alta Floresta. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Py: pirita.

Pirrotita - Po

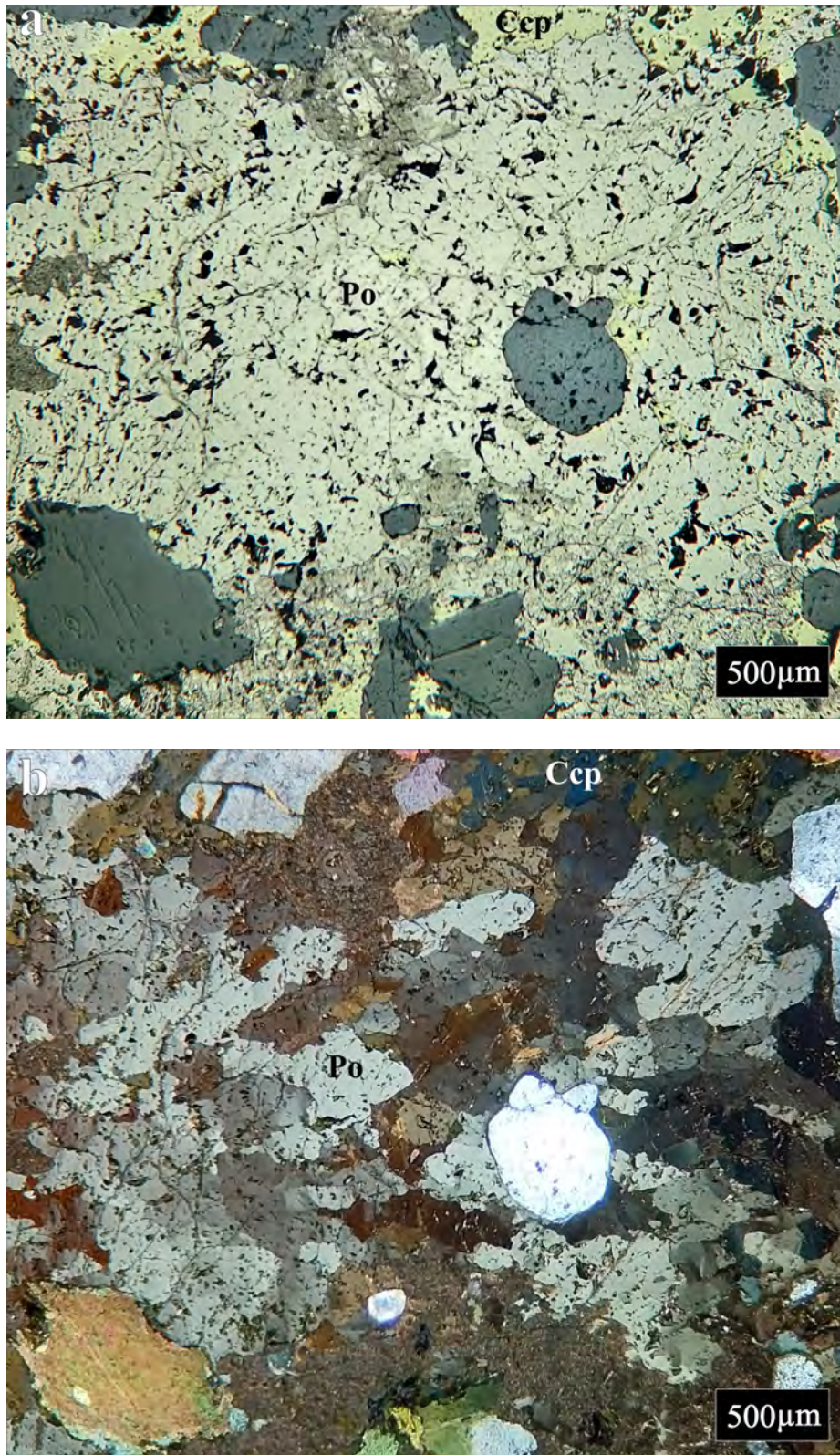
Fórmula Química:	$Fe_{(1-x)}S$ (x=0-0,17)
Composição Química:	Fe - 62,33% S - 37,67%
Polimorfo com:	-
Sistema Cristalino:	monoclínico e pseudo-hexagonal
Cor de Reflexão:	tons acastanhados
Pleocroísmo:	fraco a ausente
Anisotropia:	forte, variando de marrom escuro a cinza azulado
Reflexão Interna:	não apresenta
Hábito:	tabular, granular, maciço, lamelar, placoide
Macla:	-
Dureza:	3,5 - 4,0
Clivagem:	-
Fratura:	subconchoidal a irregular



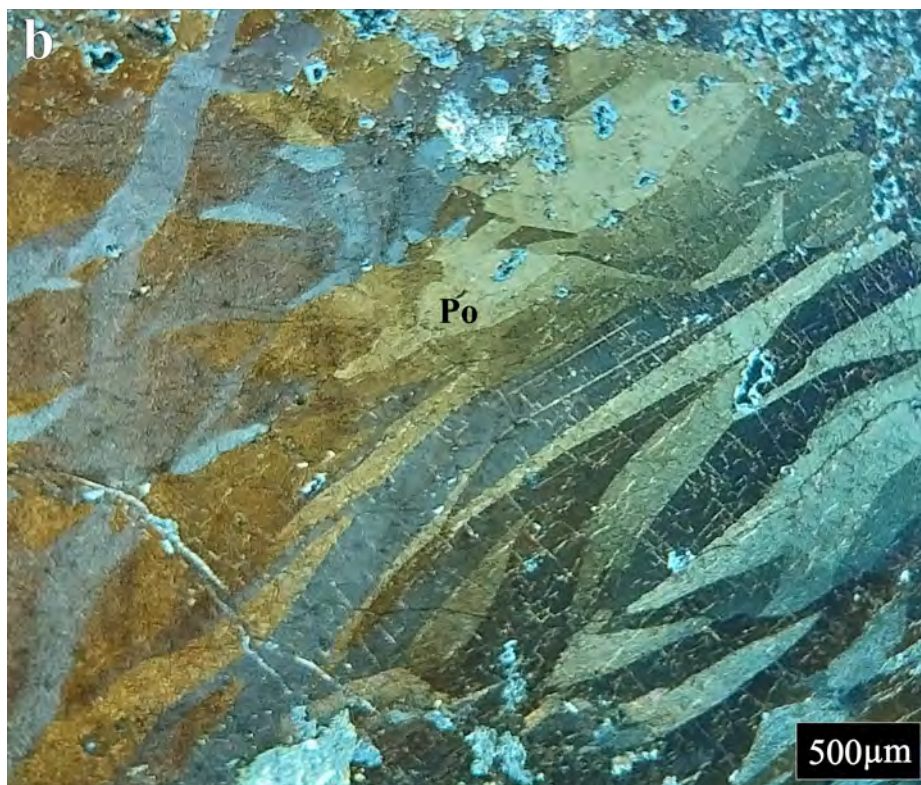
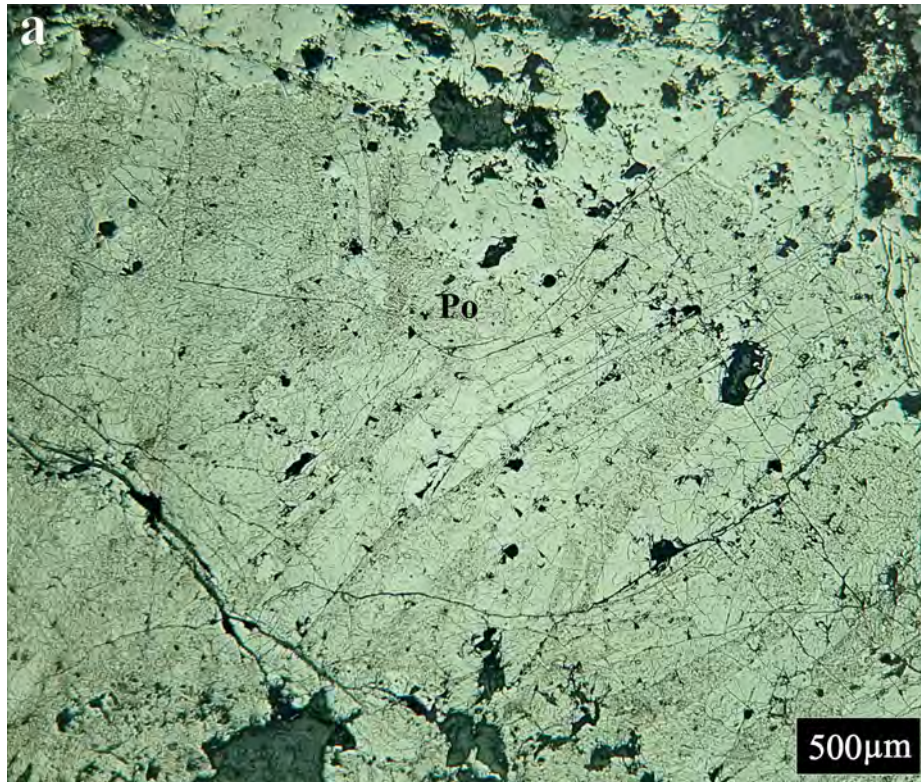
Fotomicrografia 5) Pirrotita tabular em contato com calcopirita (amarelo; PPL) no topo. Anisotropia forte em tons de marrom a cinza azulado (XPL). Depósito Pojuca - Província Mineral de Carajás. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Ccp: calcopirita; Po: pirrotita.



Fotomicrografia 6) Massa de pirrotita com anisotropia em tons azulados a acastanhados (XPL). Depósito Jaguar Norte - Província Mineral de Carajás. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Po: pirrotita.



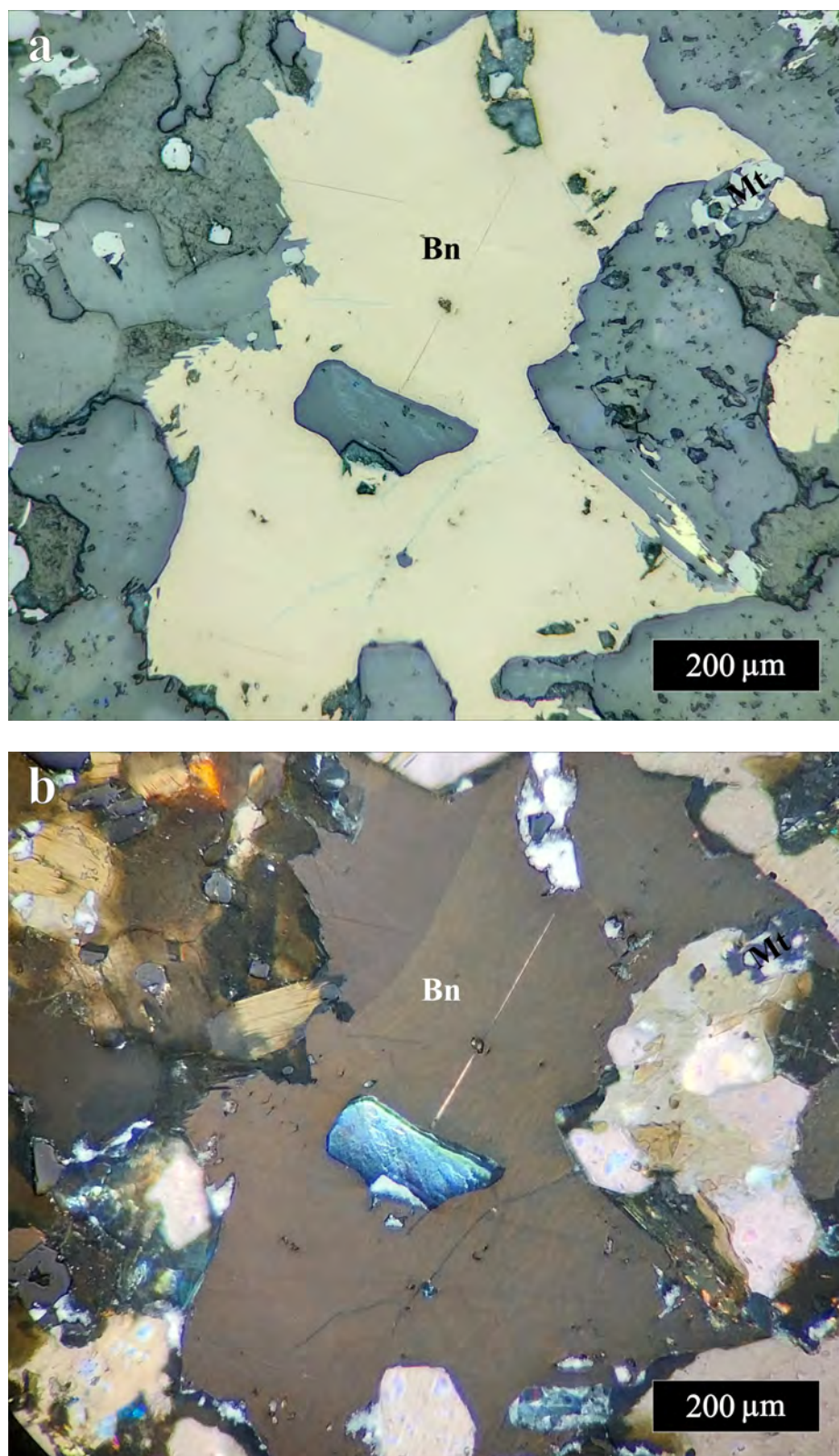
Fotomicrografia 7) Pirrotita com anisotropia forte em tons de marrom a cinza (XPL). Presença de calcopirita (amarelo; PPL) na porção superior da imagem. Mina Pedra Branca - Província Mineral de Carajás. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Ccp: calcopirita; Po: pirrotita.



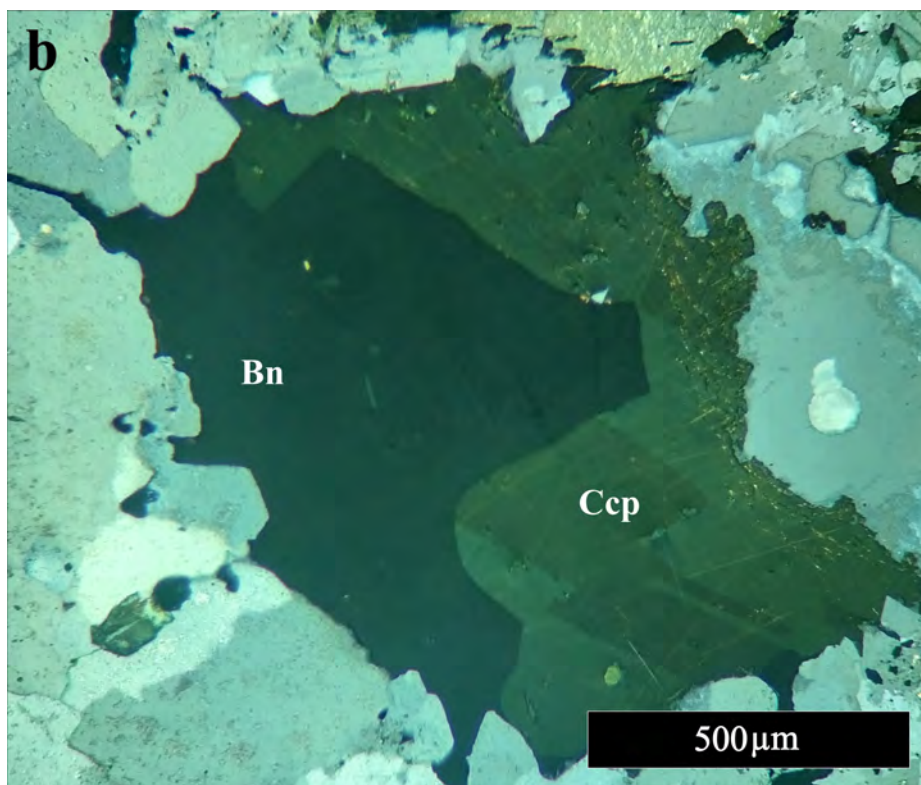
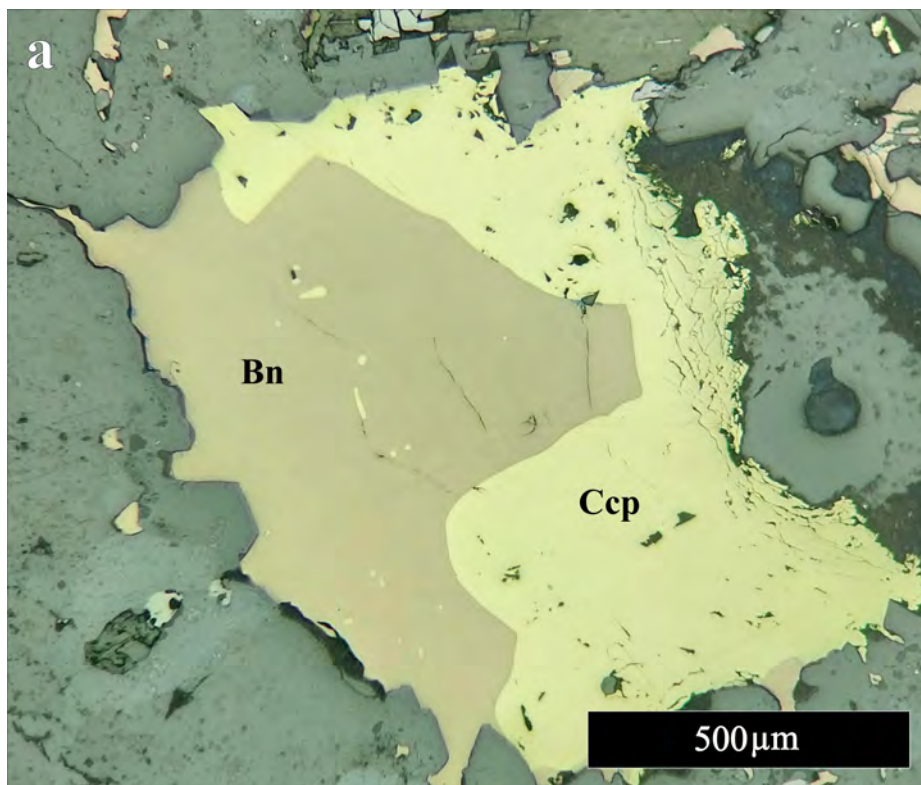
Fotomicrografia 8) Pirrotita com lamela de corrugação característica. Anisotropia forte em tons de marrom a cinza azulado (XPL). Depósito Tarzan - Província Mineral de Carajás. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Po: pirrotita.

Bornita - Bn

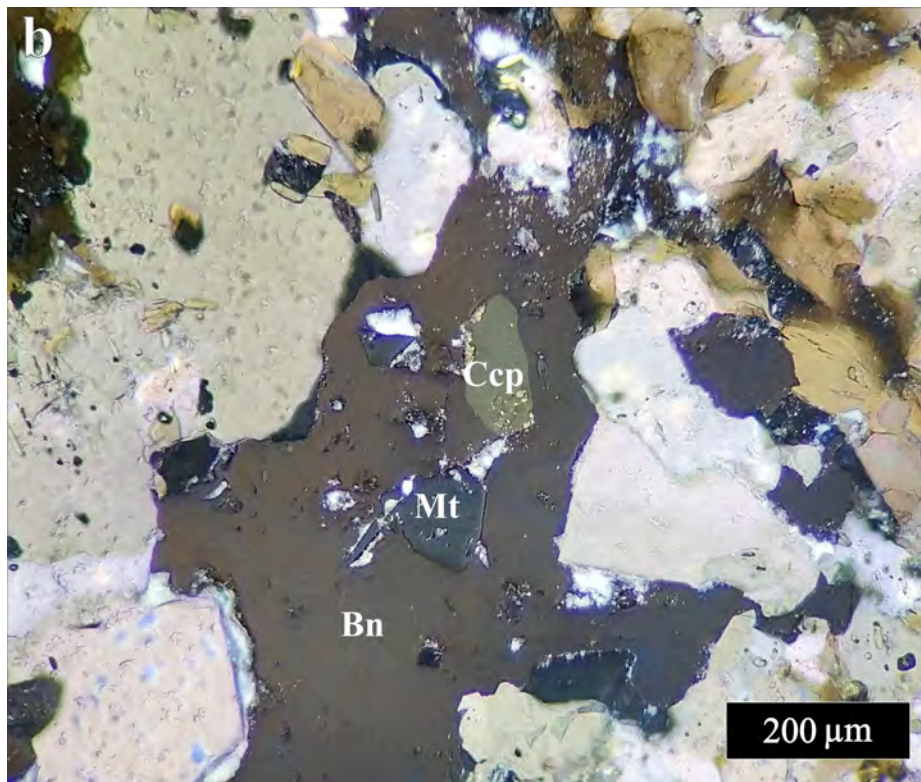
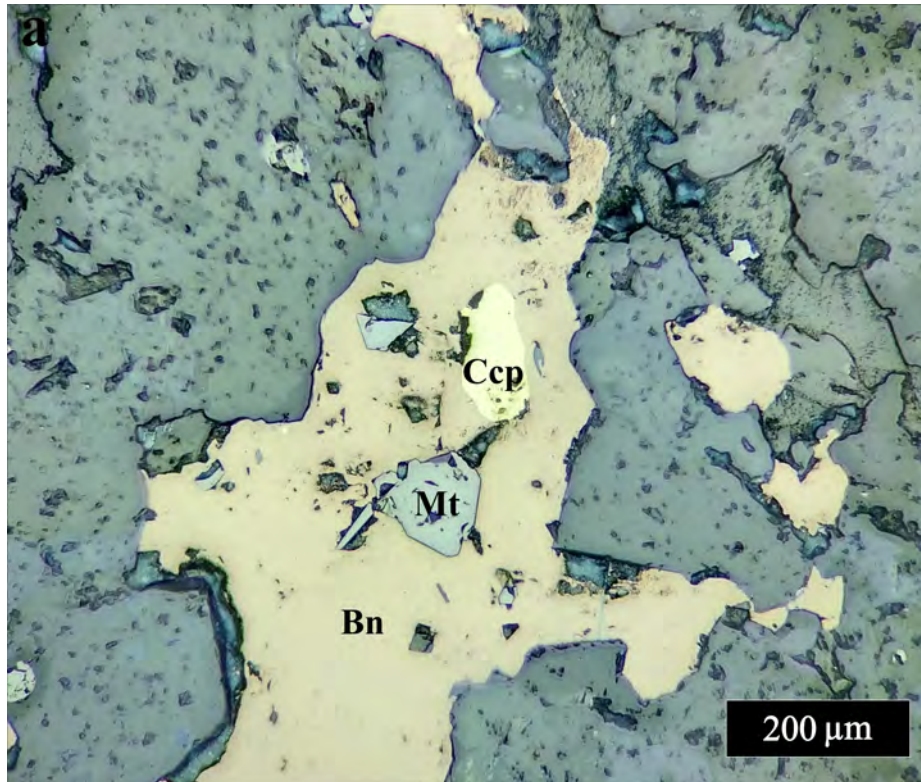
Fórmula Química:	Cu_5FeS_4
Composição Química:	Cu - 63,31% Fe - 11,13% S - 25,56%
Polimorfo com:	-
Sistema Cristalino:	ortorrômbico e pseudocúbico
Cor de Reflexão:	marrom rosado
Pleocroísmo:	fraco, às vezes perceptível
Anisotropia:	fraca a ausente
Reflexão Interna:	não apresenta
Hábito:	dodecaédrico, octaédrico, granular, maciço, reniforme
Macla:	de penetração
Dureza:	3,0
Clivagem:	ruim
Fratura:	conchoidal a irregular



Fotomicrografia 9) Bornita maciça (marrom rosado; PPL). Anisotropia fraca (XPL). Depósito Igarapé Cinzento - Província Mineral de Carajás. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Bn: bornita; Mt: magnetita.



