



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Instituto de Geografia

Mariana dos Santos Minhava Marques da Silva

**Micromorfologia aplicada à evolução e comportamento dos solos na Serra
do Mar (Itaipava - RJ)**

Rio de Janeiro

2024

Mariana dos Santos Minhava Marques da Silva

**Micromorfologia aplicada à evolução e comportamento dos solos na Serra do Mar
(Itaipava - RJ)**

Tese apresentada, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Cultura e Natureza.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Soares da Silva

Rio de Janeiro

2024

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/CTCC

S586 Silva, Mariana dos Santos Minhava Marques da.
Micromorfologia aplicada à evolução e comportamento dos solos na Serra do Mar (Itaipava - RJ) / Mariana dos Santos Minhava Marques da Silva.– 2024.
313 f. : il.

Orientador: Antonio Soares da Silva.
Tese (Doutorado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Geografia.

1. Geomorfologia - Teses. 2. Estrutura do solo - Itaipava (RJ). 3. Uso e ocupação do solo - Teses. 4. Movimento de massa – Teses. I. Silva, Antonio Soares da. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Geografia. III. Título.

CDU: 551.4(815.3)

Bibliotecária Responsável: Priscila Freitas Araujo/ CRB-7: 7322

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Mariana dos Santos Minhava Marques da Silva

**Micromorfologia aplicada à evolução e comportamento dos solos na Serra do Mar
(Itaipava - RJ)**

Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Cultura e Natureza.

Aprovada em 29 de outubro de 2024.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Antonio Soares da Silva (Orientador)
Instituto de Geografia - UERJ

Prof.^a Dr.^a. Maria Carolina Villaça Gomes
Instituto de Geografia - UERJ

Prof.^a Dr.^a. Vanessa Ingrid Carvalho Saraiva
Instituto de Geografia - UERJ

Prof.^a Dr.^a. Rosangela Garrido Machado Botelho
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Prof.^a Dr.^a. Carla Maciel Salgado
Universidade Federal Fluminense

Rio de Janeiro

2024

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus avós Georgina, Preciosa e João, que pavimentaram o caminho para que hoje possamos andar com mais tranquilidade.

AGRADECIMENTOS

Fazer uma pós-graduação não é algo trivial. Fazê-la num período de pandemia, sem bolsa ou qualquer apoio ou recurso financeiro, torna tudo bastante desafiador. Foram anos de dúvidas, dificuldades enormes e muitos momentos em que não parecia viável. Por isso, há algumas pessoas que foram fundamentais para que eu concluísse essa etapa.

À minha mãe, ao meu pai e meu irmão, que sempre apoiaram minha caminhada na educação, reconhecendo o valor do conhecimento em nossas vidas. Apesar das dificuldades, nunca deixaram de acreditar que eu conseguiria. Vocês são os amores da minha vida. Já podemos partir para a celebração!

Meu marido, Rafael Debetto, que com imenso amor me incentivou dia após dia e com imensa paciência me mostrou que eu era capaz de superar as dificuldades que iam se impondo. Você é minha sorte, minha família.

À democracia, que possibilitou o fim de uma era obscura no meu país, onde o conhecimento era encarado como algo nefasto.

À Universidade Pública e em específico nesta caminhada, a UERJ, que apesar de seus problemas como toda instituição de seu tamanho possui, é responsável pela profissional que eu sou hoje. Sempre serei uma incentivadora e entusiasta da educação pública, gratuita e de qualidade.

À Universidade de São Paulo, em especial, a ESALQ, em Piracicaba. Todo o meu conhecimento em Micromorfologia eu devo à instituição e às pessoas que cruzaram o meu caminho e que tanto fizeram por mim, desde cursos de especialização à confecção das lâminas delgadas das amostras. Obrigada por tudo Professor Miguel Cooper e Sonia Moraes.

Às indústrias FIAT e Ford, que através de seus automóveis puderam me transportar ao longo do Vale do Cuiabá e seus pontos, sem contar os materiais coletados.

Aos meus amigos e amigas que ao longo desse período infundável sempre me perguntavam como estava o andamento da tese e recebiam as mais diferentes respostas. Agora será a minha vez de perguntar se já leram este trabalho e provavelmente receber respostas semelhantes.

Ao Clube de Regatas Vasco da Gama que com suas atuações sofríveis nesse ínterim do doutorado, me ajudaram a focar nos estudos.

Ao meu orientador, Antônio Soares, que teve paciência desde o início em me guiar ao longo de um caminho desconhecido na geografia física. Não é fácil lidar com orientandos que

fazem essa transição, mas hoje eu posso dizer que me reconheço plenamente como uma profissional da área e você tem parte nisso. Meu muito obrigada.

À Vanessa Saraiva, um anjo em forma de coorientadora que sempre se mostrou disponível, compreensiva, empática e me ajudou imensamente tanto na banca como no processo pós-banca. Graças a você este trabalho pôde entrar no eixo e ser finalizado. A academia precisa de pessoas como você.

E por fim, aos meus colegas e amigos profissionais da Thalweg Tecnologia e Serviços de Geotecnia, que desde 2022 faz parte da minha caminhada na Análise de Riscos Ambientais, tendo me proporcionado uma *expertise* além das salas de aula. Desde que parei de subir em tabladros e comecei a subir servidões, escadarias e encostas para mapear, analisar riscos de deslizamentos e atuar em emergências, minha vida mudou totalmente, mas posso dizer que nunca fui tão realizada profissionalmente. Obrigada por todas as realizações e bagagem.

E aos filhos que virão, espero que um dia vocês possam ler essa tese para evitar viagens à Região Serrana no verão.

Haja coração!

Galvão Bueno.

RESUMO

MINHAVA, Mariana dos Santos Marques da Silva. **Micromorfologia aplicada à evolução e comportamento dos solos na Serra do Mar (Itaipava - RJ)**. 2024. 313 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

O avanço da ocupação e uso do solo em locais atingidos pelo Megadesastre de 2011 em áreas de ocorrência histórica de movimentos de massa pode aumentar as chances de vítimas fatais e prejuízos gerados em novos eventos extremos, especialmente em tempos de alterações climáticas. O Vale do Cuiabá, em Itaipava, na Região Serrana, teve um incremento na sua ocupação pós década de 2010 mesmo sendo uma das principais áreas atingidas no Megadesastre. Sendo assim, o Vale da Bacia do Rio Cuiabá, onde se concentraram processos de deslizamentos rasos e corridas de massa que se encaixaram na drenagem é o local de estudo escolhido. A compreensão do comportamento dos solos e sua evolução como agente de processos como movimentos de massa responde se os solos da região possuem uma suscetibilidade intrínseca à ocorrência de deslizamentos. Através da micromorfologia foi possível identificar feições e constituintes nos solos estudados que podem levar à deflagração de processos disruptivos. O cruzamento do mapeamento das cicatrizes de deslizamento dos eventos de 2011 com a análise micromorfológica realizada permitiu a identificação de características do solo para compreender o seu comportamento. Assim, com a Micropedologia identificou-se que, dos seis pontos de análise, em um deles foi encontrada a feição pedológica de *boxwork* de gibbsita, que gera interferência na condutividade hidráulica no perfil de solo, saturação a montante e por fim, levando à ruptura de sua resistência.

Palavras-chave: micromorfologia dos solos; movimento de massa; suscetibilidade; desastres; Itaipava.

ABSTRACT

MINHAVA, Mariana dos Santos Marques da Silva. **Micromorphology applied to the evolution and behavior of soils in Serra do Mar (Itaipava - RJ)**. 2024. 313 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

The increase in occupation and land use in places affected by the 2011 disaster in areas with a history of mass movements could increase the chances of fatalities and damage caused by new extreme events, especially in times of climate change. The Cuiabá Valley, in Itaipava, in the mountain region, has experienced an increase in occupation since the 2010's, even though it was one of the main areas affected by the mega disaster. Therefore, the Cuiabá River Basin Valley, where shallow landslides and mass flows were concentrated in the drainage system, was chosen as the study site. Understanding the behavior of soils and their evolution as agents of processes such as mass movements provides an answer as to whether the region's soils are intrinsically susceptible to landslides. Using micromorphology, it was possible to identify features and constituents in the soils under study that could lead to the outbreak of disruptive processes. By cross-referencing the mapping of landslide marks from the 2011 events with the micromorphological analysis carried out, it was possible to identify characteristics of the soil in order to understand its behavior. Micropedology identified that, of six analysis points, one found the pedological feature of gibbsite boxwork, which interferes in the hydraulic conductivity of the soil profile, saturating it upstream and ultimately leading to the rupture of its resistance.

Keywords: micromorphology; landslides; disasters.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Formações geológicas no município de Petrópolis, tendo Itaipava em destaque.....	30
Figura 2 –	Evolução da população total nos municípios do Rio de Janeiro e Petrópolis.....	34
Figura 3 –	Mapeamento da dinâmica de ocupação dos distritos de Petrópolis ao longo dos anos.....	35
Figura 4 –	Crescimento da população dos distritos do município de Petrópolis entre 1980 e 2022.....	36
Figura 5 –	Classificação climática de Conti.....	38
Figura 6 –	Dados Climatológicos de Petrópolis, entre 1991 e 2021.....	38
Figura 7 –	Mapeamento de formações geológicas de Itaipava, com destaque da Bacia do Cuiabá.....	40
Figura 8 –	Localização Geotectônica.....	42
Figura 9 –	Feições de relevo do distrito de Itaipava, com destaque para a Bacia do Cuiabá.....	44
Figura 10 –	Mapa de declividades do Distrito de Itaipava, com destaque da Bacia do Cuiabá.....	46
Figura 11 –	Hipsometria no Município de Petrópolis, em destaque para o distrito de Itaipava e Bacia do Cuiabá.....	47
Figura 12 –	Mapa de solos adaptado de Botelho (1996)	50
Figura 13 –	Croqui pedológico da Bacia do Vale do Cuiabá.....	51
Figura 14 –	Mapa com os estratos de Floresta Ombrófila Densa no Município de Petrópolis, em destaque o distrito de Itaipava e Bacia do Cuiabá.....	54
Figura 15 –	Tipos de uso do solo no município de Petrópolis.....	55
Figura 16 –	Cruzamento de dados entre as áreas ocupadas em Petrópolis e as áreas protegidas, com destaque para o distrito de Itaipava e Bacia do Cuiabá.	57
Figura 17 –	Cruzamento de dados entre atividades primárias desenvolvidas em Petrópolis e as áreas protegidas, com destaque para o distrito de Itaipava e Bacia do Cuiabá.....	58
Figura 18 –	Feições do movimento rotacional.....	70

Figura 19 –	Deslizamento Rotacional em Mendes/ RJ.....	71
Figura 20 –	Deslizamento Planar no Morro da Oficina, Petrópolis.....	72
Figura 21 –	Esquema ilustrado de deslizamento planar.....	73
Figura 22 –	Esquema ilustrado de deslizamento em cunha.....	74
Figura 23 –	Esquema ilustrado de descontinuidades e queda de blocos.....	74
Figura 24 –	Evolução do processo de queda de blocos.....	75
Figura 25 –	Paredão em Capitólio com a trinca que levou ao tombamento.....	76
Figura 26 –	Hierarquização dos conceitos considerados como fundamentais para a identificação dos arranjos pedológicos e seus componentes na análise micromorfológica.....	84
Figura 27 –	Diferentes aspectos de minerais sob a luz natural e polarizada.....	85
Figura 28 –	As distribuições relativas respectivamente indicadas nos itens acima.....	86
Figura 29 –	Fábricas birrefringentes de diferentes tipos.....	87
Figura 30 –	Alguns exemplos de poros.....	87
Figura 31 –	Alguns exemplos de microestrutura.....	88
Figura 32 –	Revestimento de argila fortemente contínua e orientada.....	89
Figura 33 –	Microfotografias de feições pedológicas.....	89
Figura 34 –	Ciclo Hidrológico.....	96
Figura 35 –	Poropressão positiva e negativa.....	98
Figura 36 –	Índice de deslizamentos de acordo com a declividade.....	101
Figura 37 –	Perfil de uma vertente.....	102
Figura 38 –	Tipos de encosta segundo sua morfologia.....	103
Figura 39 –	Fluxograma metodológico.....	108
Figura 40 –	Pontos de coleta de amostras de solo no campo.....	110
Figura 41 –	Abertura e limpeza de perfil no ponto 5 para identificação, descrição e coleta de amostras.....	111
Figura 42 –	Perfis topográficos dos pontos 1 e 2 com o traçado no mapa de elevação na direção SE/NO.....	112
Figura 43 –	Perfis topográficos do ponto 3 com o traçado no mapa de elevação na direção NO/SE.....	113
Figura 44 –	Perfis topográficos dos pontos 4 e 5 com o traçado no mapa de elevação na direção NO/SE.....	114
Figura 45 –	Perfis topográficos do ponto 6 com o traçado no mapa de elevação na	

	direção NO/SE.....	114
Figura 46 –	Croqui pedológico com as classes de solo identificadas na Bacia do Vale do Cuiabá.....	116
Figura 47 –	Mapa de declividades da Bacia do Vale do Cuiabá.....	118
Figura 48 –	Mapa de Cicatrizes do Megadesastre de 2011 deflagradas na Bacia do Cuiabá.....	120
Figura 49 –	Catena de solos elaborada a partir das cotas de altitude dos pontos levantados em campo.....	123
Figura 50 –	Localização do ponto 1.....	124
Figura 51 –	Abertura do perfil do ponto 1.....	125
Figura 52 –	Localização do ponto 2.....	125
Figura 53 –	Abertura do perfil no ponto 2.....	126
Figura 54 –	Localização do Ponto 3.....	127
Figura 55 –	Abertura do perfil no Ponto 3.....	128
Figura 56 –	Localização do Ponto 5.....	129
Figura 57 –	Perfil de Cambissolo definido como Ponto 5.....	130
Figura 58 –	Localização do Ponto 6.....	131
Figura 59 –	Perfil do Ponto 6.....	132
Figura 60 –	Amostras repousando por 24h na primeira etapa.....	133
Figura 61 –	Amostras em provetas de 1000mL após peneiramento.....	134
Figura 62 –	Preparação das argilas para a estufa.....	135
Figura 63 –	Uma das amostras indeformadas, protegidas pela caixa em papel cartão e o plástico filme.....	139
Figura 64 –	Demonstração da retirada do torrão de solo do perfil para análise micromorfológica.....	140
Figura 65 –	Amostra indeformada iniciando o processo para a confecção das lâminas delgadas.....	141
Figura 66 –	Corte e polimento de um dos blocos usados.....	142
Figura 67 –	Polimento da lâmina com peça abrasiva.....	143
Figura 68 –	Análise das lâminas e obtenção das microfotografias no microscópio óptico.....	144
Figura 69 –	Amostra deformada do horizonte AB do Ponto 1.....	146
Figura 70 –	Granulometria do Ponto 1.....	151

Figura 71 –	Amostra deformada do horizonte A do ponto 2.....	152
Figura 72 –	Granulometria do ponto 2.....	153
Figura 73 –	Estrutura granular do horizonte A do Ponto 3.....	155
Figura 74 –	Granulometria do Ponto 3.....	156
Figura 75 –	Granulometria do Ponto 5.....	158
Figura 76 –	Quartzo incrustado no bloco subangular da amostra do horizonte Bw....	160
Figura 77 –	Granulometria do ponto 6.....	161
Figura 78 –	Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte A do ponto 1.....	164
Figura 79 –	Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte BA do ponto 1.....	165
Figura 80 –	Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte B do ponto 1.....	167
Figura 81 –	Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte BC do ponto 1.....	168
Figura 82 –	Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte A do ponto 2.....	170
Figura 83 –	Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte 1º Bw do ponto 2.....	172
Figura 84 –	Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte 2º Bw do ponto 2.....	173
Figura 85 –	Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte A do ponto 3.....	174
Figura 86 –	Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte B do ponto 3.....	176
Figura 87 –	Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte 2B do ponto 3.....	178
Figura 88 –	Vertente de onde foi obtida a amostra do ponto 4.....	179
Figura 89 –	Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte C do ponto 4.....	180
Figura 90 –	Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte A do ponto 5.....	182
Figura 91 –	Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao	

	horizonte B do ponto 5.....	183
Figura 92 –	Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte BC do ponto 5.....	184
Figura 93 –	Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte A do ponto 6.....	187
Figura 94 –	Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte Bw do ponto 6.....	189
Figura 95 –	Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte Bw/Bt do ponto 6.....	190
Figura 96–	Distribuição em (%) do fundo matricial do ponto 1.....	192
Figura 97 –	Cruzamento do croqui pedológico com as cicatrizes de deslizamento do Megadesastre de 2011 e os pontos de coleta.....	193
Figura 98 –	Distribuição em (%) do fundo matricial do ponto 2.....	195
Figura 99 –	Distribuição em (%) do fundo matricial do ponto 3.....	196
Figura 100–	Distribuição em (%) do fundo matricial do ponto 5.....	198
Figura101–	Distribuição em (%) do fundo matricial do ponto 6.....	200

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características gerais dos solos indicados no croqui pedológico.....	116
Tabela 2 – Dados resumidos dos pontos visitados em campo.....	121
Tabela 3 – Resultados da análise morfológica das amostras coletadas.....	146
Tabela 4 – Análise Granulométrica das amostras coletadas.....	149
Tabela 5 – Resultados da análise micromorfológica dos perfis.....	161

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Proteção Permanente
BSO	Batólito Serra dos Órgãos
CAGED	Cadastro Geral de Empregados e Desempregados
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CEPERJ	Fundação Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CRED	Centro de Pesquisa em Epidemiologia de Catástrofes
CRN	Complexo Rio Negro
DRM	Departamento de Recursos Naturais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FR	Faixa Ribeira
GPS	<i>Global Position System</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Biodiversidade
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
LUPOS	Lei de uso, Parcelamento e Ocupação do Solo
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PARNASO	Parque Nacional da Serra dos Órgãos
PMRR	Plano Municipal de Redução de Riscos
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
RADAM	Projeto Radar da Amazônia
REBIO	Reserva Biológica
ZPE	Zona De Proteção Especial
ZRB	Zona Rururbana
ZRL	Zona Rural
ZRU	Zona Urbana

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
>	Maior que
<	Menor que
Al	Alumínio
O	Oxigênio
Si	Silício
Fe	Ferro
g/kg	Gramas por kilo
$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Silicato de Alumínio
$\text{Al}(\text{OH}_3)$	Hidróxido de Alumínio
Ca^{2+}	Cálcio
NaOH	Hidróxido de sódio
C	Celsius
H^+	Cátion de Hidrogênio
H_2O	Molécula da água
Ma	Milhões de anos
M	Metros
Mg	Miligrama
g	Gramas
Km	Kilometros
M^2	Metros quadrados
Km^2	Kilometros quadrados
°	Graus
,	Minutos
mL	Mililitro
cm	Centímetro
cm^3	Centímetros cúbicos
mm	Milímetros
W	Oeste
S	Sul
SE	Sudeste

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO.....	22
1	JUSTIFICATIVA.....	25
2	OBJETIVO GERAL.....	27
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	29
3.1	Caracterização da Serra do Mar.....	29
3.2	Histórico de evolução e ocupação de Petrópolis.....	31
3.3	Clima Local.....	37
3.4	Geologia e Geomorfologia de Itaipava.....	40
3.5	Pedologia de Itaipava.....	48
3.6	Vegetação e Uso do solo.....	52
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-CONCEITUAL.....	60
4.1	Movimento de Massa.....	60
4.2	Evolução e Comportamento dos Solos.....	77
4.2.1	<u>Micromorfologia dos Solos.....</u>	81
4.2.1.1	Micropedologia dos solos tropicais	91
4.3	O clima e seus processos associados.....	92
4.4	Hidrologia.....	95
4.5	Os Condicionantes da Geomorfologia e Geologia.....	98
4.6	Relação Sociedade – Natureza.....	104
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	107
5.1	Área de estudo e bibliografia.....	108
5.1.1	<u>Revisão Bibliográfica.....</u>	108
5.1.2	<u>Escolha da área de estudo e pontos de levantamento.....</u>	109
5.1.3	<u>Levantamento e tabelamento de dados de estudos anteriores.....</u>	115
5.2	Levantamento e classificação dos perfis de solo.....	119
5.2.1	<u>Etapa SIG.....</u>	119
5.2.2	<u>Coleta e descrição de campo dos perfis de solo.....</u>	122
5.2.3	<u>Dados Físico-Químicos: Granulometria e dados secundários.....</u>	132
5.2.4	<u>Classificação dos perfis de solo.....</u>	136
5.3	Micromorfologia dos solos.....	138

5.3.1	<u>Coleta, impregnação e elaboração das lâminas.....</u>	139
5.3.2	<u>Descrição das lâminas.....</u>	143
6	RESULTADOS.....	145
6.1	Resultados da Morfologia e Análise Granulométrica.....	145
6.2	Resultados da Micromorfologia dos solos.....	162
7	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	191
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	201
	REFERÊNCIAS.....	204
	ANEXO A - Classes de alteração da fração grossa do solo.....	219
	ANEXO B - Ficha de descrição micromorfológica.....	220
	ANEXO C - Microfotografias das lâminas de solo.....	228

INTRODUÇÃO

Os solos tropicais apresentam peculiaridades em sua evolução que lhes confere características específicas, como perfis mais profundos e a neoformação de minerais de argila oriundos do intemperismo (SILVA et al., 2012). Eles são mais desenvolvidos do que em ambientes frios, devido às altas temperaturas e chuvas, que facilitam, principalmente, a hidrólise dos silicatos. A caulinita é o mineral de argila dominante associada a grandes concentrações de óxidos de Fe e Al (PEREIRA et al., 2020). Dos fatores de formação dos solos, o clima exerce influência na velocidade das reações físico-químicas nele, no tipo de vegetação e nos processos geomorfológicos que trabalham a paisagem. Queiroz-Neto (2011) e Machado, Castro e Ladeira (2022) discutem como geomorfologia e pedologia se entrelaçam com o relevo tendo papel de destaque na compreensão dos solos quanto a sua formação e evolução.