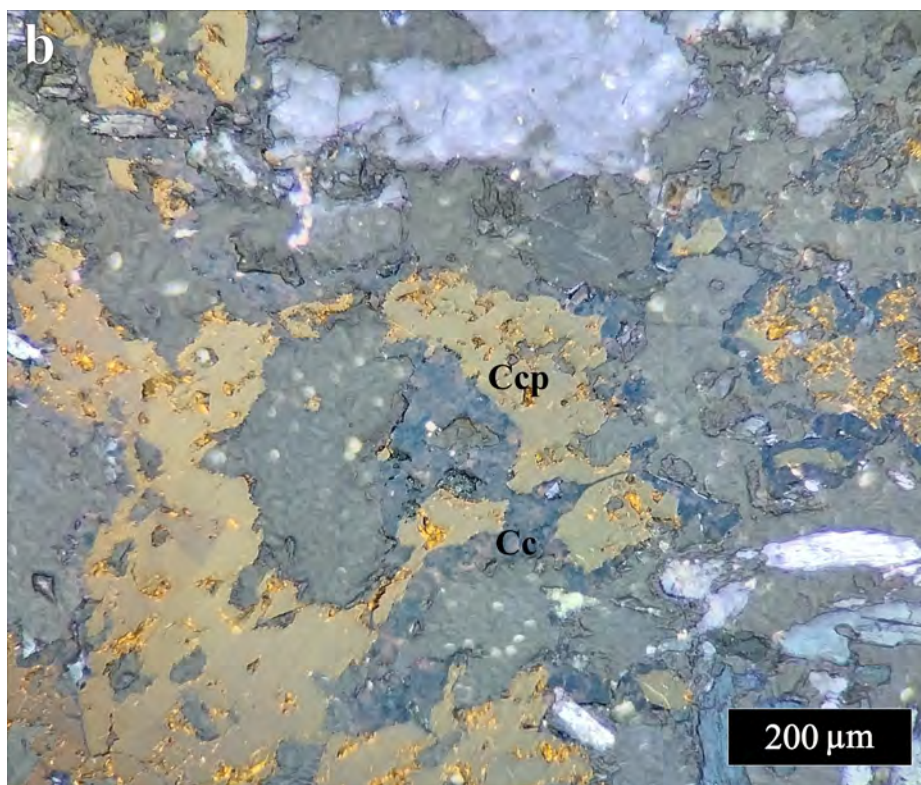
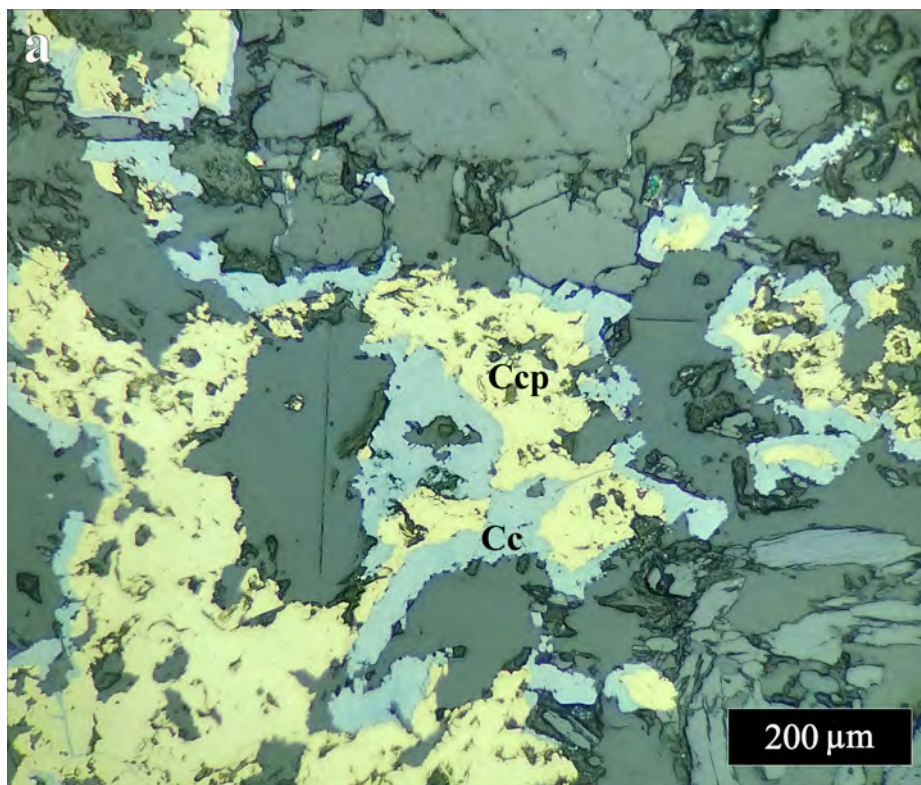
Fotomicrografia 10) Bornita (marrom rosado; PPL) em contato com cristal de calcopirita (amarelo; PPL). Destaque para a macla da calcopirita (XPL). Depósito Igarapé Cinzento - Província Mineral de Carajás. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Bn: bornita; Ccp: calcopirita.



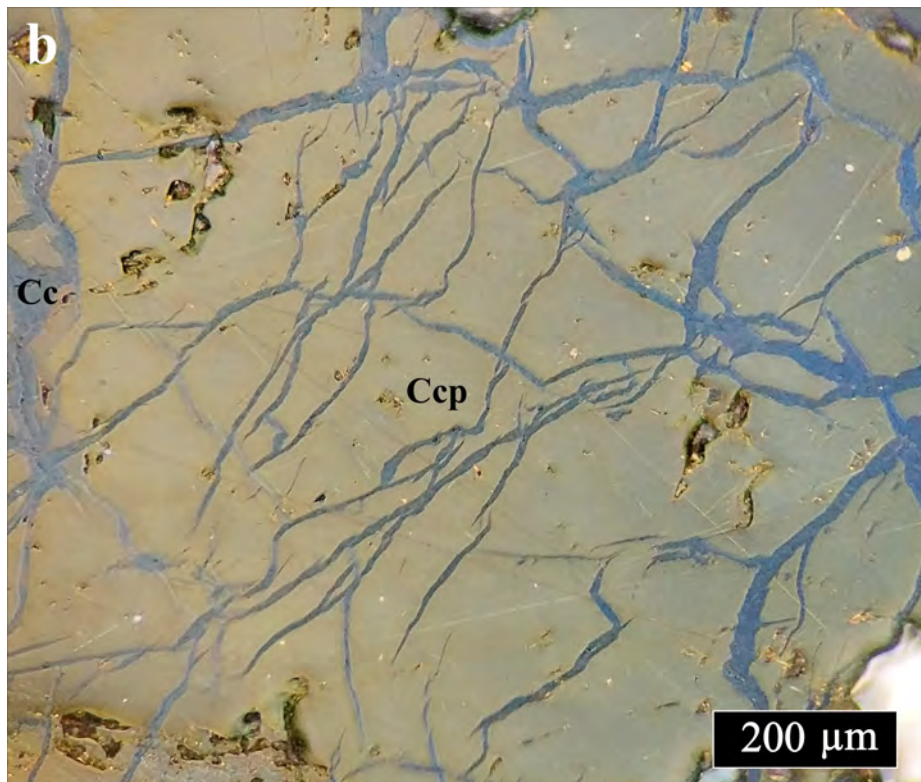
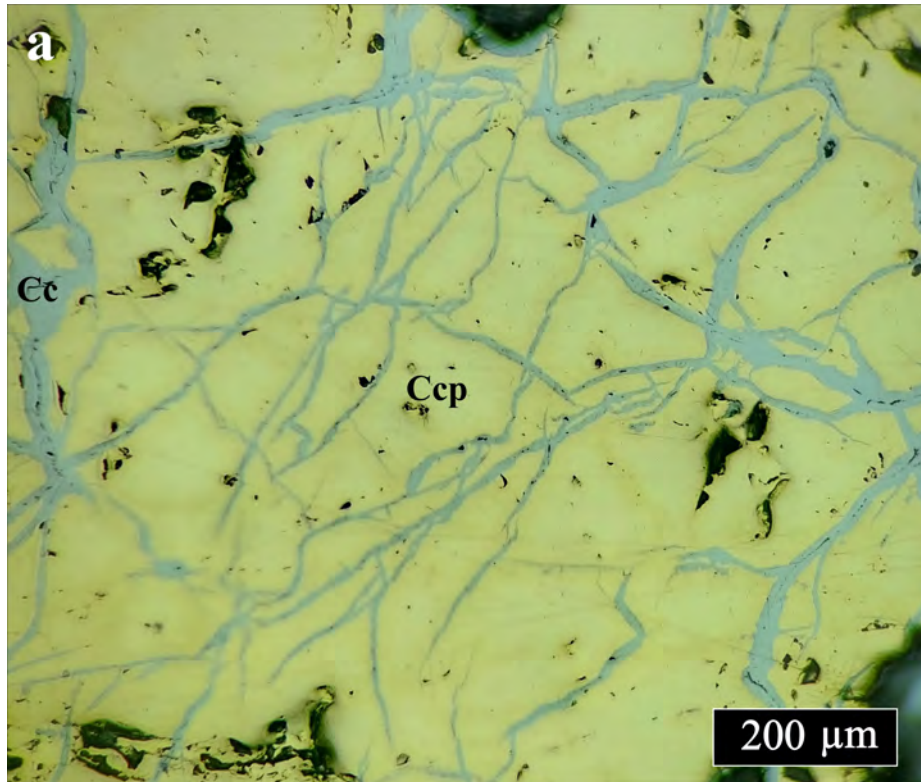
Fotomicrografia 11) Bornita (marrom rosado; PPL) com inclusões de calcopirita (amarelo; PPL) e magnetita (cinza; PPL). Depósito Igarapé Cinzento - Província Mineral de Carajás. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Bn: bornita; Ccp: calcopirita; Mt: magnetita.

Calcocita - Cc

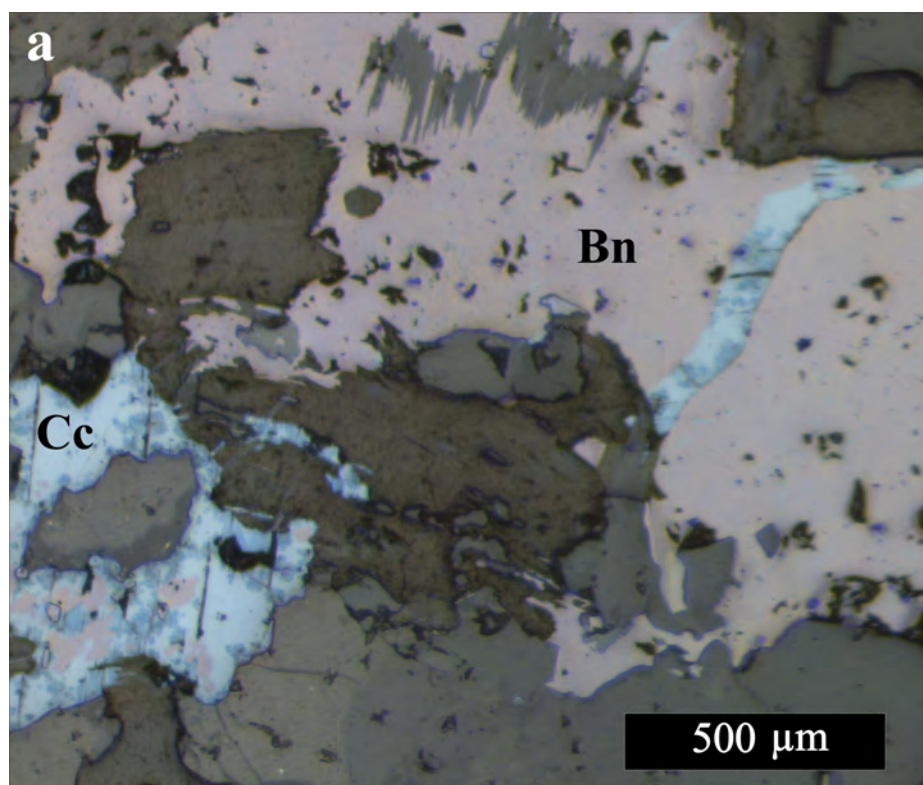
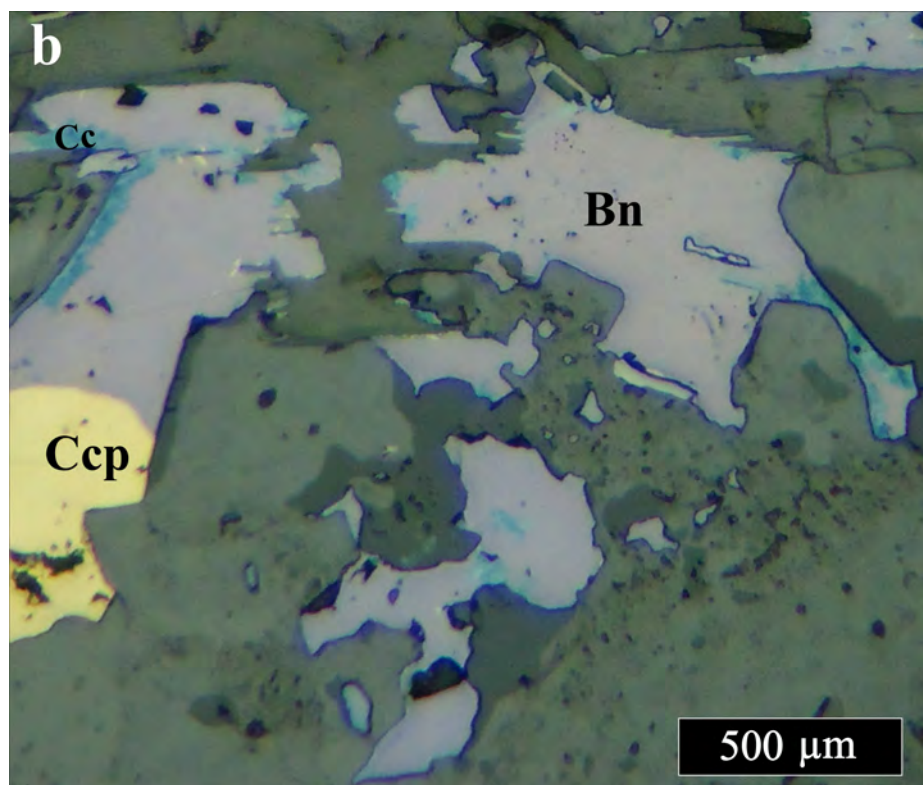
Fórmula Química:	Cu_2S
Composição Química:	Cu - 79,85% S - 20,15%
Polimorfo com:	-
Sistema Cristalino:	monoclínio e pseudo-ortorrômbico
Cor de Reflexão:	azul acinzentado
Pleocroísmo:	ausente
Anisotropia:	fraca, geralmente visível com o analisador ligeiramente aberto
Reflexão Interna:	não apresenta
Hábito:	prismático ou tabular estriado, granular, maciço, quebradiço (powdery)
Macla:	formas estreladas pseudohexagonais
Dureza:	2,5 - 3,0
Clivagem:	ruim
Fratura:	conchoidal



Fotomicrografia 12) Calcocita (azul-acinzentado; PPL) como borda de substituição de calcopirita (amarelo; PPL). Anisotropia fraca em cor azul turquesa (XPL). Depósito Pantera - Província Mineral de Carajás. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Cc: calcocita; Ccp: calcopirita.



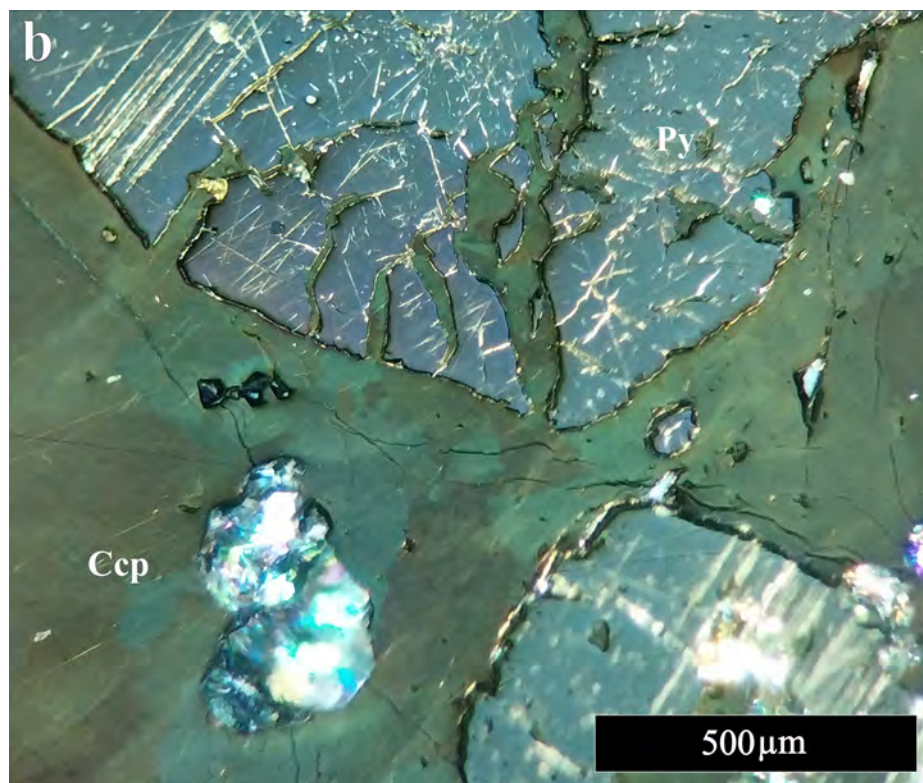
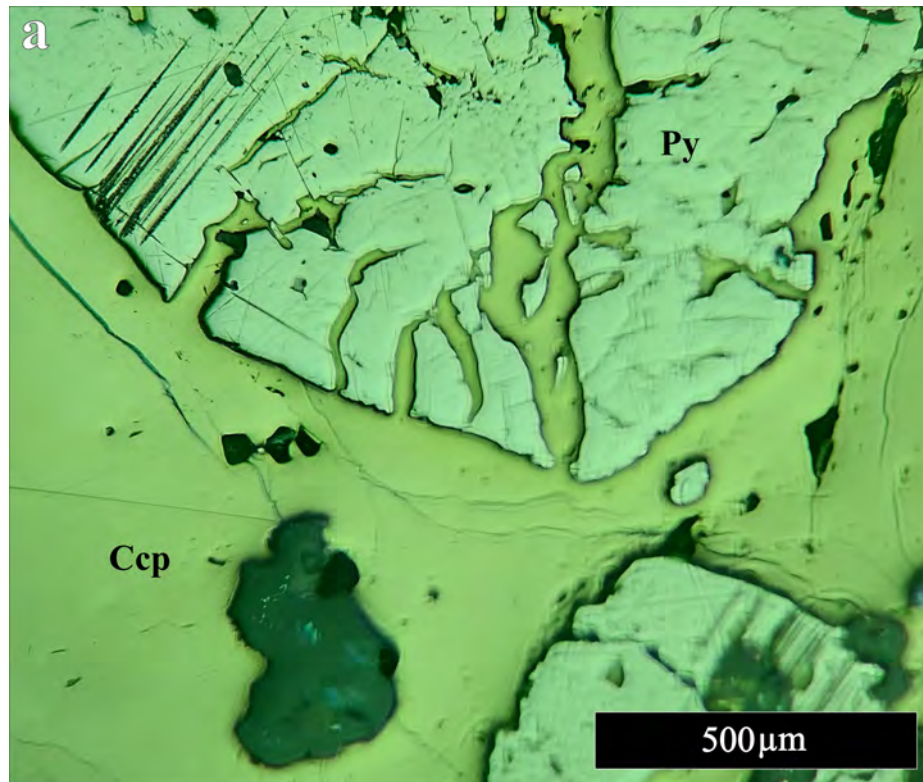
Fotomicrografia 13) Rede de vênulas de calcocita (cinza-azulado; PPL) em calcopirita (amarelo; PPL). Depósito Paraíba - Província Mineral de Alta Floresta. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Cc: calcocita; Ccp: calcopirita.



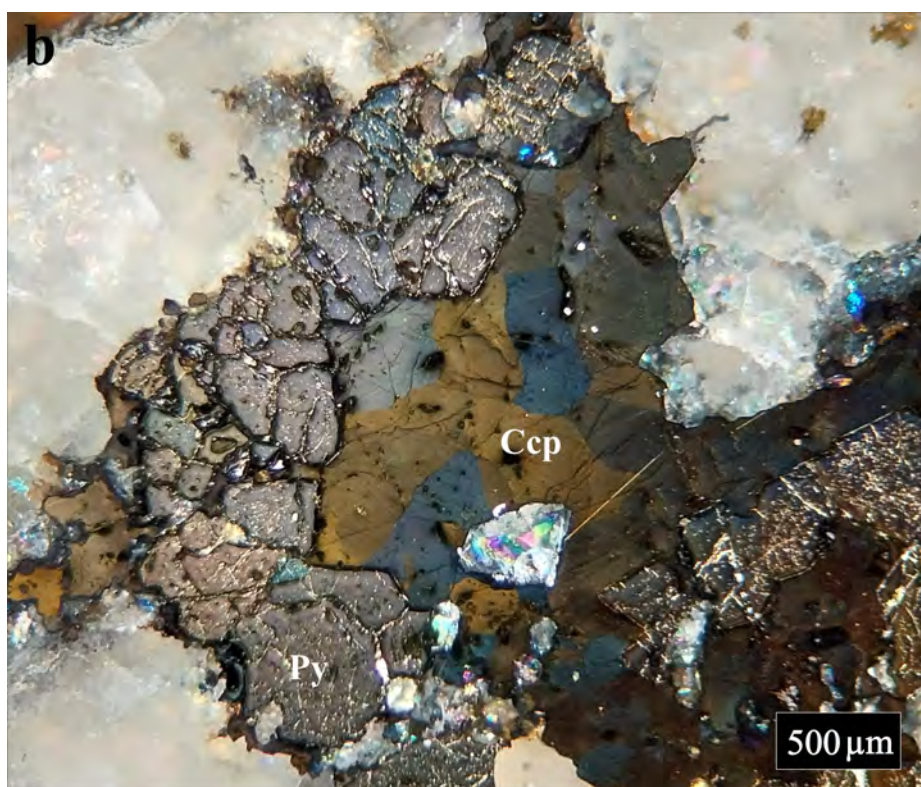
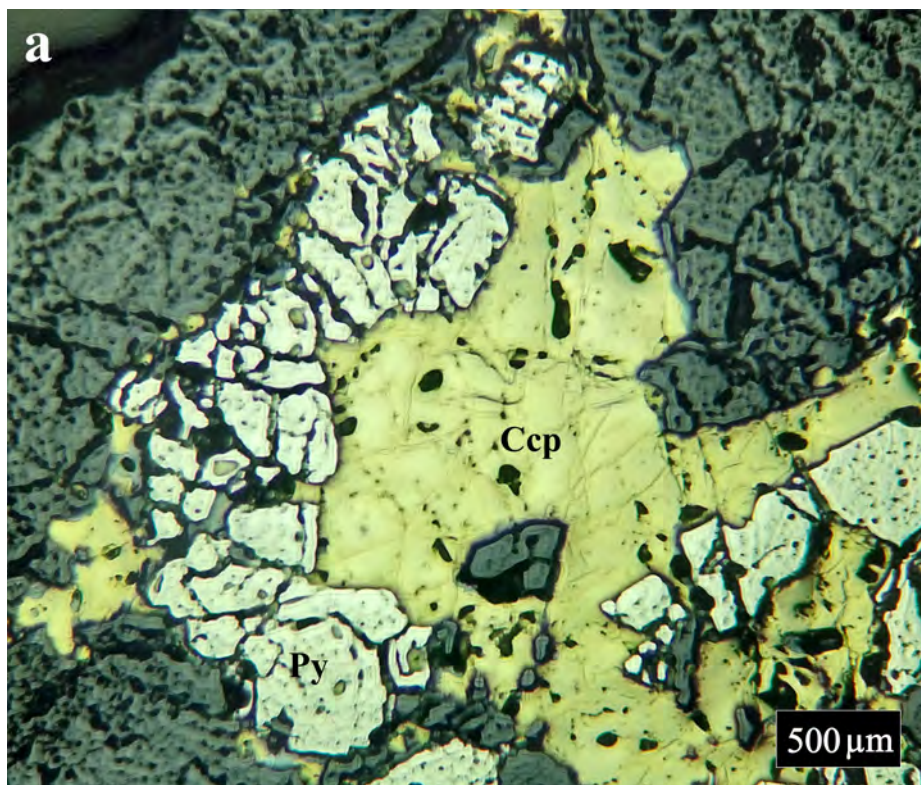
Fotomicrografia 14) Calcocita (azul-acinzentado; PPL) substituindo bornita (marrom rosado; PPL). Depósito Igarapé Cinzento - Província Mineral de Carajás. (a) PPL (b) PPL. Abreviação: Bn: bornita; Cc: calcocita; Ccp: calcopirita.

Calcopirita - Ccp

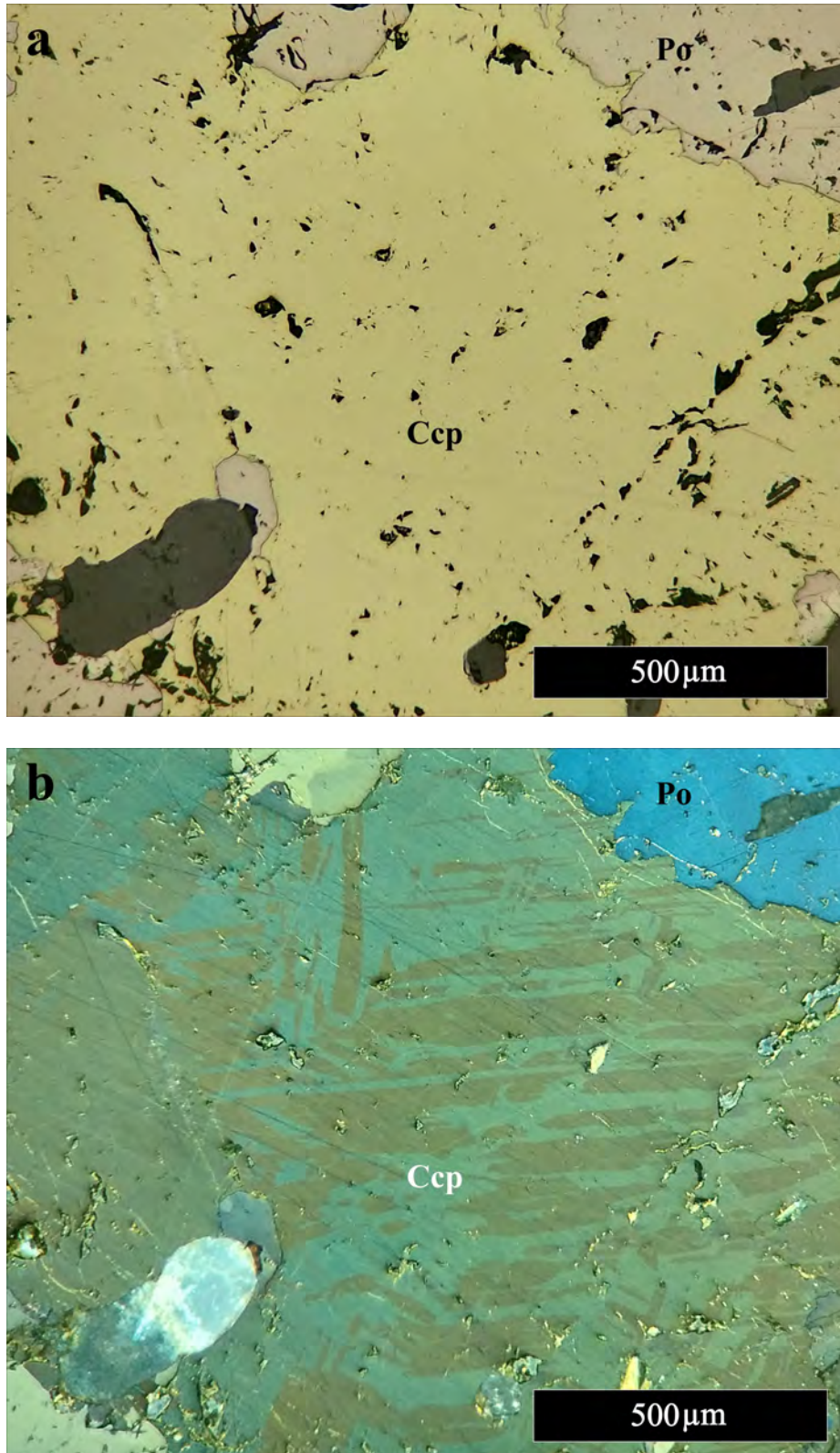
Fórmula Química:	$CuFeS_2$
Composição Química:	Cu - 34,63% Fe - 30,43% S - 34,94%
Polimorfo com:	-
Sistema Cristalino:	tetragonal
Cor de Reflexão:	tons distintos de amarelo, ocasionalmente esverdeado ou acastanhado
Pleocroísmo:	fraco a ausente
Anisotropia:	fraca, mas distinta variando de azul-acinzentado a verde-oliva
Reflexão Interna:	não apresenta
Hábito:	maciço, tetraédrico a escalenoédrico, botrioidal, granular, estriado, drusa
Macla:	comum, de penetração ou cíclica
Dureza:	3,5 - 4,0
Clivagem:	ruim
Fratura:	irregular



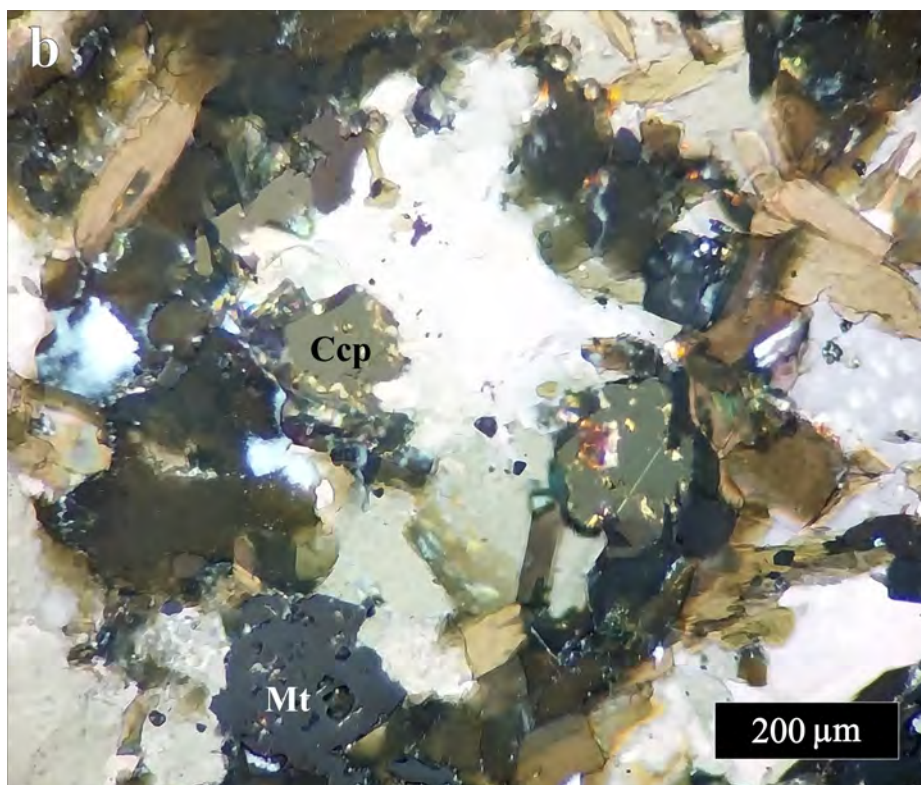
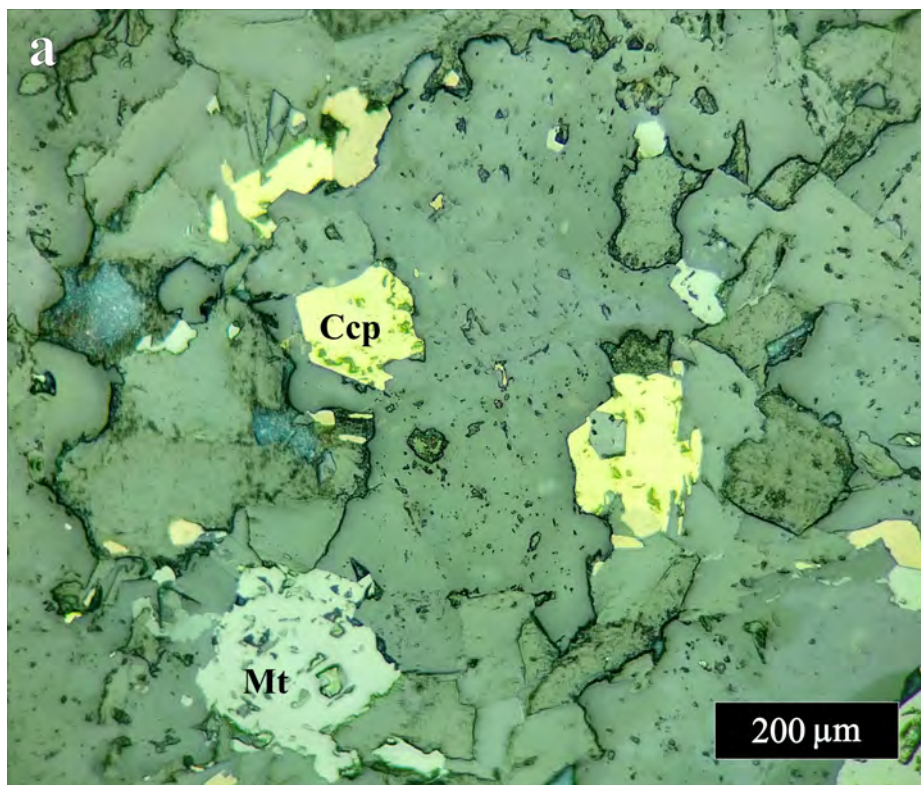
Fotomicrografia 15) Calcopirita (amarelo; PPL) preenchendo pirita (creme; PPL) brechada. Depósito Paraíba - Província Mineral de Alta Floresta. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Ccp: calcopirita; Py: pirita.



Fotomicrografia 16) Massa de calcopirita (anisotropia fraca em cor azul-acinzentado e marrom; XPL) parcialmente bordejada por pirita (creme; PPL). Depósito Paraíba - Província Mineral de Alta Floresta. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Ccp: calcopirita; Py: pirita.



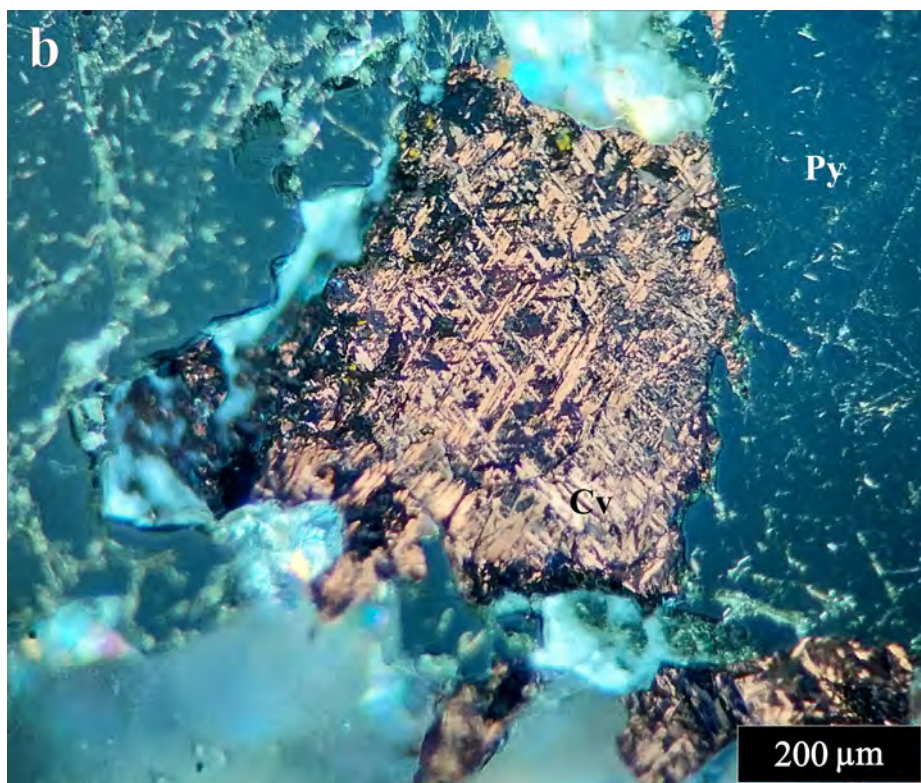
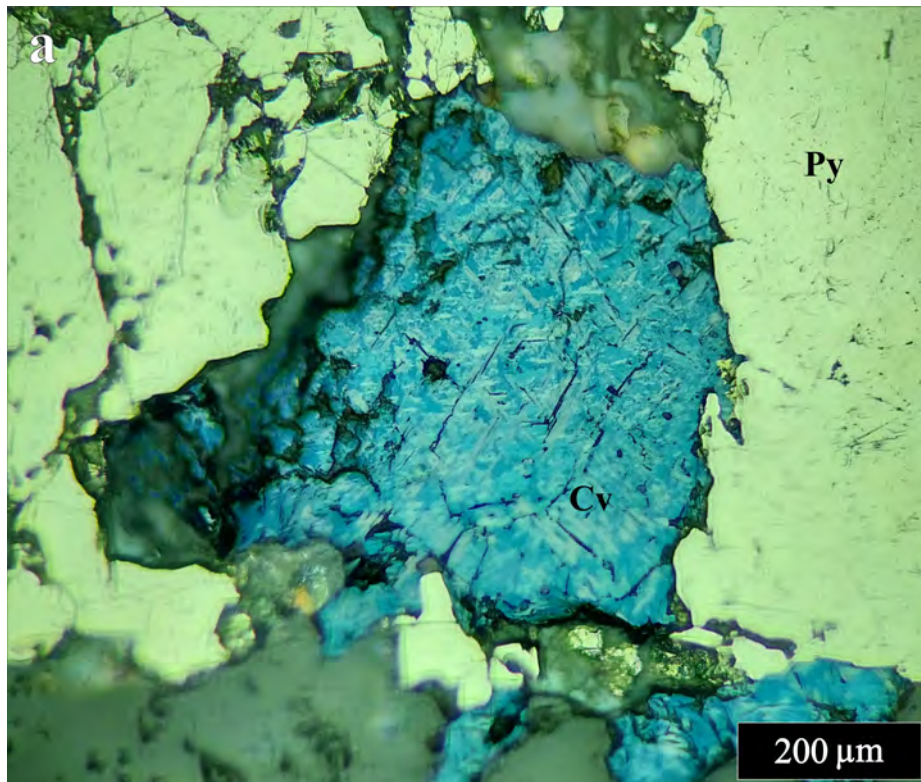
Fotomicrografia 17) Calcopirita maciça (amarelo acastanhado; PPL) em contato com pirrotita (cinza azulado; XPL) no topo. Depósito Pantera - Província Mineral de Carajás. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Ccp: calcopirita; Po: pirrotita.



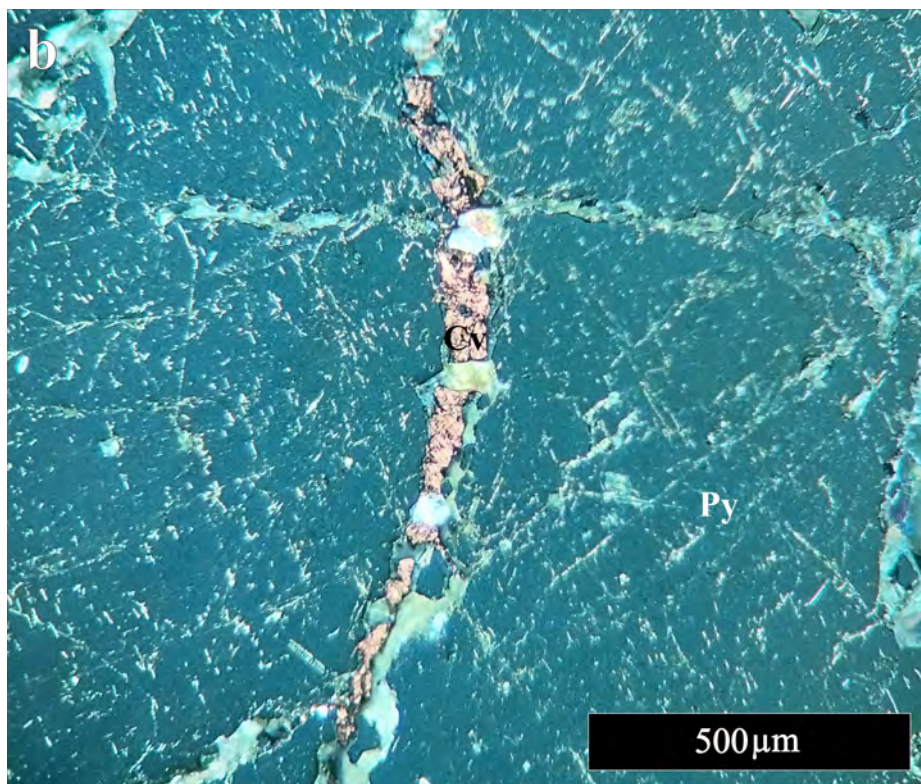
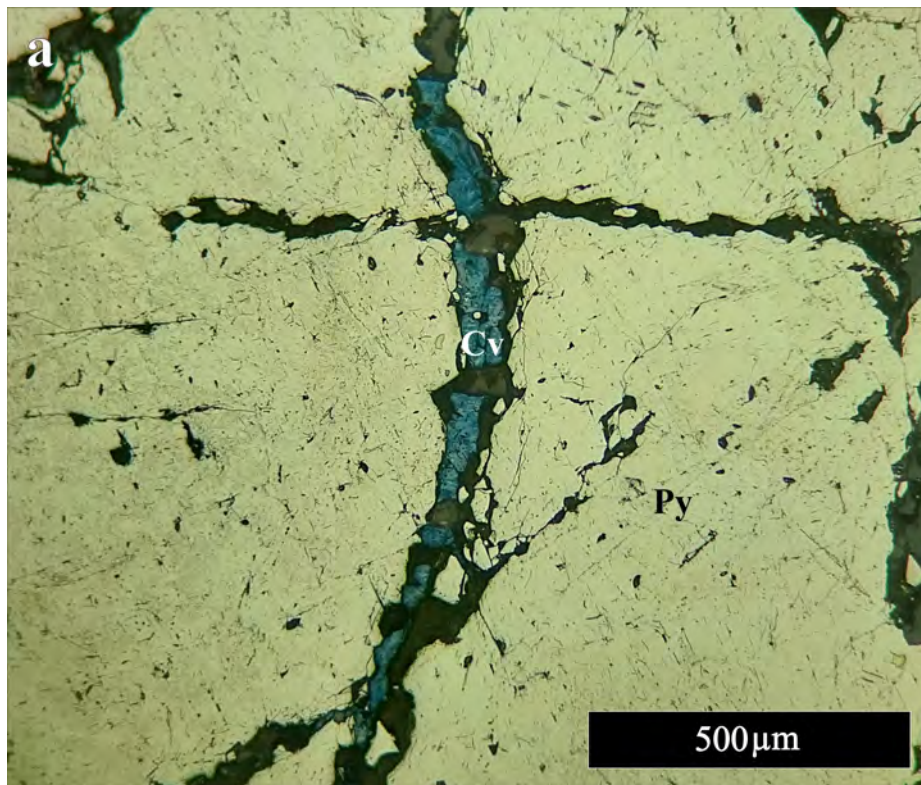
Fotomicrografia 18) Disseminações de calcopirita (amarelo; PPL) e magnetita (cinza; PPL). Depósito Igarapé Cinzento - Província Mineral de Carajás. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Ccp: calcopirita; Mt: magnetita.