As dinâmicas de evolução do relevo em meio tropical fazem parte dessa discussão posto que a análise da cobertura pedológica, que seria o manto de solo tridimensional que recobre continuamente as vertentes (QUEIROZ-NETO, 2011), se trata de um conceito que melhor se adequa como objeto de estudo da pedologia em consonância com a geomorfologia. Dessa forma, os solos podem ser compreendidos a partir de sua distribuição espacial, sua gênese e comportamento ao longo das vertentes. O conceito de catena elaborado por Milne (1936) assim como as topossequências permitem conhecer as características pedológicas, arranjos entre horizontes e a dinâmica das águas internamente. Também indicam a presença regional de sucessões sistemáticas de solos ao longo das vertentes, tendo a erosão como principal fator responsável, mas também outros processos disruptivos como movimentos de massa (QUEIROZ-NETO, 2011).

Na região a Sudeste a dinâmica climática se combina com fatores pedogeomorfológicos e geológicos, resultando em uma maior sensibilidade na paisagem, conceito postulado que infere que sistemas naturais determinam a estrutura de uma paisagem e os processos que modificam esses sistemas, sabendo que as modificações e suas magnitudes têm componentes espaciais e temporais e que esses componentes são essenciais para a compreensão da sensibilidade (USHER, 2001). Como exemplo, pode-se citar o estudo de caso realizado em 2002 por Abreu et al, nos Açores, território autônomo de Portugal, onde foram levantados parâmetros ambientais (geomorfologia-pedologia, por exemplo) que tiveram valores atribuídos, gerando assim uma classificação de acordo com as a suscetibilidade de

degradação da paisagem (declives acentuados, existência de solos incipientes). Dessa maneira, sendo o Sudeste uma região majoritariamente com território sob o domínio morfoclimático de mares de morros, compreendendo as Serras do Mar e da Mantiqueira além do tipo climático tropical com presença de fenômenos como a zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que traz no verão chuvas persistentes típicas culminando em extremos hidrológicos que podem deflagrar deslizamentos, especialmente em áreas de encosta.

A Serra do Mar, por exemplo, tem a maior parte de seu domínio na região Sudeste e é um tema costumaz de estudos que abordam as mais diversas características dessa formação geológico-geomorfológica relacionadas a processos disruptivos e de alteração da paisagem (DE PLOEY E CRUZ, 1979; ALMEIDA E CARNEIRO, 1998; FURIAN et al., 1999; COELHO NETTO et al., 2011; DOURADO et al., 2012; PINHO E AUGUSTO FILHO, 2022; VIEIRA, 2023). No caso de Coelho Netto et al., 2011 e Dourado et al., 2012, além da descrição dos processos, estes foram relacionados a eventos de desastres no domínio da Serra do Mar.

Com respeito aos desastres cabe ressaltar o viés da relação com a vulnerabilidade social. Os desastres são o resultado de interações complexas entre um evento físico extremo potencialmente prejudicial (por exemplo, inundações, deslizamentos, tempestades) e o grau de vulnerabilidade da sociedade, potencializada por déficits na infraestrutura, economia e meio ambiente (BIRKMANN, 2006). Só no Brasil, em específico no século XXI, alguns eventos de desastres marcantes ocorreram no país, sendo os mais marcantes e com maior número de vítimas no domínio da Serra do Mar, em especial, na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro.

Em 2022, o mais recente deles, Petrópolis foi atingida no 1º distrito por dois eventos pluviométricos que levaram a um total de 241 pessoas à morte, com destaque das chuvas concentradas em seu primeiro distrito em fevereiro que alcançaram 258mm em três horas (ALCÂNTARA et al., 2023) e em março com incríveis 548 mm em 24 horas. Este evento superou o de 1988 em número de vítimas no 1º distrito que eram até então de 171 pessoas.

O maior deles, o Megadesastre da Região Serrana em 2011, deixou 947 vítimas e cerca de 100 desaparecidos, atingindo em maior intensidade os municípios de Friburgo, Teresópolis e Itaipava, distrito de Petrópolis no Estado do Rio de Janeiro.

O Vale do Cuiabá foi a localidade de Itaipava, 3º distrito de Petrópolis, mais atingida no Megadesastre, com 73 vítimas fatais além de grandes níveis de destruição com o desastre que avançou no vale em forma de enxurradas, fluxos de detritos e deslizamentos nos topos dos morros. Sendo um evento atípico, muito foi produzido pós-2011 (CAMPOS E

BOTELHO, 2022; COELHO NETTO et al., 2011; MELLO et al., 2011, CAVALCANTE FILHO et al., 2011). Por essa grande diversidade de processos, um comparativo com estudos anteriores é importante para compreender o funcionamento e características dos ambientes envolvidos. Um dos mais completos na Bacia do Vale do Cuiabá foi desenvolvido por Botelho (1996), que iniciou dentre outras análises de variáveis ambientais, um levantamento pedológico em escala de 1:20.000 onde a autora estruturou 10 unidades ambientais e segue pesquisando com diferentes enfoques.

Neste estudo, foram levantados e classificados 6 pontos de solo assim como foram descritos Argissolos, Cambissolos, Latossolos, Neossolos Litólicos e Flúvicos, Afloramentos Rochosos além de áreas como brejos, aterros e corpos hídricos.

O Grupo de Estudos de Solos Tropicais – GESOLT vem buscando entender a dinâmica dos solos tropicais no Estado do Rio de Janeiro. Silva (2006) realizou uma topossequência de solos na região serrana, onde a micromorfologia apontou uma importância dos processos em escala microscópica na vertente através da identificação de pseudomorfos conhecidos como *box works* de gibbsita, que geram uma descontinuidade hidráulica internamente nos perfis de solo, podendo levar a uma suscetibilidade a deflagração de movimentos de massa.

Sem a aplicação de micromorfologia essa feição não seria passível de identificação através de outros processos ou metodologias. Assim como Silva (2006), Furian et al., (1999) identificou os *box work* em áreas de estudo da Serra do Mar. Com o uso das técnicas micromorfológicas, é possível identificar o nível de agregados e sua morfologia assim como das frações grossa e dos poros. Tanto forma como distribuição podem dar indícios desde a formação, transformação e comportamento dos solos e seus constituintes. E assim, compreender a fundo a dinâmica de solos quanto a sua evolução, comportamento em especial no que diz respeito aos processos de deslizamentos.

1. JUSTIFICATIVA

O uso da micromorfologia como principal ferramenta para identificar processos ou características que levem à deflagração de movimentos de massa reside no nível de detalhe que ela permite. No caso de levantamento de tipos de solo, ela permite a identificação de horizontes diagnóstico e a caracterização de microestruturas destes. Quanto à gênese e evolução dos solos, as imagens microscópicas dos solos permitem visualizar constituintes e formas de organização e hierarquia assim como cronologia de processos pedogenéticos. Quanto ao comportamento hídrico, além das dimensões dos poros, as formas e conexões entre estes. Por fim, na formação do relevo para identificar transições entre horizontes e materiais transportados (CASTRO E COOPER, 2019).

O Megadesastre, com mais de 1000 vítimas em todos os municípios atingidos do Estado do Rio de Janeiro, teve o número de pessoas afetadas ou não variando de acordo com a ocupação das diferentes áreas atingidas.

Apesar dos últimos desastres de 2022 terem se concentrado na região considerada urbana com maior densidade demográfica -1º distrito com pouco mais de 1000 hab/km²- (IBGE, 2022), os de 2011, no caso de Petrópolis, acometeram intensamente as áreas urbanas do interior do município, com densidade de ocupação menor em relação ao 1º distrito, o que levou à época o então presidente do Departamento de Recursos Minerais - DRM afirmar que os critérios de áreas vulneráveis a risco se ampliaram. O maior exemplo da época foi o Vale do Cuiabá.

De acordo com números do último Censo do IBGE (2022), a população total de Petrópolis diminuiu, contudo, houve aumento de população em todos os distritos com exceção do distrito sede. É possível que esse crescimento tenha sido incentivado pela construção da BR-040 e posterior duplicação desta rodovia, mudança das leis de ocupação do município além da própria expansão imobiliária local, representada pelos condomínios de veraneio na região peri-metropolitana do Rio de Janeiro, incluindo-se o município de Petrópolis a partir da década de 1980 (RANDOLPH, 2005; IBGE, 2010; IBGE 2022;).

O incremento populacional cria diversas categorias de uso do solo que podem causar danos ao meio ambiente e acelerar processos de escorregamento de materiais nas encostas. Vale lembrar que é necessário analisar fatores do meio físico como a geomorfologia, o clima, a hidrologia e a vegetação, mas também fatores socioeconômicos.

Desta forma, pretende-se focar em um estudo verticalizado em pontos do Vale do Cuiabá, distrito de Itaipava, em Petrópolis. Por ter apresentado um crescimento expressivo nas últimas décadas de diversas atividades, serviços e mesmo moradias e ter sido uma das áreas afetadas pelo chamado Megadesastre da Região Serrana, Estado do Rio de Janeiro, ocorrido em 2011, acredita-se na contribuição deste trabalho para a compreensão de dinâmicas pedogeomorfológicas. periféricas ao distrito sede apresentarem

2. OBJETIVO GERAL

O objetivo central deste estudo foi avaliar a contribuição da cobertura pedológica nos processos de movimento de massa na bacia do Cuiabá – Petrópolis – Estado do Rio de Janeiro, Brasil.

Sendo traçados como objetivos específicos:

- a) Levantar e classificar perfis de solo ao longo da bacia do Cuiabá levando em consideração a altitude e posição em vertente;
- b) Descrever a micromorfologia nos horizontes dos solos definidos e coletados em campo;
- c) Identificar e descrever os *box work* de gibbsita encontrados nos horizontes do solo;
- d) Atualizar o conhecimento acerca dos solos da bacia do Cuiabá após o Megadesastre de 2011;

Outras lacunas serão preenchidas com a identificação de sequências de solo que influenciam os processos de instabilidade que podem gerar deslizamentos e entender os processos denudacionais e deposicionais a partir das características do material pedológico disposto nas encostas, focando na análise de 2011 aos dias de hoje.

A abordagem micromorfológica foi usada como recurso para obter respostas para a ocorrência de deslizamentos por meio da identificação de características inerentes ao perfil de solo, como descontinuidades entre horizontes ou a presença de *box works* de gibbsita, feições que interferem na condutividade hidráulica, criando saturação do solo a montante, levando à ruptura.

A identificação de solos e elaboração de esquema ilustrativo em escala 1:40.000 do Vale do Cuiabá assim como o refinamento de informações sobre as cicatrizes de deslizamentos de 2011 e demais análises morfométricas complementam as análises da região para justificar os movimentos de massa ocorridos. Esses produtos além de destacarem a importância do papel dos solos, deixa um legado dentre inúmeros trabalhos realizados na Serra do Mar sobre o comportamento de solos tropicais.

Assim, a evolução e do comportamento dos solos será verificado através de micromorfologia dos solos como agentes influenciadores dos processos de movimentos de massa no distrito de Itaipava, Petrópolis, destacando o papel das características dos solos na avaliação da suscetibilidade de novos escorregamentos de encostas.

É preciso ir além e esboçar um diagnóstico que consiga avaliar a suscetibilidade para novos escorregamentos, traçando cenários que possibilitem evitar eventos catastróficos como o da Região Serrana e tantos outros. Nessa região, o município de Petrópolis está enfrentando o desafio de pôr em prática uma política de uso e ocupação do solo urbano de maneira racional, assim como a preservação do meio ambiente. Contudo, em função do crescimento urbano, da concentração populacional em áreas de risco e do contínuo desmatamento, criam-se ou acentuam-se condições para que ocorram movimentos de massa, que atingem principalmente a população de baixa renda residente nas encostas.

Através da revisão bibliográfica e levantamento de campo pretende-se identificar características naturais que possam desencadear tais processos de deslizamentos. Guerra et al., (2017) mencionam o fator mudanças climáticas como influenciadores da ocorrência de desastres, processos geomorfológicos, a gravidade e a presença facultativa da água como fator que pode levar à ocorrência de movimentos de massa. Fatores pedológicos também podem potencializar tais fenômenos, através de características físicas próprias que levem a um maior desencadeamento de processos de movimentos gravitacionais (IBGE, 2019).

Para tanto, se faz necessária a obtenção de dados que atestem como esse solo se formou, todos os processos pelos quais passou, como um diagnóstico. Essa conjunção considerando processos geomorfológicos e as formas de relevo buscando compreender a relação de evolução, os tipos de uso e as possíveis áreas de escorregamento poderão contribuir para atestar áreas vulneráveis a escorregamentos e evitar mais perdas.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: ITAIPAVA, PETRÓPOLIS, RJ

Especialmente após a ocorrência do Megadesastre da Região Serrana, Itaipava ganhou destaque em alguns trabalhos acadêmicos no íterim de 2011 a 2023 (CAMPOS e BOTELHO, 2022; COELHO NETTO et al., 2011; MELLO et al., 2011; CAVALCANTE FILHO et al., 2011). Estes, servirão como norte para compreender os processos que atingiram e afetaram a localidade da Bacia.

Este capítulo sintetiza a área de estudo de acordo com a revisão bibliográfica feita acima. Levando em consideração sua localização, seu quadro físico, evolução histórica e de ocupação além de questões socioeconômicas.

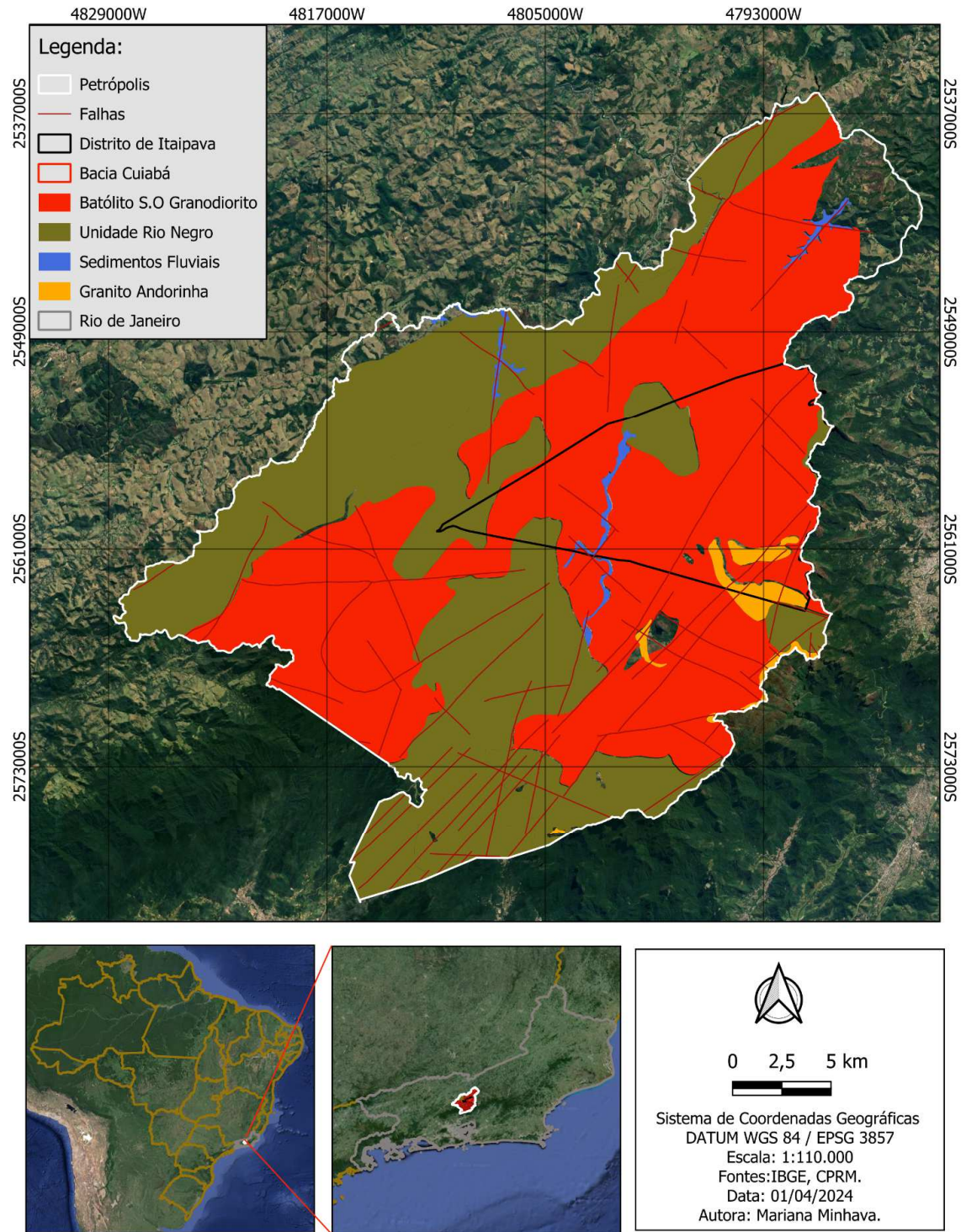
3.1 Caracterização da Serra do Mar

As escarpas da Serra do Mar se estendem desde o estado do Rio de Janeiro até o norte de Santa Catarina, Brasil, compreendendo aproximadamente 1000 km de extensão. No Paraná possui feições de altitudes por volta de 1.800m; em São Paulo, apresenta-se como borda de planalto com altitudes entre 800m e 1.200m; por fim, no Rio de Janeiro, em sua porção central, se estende como uma montanha constituída por blocos de falhas apresentando as maiores altitudes da formação com pontos culminantes de cerca de 2.200m entre Nova Friburgo e Teresópolis (ALMEIDA e CARNEIRO, 1998).

Boa parte da Serra do Mar se estende pelo interior do estado do Rio de Janeiro em direção ao rio Paraíba do Sul, passando pelas Regiões da Costa Verde, Centro-Sul Fluminense, próxima ao limite da Baixada Fluminense, Região Serrana, Baixadas Litorâneas e avançando em direção ao Norte Fluminense.

O município de Petrópolis está inteiramente inserido na feição geomorfológica da Serra do Mar, sendo localmente conhecida como Serra dos Órgãos. No município, estão presentes as seguintes formações geológicas demonstradas na Figura 1.

Figura 1- Formações geológicas presentes no município de Petrópolis, tendo Itaipava em destaque.



Fonte: IBGE; CPRM, 2024.

Os quatro grupos elencados ocupam majoritariamente o território destacado, se estendendo para outros municípios do Estado do Rio de Janeiro. Há regiões menores que não foram destacados grupos de rochas graníticas a Nordeste de Petrópolis no distrito da Posse e sedimentos fluviais que se localizam no centro geométrico do município.

O contexto geológico da região traz formações de maciços graníticos e gnáissicos. A extensa formação granítica e metamorfismo brasileiro são característicos da faixa de dobramentos Ribeira¹. A evolução dessa região a nível tectônico e magmático ocorreu no chamado Ciclo Brasileiro, compreendido entre 640 Ma e 490 Ma (TUPINAMBÁ, 1999). As características físicas e geomorfológicas da Serra do Mar e região, serão detalhadas no item Geologia e Geomorfologia.

A unidade Rio Negro tem sua origem rochas do pré-cambriano, composta por migmatitos heterogêneos e biotita gnaiss-graníticos. Trata-se de uma unidade intrusiva, constituída por ortognaisses (rochas metamórficas provenientes dos granitos) tonalíticos e dioríticos e leucogranitos pouco deformados (HARTWIG, 2006).

De acordo com a CPRM, um batólito é um massivo corpo intrusivo com áreas de afloramento, com mais de 100km². O Batólito Serra dos Órgãos se estende desde a parte sudoeste do município até a parte nordeste. As rochas plutônicas que o compõem são em grande maioria tonalito, granodiorito e granitos, de forma resumida, os granodioritos são rochas ígneas semelhantes ao granito, ricas em hornblenda e biotita, o que confere colorações mais escuras que os granitos. Já os leucogranitos são mais claros por praticamente não possuírem minerais escuros.

Há granitos pós-colisionais, sendo os mais jovens de associações pré-cambrianas e cambrianas, que são os casos do Granito Andorinha e do Nova Friburgo (este não localizado no município de Petrópolis). Faixas localizadas nos distritos de Cascatinha e Itaipava onde estão alguns pontos elevados como a Pedra do Sino (2.263m) e da Pedra do Açu (2.245m), o Andorinha é uma biotita granito cinza, de granulação média que exhibe estrutura fluidal (ICMBio, 2008).

Essa cadeia de montanhas tem sido afetada por deslizamentos de terra rasos e fluxos de detritos há milhões de anos (DIAS et al., 2016). Não é a presença humana a única causadora de processos erosivos e de deslizamentos na região. A disposição atual da Serra do Mar está relacionada aos processos de erosão, deslizamentos de encostas, que originaram áreas, algumas com topografia suave. Por causa de tais processos ao longo de milhões de anos, a Serra do Mar apresenta encostas naturalmente instáveis e muito suscetíveis à ocorrência de deslizamentos, como em todas as regiões tropicais úmidas do planeta (SANTOS, 2023).

¹ A Faixa Ribeira compreende um complexo cinturão de dobramentos e empurrões gerado no Neoproterozóico/Cambriano, durante a Orogênese Brasileira (HEILBRON et al., 1995)

Hoje, está localizada em regiões que foram intensamente urbanizadas e com alto grau de ocupação desde a chegada dos primeiros colonizadores. Especialmente nos meses de verão, entre dezembro e março, os índices pluviométricos mais elevados em associação às ocupações de áreas instáveis ou mesmo fundos de vale, despertam a atenção das autoridades competentes em evitar maiores perdas econômicas e de vidas.

As condições físicas, geomorfológicas e geográficas da Serra do Mar estão por trás de cenários de desastres naturais, especialmente em áreas da Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, que podem revelar, através das cicatrizes nas encostas e movimentos de massa pretéritos, mesmo em áreas sem ocupação humana. Muito embora, o fator antrópico tenha capacidade de potencializar esses eventos. As ações sobre os terrenos naturais interferem na natureza geológica, que tem história, equilíbrio, leis e processos dinâmicos próprios. Desconsiderados esses fatores, busca à sua forma, a resiliência para contornar os desequilíbrios que lhe foram impostos (SANTOS, 2012).

Em muitos locais ao longo da Serra do Mar, por exemplo, a recorrência desses eventos catastróficos é facilmente atestada pelos espessos depósitos encontrados, muitos deles com claras evidências de várias fases de retrabalhamento de depósitos de antigas corridas de massa (FERNANDES et al., 2001). É comum a presença de materiais deslizados dos topos de encostas e que hoje repousam no sopé dessas vertentes.

3.2 Histórico de evolução e ocupação de Petrópolis

A cidade de Petrópolis está situada na Mesorregião Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, na microrregião Serrana, junto com os municípios de Teresópolis e São José do Vale do Rio Preto (IBGE, 2019). A Região Serrana, se encontra entre os paralelos 21°40'S e 22°35'S e os meridianos 41°40'W e 43°25'W. Na divisão elaborada pela CEPERJ (Fundação Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro), Petrópolis está na Região Serrana, uma das oito regiões administrativas que dividem o Estado. Compõe essa divisão Bom Jardim, Cantagalo, Carmo, Cordeiro, Duas Barras, Macuco, Nova Friburgo, Petrópolis, Sumidouro, Santa Maria Madalena, São José do Vale do Rio Preto, São Sebastião do Alto, Trajano de Moraes e Teresópolis (CEPERJ, 2018).

Petrópolis possui limite com outros nove municípios, além dos dois presentes na microrregião serrana: Areal, Paraíba do Sul, Paty do Alferes, Miguel Pereira, Duque de

Caxias, Magé e Guapimirim. O município de Petrópolis está nas longitudes 43° 04' – 43° 14' W e latitudes 22° 33' – 22° 35' S, com altitude média de 845 metros, abrangendo uma área de 811 km² (GUERRA et al., 2007). Atualmente se divide em cinco distritos, a saber: Petrópolis (1° distrito), Cascatinha (2° distrito), Itaipava (3° distrito), Pedro do Rio (4° distrito) e Posse (5° distrito).

Seu histórico de ocupação e desenvolvimento tem normalmente relação com a Família Real, que se instalou com a compra de uma fazenda em 1830 por D. Pedro I e, posteriormente, com a construção de outras propriedades, como o palácio de verão de D. Pedro II iniciado em 1843 (GUERRA et al., 2007).

Mas a história de Petrópolis e sua evolução vem um pouco mais de um século antes, com as buscas de metais e pedras preciosas no interior do território do Brasil. Essas buscas encontraram tais riquezas na região hoje das Minas Gerais e uma das estradas criadas para dar vazão ao escoamento do ouro para o litoral passava na região da Serra da Estrela, onde hoje está Petrópolis. O caminho novo, criado em 1704 ainda no primeiro período da mineração 1692-1710, foi a rota criada para facilitar o deslocamento, já que havia um “caminho velho” que passava pelo alto da serra desde o início do século XVII. O tempo de percurso foi reduzido em cerca de um terço. (STRAFORINI, 2001).

Por volta de 1720 é criada uma variante do caminho novo por obra de Bernardo Proença para evitar passagem por áreas muito íngremes que, vez ou outra, rolavam tropeiros e mulas morro abaixo. Essa variante criada pelo rico fazendeiro da região, passava pela fazenda do Córrego Seco, onde mais tarde surgiria Petrópolis. Mais à frente, em Paraíba do Sul, voltava a percorrer o caminho novo até chegar nas áreas das Minas Gerais.

Oficialmente, em 16 de março de 1843, na data em que o Imperador D. Pedro II assinou o Decreto no. 155 determinando o arrendamento da Fazenda do Córrego Seco ao major de Engenheiros Júlio Frederico Koeler, reservando-se uma área central para que nela se edificasse o Palácio Imperial, assim como uma povoação que, pela Portaria de 08 de julho de 1843, recebeu a denominação de Petrópolis, ou “Cidade de Pedro” (CARVALHO, 1999).

A partir do momento da fundação, imigrantes chegaram e lá se estabeleceram. A cidade crescia de forma planejada como projeto elaborado por Koeler que teve uma preocupação em direcionar as ocupações de forma que elas foram feitas seguindo o curso dos três rios da cidade (Palatinado, Piabanha e Quitandinha), além de visar a preservação de matas e incentivar o aproveitamento do solo (GUERRA et al., 2007). Essa política seguiu-se com a alteração das disposições tradicionais das casas, que anteriormente tinham seus fundos voltados para os rios onde se realizavam o lançamento de dejetos e esgoto em geral.

Esse plano elaborado por Koeler possuía diretrizes que demonstravam interesse em manter certo equilíbrio da natureza, para tanto, fez diversos levantamentos topográficos e físicos da região para direcionar as ocupações. A intenção era o uso dos recursos de forma integrada para evitar problemas futuros.

O Distrito de Itaipava foi criado pelo Decreto n.º 1, de 8 de maio de 1892, o qual dividiu o Município de Petrópolis em seis Distritos: 1º Cidade, 2º Cascatinha, 3º Itaipava, 4º Pedro do Rio, 5º Areal, 6º São José do Rio Preto (RUDGE, 1934). Posteriormente, os dois últimos distritos seriam incorporados por outros municípios. Areal passou a ser distrito de Três Rios em 1938 até se emancipar em 1992. São José do Vale do Rio Preto se emancipa de Petrópolis em 1987.

De acordo com o último censo (IBGE, 2022), o município totaliza 278.881 habitantes em seus cinco distritos. Analisando a evolução da população em Petrópolis, temos os seguintes dados, de acordo com as tomadas do censo na Figura 2.

Figura 2- Evolução da população total nos municípios do Rio de Janeiro e Petrópolis.

Município	1872	1890	1910	1920	1940	1950	1960
Petrópolis	7.219	13.574	53.215	67.574	84.875	108.307	149.494
Rio de Janeiro	274.972	522.651	870.475	1.147.599	1.764.141	2.377.451	3.281.908
Município	1970	1980	1991	1996	2000	2010	2022
Petrópolis	189.140	242.017	255.468	269.669	286.537	295.917	278.881
Rio de Janeiro	4.251.918	5.090.723	5.480.768	5.551.538	5.857.904	6.320.446	6.211.423

Fonte: Ipeadata, 2017; IBGE, 2023.

Guerra et al. (2007) identificaram uma divisão temporal do processo de ocupação do município em quatro períodos: de 1845 até 1945; de 1945 até 1964; de 1964 até 1976, e a partir de 1976.

No primeiro intervalo, até meados do século XX, a ocupação ainda era limitada, restringindo-se a fundos de vale e planícies fluviais. A legislação vigente e baixa densidade urbana colaboraram para esse feito (GONÇALVES, 1998 apud GUERRA et al., 2007).

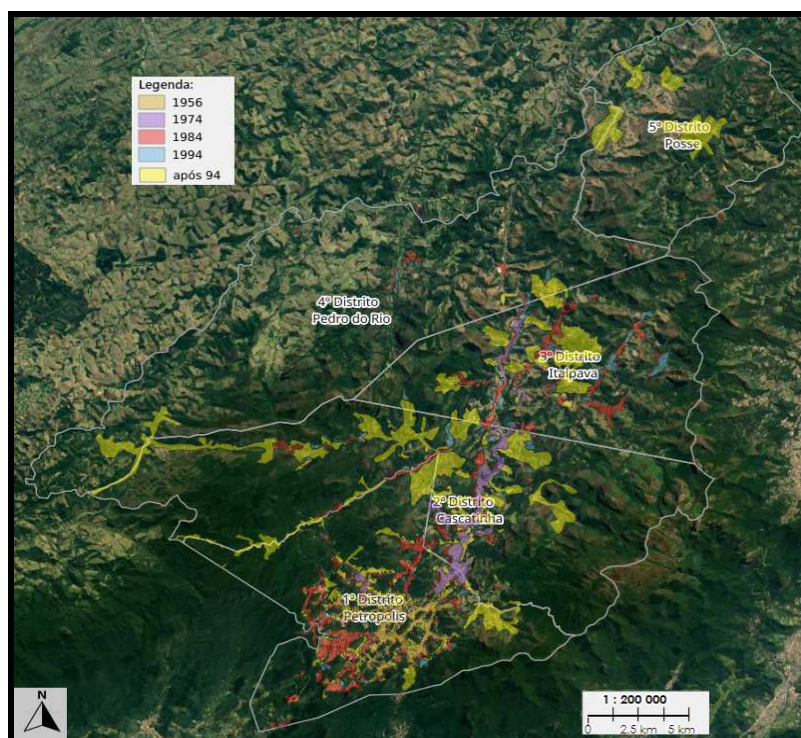
É na segunda metade do século XX que a ocupação de Petrópolis passou a ficar cada vez mais intensa. Na figura acima, os maiores crescimentos relativos da população ocorrem nos intervalos de 1890 a 1910 onde há um crescimento de 292%. Nos próximos intervalos, há em média crescimentos na casa dos 20 a 30%, até a virada da década de 1980 para 1990 onde

os crescimentos caem para médias entre 5% e 7%, chegando a uma redução no último intervalo aferido de cerca de 3%.

Mesmo tendo ocorrido um incremento demográfico na virada dos séculos XIX e XX, como mostra a figura, a partir do segundo período entre 1945 e 1964, há grande expansão da cidade aliada a mudanças nas leis de ocupação do município. Começa então a ocupação de encostas próximas a áreas já urbanizadas além de encostas de baixa declividade. Processo que avançaria através das décadas, infelizmente em áreas cada vez mais instáveis e menos propícias às ocupações, e assim, gerando ocupações irregulares, que direcionaram desmatamento, assoreamento dos rios principais e finalmente, aumento gradativo dos movimentos de massa (GUERRA et al., 2007).

Os dados do núcleo gestor de Petrópolis, página disponibilizada pelo governo do Estado com dados da cidade, foram georreferenciados. Na Figura 3, há informações sobre a evolução da ocupação dos distritos do município a partir de 1956.

Figura 3- Mapeamento da dinâmica de ocupação dos distritos de Petrópolis ao longo dos anos.



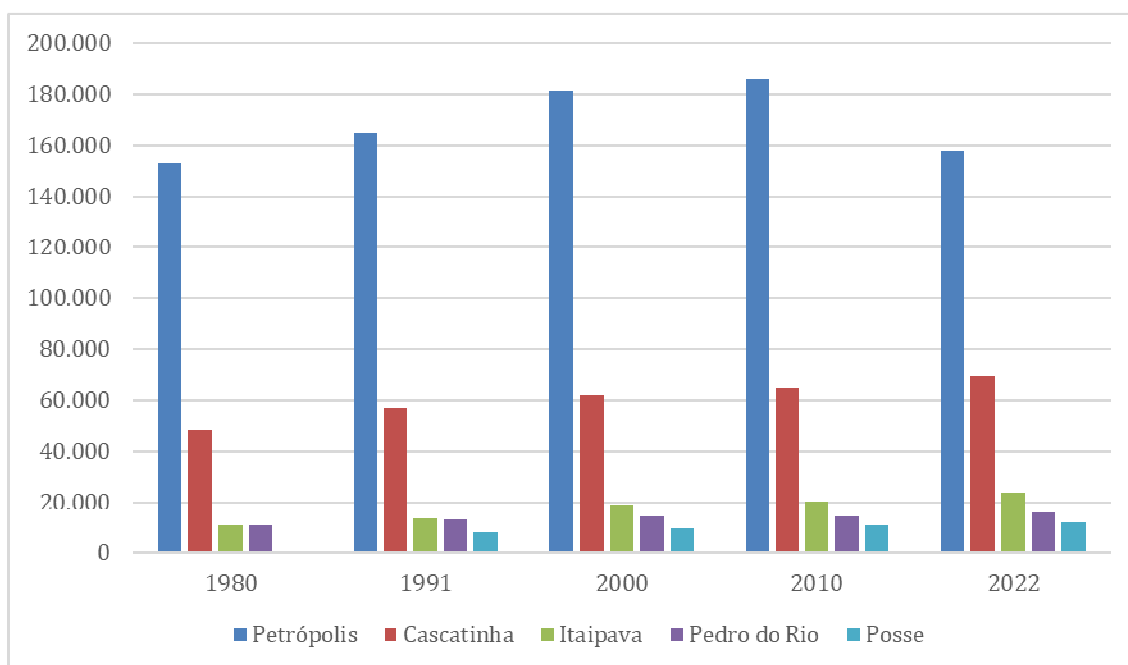
Fonte: Núcleo Gestor de Dados Georreferenciados, Petrópolis, 2024.

É possível verificar a expansão da ocupação para os outros distritos após a primeira aferição dos dados deste mapa. As ocupações até 1956 se mantinham quase que em totalidade concentradas no primeiro distrito, Petrópolis. A partir de 1974, o segundo período de dados, já

vemos algumas manchas de ocupação no segundo distrito (Cascatinha), no terceiro (Itaipava) e alguns poucos no quarto (Pedro do Rio). A partir dessa época, as regiões ocupadas já não são apenas bairros no primeiro distrito. Finalmente, em 1994, último dado mostrado, há um incremento de ocupações em todo município.

É importante assinalar algumas questões: a imagem acima demonstra que o avanço da ocupação para além do distrito sede avançou em meados da década de 1970. Logo, além da expansão urbana para os outros quatro distritos, houve também incremento da população, o que pode ser confirmado numericamente na Figura 4.

Figura 4- Crescimento da população dos distritos do município de Petrópolis entre 1980 e 2022.



Fonte: Censo Demográfico IBGE, 2010; 2022.

Praticamente todos os distritos demonstraram aumento da população residente em suas localidades em todos os intervalos aferidos, com exceção de Petrópolis no último intervalo. Isso confirma o aumento demográfico até então histórico. A mancha de expansão segue para setores mais problemáticos de encostas nas décadas de 1970 e 1980, invasões de áreas públicas, áreas sob a legislação da APA Petrópolis e por consequência geram aterramento em várzeas que levam ao assoreamento de rios (GONÇALVES, 1998). Segundo o Plano Diretor de Petrópolis e o Gráfico 1, é possível afirmar que essa expansão se deu para os outros distritos, posto que a partir da década de 1980, as taxas de crescimento desses foram superiores às do distrito sede. Há um movimento de descentralização do peso populacional, contudo, o ritmo de avanço de comércio e serviços ainda não acompanha esse processo.

Entre as décadas de 1970 e 1980, o município de Petrópolis experimentou uma grande expansão imobiliária. Essa tendência contribuiu para avançar sobre o patrimônio histórico imobiliário da cidade com a aprovação Decreto Municipal 143 de 1976 que permitia a construção de edifícios com até doze pavimentos no núcleo formador da cidade. Esse decreto, além de demonstrar um rompimento com a paisagem da cidade histórica, representa o aquecimento do setor imobiliário na região. A verticalização do distrito sede e de ocupação livre dos outros distritos segue a pleno vapor.