Covelita - Cv

Fórmula Química:	CuS
Composição Química:	Cu - 66,46% S - 33,54%
Polimorfo com:	-
Sistema Cristalino:	hexagonal
Cor de Reflexão:	azul índigo
Pleocroísmo:	acentuado, azul profundo a azul acinzentado
Anisotropia:	forte, em tons de laranja
Reflexão Interna:	não apresenta
Hábito:	hexagonal estriado, foliado, maciço, lamelar
Macla:	não apresenta
Dureza:	1,5 - 2,0
Clivagem:	perfeita
Fratura:	irregular



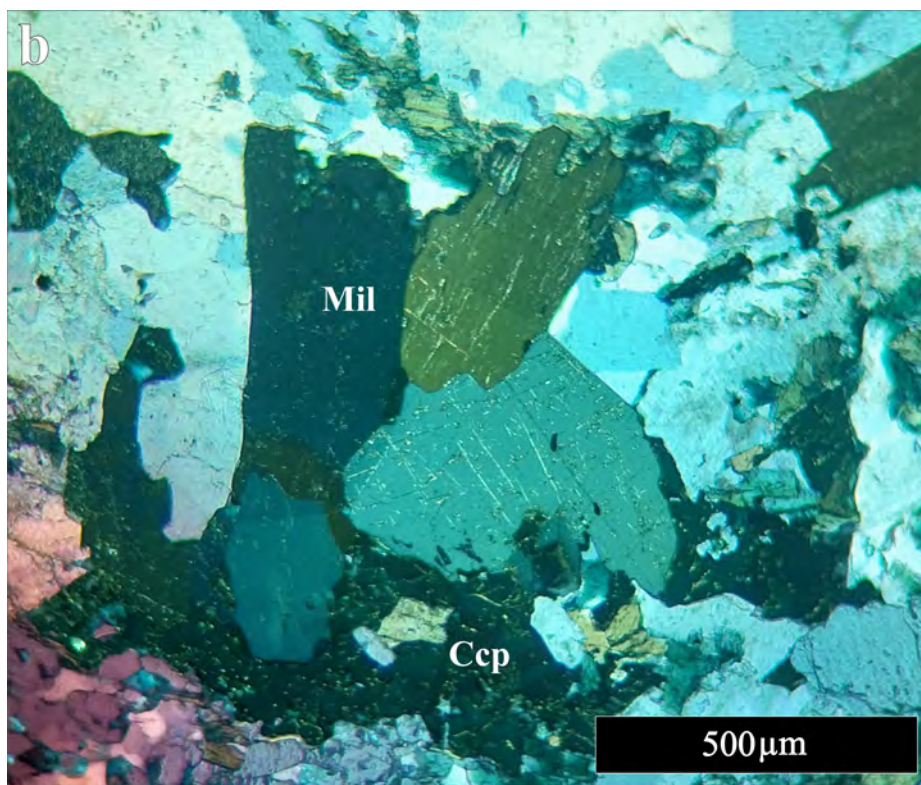
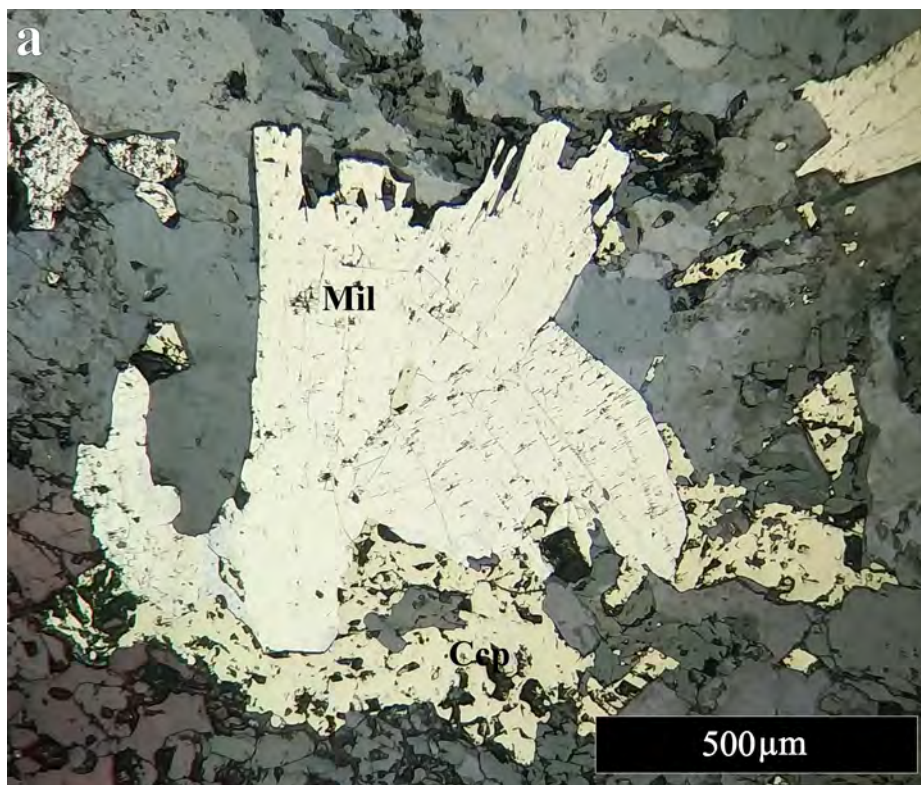
Fotomicrografia 19) Covelita (azul índigo; PPL) com forte anisotropia (laranja; XPL) em contato com pirita (creme; PPL). Depósito Paraíba - Província Mineral de Alta Floresta. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Cv: covelita; Py: pirita.



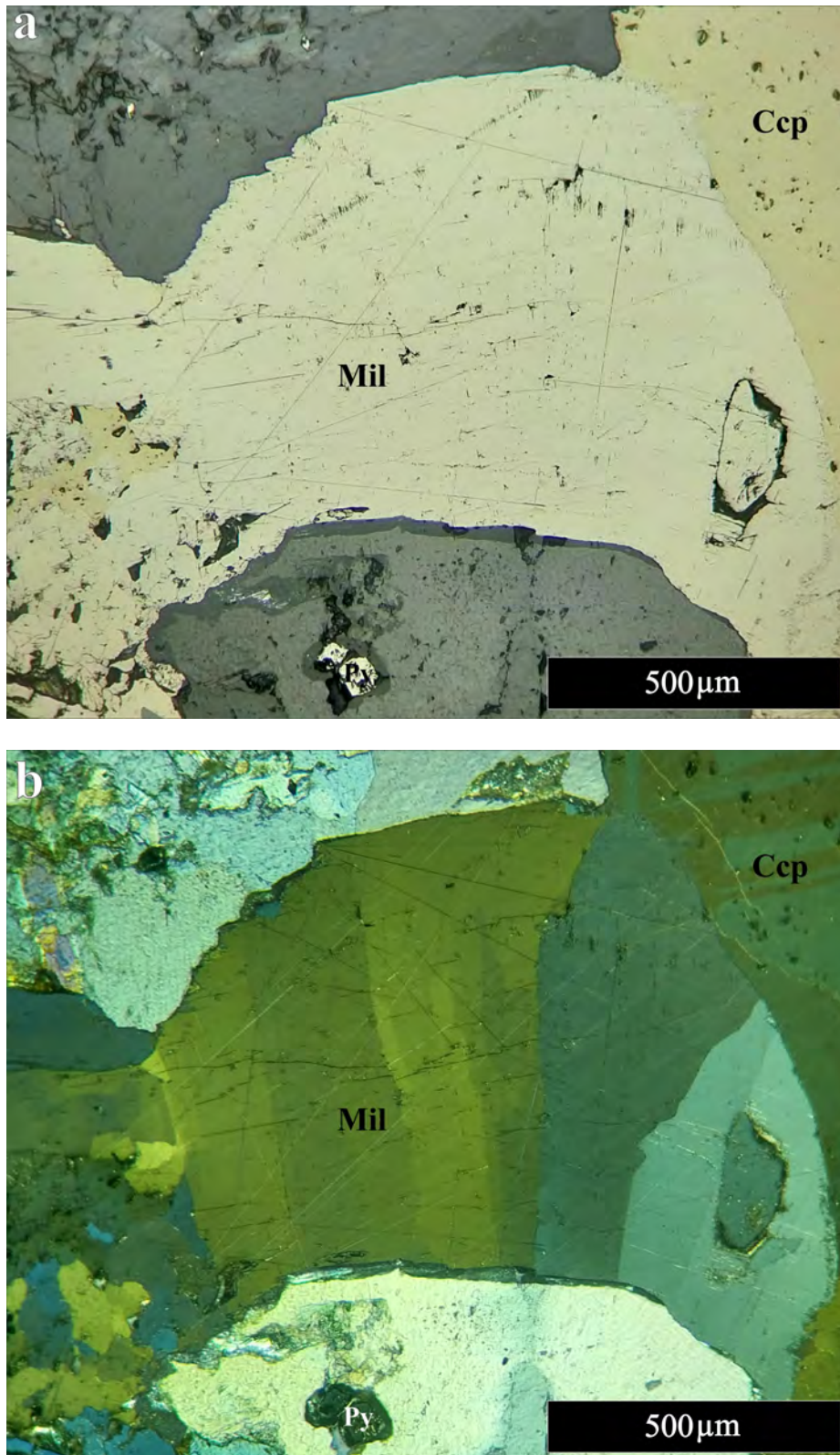
Fotomicrografia 20) Vênula de covelita (azul índigo; PPL) em pirita (creme; PPL). Depósito Paraíba - Província Mineral de Alta Floresta. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Cv: covelita; Py: pirita.

Millerita - Mil

Fórmula Química:	NiS
Composição Química:	Ni - 64,67% S - 35,33%
Polimorfo com:	-
Sistema Cristalino:	trigonal - hexagonal
Cor de Reflexão:	amarelo pálido a brilhante
Pleocroísmo:	fraco, tons de amarelo
Anisotropia:	forte, variando de amarelo a azul
Reflexão Interna:	não apresenta
Hábito:	acicular, radial, capilar (longo como cabelo), maciço
Macla:	-
Dureza:	3,0 - 3,5
Clivagem:	perfeita
Fratura:	irregular



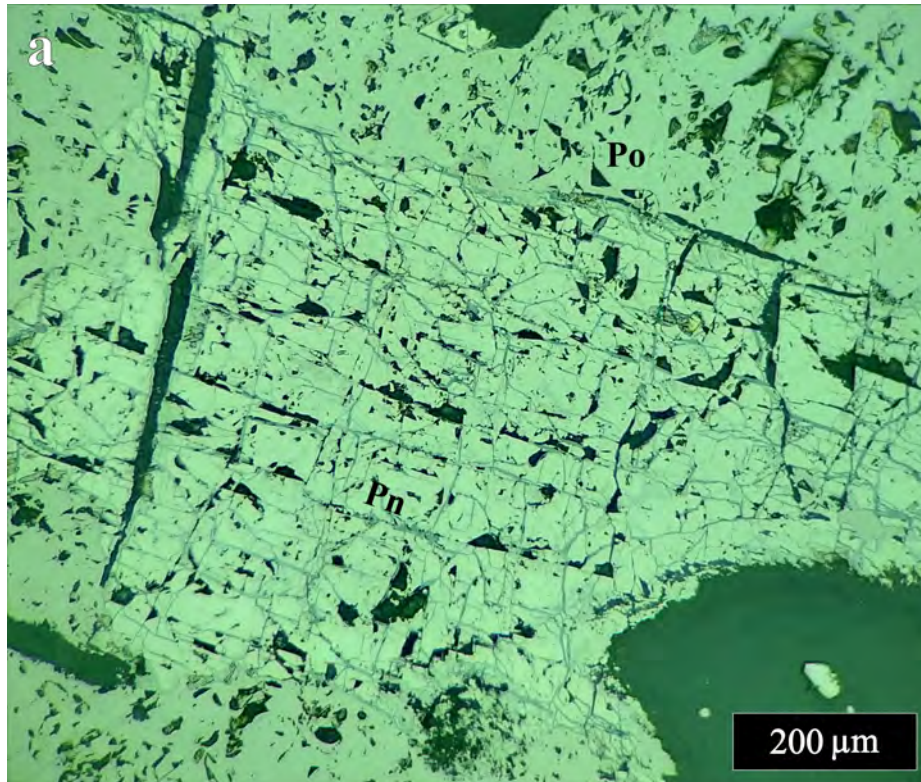
Fotomicrografia 21) Millerita de hábito tabular (amarelo-pálido; PPL), com anisotropia característica (tons amarelo e azul; XPL) em contato irregular com calcopirita (amarelo; PPL). Depósito Pantera - Província Mineral de Carajás. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Ccp: calcopirita; Mil: millerita.



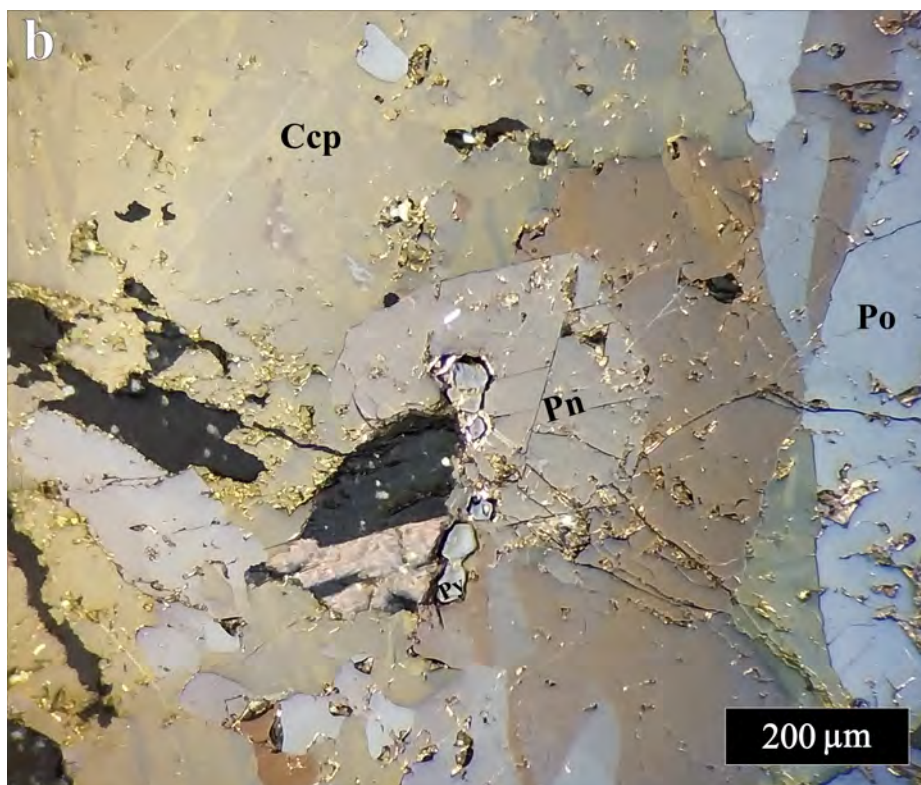
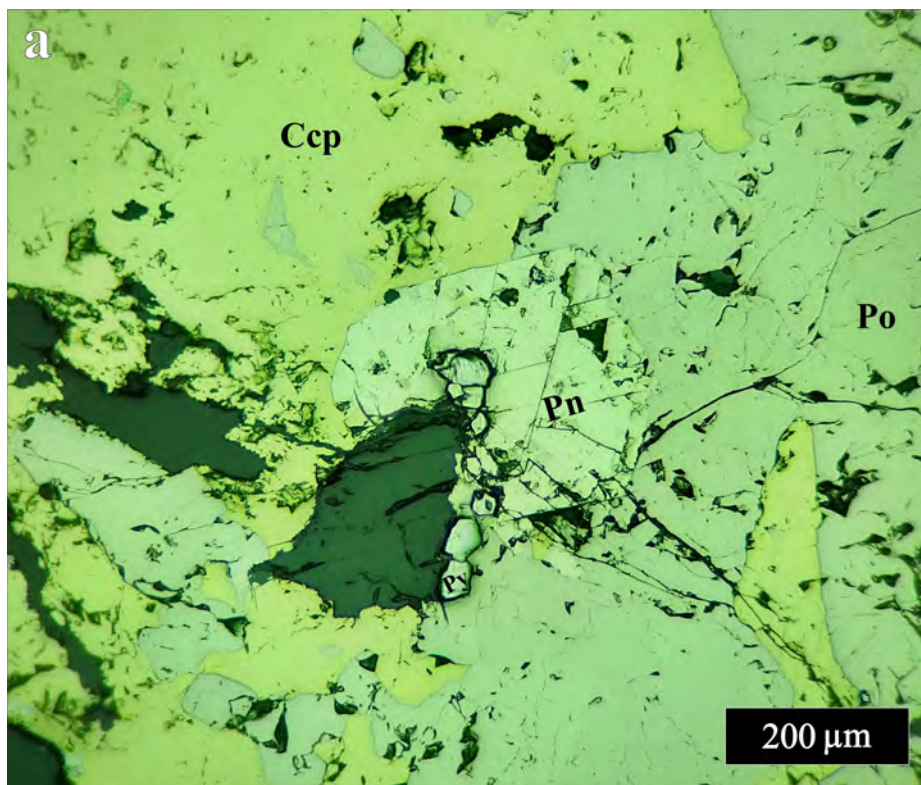
Fotomicrografia 22) Millerita (amarelo-pálido; PPL) com forte anisotropia (tons de amarelo e azul; XPL) em contato com calcopirita (amarelo; PPL). Depósito Pantera - Província Mineral de Carajás. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Ccp: calcopirita; Mil: millerita; Py: pirita.