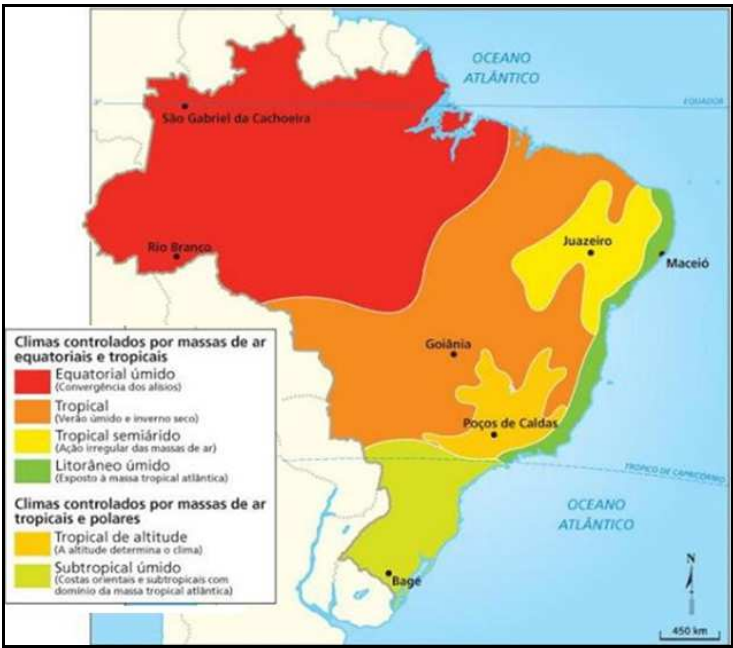
Esse processo só foi interrompido com o Decreto nº 90/81, que protegeu o Centro Histórico do processo de progressiva derrubada. Na década de 1990, a elaboração da lei municipal Nº 5.393/1998 estabelece normas para as atividades de Uso, Parcelamento e Ocupação do Solo do Município de Petrópolis -LUPOS- (SANTOS, 2023). Apesar da previsão do zoneamento para a distribuição efetiva da população e atividades socioeconômicas na cidade, algumas das diretrizes previstas na lei são desrespeitadas.

Finalmente, no último censo divulgado referente ao ano de 2022, Petrópolis apresentou queda de sua população de 5,7% em relação aos dados de 2010 (Figura 4). É a primeira retração desde o início da série histórica de análise de dados da população no município. Segundo dados do CAGED (Cadastro Geral de Empregados e Desempregados) a oferta de emprego caiu cerca de 6%. Apesar dos dados do censo ainda estarem em análise por especialistas, o esvaziamento econômico e as tragédias associadas ao clima até o momento são as causas apontadas para essa diminuição da população (TRIBUNA DE PETRÓPOLIS, 2022).

3.3 Clima local

De forma genérica, o clima tropical, faixa onde se encontra o Estado do Rio de Janeiro, tem como característica possuir duas estações bem definidas: o verão úmido e quente e o inverno mais seco e ameno. De acordo com a classificação climática de Conti (Figura 5), que leva em consideração o fator umidade, o Estado está situado na faixa do domínio tropical de altitude.

Figura 5- Classificação climática de Conti.



Fonte: Ferreira, 2010.

Segundo Nimer (1989) e suas classificações, o município de Petrópolis possui o clima mesotérmico brando superúmido. Em detalhes, a precipitação média anual é de 2.200mm, apresentando temperaturas médias inferiores a 18°C no inverno e por volta dos 21°C no verão (GUERRA et al., 2007).

Figura 6- Dados Climatológicos de Petrópolis, entre 1991 e 2021.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Temp.Média (°C)	22.6	22.7	21.8	20.2	17.7	17	16.5	17.3	18.8	20.2	20.4	21.8
Temp.Mínima (°C)	19.5	19.4	18.9	17.3	14.6	13.7	12.9	13.4	15.1	16.7	17.5	18.8
Temp.Máxima (°C)	26.8	27.2	25.9	24.2	21.8	21.5	21.3	22.5	23.9	24.8	24.5	25.9
Chuva (mm)	313	232	252	116	76	46	45	46	95	144	255	297
Dias de chuva	16	13	16	11	9	6	5	6	9	12	15	17

Fonte: Climate data, 2024.

A ocorrência de chuvas intensas, em especial no verão, é um fator que favorece diversos fenômenos na região serrana. A precipitação intensa aumenta a probabilidade do acontecimento de deslizamentos quando supera a marca de 250 mm num intervalo de 24 horas independentemente da ocorrência de chuva anterior (D'ORSI, 2011). Na Figura 6 percebe-se uma concentração em sequência de meses com alta precipitação mensal, começando em dezembro e terminando em março, junto com o verão. Fato que se inverte no período do inverno, contando com médias de cerca de 46 mm entre junho e agosto.

Como referência, o maior desastre natural do país, ocorrido a partir das chuvas, enxurradas e deslizamentos de janeiro de 2011 na Região Serrana, que acometeu principalmente as cidades de Nova Friburgo, Teresópolis e Petrópolis, foi deflagrado por condições climáticas extremas de precipitação acumulada em 24 horas de 241,8 mm, com pico de 61,8 mm em uma hora, o que ajudou totalizar uma precipitação acumulada entre os dias 1º e 12 de janeiro de 573,6 mm (DOURADO et al., 2012).

Já as chuvas de fevereiro e março de 2022 que deixaram 241 vítimas fatais, tiveram recorde em fevereiro desde o fatídico janeiro de 2011 com a marca de 258mm em 3 horas e em março com 548 mm em 24 horas. Diferente do Megadesastre, essa chuva acometeu apenas o município de Petrópolis, no seu primeiro distrito.

Tavares et al. (2019) analisaram os índices pluviométricos de duas estações (Rio da Cidade e Itamarati-SE) do município de Petrópolis no intervalo temporal de 1939 a 2017. Foi constatado que eventos pluviométricos em um intervalo de 24 horas com médias entre 5,1mm a 12,9mm e 12,9 a 25,8mm estiveram presentes em 88 eventos na estação Itamarati-SE e com médias entre 4,4mm a 12,6mm e 12,6 a 25,7mm em 84 eventos na estação Rio da Cidade ao longo dos 78 anos analisados. Não se trata exatamente de chuvas tão destrutivas, mas que ao longo de décadas, tiveram seu impacto nos espaços urbano e rural de Petrópolis.

Há ainda nesses períodos de maiores chuvas, a perda de solos. Segundo Silva (2006) as chuvas de verão mais intensas foram capazes de remover toneladas de sedimentos das vertentes, a partir de verificação de dados coletados de uma estação experimental localizada em Correias, na bacia do rio Poço do Ferreira, área rural do município de Petrópolis.

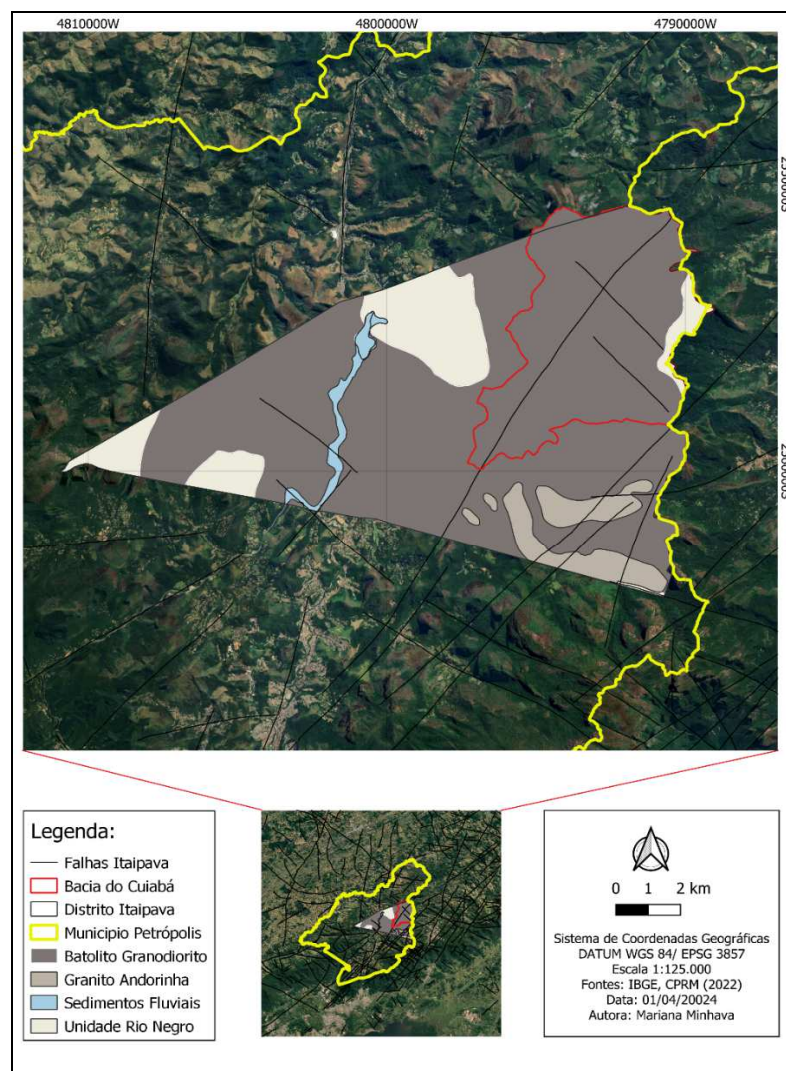
A marca de precipitações intensas ainda impacta o equilíbrio hidrológico, a alteração de materiais do solo e acelera o processo de intemperismo dos solos tropicais. Por isso o dado sobre chuvas é algo marcante para o estudo da região onde se situa Petrópolis assim como da própria Serra do Mar. Assim como também é dado imprescindível para compreender os processos de movimento de massa que se avolumam em determinadas épocas na região de análise.

3.4 Geologia e Geomorfologia de Itaipava

As características geológicas e geomorfológicas da Serra do Mar, que abrangem a região do município de Petrópolis, foram enumeradas anteriormente. Dada a descrição global dessa formação, este item visa restringir a análise para o Distrito de Itaipava, nosso objeto de estudo.

O quadro físico de Itaipava está inserido no domínio serrano do sudeste brasileiro, mais especificamente da Serra do Mar, localmente chamada de Serra dos Órgãos. De acordo com a Figura 7, temos as seguintes formações geológicas:

Figura 7- Mapeamento de formações geológicas de Itaipava, com destaque da Bacia do Cuiabá.



Fonte: CPRM, 2022; IBGE, 2022.

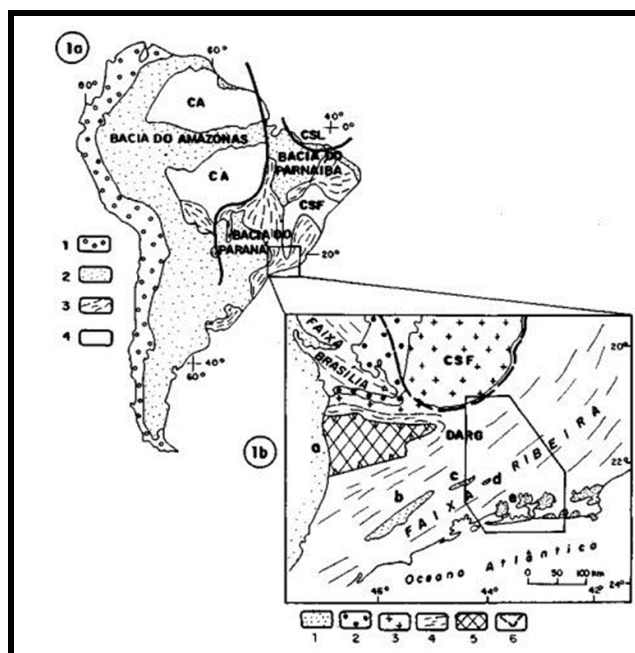
Itaipava está majoritariamente inserido na região de formação de Granito com destaque na parte central do distrito para regiões de depósitos sedimentares, e marginalmente com composições da formação Andorinha e Rio Negro. O Batólito da Serra dos Órgãos é composto por rochas de arranjo granítica a granodiorítica e com características sin a tardi-tectônicas (GOUVEIA, 2010).

Os intervalos temporais sugeridos das fases de colisões e das formações geológicas são de 650 a 620 Ma (pré-colisional), 600 a 590/560 Ma (sin-colisional) e 560 a 530 Ma (tardi-colisional). Contudo, é importante destacar que esses intervalos ainda são precários, trabalhados em datação Rb/Sr, não havendo ainda um acervo de dados geocronológicos (MACHADO e DEHLER, 2002).

Alguns trabalhos efetuaram sínteses regionais sobre as rochas granitóides neoproterozóicas do cinturão Paraíba do Sul no Estado do Rio de Janeiro como Tupinambá (1999), trabalhando a evolução tectônica e magmática da Faixa Ribeira (FR) no domínio da Região Serrana do Rio de Janeiro. A FR compreende um complexo cinturão de dobramentos e empurrões gerado no Neoproterozóico/Cambriano, durante a Orogênese Brasileira, tendo sido responsável pela deformação, metamorfismo e magmatismo dos diversos terrenos. Para localização de sua situação geotectônica e relação com outras faixas móveis vide a Figura 8.

Diversos modelos evolutivos já foram apresentados para a FR, no âmbito do Estado do Rio de Janeiro. Corpos graníticos de idades mais jovens, representados pelo granito Andorinha, posicionaram-se na fase pós-colisão. Esses corpos apresentam-se como diques espessos de composição granítica, tendendo a texturas porfiríticas e contendo xenólitos das rochas encaixantes, com consequente assimilação eventual dos mesmos (PENHA et al., 1981).

Figura 8- Localização Geotectônica



Fonte: Heilbron. *et al*, 1995.²

Tupinambá (1999) resumiu o processo de formação e evolução do Batólito Serra dos Órgãos, assim como explica suas composições:

“A evolução começa com magmatismo pré-colisional, representado por tonalito e diorito gnaisse do Complexo Rio Negro (CRN) e por corpos de hornblenda gabro. Há 600 Ma, o arco Rio Negro colidiu com uma margem passiva, o Terreno Ocidental da Faixa Ribeira, o que gerou espessamento crustal, migmatização e geração de leucogranitos à muscovita. Após a colisão do Arco Rio Negro com a margem passiva e sua acreção, um novo arco magmático, de características continentais, se desenvolveu há 560 Ma. O melhor representante deste magmatismo é o Batólito da Serra dos Órgãos (BSO), um espesso sheet de granodiorito à granada com quimismo de arco magmático e com fácies gerada ainda na fase colisional. O BSO foi gerado por um novo processo de subducção, com mergulho inverso àquele que gerou o Arco Rio Negro. Após o término do magmatismo do BSO, este plutonito e seus gnaisses encaixantes foram alçados à crosta superior, a uma taxa de soerguimento elevada. Há 500 Ma o edifício orogênico sofreu um colapso tectônico, com a geração de falhamentos normais transversais ao orógeno. (TUPINAMBÁ, 1999, p.7)”

² (a) - Situação da Faixa Ribeira no contexto da Plataforma Sul-Americana, simplificado de Brito Neves & Cordani (1991). Simbologia: 1-Faixas Móveis Meso-Cenozóicas; 2- Coberturas de plataforma fanerozóicas; 3- Faixas Móveis Sin-Brasílicas; 4- Crátons Sin-Brasílicos. (b) -Localização da transversal abordada no contexto do sudeste brasileiro, elaborado a partir de Hasui & Oliveira (1984), Campos Neto (1992), Valeriano et al (1993) e Trouw et al (1994). Simbologia: 1- Bacias Fanerozóicas: a- Paraná, b-Taubaté, c-Resende, d- Volta Redonda, e- Rift da Guanabara; 2- Grupo Bambuí; 3- Embasamento pré-1,8 Ga no Cráton do São Francisco; 4- Faixas Brasília e Ribeira, DARG- Domínio Alto Rio Grande; 5- Nappe Guaxupé; 6-Limite cratônico

As ortognaisses que possuem granito e granodiorito em sua formação após passarem por processos de intemperismo apresentam modificações em sua estrutura, contudo o mesmo não acontece necessariamente com sua composição mineralógica essencial (POLIVANOV, 1998).

O intemperismo altera a composição química, mineralógica e física das rochas, produzindo efeito deletério nas propriedades geotécnicas. Em regiões de clima tropical, de altas médias de temperatura e pluviosidade intensa, o intemperismo desenvolve perfis de solos com grande espessura, apresentando horizontes, passando pelos diversos estágios de alteração, desde a rocha até o solo maduro. As características morfológicas, químicas e mineralógicas dos perfis de alteração são herdadas da rocha mãe. Dessa forma, descontinuidades texturais, estruturais, mineralógicas e geoquímicas das rochas são transferidas para os solos durante os processos de meteorização.

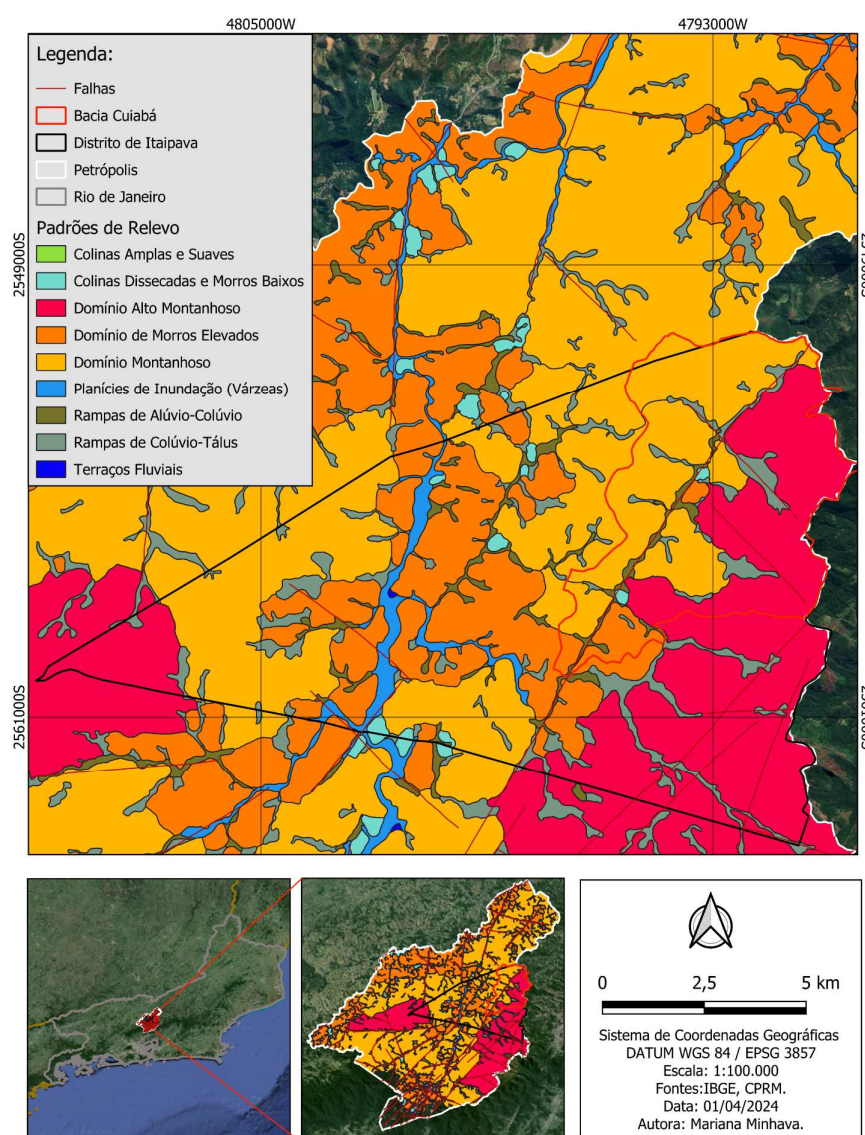
Dado que a região de estudo da Serra dos Órgãos, em particular o distrito de Itaipava, está inserida numa formação geológica de batólito, que se trata de uma grande massa plutônica, sofreu soerguimento e exposição de uma grande massa cristalina que se formou num ambiente de alta pressão e temperatura. Quando exposto, se torna sujeito às condições da superfície. Além dessa transformação físico-química, a evolução natural do relevo montanhoso está ligada a desmoronamentos e escorregamentos das encostas, fruto da produção de material alterado. (FONSECA, 1999).

O Vale do Rio Cuiabá, região bastante atingida pelos deslizamentos de 2011 da Região Serrana, encontra-se numa formação granítica. Ele é um dos tributários do Piabanha, o principal rio da região. O padrão de drenagem é irregular sendo controlado na sua maior parte por fraturas, característica comum nessa área. Toda a região de Petrópolis encontra-se sobre uma vasta rede de drenagem entalhada pelas falhas e fraturas formando vales profundos (COSTA NUNES e FERNANDES, 1990). Na região de Itaipava e Correias, o rio Piabanha forma um vale aberto em curso de padrão meandrante em estágio de evolução relativamente maduro. A drenagem nesta região é mais densa e apresenta padrões mais dendríticos, quando se comparado ao restante da área. (PENHA et al., 1981 apud SILVA, 2006).

Mello et al. (2011) destacaram que é possível notar o controle estrutural da direção preferencial da Região do Vale do Cuiabá, que acompanha o forte lineamento NE-SE marcante da região de Itaipava, como é possível notar na Figura 7, e das variações do curso do rio, que estão associados a lineamentos subordinados na direção NW-SE. Várias estruturas rúpteis observadas na região exibem estas direções.

Por meio da interpretação de cartas e mapas da região, o distrito de Itaipava está inserido numa região de domínio montanhoso, onde marginalmente encontram-se as maiores altitudes (acima de 1.000m). Segundo Silva (2006), paredões escarpados e pontões rochosos, pouco alterados e com feições arredondadas estão presentes na região do Cantagalo, na bacia do rio Cuiabá. Conforme avança-se em direção a Teresópolis, estes pontões rochosos são cada vez mais frequentes chegando a ultrapassar os 2.000 m de altitude.

Figura 9- Feições de relevo do distrito de Itaipava, com destaque para a Bacia do Cuiabá.



Fonte: CPRM, 2021; IBGE, 2024.

O relevo montanhoso se deve às falhas geológicas que geram as grandes escarpas rochosas e a maior resistência ao desgaste do granito em relação ao gnaiss. A evolução

natural do relevo acidentado está ligada a desmoronamentos e escorregamentos das encostas, que são potencializadas pela ausência de vegetação. Áreas urbanizadas, com solos expostos devido ao desmatamento, propiciam a instabilidade local (MMA/IBAMA, 2007).

Essas áreas de alteração apresentam-se primeiramente nas ditas rampas de alúvio e colúvio, visto que este por definição é produto do intemperismo sofrido nas vertentes e que se deslocou encosta abaixo através da gravidade, depositando-se nos sopés das montanhas, possuindo dimensões e geometrias variadas. E aquele, depósitos de origem fluvial constituídos por granulometrias diversas (de cascalho a argilas) transportadas e depositadas por corrente sobre planícies de inundação e igualmente em sopés de montes e escarpas.

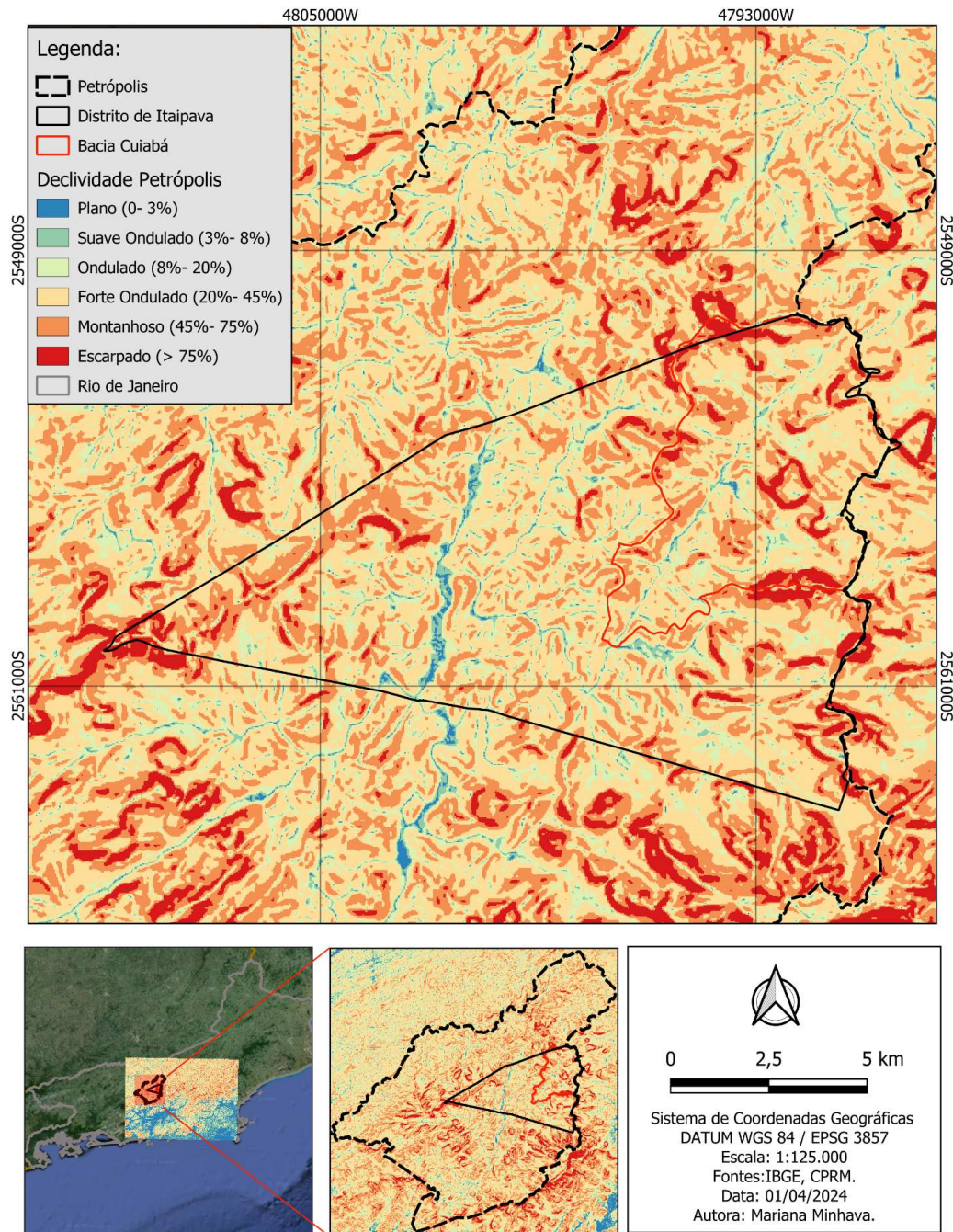
No item de discussão teórica sobre os movimentos de massa, foram elencados os tipos, condicionantes e fatores de controle para a ocorrência de deslizamentos. A evolução recente das encostas da Serra do Mar tem sido controlada principalmente por movimentos de massa, incluindo deslizamentos rotacionais e planares, além de queda de blocos e rochas (DE PLOEY e CRUZ, 1979 apud FURIAN et al., 1999).

Furian et al., (1999) estudaram em detalhe encostas na região da Serra do Mar, especificamente na vertente atlântica e identificou que quando a inclinação das encostas excede 40%, os deslizamentos ganham potencial de ocorrência independente da cobertura vegetal ou presença de ocupação humana; que usualmente os movimentos ocorrem no terço inferior das encostas e que deslizamentos do meio da vertente abaixo reajustam a topografia.

Nos deslizamentos ocorridos no 1º distrito em 2022, Alcântara et al., (2023) identificaram que 23% dos deslizamentos ocorridos nas primeiras chuvas em fevereiro no primeiro distrito estavam no intervalo de 45° a 60° de declividade, mas pondera em relação a valores menores em virtude das alterações das ocupações feitas pelo homem, em especial no que diz respeito aos cortes de taludes e aterros.

Fernandes (1998) aponta que o risco de deslizamentos aumenta com inclinação da encosta entre patamares de 37,0° a 55, 5°. Brito (2014) discute declividades inferiores a 15% como uma condição favorável à estabilidade, devido às baixas tensões de cisalhamento dado a menor ação da gravidade. Gaberti e Robaina (2017) apontam que 35% seria uma espécie de limite de declividade, onde feições com índices superiores a esse patamar estariam mais suscetíveis a deslizamentos. Contudo, é importante ponderar que enquanto declividades mais acentuadas favorecem a ruptura, variáveis menores, consideradas com menor chance de movimentos, propiciam que os solos infiltrem e se desenvolvam mais. E isso seria um fator a ser levado em consideração para um eventual movimento de massa em eventos climáticos extremos ou de chuvas prolongadas.

Figura 10 - Mapa de declividades do Distrito de Itaipava, com destaque da Bacia do Cuiabá.



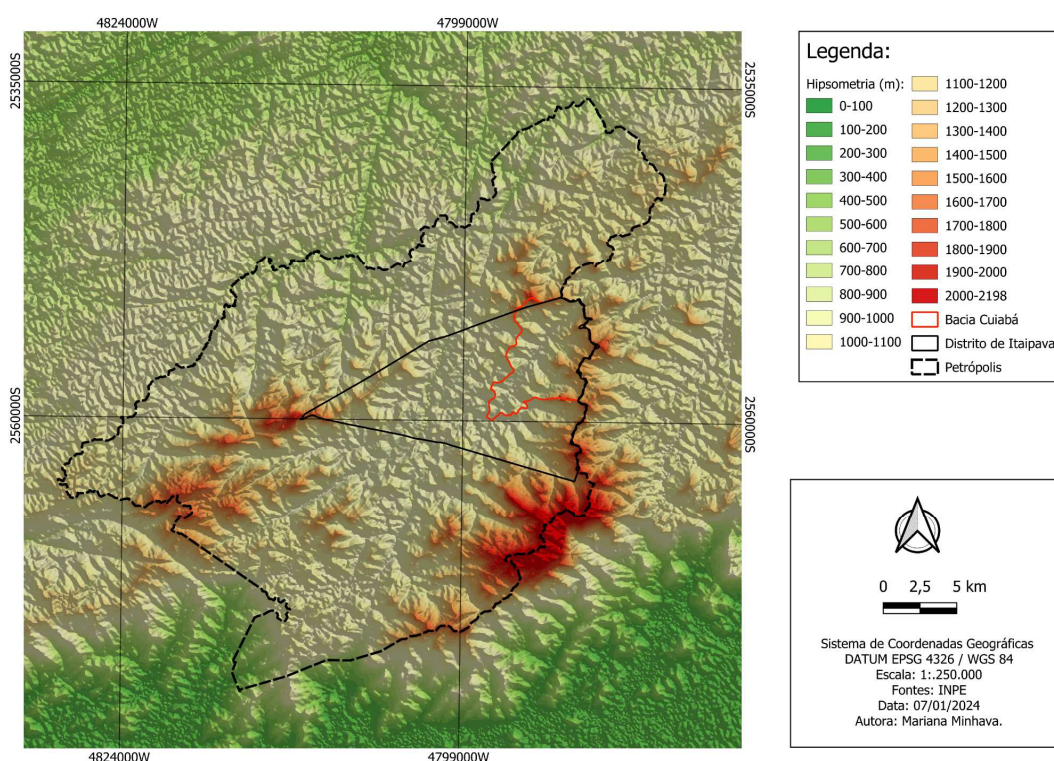
Fonte: CPRM, 2017; IBGE, 2024, TOPODATA/INPE, 2024.

De acordo com a Figura 10, as zonas com maiores declividades encontram-se na periferia do distrito de Itaipava, coincidindo com a geologia e geomorfologia de formações graníticas e de morros altos. Na parte central, onde há o Vale do Cuiabá mais a Leste, e a maior aglomeração da cidade à oeste, há menor declividade e presença de mais material alterado, tanto pela ação do transporte de sedimentos da carga dos rios, como pela gravidade de áreas marginais.

Além da declividade, os atributos topográficos designados como perfil de curvatura e plano de curvatura são fatores geológico/geomorfológicos que influenciam na ocorrência de deslizamentos. A primeira diz respeito ao aspecto convexo/côncavo das formas de relevo e a segunda ao caráter divergente/convergente dos fluxos de matéria sobre o terreno quando analisado em projeção horizontal (GABERTI e ROBAINA, 2017). Tais fatores condicionam o fluxo de água e de materiais sólidos ao longo da mesma, o acúmulo de umidade e, em última análise, os níveis de poro-pressão desenvolvidos, posto que assim como as feições convexas trabalham com divergência de fluxos, as feições côncavas recebem e concentram tais cursos, tendo relação direta com a concentração dos fluxos de água superficial e subterrânea e consequente saturação dos solos (FERNANDES e AMARAL, 2003).

O cruzamento de dados em ambiente SIG, através da álgebra de mapas pode identificar padrões de áreas suscetíveis à ocorrência de movimentos de massa com as declividades do terreno, de acordo com a Figura 11.

Figura 11: Hipsometria no Município de Petrópolis, em destaque para o distrito de Itaipava e Bacia do Cuiabá.



Fonte: INPE/ TOPODATA, 2024.

A partir dos dados mostrados na Figura 11, é possível inferir onde se encontram as maiores altitudes e declividades do distrito, a partir dos valores e distâncias calculadas a partir

das curvas de nível obtidas do Modelo Digital de Elevação (MDE). Mais uma vez, é possível identificar que as maiores altitudes e declividades se encontram em sua maioria nas periferias do distrito estudado.

O cruzamento de dados com o fator solo será de suma importância para uma análise mais completa do distrito e seus fatores naturais de relevância para estudo dos deslizamentos e possíveis fatores condicionantes locais.

3.5 Pedologia da Bacia do Cuiabá, em Itaipava

De acordo com dados de mapeamento da Mendonça-Santos et al., (2007) através de identificação de solos de baixa intensidade no Estado do Rio de Janeiro, usando uma escala de 1:250.000, os solos do município de Petrópolis seriam Cambissolos, Latossolos, Argissolos e Neossolos Litólicos. Contudo, é importante salientar que tal estudo não provê de fato a análise global e completa de verificação pedológica, tanto pela escala como pelo método de trabalho que contou com a abertura de 6 perfis de solo para todo o município de Petrópolis (SILVA, 2006).

Os tipos de solos presentes na região de acordo com mapeamento geral realizado com dados disponibilizados pelo IBGE e CPRM na região de Itaipava são da ordem dos Cambissolos e Latossolos.

Tais solos também foram encontrados em trabalhos de maior nível de detalhamento, em especial na região do Vale do Cuiabá. Os Latossolos estão localizados na região central do distrito, onde há cursos de rios e as altitudes e declividades são mais baixas. Os Latossolos são ordens de solos muito intemperizados, típicos de ambientes tropicais úmidos, bastante lixiviados e com minerais mais resistentes e pobres em sílica, com horizontes B com microagregados e com horizonte A pouco espesso. Nas margens do distrito, há uma série de Cambissolos, cuja maior ocorrência se dá em altitudes superiores a 900 m (SILVA, 2006). Por definição geral são solos com horizonte B incipiente, em início de formação, sendo pouco profundos, típicos de relevos acidentados e com quantidade elevada de minerais primários (LEPSCH, 2002).

Levantamentos a nível de detalhe que contribuam pontualmente para identificação de tais perfis com maior acurácia restringem-se a pesquisas acadêmicas executadas em universidades e que nem sempre estão disponíveis para a população em geral (SILVA, 2006).

Alguns estudos de solo disponíveis através de dados de SIG para efeito de mapeamento recente nos dão como resultados classes de solo gerais do município de Petrópolis, como Cambissolos, Latossolos e Argissolos de variados níveis.

O estudo semidetalhado de solos da microbacia do córrego do Bonfim, no distrito de Correias traz a identificação de vários perfis e tipos de solos da região (RIBEIRO et al., 2021). Apesar de essa área não contemplar Itaipava, ele permite obter uma noção das classes de solo que poderiam ser encontradas no distrito de Itaipava, pois possuem condições de geodiversidade similares pedológicas que encontramos no distrito de estudo visto que, por serem vizinhos, estão inseridos em várias formações e tipos climáticos semelhantes.

Mais especificamente em Itaipava, Silva (2006) destaca estudos que realizaram análises pedológicas no distrito da Cascatinha, de Itaipava e mais detalhadamente no Vale do Cuiabá como Tavares (1987), Silva et al., (1999), Botelho (1996) e Botelho et al., (1999).

Tavares (1987) apud Silva (2005) encontrou as seguintes unidades de solo: Latossolo Vermelho-Amarelo, Podzólico Vermelho- Amarelo (Argissolo), Latossolo Vermelho-Amarelo Podzólico, Podzólico Vermelho-Amarelo Latossólico, Cambissolo, Solo Litólico (Neossolo Litólico) e Solo Aluvial (Neossolo Flúvico).

Botelho (1996) no Vale do Rio Cuiabá e Silva et al., (1999) nos solos do distrito de Itaipava mapearam as mesmas unidades de solos. A primeira identificou como solos rasos os Neossolo Litólicos e Cambissolos, e Latossolos e Argissolos como muito profundos. Segundo Silva (2006), com características em sua maioria vermelho-amarelados e possuem textura média a argilosa, excetuando-se os Neossolos Flúvicos, de baixa fertilidade com alta concentração de alumínio sendo essencialmente caulíníticos e gibbsíticos, o que evidencia altas taxas de intemperismo típico de climas tropicais úmidos.