Pentlandita - Pn

Fórmula Química:	$(Fe, Ni)_9S_8$
Composição Química:	Fe - 32,56% Ni - 34,21% S - 33,23%
Polimorfo com:	-
Sistema Cristalino:	isométrico ou cúbico
Cor de Reflexão:	creme claro
Pleocroísmo:	ausente
Anisotropia:	isotrópico
Reflexão Interna:	não apresenta
Hábito:	maciço, granular, cristais grandes são raros
Macla:	não apresenta
Dureza:	3,5 - 4,0
Clivagem:	não apresenta
Fratura:	conchoidal



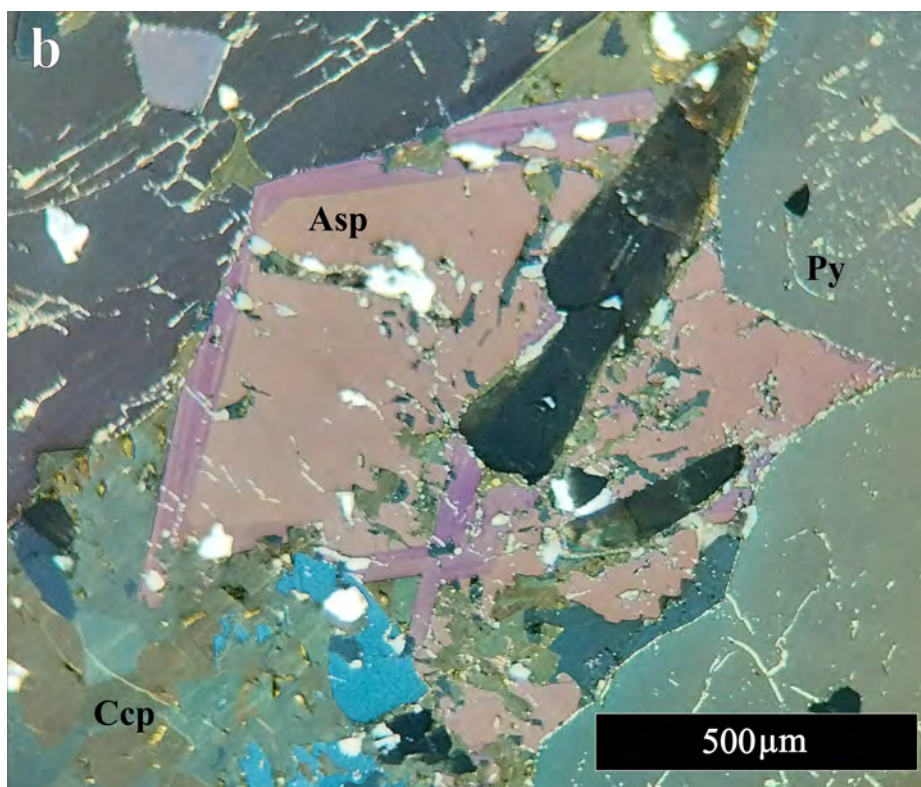
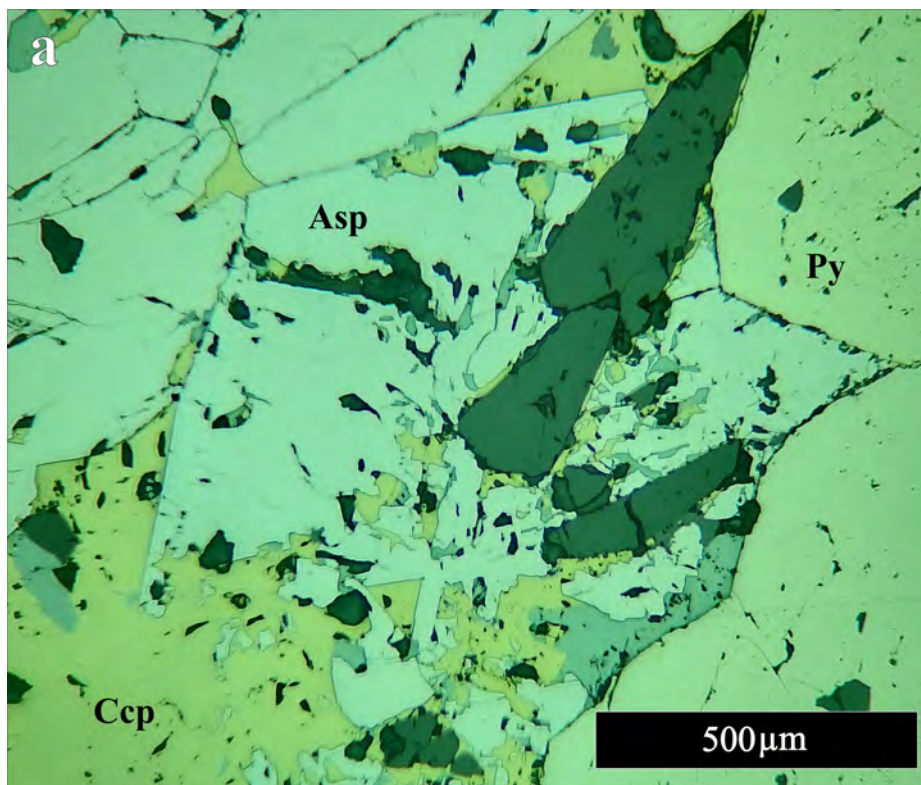
Fotomicrografia 23) Pentlandita (creme claro; PPL) em contato com pirrotita (cinza azulado a marrom; XPL). Depósito Jaguar Norte - Província Mineral de Carajás. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Pn: pentlandita; Po: pirrotita.



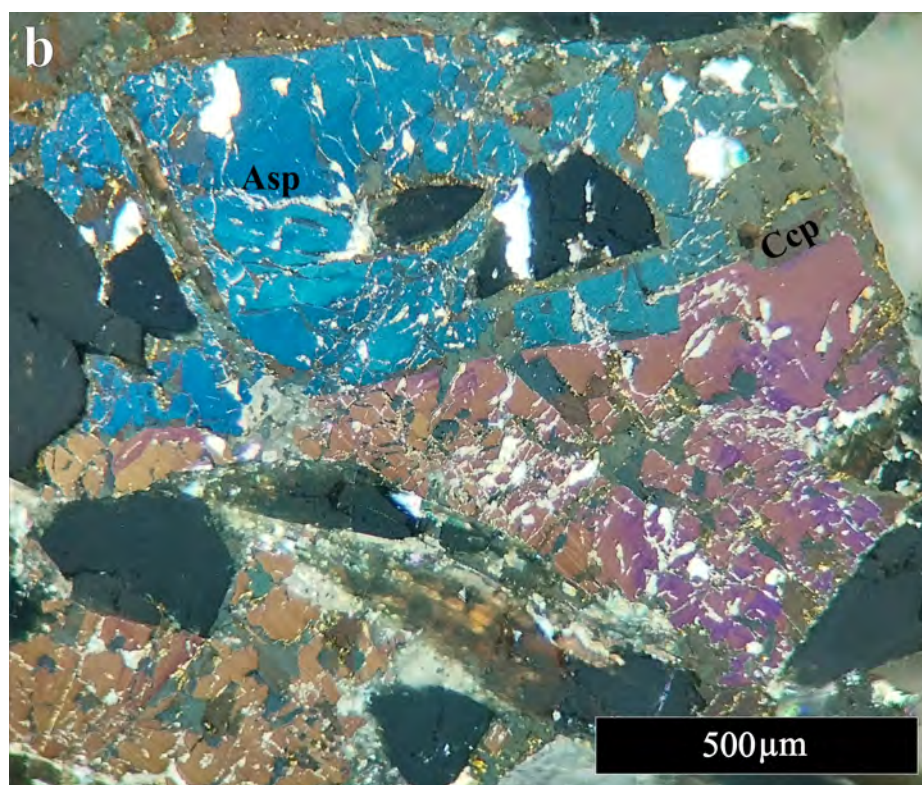
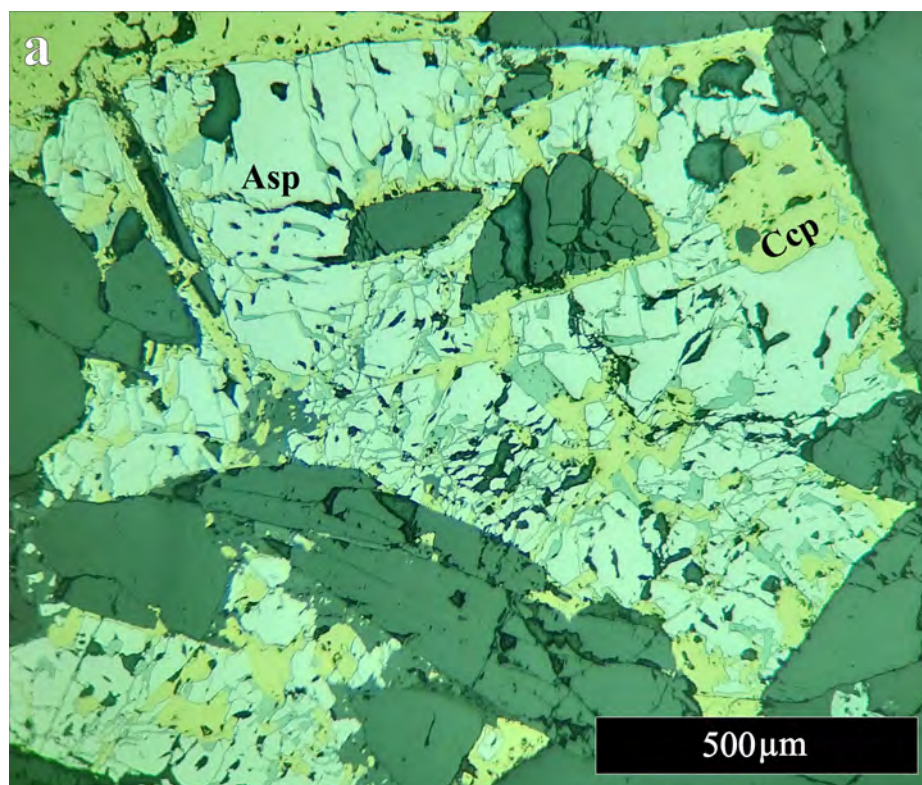
Fotomicrografia 24) Pentlandita (creme claro; PPL) em associação com pirrotita, calcopirita (amarelo, PPL) e pirita (creme; PPL). Depósito Igarapé Cinzento - Província Mineral de Carajás. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Ccp: calcopirita; Pn: pentlandita; Py: pirita; Po: pirrotita.

Arsenopirita - Asp

Fórmula Química:	$FeAsS$
Composição Química:	Fe - 34,30% As - 46,01% S - 19,69%
Polimorfo com:	-
Sistema Cristalino:	monoclínico e pseudo-ortorrômbico
Cor de Reflexão:	branco com leve tom amarelo
Pleocroísmo:	fraco, branco com tonalidade azulada a amarelo avermelhado fraco
Anisotropia:	forte, variando de marrom/vermelho a azul/violeta
Reflexão Interna:	não apresenta
Hábito:	prismático tabular a estriado, granular, em bloco
Macla:	de contato cruciforme ou “unindo” três cristais (trilling) e tipo-estrela
Dureza:	5,0 - 6,0
Clivagem:	distinta/boa
Fratura:	irregular



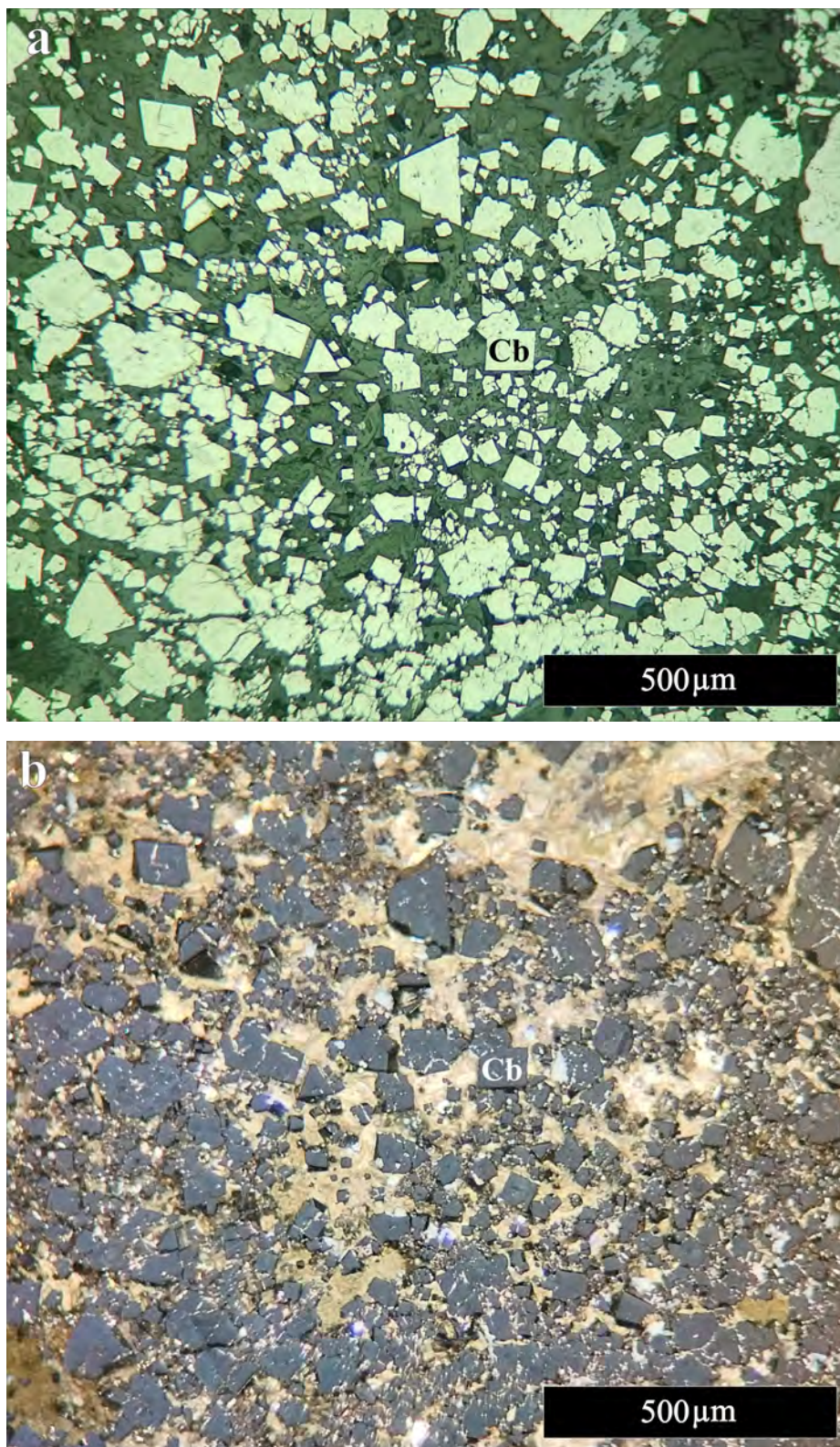
Fotomicrografia 25) Arsenopirita (branco-amarelado; PPL) em contato com pirita (creme; PPL) e calcopirita (amarelo; PPL). Anisotropia marrom a azul (XPL). Depósito San Francisco de Los Andes, Argentina. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Asp: arsenopirita; Ccp: calcopirita; Py: pirita.



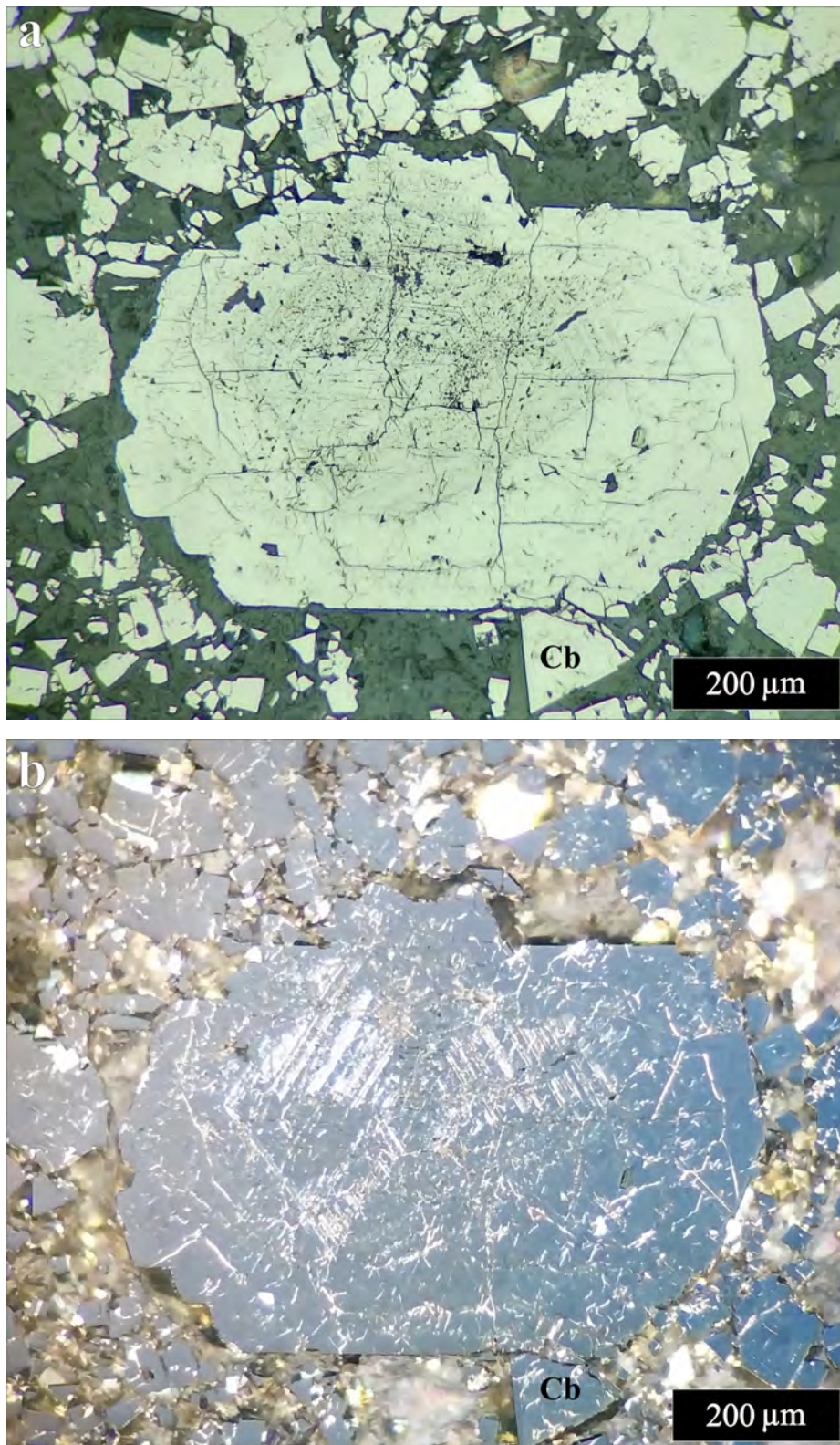
Fotomicrografia 26) Arsenopirita (branco; PPL) com textura cataclástica intercrescida à calcopirita (amarelo; PPL). Depósito San Francisco de Los Andes, Argentina. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Asp: arsenopirita; Ccp: calcopirita.

Cobaltita - Cb

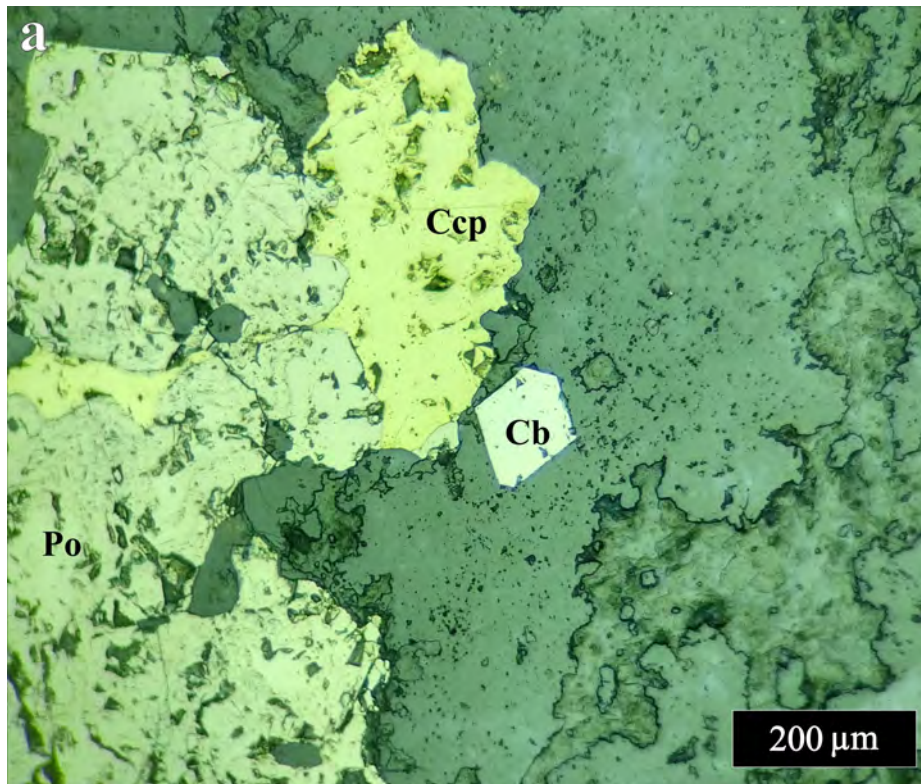
Fórmula Química:	$CoAsS$
Composição Química:	Co - 35,52% As - 45,16% S - 19,33%
Polimorfo com:	-
Sistema Cristalino:	ortorrômbico e pseudocúbico
Cor de Reflexão:	rosa claro
Pleocroísmo:	muito fraco
Anisotropia:	esverdeado a azulado
Reflexão Interna:	não apresenta
Hábito:	cristais estriados, granular, maciço
Macla:	pseudocúbica
Dureza:	5,5
Clivagem:	boa
Fratura:	irregular



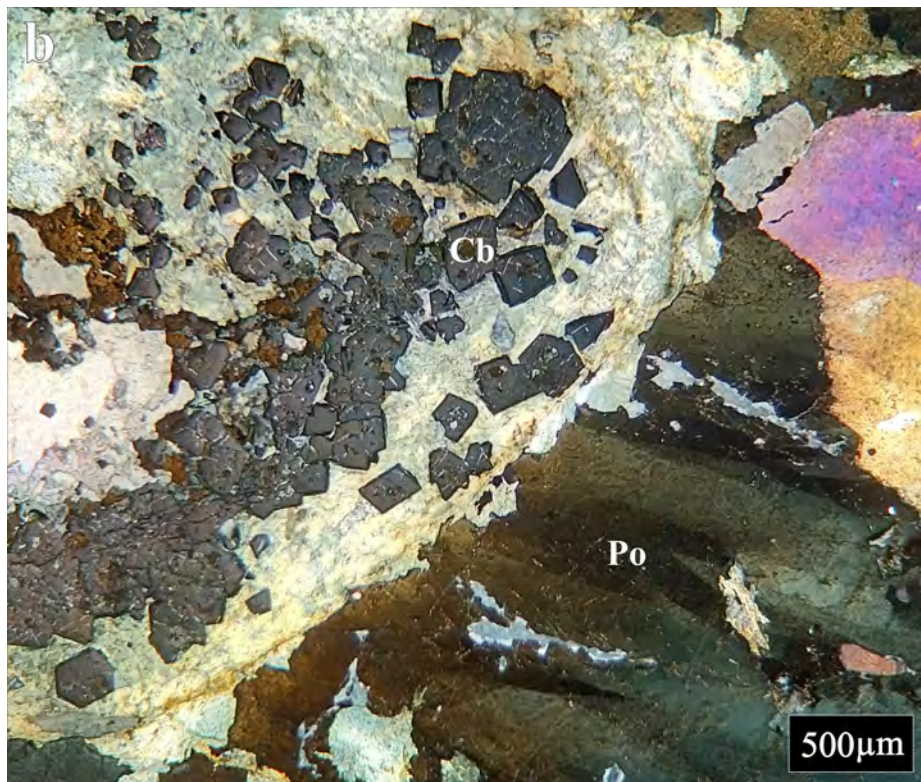
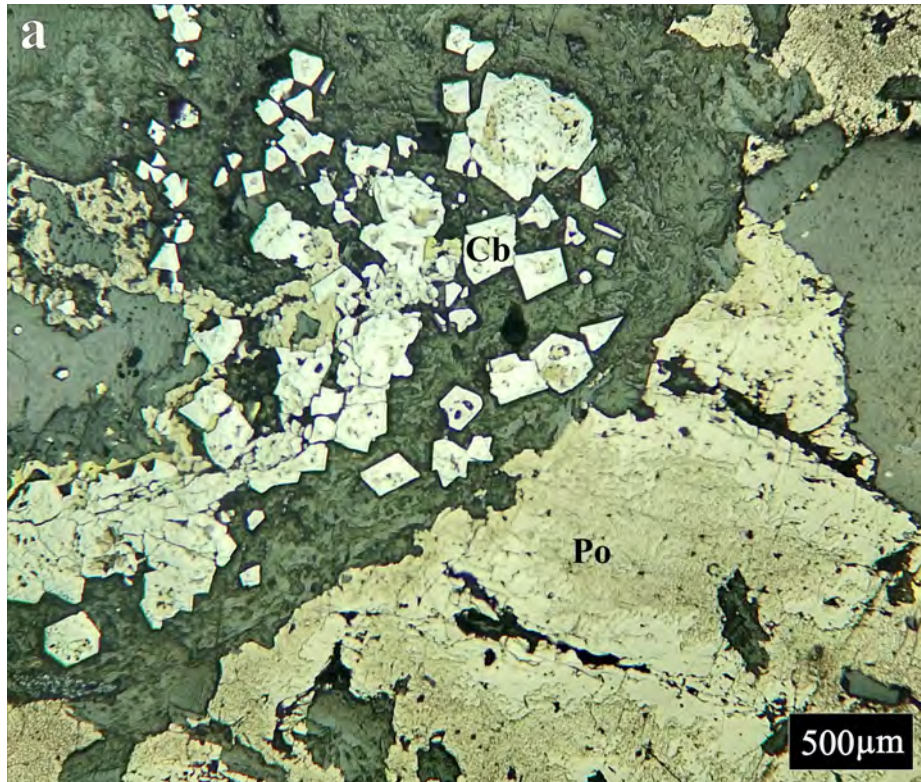
Fotomicrografia 27) Cobaltita (rosa claro; PPL) como disseminações. Depósito Tarzan - Província Mineral de Carajás. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Cb: cobaltita.