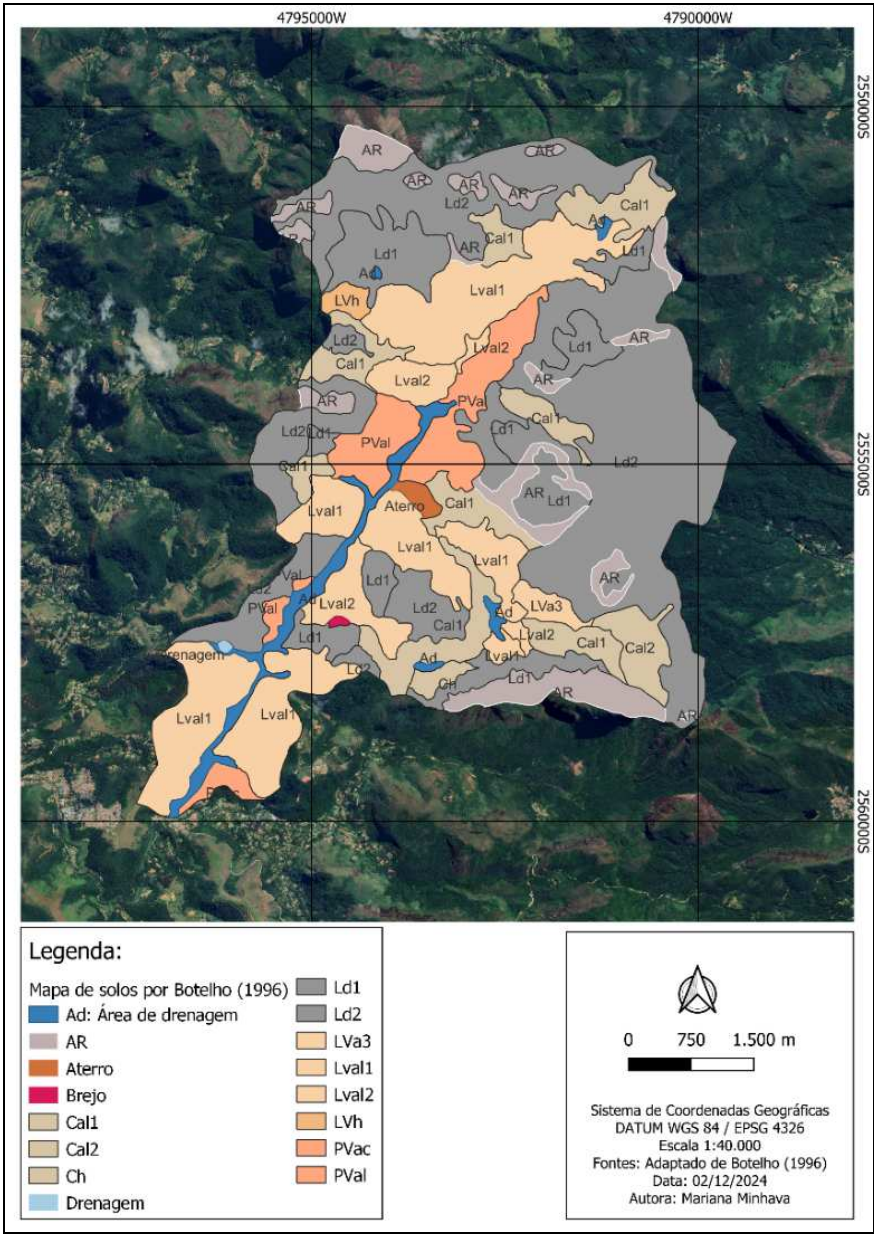
O segundo, realizou uma contribuição específica de Itaipava, com levantamentos em escala que possibilitou verificar características dos solos em suas posições nas encostas.

Segundo os autores:

“[...] o Latossolo Vermelho-Amarelo, ocorre na alta e média encosta; o Argissolo Vermelho-Amarelo, no terço inferior de vertentes em colinas suavizadas; o Cambissolo, em trechos mais elevados, em relevo ondulado a montanhoso; o Neossolo Litólico, nas áreas mais íngremes, próximas a afloramentos de rocha e sopé de paredões rochosos, em áreas de depósito de tálus; e Neossolo Flúvico, restrito aos terraços ao longo dos principais cursos d’água. O trabalho aponta ainda a existência de solos *intergrades* entre as classes Latossolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Vermelho-Amarelo. (SILVA et al, 1999 apud SILVA, 2006, p.40)

Botelho (1996) elaborou o mapa de solos a partir de fotografias aéreas em escala 1:25.000 e foto mosaicos semi-controlados em escala 1:20.000 (Figura 12).

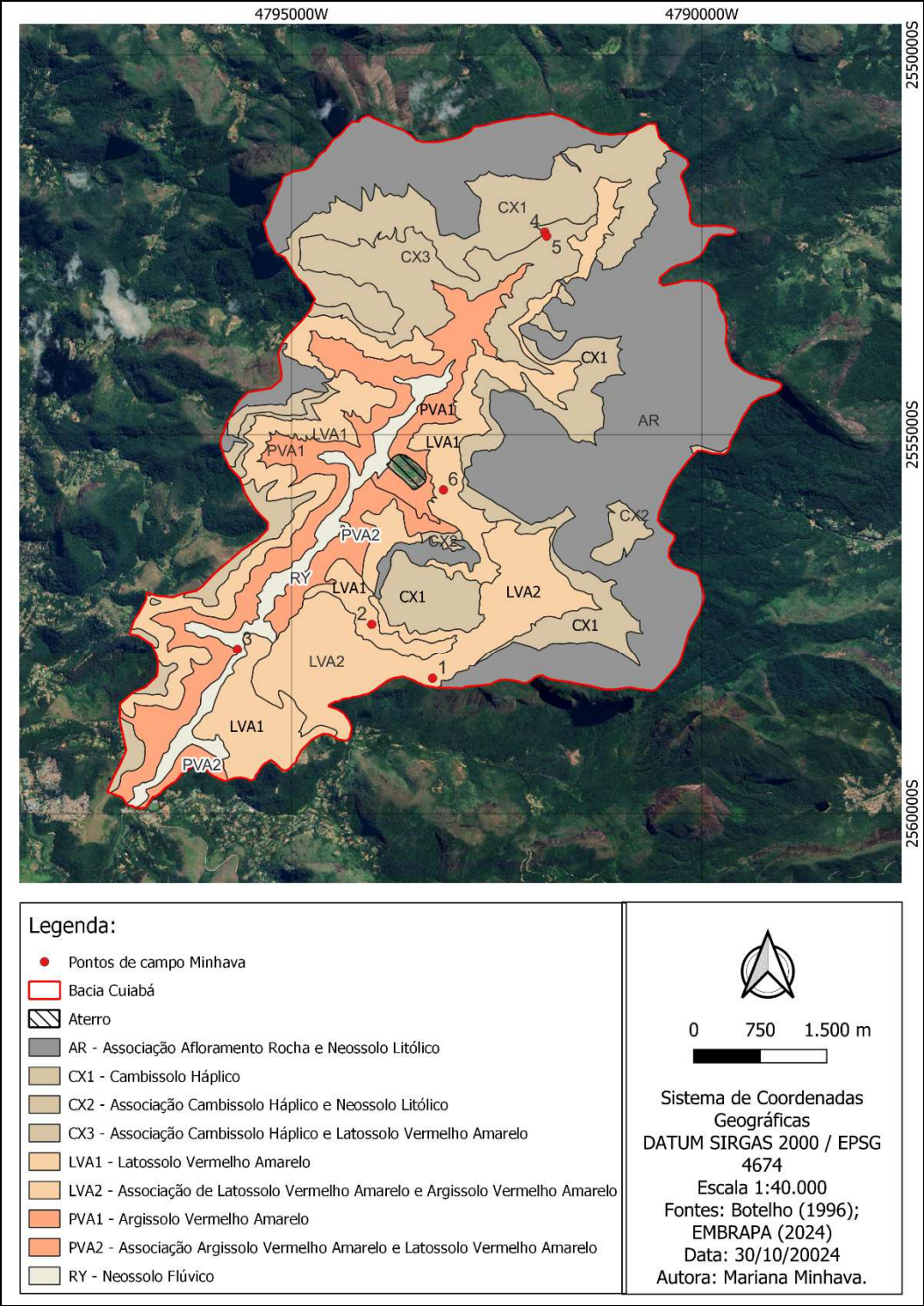
Figura 12- Mapa de solos adaptado de Botelho (1996)



Fonte: A autora, 2024.

Sabendo que os mapas e dados pedológicos da região disponíveis estão em escalas muito pequenas para a análise necessária que se propõe, além da comparação com o mapa de 1996, por meio da visita de campo, uso de dados morfológicos do terreno e análise através de imagens do aplicativo *Google Earth* e da base de mapas do *software* QGIS 3.34.1, foi elaborado o croqui pedológico do trabalho para uma atualização dos dados da Bacia, posto que decorridos quase 30 anos, desastres marcantes já ocorreram.

Figura 13- Croqui pedológico da Bacia do Vale do Cuiabá.



Fonte: A autora, 2024.

Furian et al., (1999) realizaram uma série de estudos de análise pedológica e micromorfológica em áreas de estudo na Serra do Mar. Os autores analisaram através de amostras obtidas por meio de topossequências o padrão geométrico dos solos e a relação entre os diferentes horizontes para compreender as ligações entre morfogênese e pedogênese. De

todas as análises executadas, identificaram a formação de gibbsita como primeiro estágio de intemperismo da rocha-mãe, como ocorria a circulação de água na catena e por fim, porosidade e taxas de infiltração com taxas diferentes entre horizontes.

Tais comportamentos como presença de diferentes minerais e taxas de intemperismo, taxas de porosidade, descontinuidades entre horizontes, dentre outros, em consonância com a identificação das classes de solo e demais estudos específicos da área (geomorfologia, clima, vegetação, geologia) contribuirão na análise de deslizamentos da área de estudo. A revisão teórica realizada até aqui será complementada com os trabalhos de campo e de laboratório, que trarão respostas sobre a suscetibilidade a movimentos de massa em Itaipava.

3.6 Vegetação e uso do solo

A localização da cidade de Petrópolis em conjunto a sua altitude possui domínios de vegetação de Floresta Tropical, domínios da Mata Atlântica (FURIAN et al., 1999). O domínio Tropical Atlântico é um dos domínios morfoclimáticos brasileiros com extensão desde o Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul, ocorrendo ao longo das costas brasileiras. Por ter considerável distância latitudinal, possui feições características ao longo das diferentes paisagens, altitudes e climas.

Desde o século XVI com a chegada dos europeus ao Brasil, foi intensamente devastado pela ocupação e atividades desenvolvidas nessa faixa. Hoje, apresenta fragmentos reduzidos e esparsos ao longo do território, com maior extensão contínua nas Serras do Mar e da Mantiqueira, no Sudeste (CONTI e FURLAN, 2005).

Segundo informações do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2010), quando da chegada dos primeiros europeus, a Mata Atlântica se estendia por aproximadamente 15% do território brasileiro. Em dados levantados de 2010, ocupa somente 1,19% do território ou 7,91% de sua área original com cerca de 102.012 km² preservados.

Foram substituídas pelos cultivos de cana no Nordeste e de café no Sudeste, majoritariamente. Além da agricultura, a intensa urbanização, atividade turística e industrialização concentradas no litoral, região de abrangência da Mata Atlântica, são as principais atividades da atualidade que contribuem para sua supressão.

Sua fisionomia é de uma floresta densa, de grande biodiversidade dentre as matas tropicais, com grande quantidade de matéria orgânica em decomposição no solo o que lhe

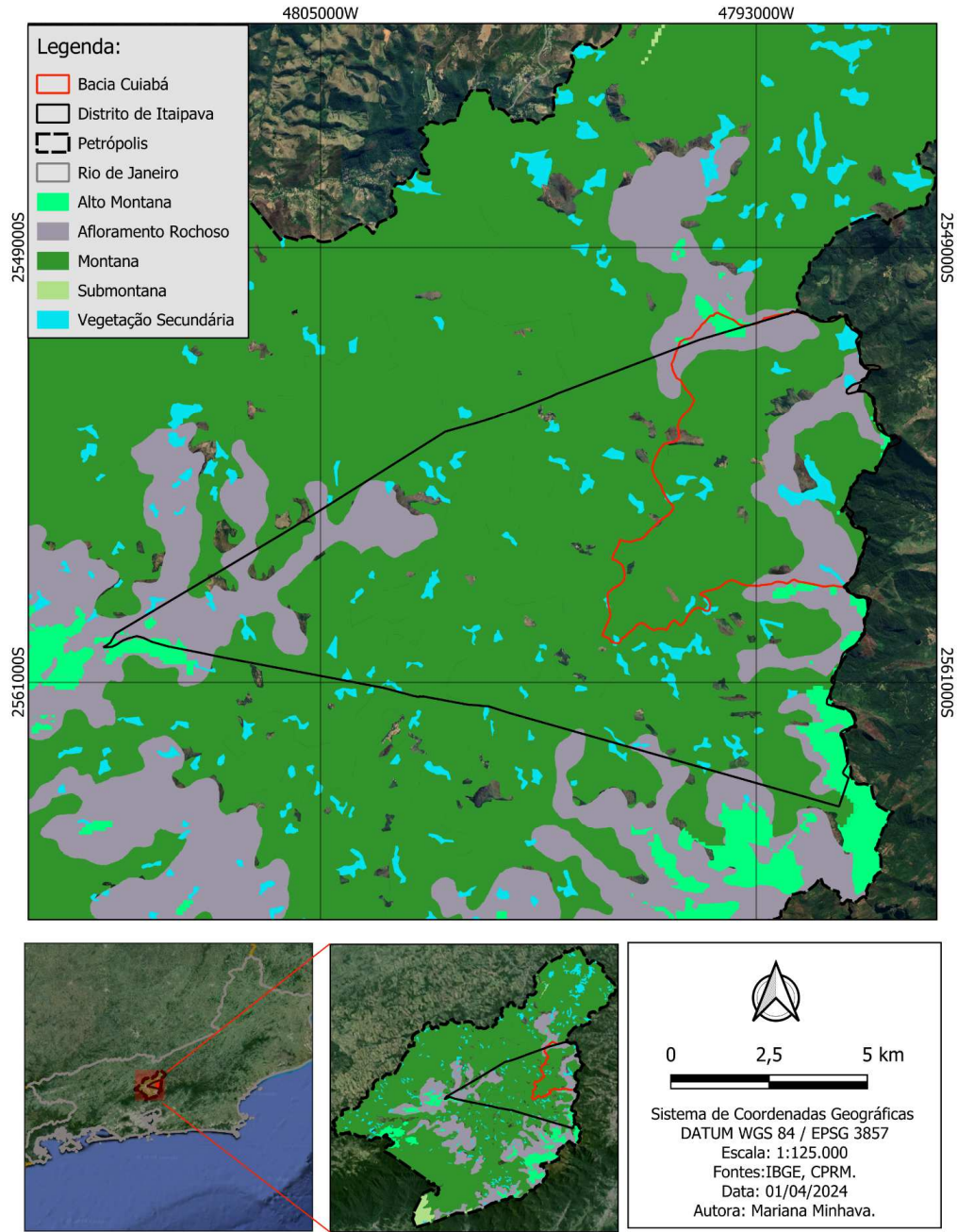
confere um solo com grande fertilidade. Sua distribuição longitudinal e em diferentes altitudes no território lhe conferem grande diversidade de espécies por abranger diferentes tipos climáticos.

Há uma distinção clara de dois tipos de floresta tropical. Segundo Azevedo (1960), uma tem caráter higrófilo e outra de interior. A primeira formação é ombrófila e perenifólia, e a segunda é mesófila e subcaducifólia. Por sua fisionomia elas são idênticas durante o período chuvoso, mas um pouco diferentes durante o período seco, quando então fica proeminente o processo de caducifolia, que afeta principalmente a floresta do interior, onde a pluviosidade é menor.

O termo ombrófila vem do grego e representa pluvial. A mata atlântica higrófila litorânea ocorre, dentre áreas no litoral, nas escarpas e serras sub litorâneas do Estado do Rio de Janeiro. Nas regiões da Serra do Mar e da Mantiqueira, há poucos quilômetros da costa, essas encostas retratam uma diferença altimétrica em relação à costa, o que gera a ascensão de ventos úmidos do litoral em suas vertentes. Cria-se um ambiente de chuvas orográficas e elevada umidade, com a presença de florestas ombrófilas perenifólias (PEREIRA, 2009).

Segundo Guerra et al., (2007) a floresta ombrófila densa ocupa uma região tropical com chuvas bem distribuídas (médias ao ano de 1500mm). Sua divisão elaborada pelo RADAM nas décadas de 1970 e 1980 traz uma divisão baseada no critério altitude, como é possível verificar na Figura 27. Em Petrópolis, temos as Florestas Submontana (40 a 500 metros de altitude), Montana (500 a 1500 metros de altitude), Alto Montana (entre 1500 e 2000 metros de altitude) e Vegetação Secundária.

Figura 14- Mapa com os estratos de Floresta Ombrófila Densa no Município de Petrópolis, em destaque o distrito de Itaipava e Bacia do Cuiabá.



Fonte: IBGE, CPRM, 2024.

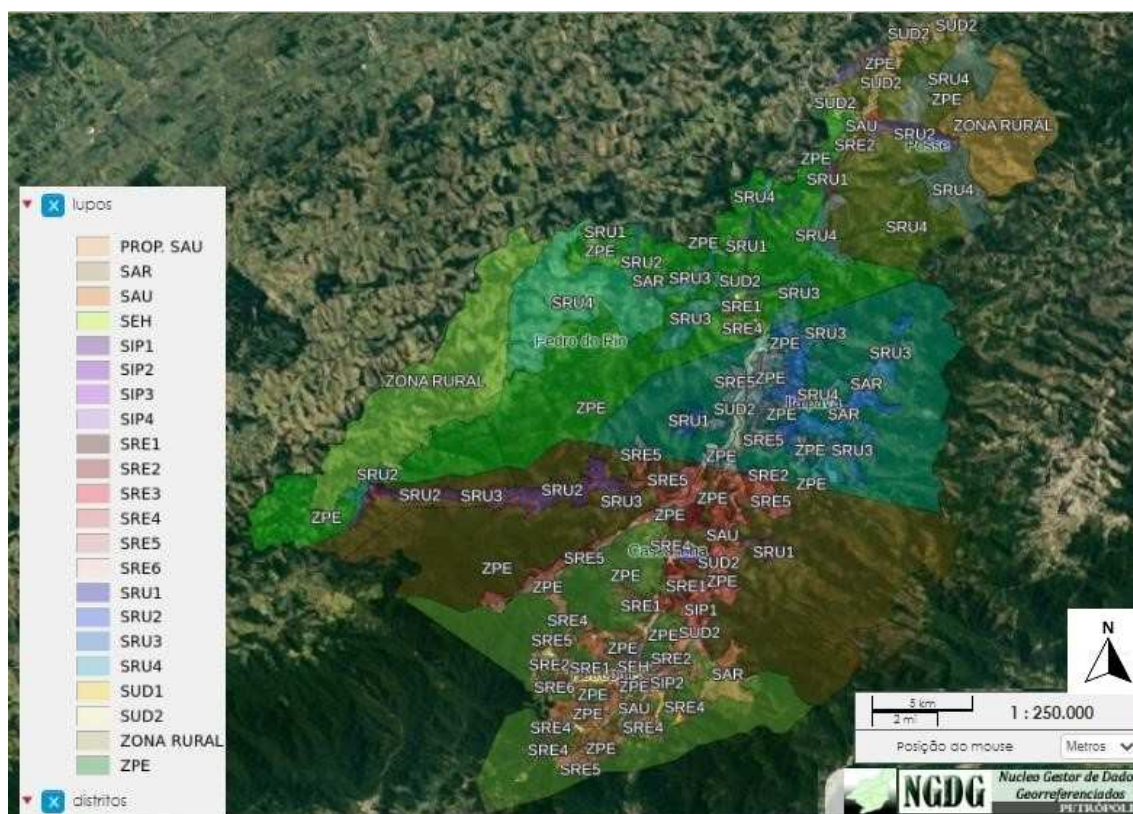
A grande parte do município naturalmente possuía a floresta Montana como principal vegetação, posto que está dentro das características altimétricas médias da Cidade em torno de 800m.

Desde a ocupação incentivada e planejada pelo Major Koeler no século XIX, o avanço de algumas culturas como o café, que foi implantada ao longo de todo o Vale do Paraíba e com tentativas de implantação em Petrópolis, resultou na supressão da vegetação nativa se

avolumando. Atualmente, as áreas de mata estão restritas a algumas partes da cidade, em especial as mais elevadas ou ocupadas por matas secundárias (SILVA, 2006).

A Figura 28 traz georreferenciados os dados da lei de planejamento e uso do solo (LUPOS) no município e seus respectivos distritos. As siglas na legenda identificam os tipos de zonas e os respectivos setores, que as dividem. São quatro zonas no total que constam no regimento: zona rural (ZRL), zona rururbana (ZRB), zona urbana (ZRU) e zonas de proteção especial (ZPE). A única zona que inclui espaços com proibição de construção de qualquer edificação ou ocupação é a ZPE. No caso, ela se divide em setores de preservação (SPE) onde é vedada toda a ocupação e em setores de proteção (SPR) que compatibilizam a ocupação com a preservação de recursos.

Figura 15- Tipos de uso do solo no município de Petrópolis.



Fonte: Núcleo gestor de dados georreferenciados, 2020.

Além da LUPOS, há a legislação ambiental referente às áreas de preservação permanente (APP). As APP's abrangem faixas marginais de rios, topos de morros, em encostas com declividades superiores a 45° na linha de maior declive, em altitudes maiores que 1.800m, entre outros. As APP's podem abranger áreas urbanas e rurais. A reserva legal, aplicável apenas nas áreas rurais.

Dentre as categorias protegidas no município de Petrópolis que são elencadas na LUPOS como zonas de proteção especial (ZPE), em setores de preservação onde é vedada toda a ocupação, temos:

I - Unidade de Conservação "Parque Serra da Estrela", unidade de proteção integral vinculada ao INEA. Funciona como corredor entre o Parque Nacional da Serra dos Órgãos e a Reserva Biológica do Tinguá;

II - Reserva Biológica de Araras, unidade de proteção integral vinculada ao INEA;

III - Zona de Vida Silvestre da APA em Araras e IV - Zona de Vida Silvestre da APA na Maria Comprida: ambas dentro da APA Petrópolis

V - Reserva Ecológica da Alcobaça: no distrito de Cascatinha, também faz parte da APA Petrópolis.

VI - Reserva Biológica do Tinguá: Unidade de proteção integral de domínio do ICMBio

VII - Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO): está inserido na APA Petrópolis, sob tutela do ICMBio, sendo uma unidade de proteção integral.

A APA Petrópolis está sob a tutela do ICMBio e trata-se de uma unidade de uso sustentável.

Sabe-se que algumas leis de ordenamento e uso do solo, assim como as regulamentações ambientais como as descritas acima são desrespeitadas conforme há o avanço da ocupação e inserção de atividades econômicas. Muito se relaciona às ocupações irregulares como causadoras de certos deslizamentos ou as principais acometidas quando da ocorrência de desastres naturais.

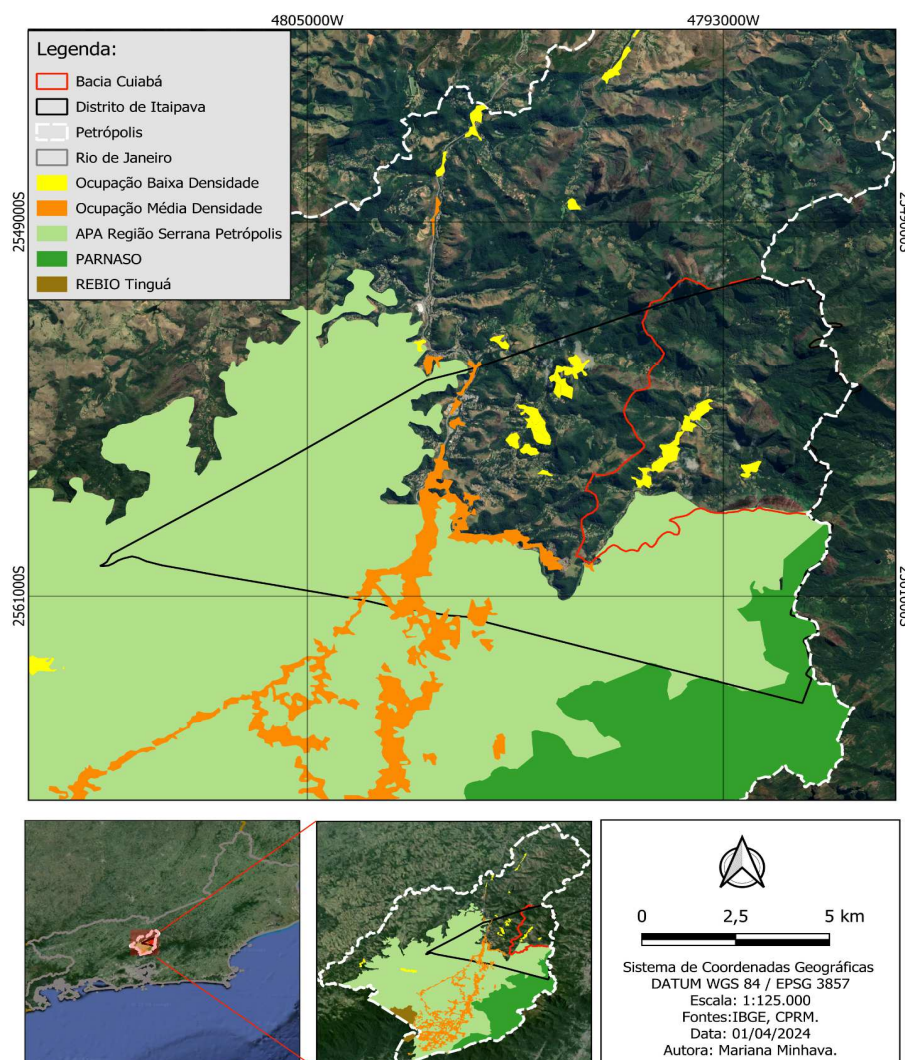
"A única maneira de evitar os prejuízos socioeconômicos, inclusive a perda de vidas humanas, provocadas por enchentes e deslizamentos, é não ocupar ou morar em encostas com declividade acentuada e nas margens de riachos e rios. Isso, que parece óbvio, infelizmente é ignorado por significativa parcela da população (e não se trata apenas da população pobre), por grande parte das autoridades e por meios de comunicação que cobrem tais tragédias. Ainda há gente que acredita que canalizar rios previne e evita enchentes, quando na realidade arma verdadeiras bombas relógio que vão explodir mais adiante" (IBAMA, 2011, pág. 31)

As áreas com ocupação de aglomerados subnormais espalhadas pelo distrito de Petrópolis evidenciam a existência de favelas nas três áreas, sendo que em duas delas, PARNASO E REBIO, as ocupações são proibidas. A APA criada em 1982 e que se estende majoritariamente entre os 1º, 2º e 3º distritos, sofre uma pressão antrópica muito intensa, conflitos de origem socioambientais, que são um desafio para a administração da APA, no que diz respeito à consonância entre o crescimento urbano, sem que haja grande impacto no

equilíbrio das encostas, da biodiversidade, dos rios, dos solos, enfim toda a riqueza ambiental e histórica existente em Petrópolis (GUERRA et al., 2007).

Na Figura 16 há as ocupações de baixa e média densidade³ evidenciadas por manchas que se estendem na direção de Itaipava, que confirmam as teses de expansão imobiliária na direção desse distrito em meados da década de 80. Apesar de Pedro do Rio e Posse serem distritos com maior incidência de atividades primárias, já existem manchas de ocupação expressivas, inclusive de média densidade como evidenciada no mapa a oeste em Posse e nas porções nordeste e sudoeste de Pedro do Rio.

Figura 16 - Cruzamento de dados entre as áreas ocupadas em Petrópolis e as áreas protegidas, com destaque para o distrito de Itaipava e Bacia do Cuiabá.



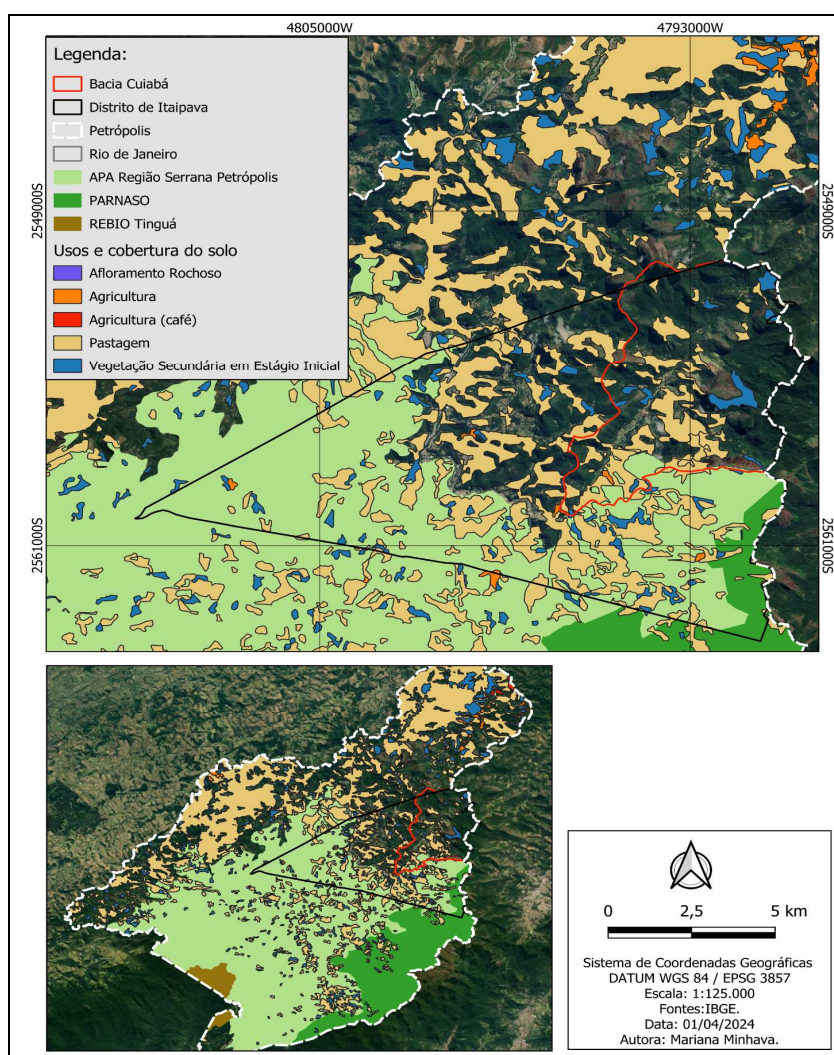
Fonte: CPRM, 2022; IBGE, 2024.

³ A ocupação de alta densidade foi verificada pontualmente no distrito de Petrópolis nas coordenadas (-43.2143, -22.4858) e por apresentarem baixa representatividade no georrefereciamento, seus dados foram excluídos do mapa elaborado.

De acordo com Gonçalves (1998) especialmente no caso de Petrópolis, a desestabilização de encostas pela construção de casas populares e condomínios tem desencadeado uma série de problemas ambientais, especialmente nos 1º e 2º distritos. Essa desestabilização de vertentes soma-se à ocupação nos fundos de vale, que naturalmente recebem os fluxos que convergem das descidas das encostas ao redor como no Vale do Cuiabá, em Itaipava, uma das áreas mais devastadas do evento de chuvas e deslizamentos de janeiro de 2011 alcançando a cifra de 74 mortos e 80 desaparecidos (MMA, 2011).

Nesta última análise espacial (Figura 17), vê-se um adensamento de áreas de pastagem e agricultura e produção de café nos 4º e 5º distritos, descritos anteriormente como de maior atividade primária.

Figura 17 - Cruzamento de dados entre atividades primárias desenvolvidas em Petrópolis e as áreas protegidas, com destaque para o distrito de Itaipava e Bacia do Cuiabá.



Fonte: IBGE, 2024.

Por serem mais urbanizados, os 1º, 2º e 3º distritos apresentam menos áreas ocupadas por essas atividades. Contudo, sinalizam pontos de pastagem na APA e no PARNASO. Esse cruzamento mais uma vez representa usos do solo indevidos e que avançam sobre áreas que deveriam manter seu equilíbrio geológico-geomorfológico, pedológico, hidrológico e de cobertura florestal, por exemplo, mas que estão sendo ocupadas por tais atividades. É bom lembrar que as fortes chuvas que atingiram a região serrana do Rio de Janeiro na tragédia de 2011 afetaram bairros urbanos e áreas rurais. Em sua maioria, as áreas próximas dos cursos d'água e das encostas com alta declividade foram atingidas por enchentes e deslizamentos.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-CONCEITUAL

Abordar as discussões teóricas sobre movimentos de massa e a ciência pedológica são fundamentais para compreender os agentes envolvidos, seus processos e embasar conceitualmente os resultados que serão obtidos nas atividades práticas no local de estudo selecionado. Afinal, estudar os solos em um nível microscópico, demanda leitura e pesquisa aprofundada sobre esse ente.

A análise do comportamento do clima e da hidrologia interferem na velocidade dos processos de formação de solo, por exemplo, e mesmo na ocorrência de deslizamentos. A temperatura, índice pluviométrico, incidência de raios solares e o papel da água nos solos fazem parte das transformações e reações dos solos.

A geologia e geomorfologia desempenham os papéis de como o material de origem pode interferir nos processos do solo assim como o relevo e suas diferentes morfologias através da suscetibilidade maior ou menor dos solos decorrente de características geológicas e geomorfológicas.

Destacando o papel antrópico, a relação sociedade- natureza é elencada posto que o homem interfere nos processos de escorregamentos, muitas vezes acelerando sua deflagração através de cortes em taludes, ocupação massiva de encostas e uso do solo, alterando redes de drenagem e retirando sua cobertura vegetal.

Um ponto importante nesta revisão é que a deflagração de um processo como movimentos de massa demanda uma análise em conjunto dos temas que foram considerados, o que contribuirá para chegar a um resultado.

Mas especialmente, demanda compreender através da micromorfologia dos solos, como a ciência pedológica pode contribuir ao indicar fatores, processos e características que levem a uma maior suscetibilidade para a ocorrência de um movimento gravitacional de massa.

4.1 Movimentos de Massa

Os solos recobrem a maior parte da superfície do planeta. Se desenvolvem em áreas planas ou nos ambientes de encosta, sendo por si só áreas de objeto de estudo de várias

ciências, dentre elas a geografia, a geomorfologia e a pedologia. Eles se caracterizam pela sua forma, componentes e ocorrência de processos que alteram sua dinâmica constantemente (GUTIÉRREZ, 2013).

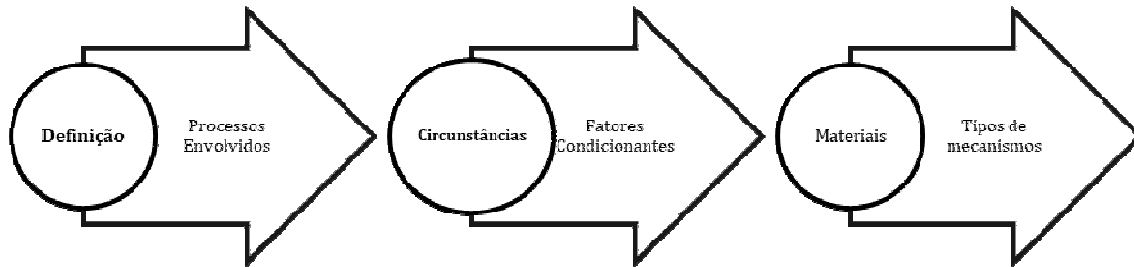
O uso e ocupação indiscriminados de encostas e o planejamento deficitário por parte do poder público, aliados a fatores condicionantes naturais, são capazes de culminar em processos destrutivos que podem até ser irreversíveis.

Um desses processos é o movimento de massa, amplamente discutido em trabalhos sobre geomorfologia, pedologia ou que abordem os fenômenos relacionados aos deslizamentos de encostas. Movimento de massa é o processo em que ocorrem deslocamentos maciços de material nas encostas sob a influência de gravidade, podendo contar com a participação de agentes independentes, como naturais e antrópicos, e dependendo da área de mobilização desses materiais e sua magnitude, podem causar até mesmo catástrofes (SUMMERFIELD, 1991; BIERMAN e MONTGOMERY, 2014).

Os deslocamentos maciços são movimentos coletivos de solos e rochas, induzidos pela ação da gravidade e das águas superficiais e subterrâneas, ou induzidos pela ação antrópica por meio de ações de desmatamentos, cortes e aterros, entre outras. A classificação dos tipos de movimentos de massa é importante por permitir que se reconheçam os diferentes fenômenos de mobilização e assim, possibilita definir medidas corretivas e preventivas (REIMER, 2006). No fenômeno de movimento de massa, a gravidade é a principal força envolvida; o movimento é moderadamente rápido; o material deslocado possui limites bem definidos, envolvendo porções das encostas (GUERRA e JORGE, 2012). Estudos realizados destacam o papel da gravidade na ocorrência de deslizamentos, como nos Montes Apeninos Italianos, onde a maior parte das feições convexas possuem média de 22° de inclinação (ARINGOLI et al., 2010)

Cada um dos fatores atua de diferentes maneiras no desgaste de vertentes. Como neste trabalho será feita a análise da suscetibilidade a movimentos de massa, optou-se por enumerar e aprofundar algumas das características destes.

Sendo assim, a sequência desse capítulo obedecerá à lógica:



A ocorrência de movimentos de massa acontece quando a estabilidade da encosta é afetada. As forças que nela atuam entram em desequilíbrio. Essas forças são as que levam ao movimento de materiais e as forças que resistem a esses possíveis movimentos. A resistência ao cisalhamento de materiais em encostas é variável no tempo e no espaço à medida que ocorrem no campo, posto que as rochas e o solo são misturas complexas de minerais, água e ar (SUMMERFIELD, 1991).

Portanto, a instabilidade é determinada não apenas pelo limite rompido de estabilidade da encosta, mas também por forças desestabilizadoras externas que a afetam (GUTIÉRREZ, 2013). De uma forma simples, podemos dizer que a encosta é estável enquanto:

$$\text{resistência} > \text{força}$$

Da mesma maneira, a encosta seria instável quando:

$$\text{resistência} < \text{força}$$

Selby (1993) destaca o papel da água ou gelo na redução da resistência ao cisalhamento nas encostas, posto que sua presença pode levar a um comportamento físico do solo que facilite seu deslocamento tornando-o mais plástico ou mesmo muito fluido.

Como a resistência pode variar com o tempo, especialmente com o teor de água nos materiais de declive, uma terceira relação seria a de encosta condicionalmente estável, que responde de acordo com as alterações na resistência (RITTER et al., 2011).

Alguns dos fatores condicionantes dos Movimentos de Massa que levam à instabilidade serão detalhados abaixo. Há fatores perturbadores naturais e aqueles causados pelo homem (GOUDIE e VILES, 1997):

- **Fatores Geológicos:** a estrutura geológica é a base para compreensão da composição litológica, a mineralogia, a textura e a estrutura onde a encosta se desenvolveu

(GUTIÉRREZ, 2013). Assim como o solo, as rochas também possuem planos de fraqueza ou descontinuidades que podem colaborar para o rompimento da resistência ao cisalhamento deste material, como falhamentos, por exemplo. Goudie e Viles (1997) destacam no substrato rochoso além das falhas, a existência de planos de leito, juntas e seu espaçamento, clivagens, foliações, zonas de brechas e cisalhamento pré-existentes. O espaçamento entre as juntas é uma das variáveis mais significativas na determinação de resistência das rochas (SUMMERFIELD, 1991). Essas descontinuidades no solo ou na rocha desempenham papel fundamental no movimento da água em subsolo, que segundo Henscher (1987) apud Gutiérrez (2013), quando esses planos de falha se assemelham à declividade das encostas, podem ser o gatilho para a ocorrência de movimentos de massa do tipo translacionais.