Fotomicrografia 28) Cristais de cobaltita (rosa claro; PPL) com zoneamento e fraca anisotropia (azul; XPL). Depósito Tarzan - Província Mineral de Carajás. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Cb: cobaltita.



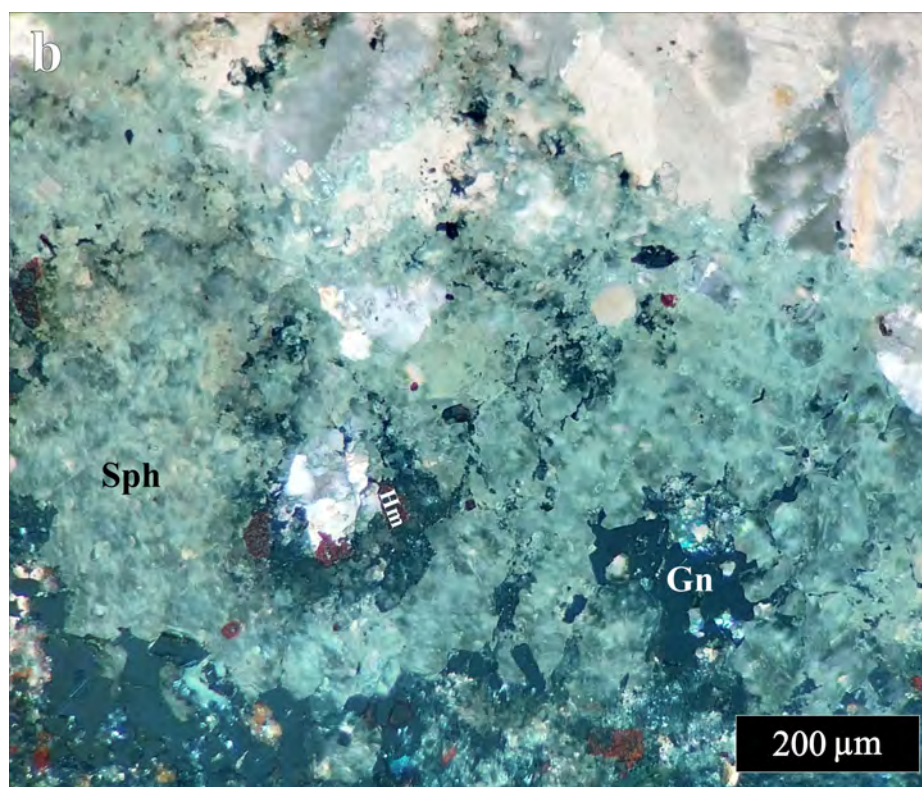
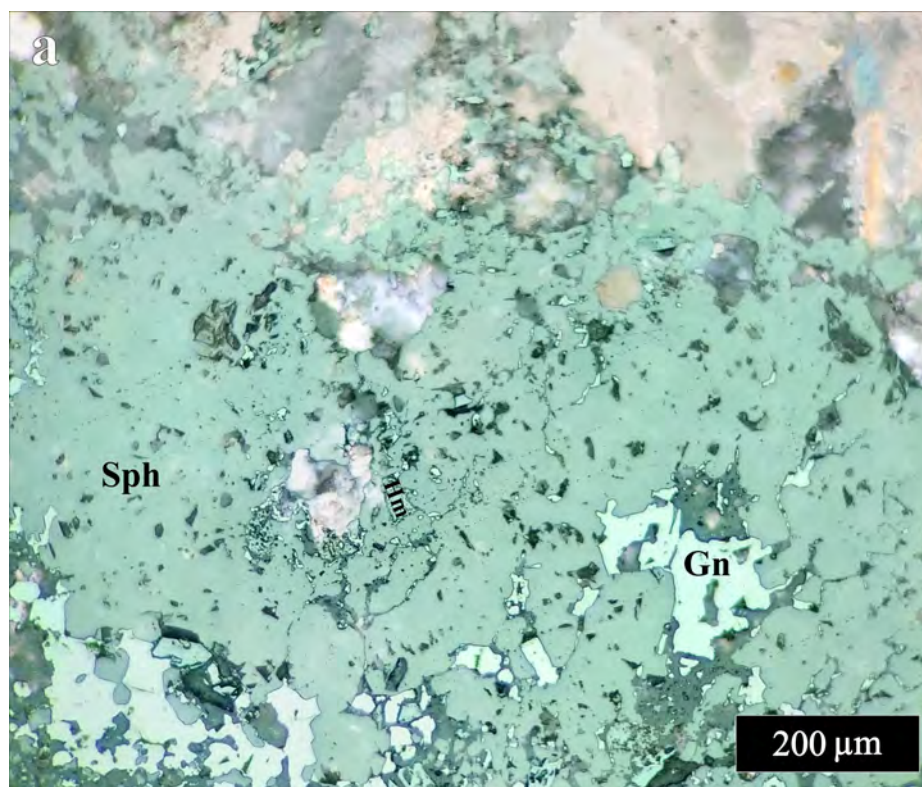
Fotomicrografia 29) Cristal de cobaltita (rosa claro; PPL) em associação com pirrotita (marrom escuro; XPL) e calcopirita (amarelo; PPL). Depósito Tarzan - Província Mineral de Carajás. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Ccp: calcopirita; Cb: cobaltita; Po: pirrotita.



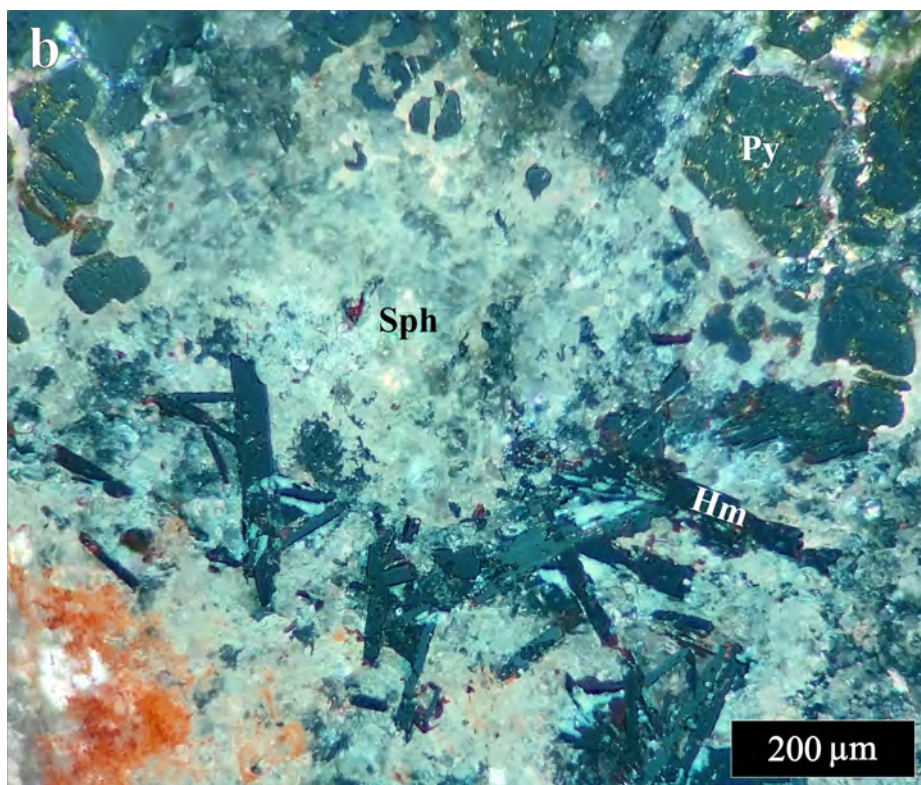
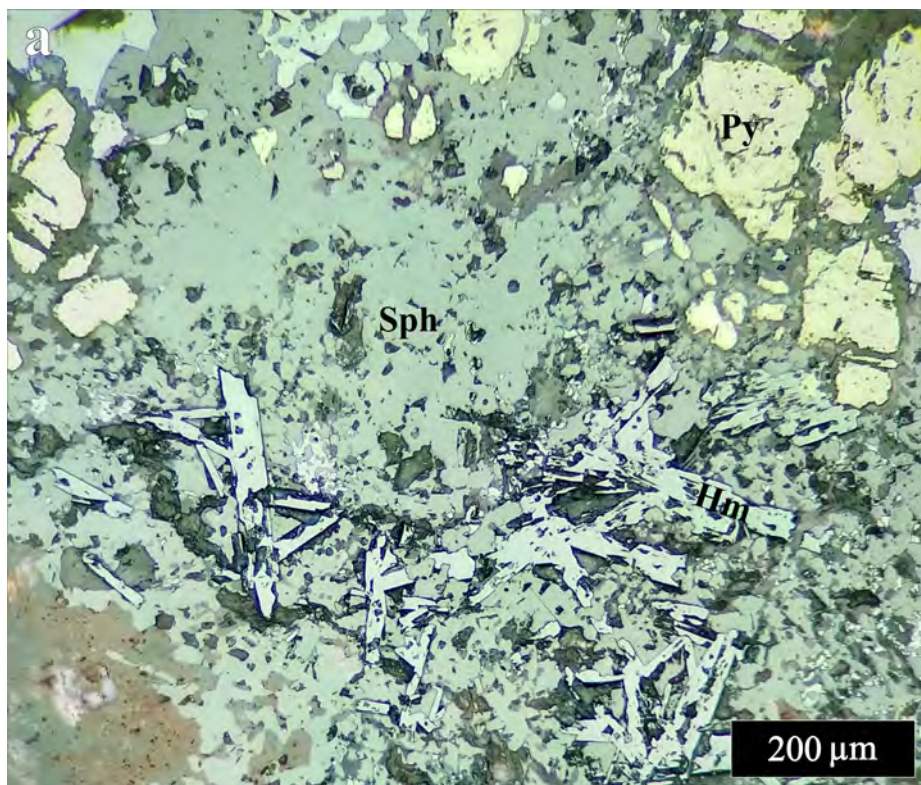
Fotomicrografia 30) Aglomerado de cristais euédricos de cobaltita (rosa claro; PPL) em associação com pirrotita (marrom escuro a cinza azulado; XPL). Depósito Tarzan - Província Mineral de Carajás. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Cb: cobaltita; Po: pirrotita.

Esfalerita - Sph

Fórmula Química:	$(Zn, Fe)S$
Composição Química:	Zn - 64,06% Fe - 2,88% S - 33,06%
Polimorfo com:	matraita, wurtzita, polhemusita
Sistema Cristalino:	isométrico ou cúbico
Cor de Reflexão:	cinza médio
Pleocroísmo:	ausente
Anisotropia:	isotrópico
Reflexão Interna:	depende da composição, podendo ser incolor, amarelo, laranja, marrom, vermelho, verde
Hábito:	tetraédrico, dodecaédrico, fibroso, botrioidal, granular, maciço
Macla:	lamelar
Dureza:	3,5 - 4,0
Clivagem:	perfeita
Fratura:	conchoidal a irregular



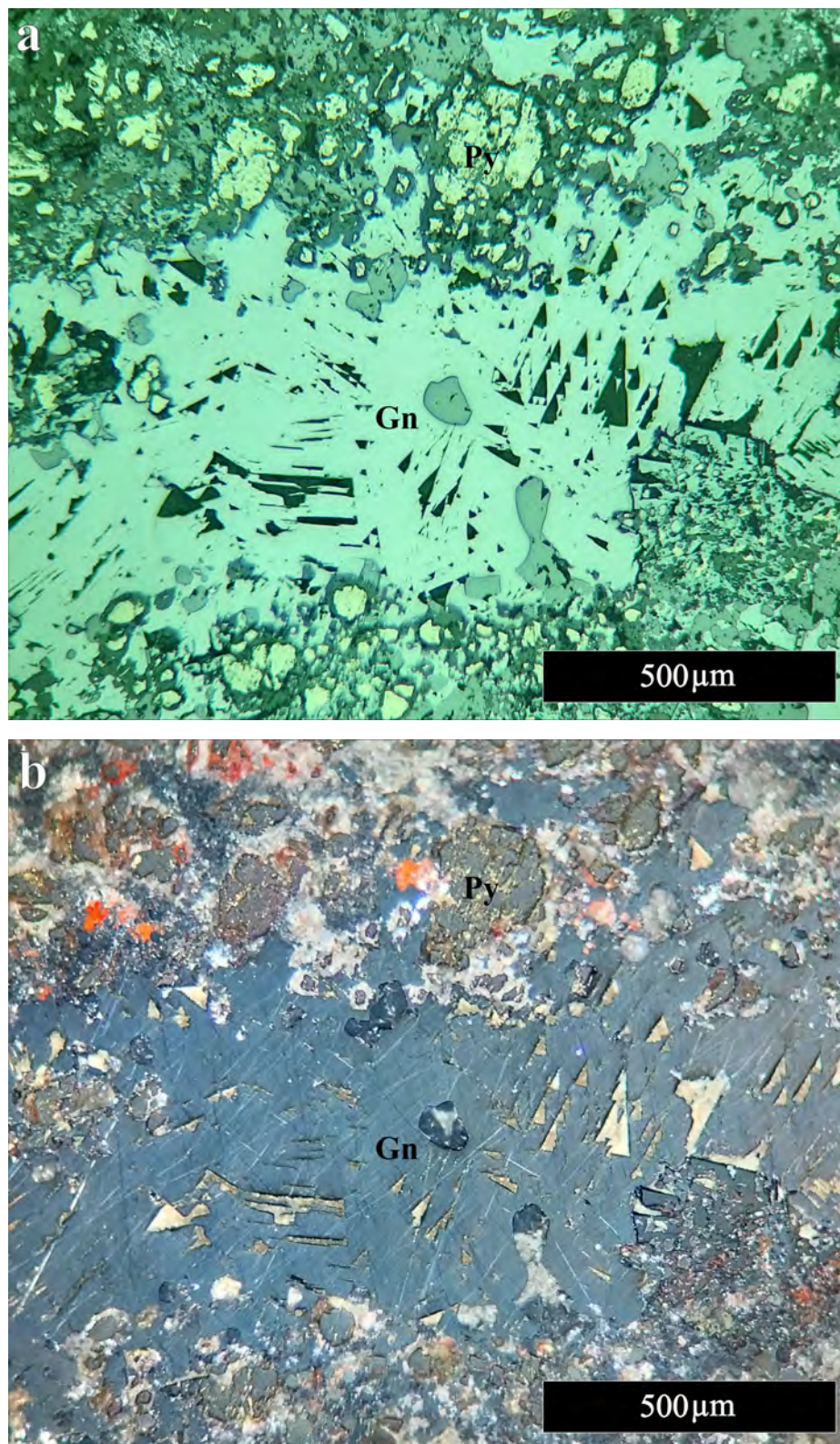
Fotomicrografia 31) Massa de esfalerita (cinza médio; PPL) em contato com hematita (cinza azulado claro; PPL) e galena (branco; PPL). Distrito Zíncífero de Vazante. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Sph: esfalerita; Gn: galena; Hm: hematita.



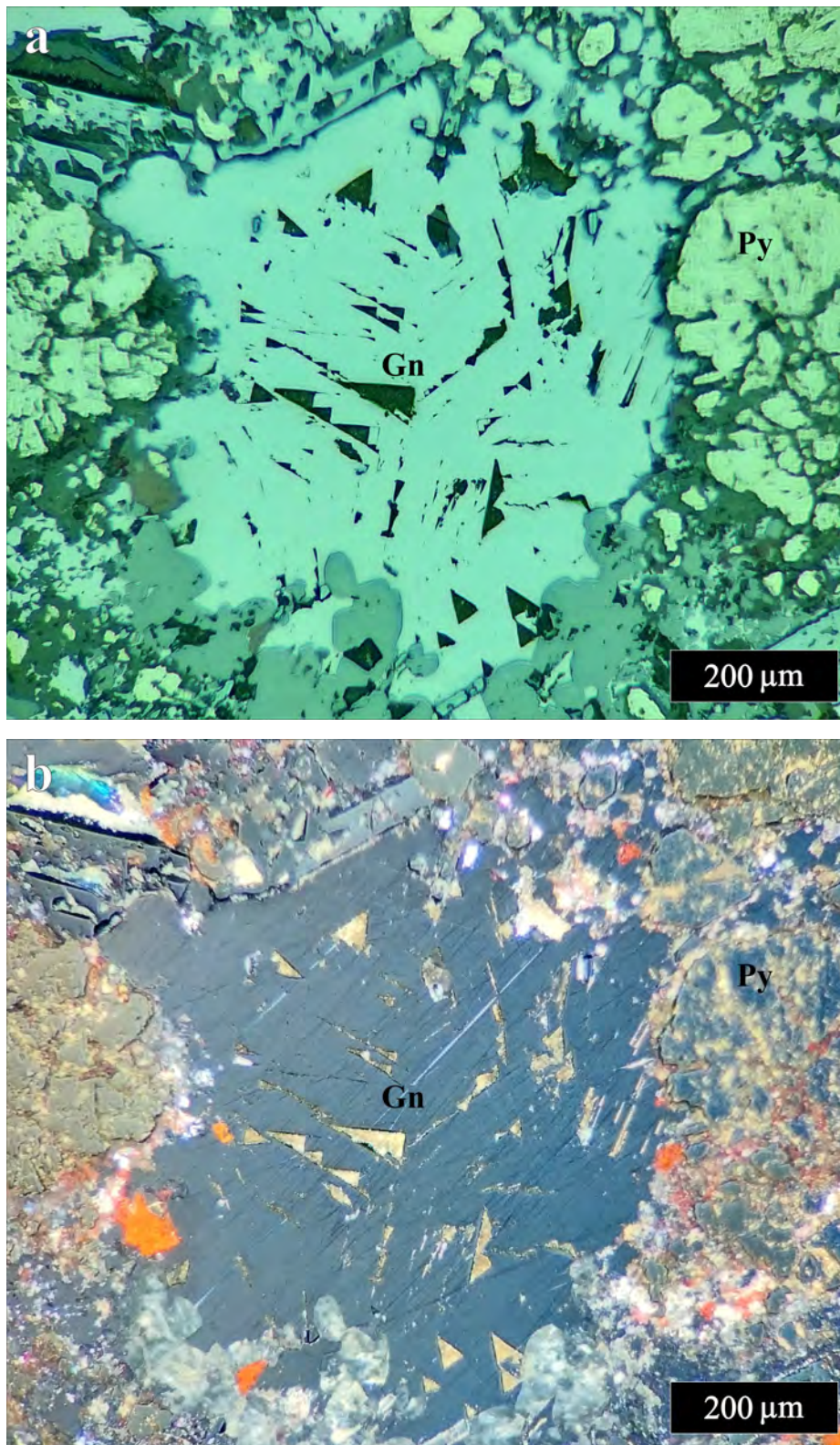
Fotomicrografia 32) Esfalerita (cinza médio; PPL) maciça com inclusões de cristais aciculares de hematita (cinza azulado claro; PPL) e cristais de pirita (creme; PPL). Distrito Zinífero de Vazante. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Sph: esfalerita; Hm: hematita; Py: pirita.

Galena - Gn

Fórmula Química:	<i>PbS</i>
Composição Química:	Pb - 86,60% S - 13,40%
Polimorfo com:	-
Sistema Cristalino:	isométrico ou cúbico
Cor de Reflexão:	branco
Pleocroísmo:	ausente
Anisotropia:	isotrópico, amostras não estequiométricas são ligeiramente anisotrópicas
Reflexão Interna:	não apresenta
Hábito:	cúbico, octaédrico, esquelético, maciço, granular
Macla:	lamelar
Dureza:	2,5 - 2,75
Clivagem:	perfeita
Fratura:	subconchoidal



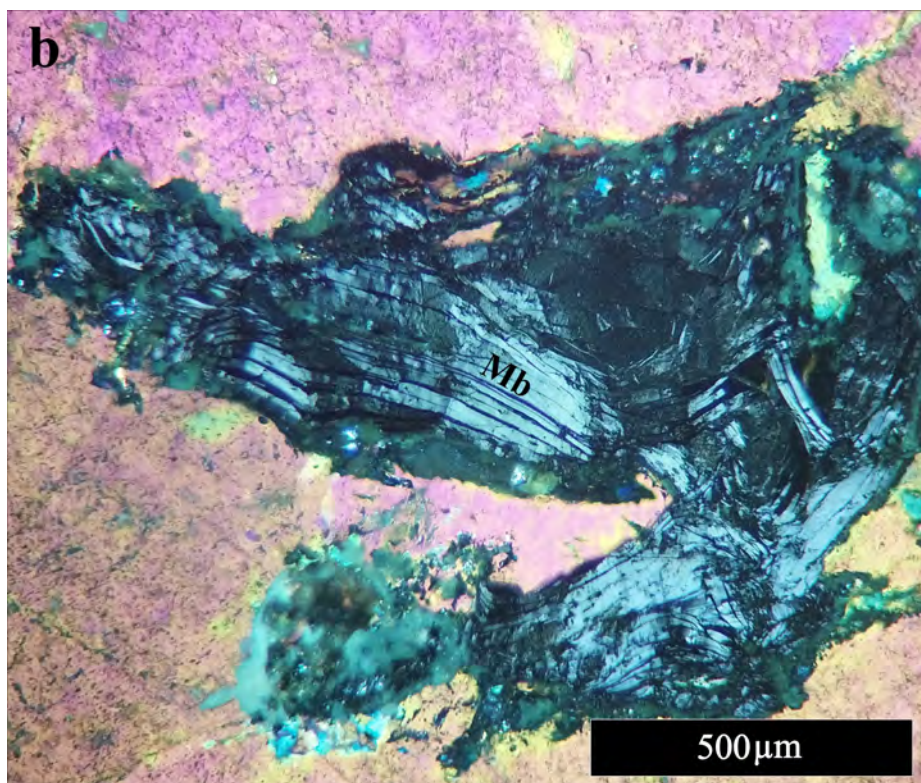
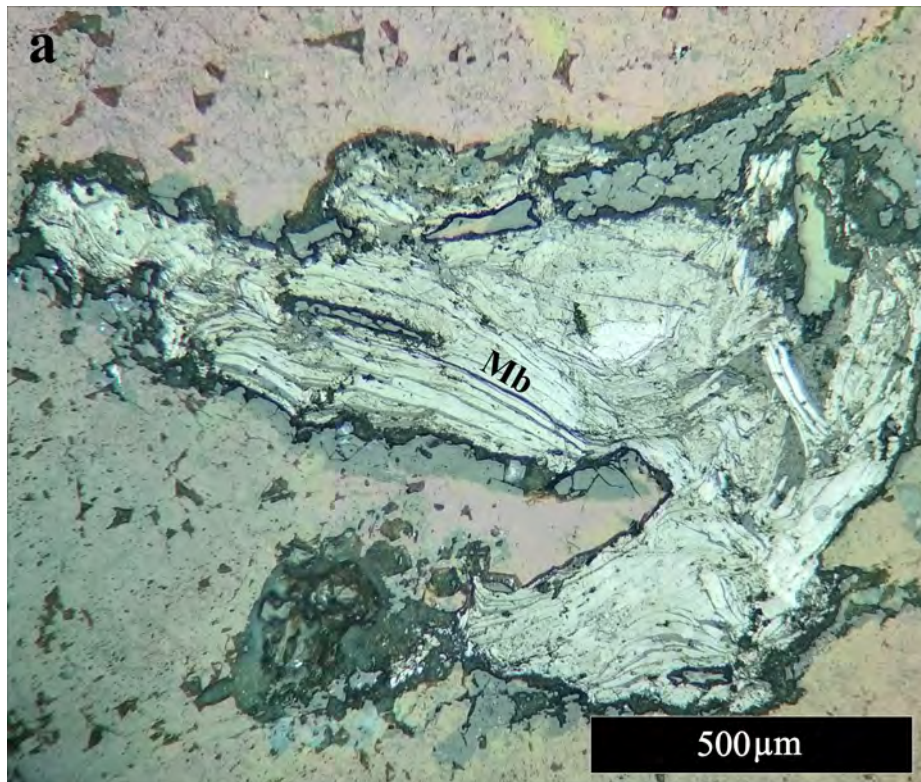
Fotomicrografia 33) Galena (branco; PPL) em associação com pirita (creme; PPL). Distrito Zíncífero de Vazante. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Gn: galena; Py: pirita.



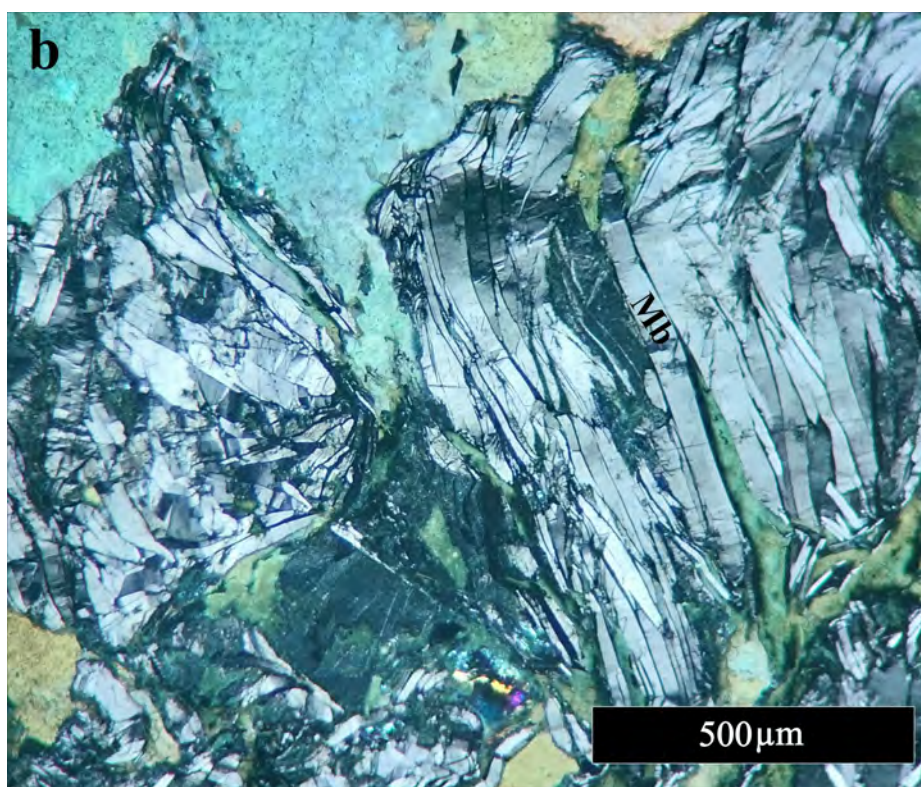
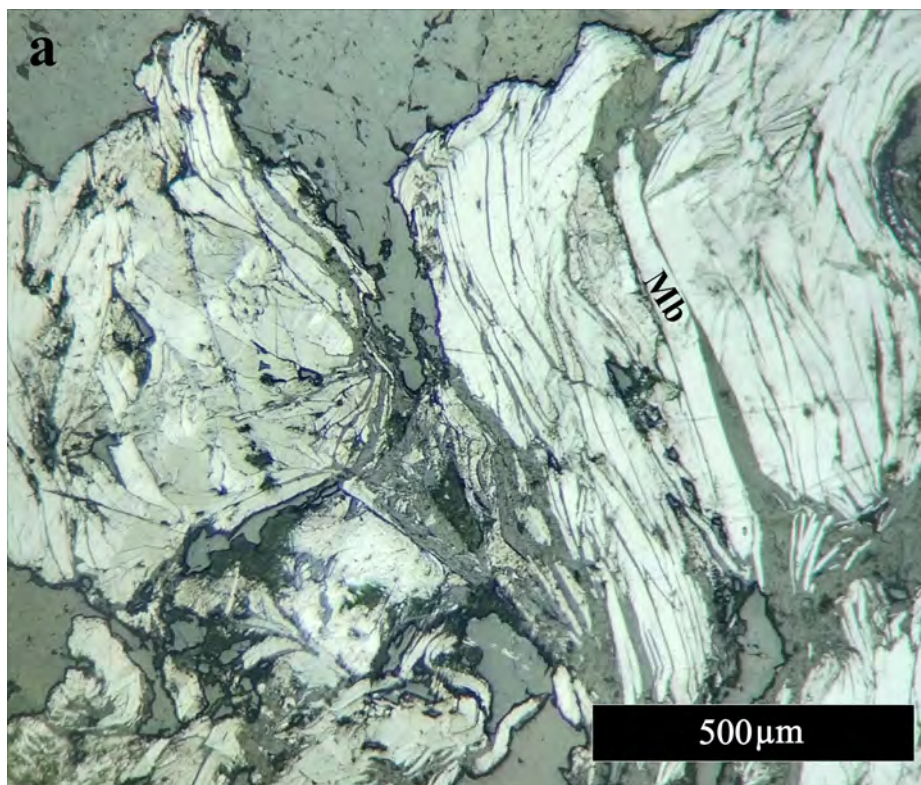
Fotomicrografia 34) Cristal de galena (branco; PPL) em associação com pirita (creme; PPL). Distrito Zíncífero de Vazante. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Gn: galena; Py: pirita.

Molibdenita - Mb

Fórmula Química:	MoS_2
Composição Química:	Mo - 59,94% S - 40,06%
Polimorfo com:	jordisita
Sistema Cristalino:	hexagonal
Cor de Reflexão:	cinza claro a médio
Pleocroísmo:	muito forte
Anisotropia:	muito forte, tons variando de cinza claro a escuro
Reflexão Interna:	não apresenta
Hábito:	tabular, prismático, foliado, maciço, cristais disseminados
Macla:	não apresenta
Dureza:	1,0 - 1,5
Clivagem:	perfeita
Fratura:	não apresentar



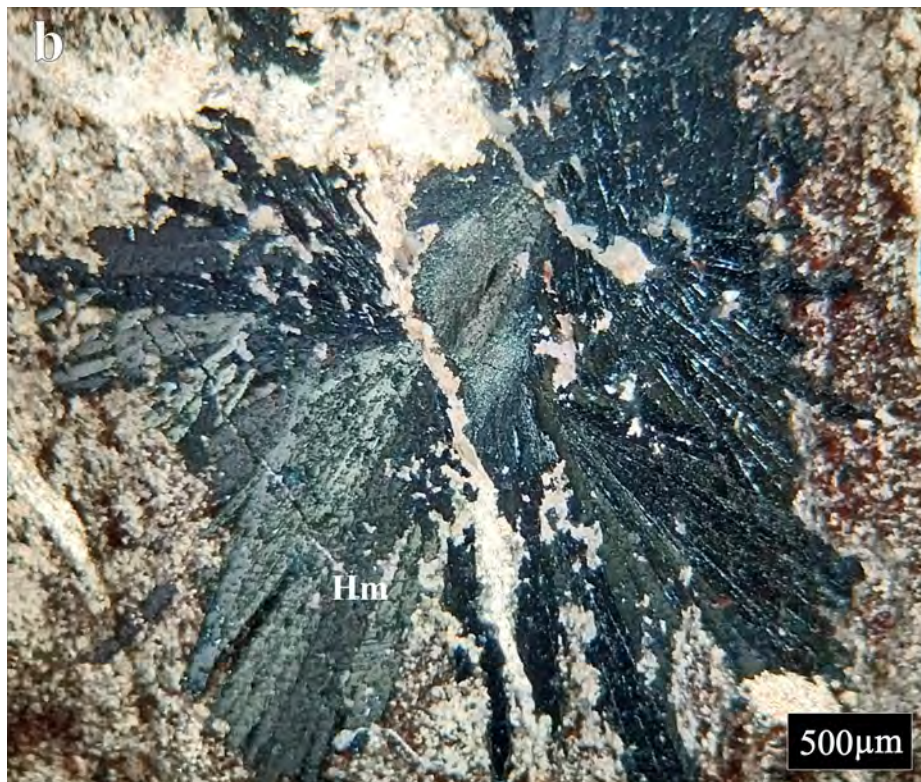
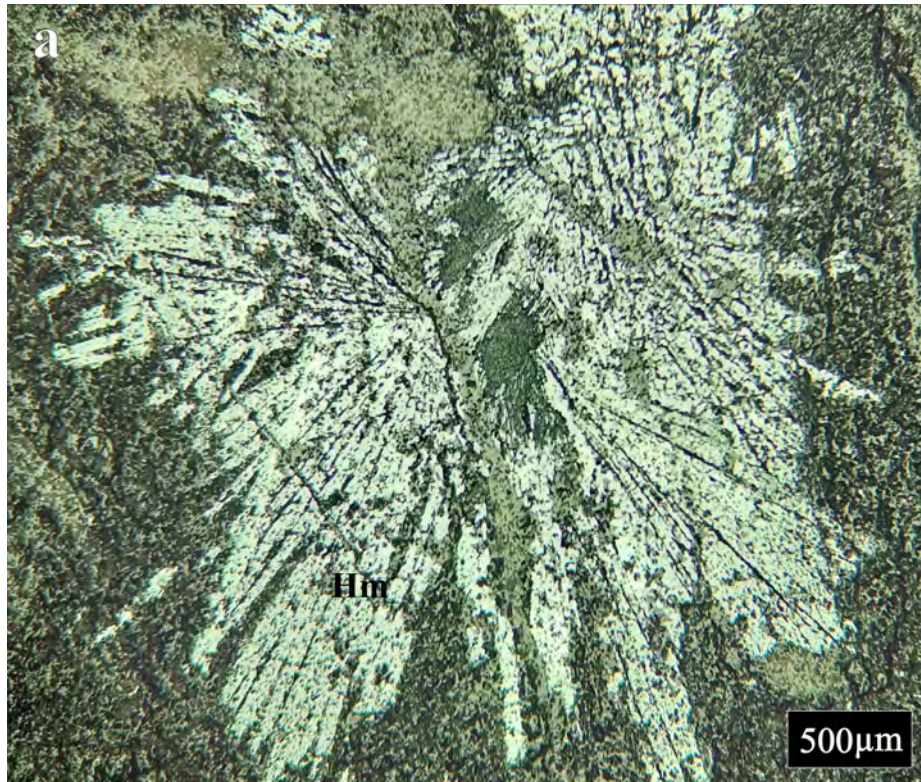
Fotomicrografia 35) Molibdenita (cinza médio, PPL) exibindo forte anisotropia (em tons de cinza; XPL). Depósito Hades Nordeste - Província Mineral de Carajás. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Mb: molibdenita.



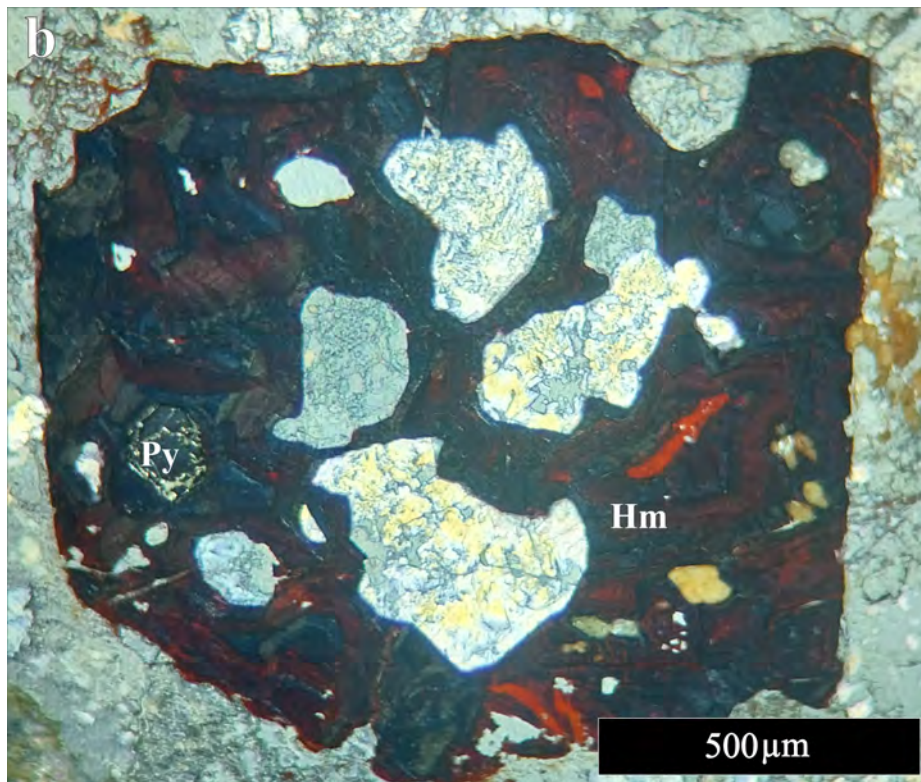
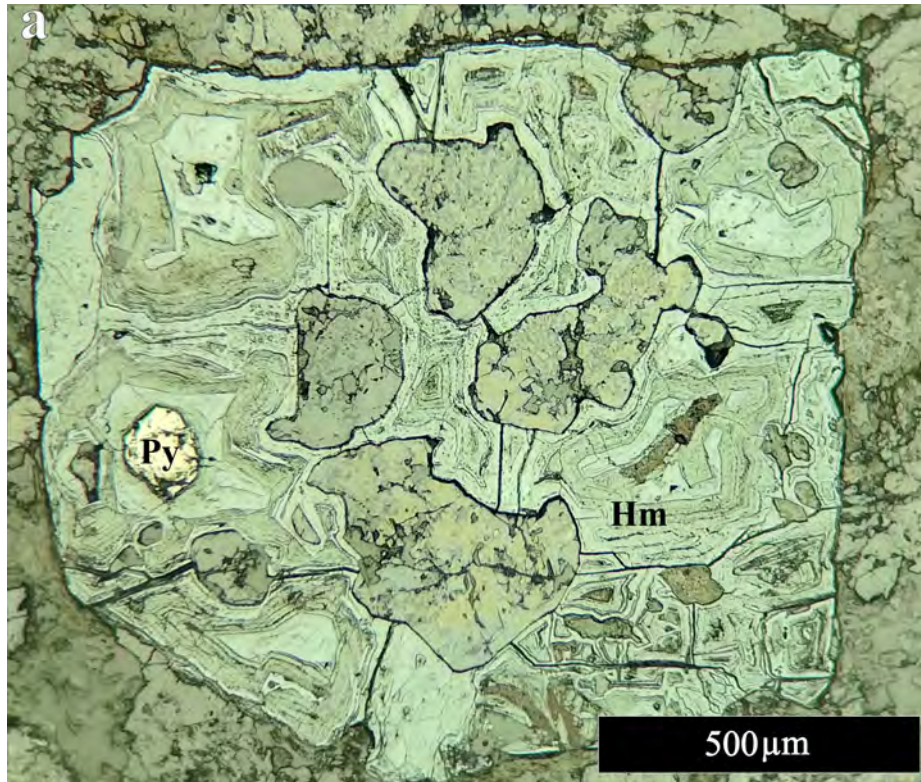
Fotomicrografia 36) Molibdenita (cinza claro, PPL) com forte pleocroísmo e anisotropia (cinza claro a escuro; XPL). Depósito Hades Nordeste - Província Mineral de Carajás. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Mb: molibdenita.

Hematita - Hm

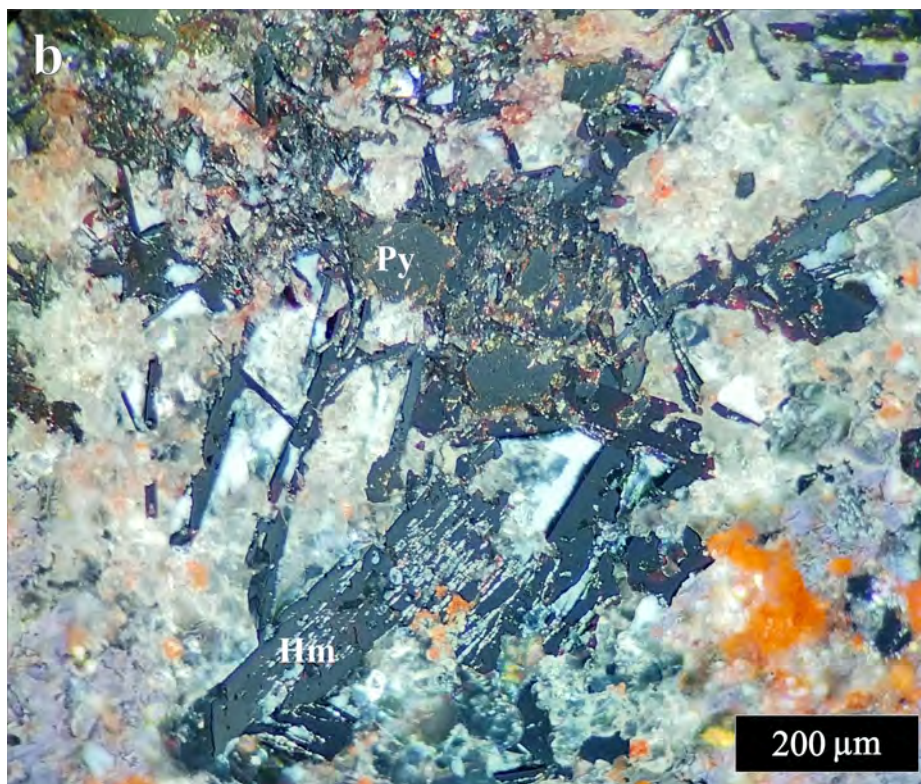
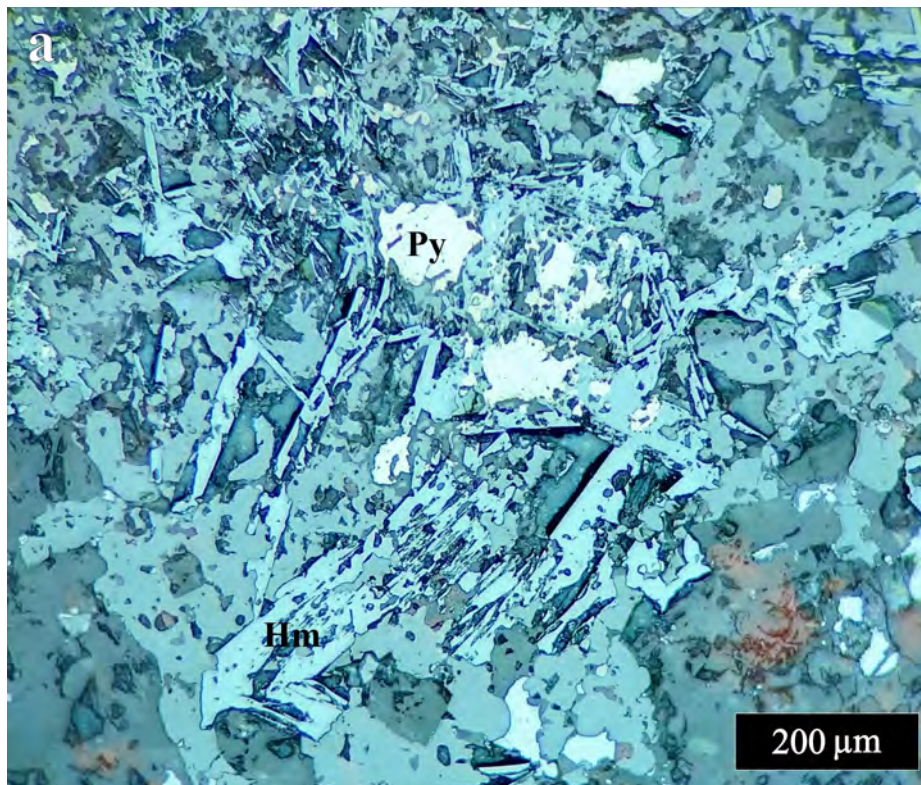
Fórmula Química:	Fe_2O_3
Composição Química:	Fe - 69,94% O - 30,06%
Polimorfo com:	maghemita, luogufengita
Sistema Cristalino:	trigonal - hexagonal
Cor de Reflexão:	cinza azulado claro
Pleocroísmo:	fraco a ausente
Anisotropia:	distinta, tons de cinza acastanhado
Reflexão Interna:	vermelho-sangue profundo
Hábito:	cristais romboédricos, reniforme, pseudocúbicos ou prismáticos estriados complexos, tabular, radial, botrioidal, concrecionário, granular, oolítico, terroso, em bloco, em roseta, colunar, fibroso radiado, micáceo a tabular
Macla:	lamelar ou de penetração
Dureza:	5,0 - 6,5
Clivagem:	não apresenta
Fratura:	conchooidal a irregular



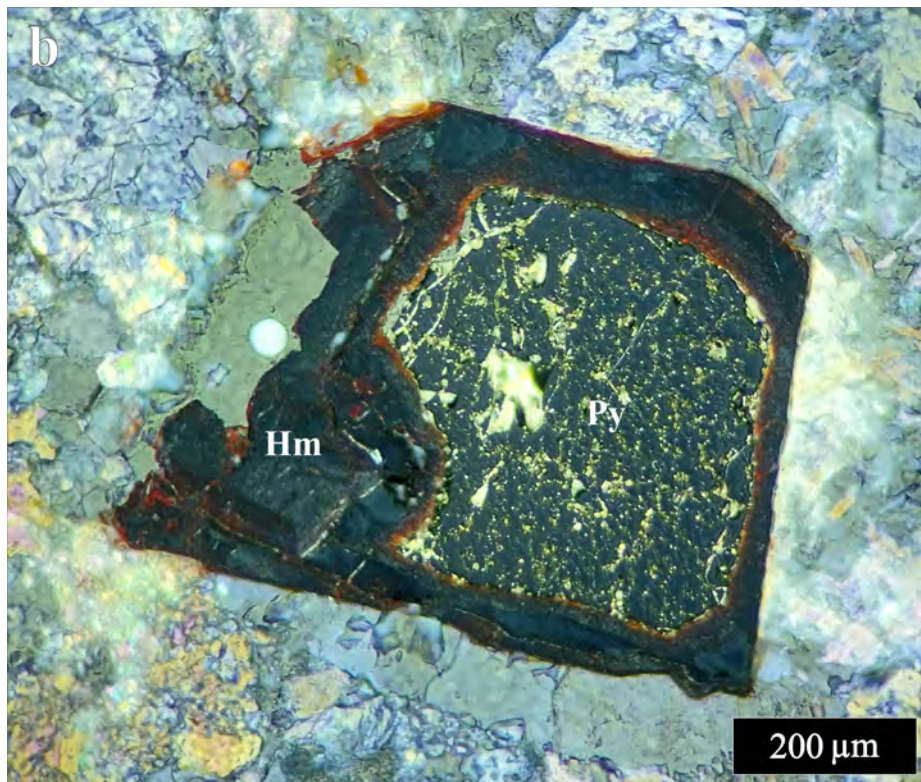
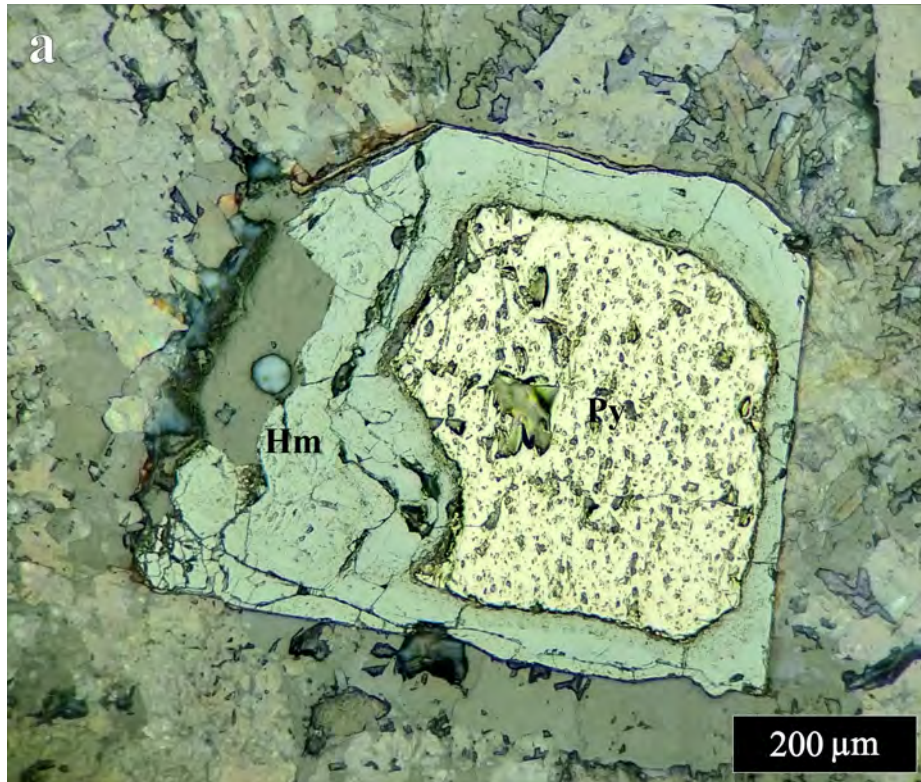
Fotomicrografia 37) Cristais de hematita (cinza azulado claro; PPL) com textura radial e anisotropia distinta (cinza acastanhado; XPL). Depósito Salobo - Província Mineral de Carajás. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Hm: hematita.



Fotomicrografia 38) Cristal de hematita (cinza azulado claro; PPL) exibindo reflexão interna vermelho-sangue profundo (XPL) com inclusão de pirita (creme; PPL). Depósito Pantera - Província Mineral de Carajás. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Hm: hematita; Py: pirita.



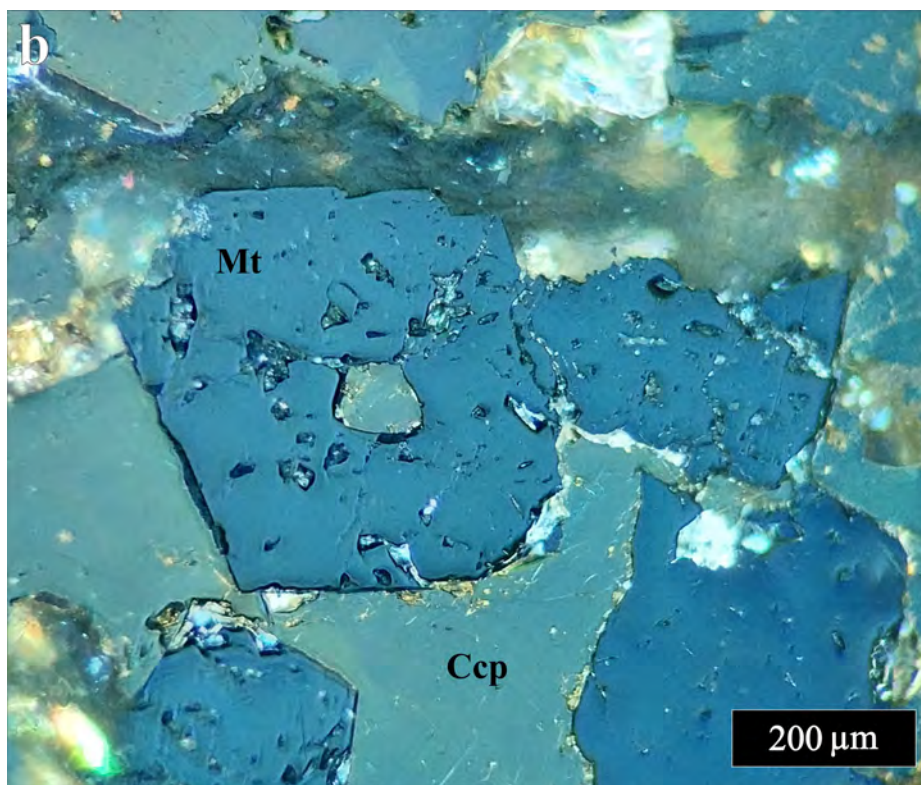
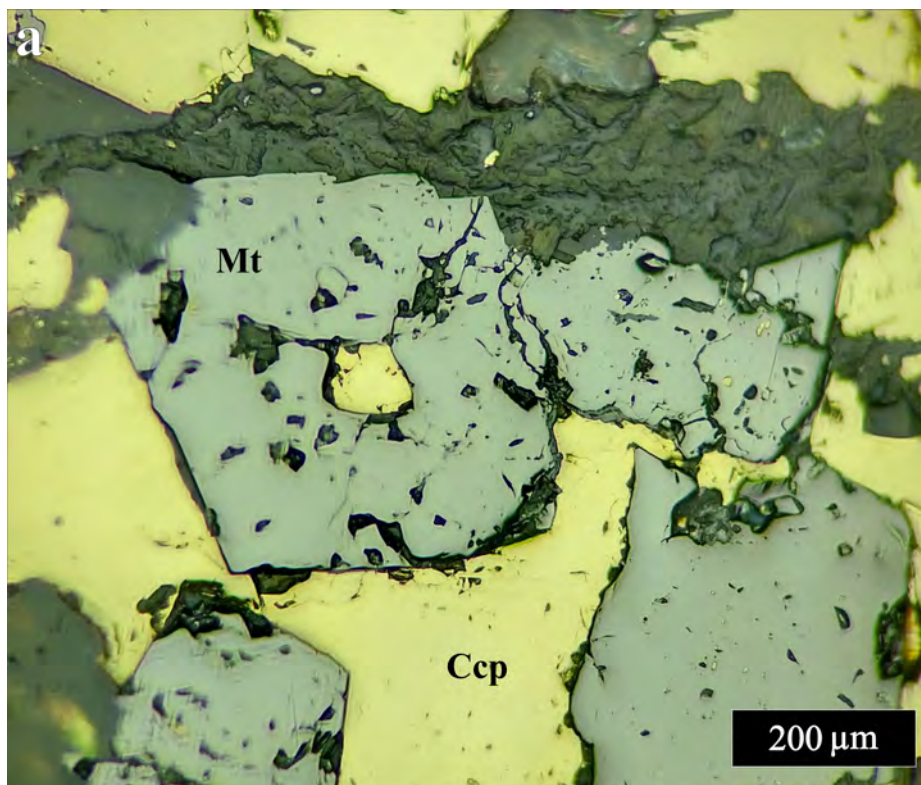
Fotomicrografia 39) Intercrescimento de hematita (cinza azulado claro; PPL) tabular e pirita (creme; PPL). Distrito Zincífero de Vazante. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Hm: hematita; Py: pirita.



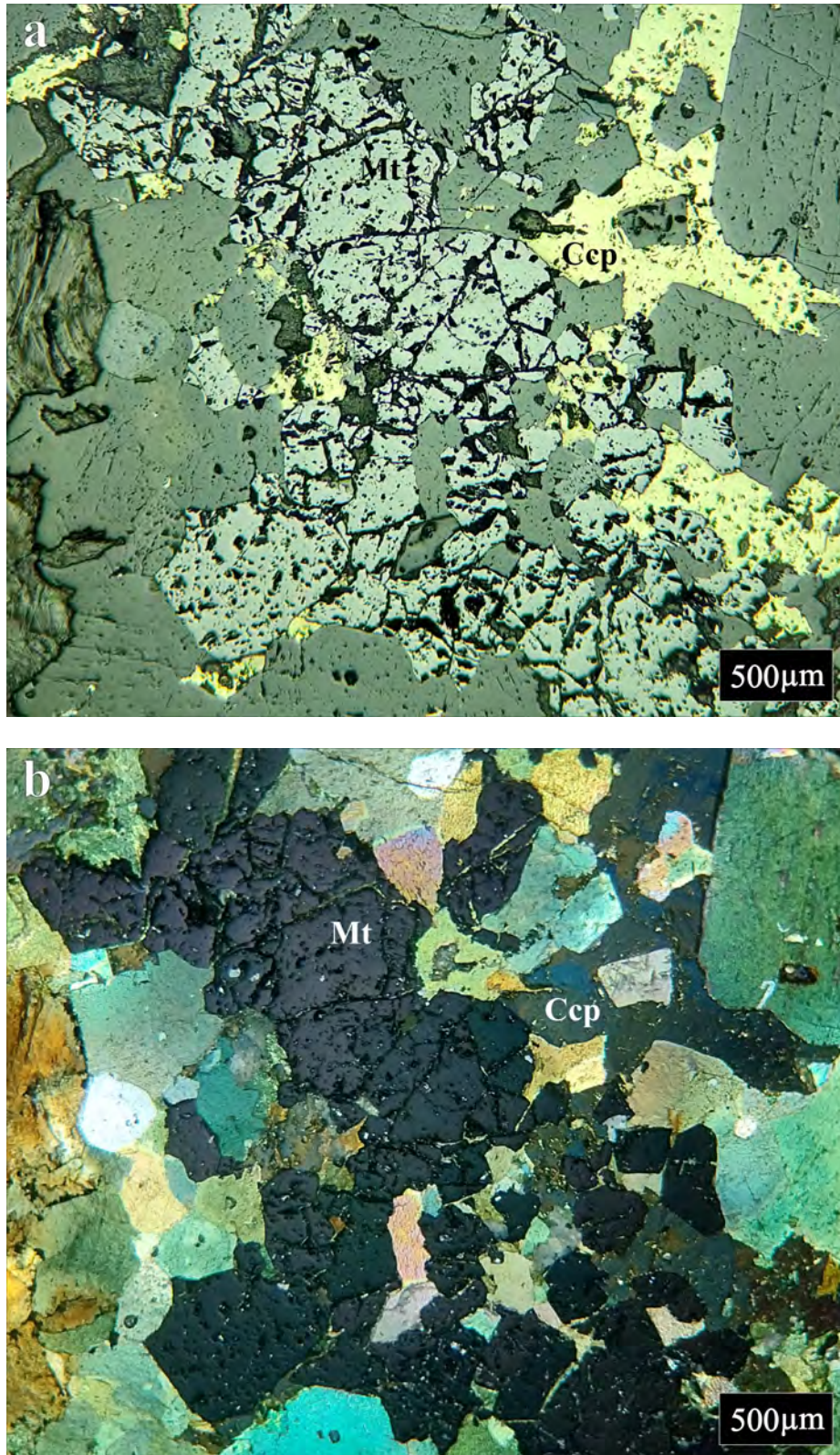
Fotomicrografia 40) Borda de hematita (cinza azulado claro; PPL) em cristal euédrico de pirita (creme; PPL). Reflexão interna da hematita em cor vermelho-sangue (XPL). Depósito Pantera - Província Mineral de Carajás. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Hm: hematita; Py: pirita.

Magnetita - Mt

Fórmula Química:	Fe_3O_4
Composição Química:	Fe - 72,36% O - 27,64%
Polimorfo com:	-
Sistema Cristalino:	isométrico ou cúbico
Cor de Reflexão:	cinza rosado
Pleocroísmo:	ausente
Anisotropia:	isotrópico
Reflexão Interna:	não apresenta
Hábito:	octaédrico, dodecaédrico, esquelético, granular, maciço
Macla:	lamelar
Dureza:	5,5 - 6,5
Clivagem:	não apresenta
Fratura:	subconchoidal a irregular



Fotomicrografia 41) Magnetita (cinza rosado; PPL) euédrica associada à calcopirita (amarelo, PPL). Depósito Paraíba - Província Mineral de Alta Floresta. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Ccp: calcopirita; Mt: magnetita.



Fotomicrografia 42) Magnetita (cinza rosado; PPL) maciça em associação à calcopirita (amarelo; PPL). Isotropia característica (XPL). Mina Pedra Branca - Província Mineral de Carajás. (a) PPL (b) XPL. Abreviação: Ccp: calcopirita; Mt: magnetita.

Tabela Resumo

Mineral	Cor de Reflexão	Pleocroísmo	Anisotropia	Reflexão Interna	Macla
Pirita FeS_2	creme a branco	ausente	isotrópico. Pode apresentar anisotropia anômala em tons de violeta, marrom e azul-turquesa	não apresenta	de contato e interpenetração
Pirrotita $Fe(1-x)S$ (x=0-0,17)	tons acastanhados	fraco a ausente	forte, variando de marrom escuro a cinza azulado	não apresenta	-
Bornita Cu_5FeS_4	marrom rosado	fraco, às vezes perceptível	fraca a ausente	não apresenta	de penetração
Calcocita Cu_2S	azul acinzentado	ausente	fraca, geralmente visível com o analisador ligeiramente aberto	não apresenta	formas estreladas pseudo-hexagonais
Calcopirita $CuFeS_2$	tons distintos de amarelo, ocasionalmente esverdeado ou acastanhado	fraco a ausente	fraca, mas distinta variando de azul-acinzentado a verde-oliva	não apresenta	comum, de penetração ou cíclica
Covelita CuS	azul índigo	acentuado, azul profundo a azul acinzentado	forte, em tons de laranja	não apresenta	não apresenta
Millerita NiS	amarelo pálido a brilhante	fraco, tons de amarelo	forte, variando de amarelo a azul	não apresenta	-

Pentlandita (Fe, Ni) $_9S_8$	creme claro	ausente	isotrópico	não apresenta	não apresenta
Arsenopirita $FeAsS$	branco com leve tom amarelo	fraco, branco com tonalidade azulada a amarelo avermelhado fraco	forte, variando de marrom/vermelho a azul/violeta	não apresenta	de contato cruciforme ou “unindo” três cristais (trilling) e tipo-estrela
Cobaltita $CoAsS$	rosa claro	muito fraco	esverdeado a azulado	não apresenta	pseudocúbica
Esfalerita (Zn, Fe) S	cinza médio	ausente	isotrópico	depende da composição, podendo ser incolor, amarelo, laranja, marrom, vermelho, verde	lamelar
Galena PbS	branco	ausente	isotrópico, amostras não estequiométricas são ligeiramente anisotrópicas	não apresenta	lamelar
Molibdenita MoS_2	cinza claro a médio	muito forte	muito forte, tons variando de cinza claro a escuro	não apresenta	não apresenta
Hematita Fe_2O_3	cinza azulado claro	fraco a ausente	distinta, tons de cinza acastanhado	vermelho-sangue profundo	lamelar ou de penetração
Magnetita Fe_3O_4	cinza rosado	ausente	isotrópico	não apresenta	lamelar

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. Anuário Mineral Brasileiro: principais substâncias metálicas - 2022. Brasília: ANM, 2023. 23 p.

BIZZI, L. A. et al. Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG. Brasília: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2003. 692 p.

CAMERON, E. N. Ore microscopy. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1961.

CASTROVIEJO, R. A practical guide to ore microscopy - volume 1 - mineral identification. Suíça: Springer, 2023.

CRAIG, J. R.; VAUGHAN, D. J. Ore microscopy and ore petrography. 2ª edição. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1994.

FIGUEIREDO, B. R. Minérios e Ambientes. Editora Unicamp, 2014.

HANDBOOK OF MINERALOGY. Disponível em: www.handbookofmineralogy.org

KLEIN, C.; DUTROW, B. Manual de ciência dos minerais. 23ª edição. Bookman, 2012.

MARSHALL, D.; ANGLIN, C. D.; MUMIN, H. Ore mineral atlas. Geological Association of Canada - Mineral Deposits Division. 2004.

MINDAT. Disponível em: www.mindat.org

MINERALOGY DATABASE. Disponível em: www.webmineral.com

PRACEJUS, B. The ore minerals under the microscope - An optical guide. 2.ed. Elsevier, 2015. 1098p.

SPRY, P. G.; GEDLINSKE, B. L. Tables for the determination of common opaque minerals. 1987.

UYTENBOGAARDT, W.; BURKE, E. A. J. Tables for microscopic identification of ore minerals. 2.ed. Elsevier, 1971.