Mapas de suscetibilidade geológica são produzidos em inúmeras pesquisas no mundo, que tem por objetivo identificar propriedades das estruturas litológicas que possam auxiliar na compreensão da ocorrência de deslizamentos em estruturas similares. O papel do clima e por consequência da água na interação com a massa rochosa irão desempenhar um papel muito importante em transformações físico-químicas nesse substrato e influenciarão na ocorrência de movimentos de massa (SIDLE e OCHIAI, 2006).

- **Fatores hidrológicos:** O regime de chuvas é o fator principal por contribuir com o processo de desencadeamento dos deslizamentos. Em relação aos materiais sólidos como o substrato rochoso e o regolito, o aumento do nível de água pode reduzir a resistência ao cisalhamento e levar a uma ruptura (SELBY, 1993). Dependendo do tipo de precipitação, como chuvas torrenciais ou concentração de chuvas de alta magnitude e frequência, por exemplo, a sobrecarga pela saturação da água no solo e materiais rochosos pode reduzir a coesão efetiva das partículas, aumentar a poro pressão, reduzir o ângulo de resistência ao cisalhamento (GOUDIE e VILES, 1997). A ação da água pode ainda atuar na alteração mineralógica e hidrológica dos regolitos, através de reações físico-químicas que podem criar condições propícias para deslizamentos (SIDLE e OCHIAI, 2006).

- **Propriedades do solo:** que podem desestabilizar encostas e gerar os movimentos de massa, como mudanças na permeabilidade do solo e entre horizontes de solo (SILVA et al., 2016). A coesão de partículas e agregados incluindo a tendência para se soltarem e dispersarem, leva em consideração a textura dos materiais sólidos, granulometria e geometria de sedimentos que influenciarão na resistência interna a um movimento. Dependendo dessas características físicas dos materiais sólidos, há diferentes ângulos de resistência ao cisalhamento. O teor de matéria orgânica desempenha o papel de gerar os agregados do solo, que o tornam mais resistente a deslizamentos e outros processos de

deslocamento de sedimentos, como a ação direta da água sobre as encostas. As alterações químicas de determinados tipos de rochas e solos também podem propiciar a ocorrência dos movimentos de massa. Pode-se mencionar o teor de argila como fundamental para avaliar a resistência de um solo. A ação da água resultará em alteração do volume de solos argilosos, uma redução da permeabilidade com consequente retenção de água, aumento da coesão entre as partículas e diminuição do ângulo de resistência (SUMMERFIELD, 1991).

- **Fatores geomórficos:** A declividade e ação da força de gravidade está destacada como o principal agente envolvido, sofrem influência de outros fatores para a possível ocorrência de um deslizamento. Além das propriedades inerentes aos solos, rochas e hidrologia, a morfologia das vertentes influenciará no deslocamento da água com concentração ou dispersão de fluxos na superfície. A altura, o comprimento e a forma da encosta devem ser considerados na análise morfológica. Em vertentes de maior inclinação o processo tende a não ser tão recorrente pela baixa profundidade de material alterado (FERNANDES et al., 2008). A estabilidade da vertente pode ser rompida com uma alteração de sua declividade por diversos fatores, naturais e humanos. Dos naturais, pode-se elencar o processo de erosão dos solos de uma encosta onde o constante escoamento superficial e empobrecimento do solo crie feições erosivas com dimensões que possam alterar o ângulo de resistência ao deslizamento (GOUDIE e VILES, 1997); a retirada de material subjacente por meio da ação de rios, mares ou geleira; desagregação do material na base da encosta. Dos humanos, cortes de taludes para obras de engenharia diversas em geral é o principal fator a alterar a geometria das encostas e por consequência, sua estabilidade

- **Vegetação:** A cobertura vegetal age em diversas frentes, tanto no avanço da erosão como de movimentos de massa. A copa das árvores naturalmente age como uma proteção para que a chuva não atinja diretamente o solo causando erosão por *splash* e cadenciando a infiltração, permitindo que haja a absorção pelo solo e recarga do lençol freático, diminuindo a chance de haver escoamento superficial. A copa e tronco das árvores captam parte da água da chuva, onde há evaporação e outra parte que atingiria diretamente o solo, tem sua queda ligeiramente amortecida. As árvores geram serrapilheira que além de proteger o solo, em decomposição, geram matéria orgânica que será incorporada ao solo (COELHO NETTO, 1994). A vegetação tende a gerar com suas raízes, macroporos que facilitam o escoamento no solo, dificultando o escoamento preferencial entre horizontes, por exemplo. A presença de microfauna também colabora nesse trabalho. As raízes podem desempenhar papel de estabilizadoras de encostas quando se trata de grandes profundidades, aumentando a força de cisalhamento (GOUDIE e VILES, 1997). Contudo, nos processos que

desencadeiam movimentos de massa, a cobertura vegetal pode ser um fator controverso. Pode indiretamente desencadear deslizamentos como analisado por De Ploey e Cruz (1979) onde em solos tropicais, pela intensa pluviosidade total anual e em declives acima de 20° foram verificadas que as florestas contribuem com alguns deslizamentos pelo seu sistema de raízes que aumentava justamente a infiltração. Esse processo reduzia a resistência ao cisalhamento. Dependendo do tipo de vegetação, suas raízes podem alcançar apenas o horizonte A (gramíneas) em alguns centímetros ou quando trata-se de espécies de portes maiores, o horizonte B, alcançando profundidades de cerca de 3 metros. Poucas espécies, segundo os autores, chegam a maiores profundidades como 5 metros. Desta forma, as florestas na Região da Serra do Mar fixaram a camada de regolitos através da fixação de suas raízes até uma profundidade média de 3 metros. Ocakoglu et al., (2002) discorrem sobre a controvérsia da cobertura vegetal diminuir ou aumentar a probabilidade de ocorrência de deslizamentos. Teoricamente, as raízes das árvores reforçam a estabilidade do solo, aumentando a resistência ao cisalhamento se as raízes penetrarem através desta zona. Entretanto, foi observado que as raízes das árvores na área de deslizamento de terra geralmente não alcançam a superfície de falha. Por este motivo, a vegetação na área acrescenta peso à massa deslocada e tem um efeito adverso sobre a estabilidade. Guerra et al., (2017) e Sidle e Ochiai, (2006) discorrem sobre a possibilidade de ocorrer um lapso entre a retirada da cobertura vegetal e o início da deflagração de movimentos de massa. Isto ocorre pois no momento do desflorestamento, é comum que as raízes das árvores sejam mantidas e estas acabam por continuar servindo como estabilizadoras do solo. Quando sua decomposição é iniciada, a coesão artificial tende a diminuir, gerando deslizamentos alguns poucos anos após a retirada da cobertura florestal. No caso de ambientes de clima quente e úmido como nos trópicos, esse processo é acelerado.

- **Ação Humana:** Todos os processos de equilíbrio acima descritos podem ser alterados por intervenções humanas. De forma natural a resistência ao cisalhamento pode ser rompida, contudo, a sociedade pode também criar esses eventos como pode acelerá-los e potencializá-los. A execução de cortes em encostas para obras de engenharia, assim como arruamentos, pode alterar o ângulo de declive, alterando o ângulo de estabilidade (VAN BEEK et al., 2008). A atividade mineradora pode criar inúmeros impactos que venham a contribuir para a instabilidade como também os cortes de declives, vibração pelo deslocamento de maquinário pesado, jateamento e terraceamento, que normalmente é realizado em áreas de vale, com uma série de depósitos com grande quantidade de água, o que pode gerar colapsos facilmente. O desmatamento usualmente efetuado para ocupação ou prática de agricultura também pode aumentar a frequência de deslizamentos por diversos

processos: a ausência da cobertura vegetal não mais protege o solo da chuva; há uma redução da matéria orgânica depositada nos horizontes superficiais do solo; a ausência de raízes prejudica a fixação do regolito assim como há uma redução da adsorção de água (GUTIÉRREZ, 2013).

- **Mudança climática:** O aumento da temperatura média global e alterações nos índices pluviométricos impactam sobremaneira a vida no planeta e diversos processos influenciados pelo clima. Podem ser elencados alguns como extensão de geleiras em grandes altitudes, derretimento de calotas polares, acidificação dos oceanos e aumento de sua temperatura, alteração na circulação atmosférica global, frequência maior de eventos climáticos destrutivos (furacões, tempestades), ciclo hidrológico alterado, aumento geral na evaporação (BARRY e CHORLEY, 2013). Tratando-se de regiões de grandes altitudes e/ou latitudes, pode-se citar a ocorrência de deslizamento de blocos rochosos com o gradual derretimento de gelo e a alteração na estabilidade de uma encosta quando do derretimento do *permafrost* com a ocorrência de avalanches e queda de blocos (STOFFEL e HUGGEL, 2012). Furian et al., (1999) em estudos de solos tropicais discorre sobre a maior probabilidade de ocorrência de deslizamentos em encostas quando chuvas superam os 250 mm em 24h. Esses fenômenos podem se avolumar com as alterações do clima e desta forma, gerar mais processos destrutivos em encostas. Contudo, esse processo não é inédito, posto que o planeta já passou por eras glaciais e de maiores temperaturas ao longo de sua história geológica. Trauth et al., (2000) identificaram depósitos de épocas diferentes na parte oriental da região dos Andes argentinos. Esses depósitos datam de períodos diferentes do quaternário, entre 35.000 e 25.000 anos e de 5.000 anos, traçando uma relação entre alterações climáticas e a ocorrência de movimentos de massa. Levantamentos na Espanha verificaram que através de datação foi possível identificar a relação entre deslizamentos e períodos de alteração climática com índices médios de precipitação mais elevados do que os normais para as épocas entre 8.500 e 7.500 anos atrás; 3.000 e 2.500 anos atrás e 500 e 300 anos atrás (GONZÁLEZ DÍEZ et al., 1995). Estes autores identificam que na área de estudo foram verificadas maiores ocorrências de deslizamentos nos períodos mais chuvosos enquanto nos períodos quentes e de estiagem, houve uma limitação da instabilidade. Confirmando o fator chuva como um dos principais desencadeadores de movimentos de massa em encostas.

- **Sismicidade:** Não são tão frequentes como os movimentos causados pela ação das chuvas, por exemplo. Possuem ainda a característica de não terem uma previsão exata, tendo a condição de ocorrência ligada ao fator proximidade de áreas de encontros de placas, instabilidade tectônica, falhas ou mesmo da ação vulcânica. Os sismos desencadeiam uma

aceleração horizontal do solo (SIDLE e OCHIAI, 2006). As forças atuam em várias direções, levando à ruptura da resistência e quebra da coesão dos materiais (GUTIÉRREZ, 2013). Os deslizamentos causados pela atividade sísmica podem ocorrer já em magnitudes de 4 a 5 pontos na escala Richter, posto que cerca de 20% da superfície do planeta é acometida por fenômenos tectônicos. Compreender esse risco e seus mecanismos nessas topografias é de grande importância (AGATOVA e NEPOP, 2010). Os autores elencam eventos que ao longo do século XX fizeram milhares de vítimas após a ocorrência de terremotos: 1970 no Peru um sismo causou 18.000 mortes após a geração de grandes avalanches; na China em 1920 um fenômeno similar deixou mais de 100.000 mortos; em 1949, um sismo de 7,1 gerou grandes deslizamentos de blocos rochosos causando cerca de 7.000 mortes. As regiões do planeta onde esse tipo de fenômeno dos movimentos de massa estarem ligados a sismos são mais comuns são o Círculo do Fogo do Pacífico (com destaque para o Japão com o território acima do encontro de três placas: Euroasiática, das Filipinas e Norte- Americana), as faixas orogênicas do Himalaia até o Mar Mediterrâneo (SIDLE e OCHIAI, 2006). Vale destacar que a atividade vulcânica também pode gerar tremores e algumas de suas formações geológicas decorrentes de vulcões tornam-se mais suscetíveis a deslizamentos como falhas em declives suaves (SIDLE e OCHIAI, 2006 apud OCHIAI, 1997)

Descritas as circunstâncias e fatores que podem desencadear movimentos de massa, é possível destacar os materiais envolvidos, os mecanismos e seus tipos.

Os materiais que são removidos em processos de movimentos de massa são solos onde predominantemente possuem granulometria fina ($<2\text{mm}$); os detritos que contém parcelas grosseiras do solo, chegando entre 20% a 80% de sua composição (igual ou maiores que 2mm) e, finalmente, as rochas, estrutura sólida, dura, de variadas formações e composições minerais (VAN BEEK et al., 2008).

Varnes (1978) quando desenvolveu a classificação dos tipos de movimentos de massa, considerou o tipo de material deslocado como um fator a ser considerado (lama, solo, terra, rochas e detritos). As principais diferenças entre esses materiais seriam a dimensão das suas partículas envolvidas e a combinação de um ou mais elementos como exemplo.

Segundo o autor, eles podem ser de cinco tipos: *flow* (“fluxo”), *slides* (“deslizamentos”), *fall* (“quedas”), *topples* (“tombamentos”) e *lateral spreads* (“espalhamento lateral”). Há também o movimento nomeado como *complex* (“complexo”), que combina dois ou mais tipos de movimentos.

Guidicini e Nieble (1984) trabalham com os tipos de movimento de massa contemplando em sua classificação além do tipo de material envolvido, a velocidade do

deslocamento vertente abaixo, a geometria do terreno e a presença de água ou não para elaborar a classificação dos tipos de movimento de massa. Em sua classificação temos os escoamentos (que contemplam rastejos e corridas de massa), escorregamentos (que se dividem entre rotacionais e translacionais), subsidências (subsidências, recalques e desabamentos), movimentos complexos e quedas de blocos (assim como tombamentos e rolamentos).

A existência de diferentes contextos de análise gera uma infinidade de tipos de movimentos de massa catalogados e classificados. Partindo do pressuposto de que a área de estudo está presente na Serra do Mar, especificamente no distrito de Itaipava, com suas características próprias de vegetação, clima, solo, geologia e geomorfologia, há uma especificidade de tipos classificados de movimentos que existem nessa faixa de análise. Fernandes et al., (2001) descrevem mecanismos de ocorrência específicos nessa região, como por exemplo a relevância da análise do movimento translacional em solos rasos que representou cerca de 38% dos deslizamentos ocorridos entre 1962 e 1992 na Cidade do Rio de Janeiro com o adendo de ser um comportamento característico da Serra do Mar.

Desta forma, serão analisados os tipos de movimento gravitacionais oriundos de estudos e classificações brasileiras, que levam em consideração uma base teórica e estudos anteriores no nosso território.

Escoamentos são considerados movimentos contínuos ou deformações. Na forma de rastejo são pouco visíveis, podendo ser percebidos em função da vegetação inclinada, estacas de madeira, postes etc. Nesse movimento, todos os elementos deslocados sofrem completa deformação interna. Por ser gradativo, apresenta baixo potencial destrutivo. Segundo Guidicini e Nieble (1984) outro fator que o diferencia de formas mais velozes de escoamento é a natureza de comportamento dos materiais envolvidos. O comportamento é de um líquido viscoso que alcança a chamada tensão de fluência, que faz com que os materiais fluam e a vertente inicie a movimentação lenta e gradual de descida. Quando os valores atingem patamares iguais da resistência máxima ao cisalhamento, o processo tem seu ápice de transporte.

As corridas, outro tipo de escoamento, por vezes são confundidas com o processo de escorregamento. Deslocam rapidamente grandes massas de materiais altamente viscosos, sendo muitas vezes movimentos complexos, ou seja, se iniciam como escorregamentos e convergem para corridas se atingem áreas de drenagem, por exemplo (FERNANDES e AMARAL, 2000). Esse, inclusive, foi um dos processos que atingiu as Bacias do Vale do Cuiabá e Santo Antônio em 2011, em Petrópolis.

Não possuem um limite definido de ocorrência, apresentando uma concentração excessiva de fluxos e perda de atrito interno em determinado ponto da encosta. Também são denominadas na literatura internacional como fluxo de lama, corrida de detritos, corrida de lama e corrida de blocos (PINTO et al., 2012).

Guidicini e Nieble (1984) classificam esse tipo de movimento de acordo com o grau de fluidez em dois tipos:

Corridas de terra: nos menores graus de fluidez deparamos com as corridas de terra. Estas ocorrem geralmente sob determinadas condições topográficas, adaptando-se às condições do relevo, são geralmente provocadas por encharcamento do solo por pesadas chuvas ou longos períodos de chuva de menor intensidade. Ocorrem em formas topográficas menos abruptas, pois são muito influenciados pelas características de resistência do material. Corridas de lama: constituem um exemplo de corrida de extrema fluidez e são geralmente produzidas pela ação de lavagem e remoção de solos por cursos de água durante enchentes e tempestades. Percebe-se, assim, que determinados cursos de água, sob determinadas condições geomorfológicas e climáticas, podem se constituir de eixos de recorrência do fenômeno.

Os escorregamentos de acordo com Guidicini e Nieble (1984) “são rápidos, de duração relativamente curta, de massas de terreno geralmente bem definidas quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude”. São os movimentos que mais causam destruição e mortes no mundo, de acordo com o Centro de Pesquisa em Epidemiologia de Catástrofes (CRED) (CLAGUE e DOUGLAS, 2012). Apresentam outras denominações na literatura como deslizamentos, queda de barreiras ou em inglês como *landslide*. Apesar de apresentarem fatores que os confundam com outros movimentos como o de corrida, os deslizamentos apresentam um plano de ruptura definido permitindo a identificação entre o material deslizado e aquele não movimentado (SUMMERFIELD, 1991).

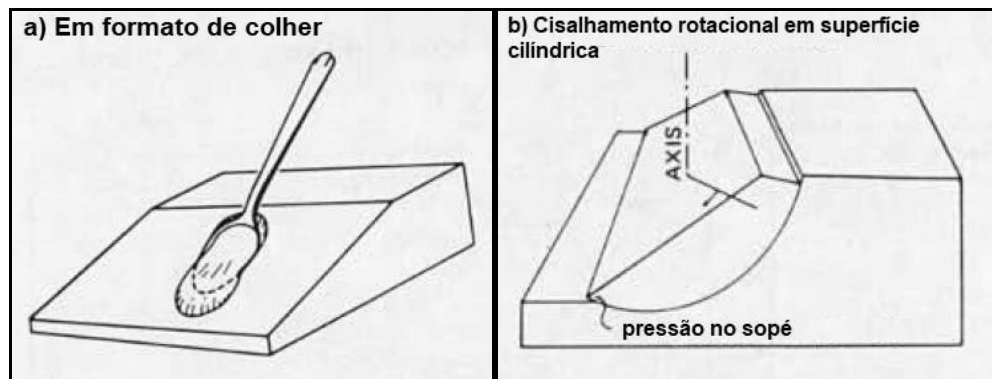
Segundo Fernandes e Amaral (2003) os escorregamentos podem ser divididos de acordo com os materiais envolvidos que podem ser solos, rochas, a mistura destes dois e ainda detritos como lixo doméstico e de acordo com seu plano de ruptura.

Os planos de deslocamento dos escorregamentos podem ocorrer de três formas: circular ou rotacional, translacional ou planar e em cunha ou estruturado

Nos escorregamentos rotacionais, o plano de ruptura se dá de forma côncava, em encostas formadas por materiais espessos e homogêneos, tais como argilas. Tal movimento pode fazer com que a parte superior da massa descendente seja inclinada para trás em direção à superfície da falha (SUMMERFIELD, 1991). Na grande maioria das vezes, ocorrem em períodos de grande precipitação (FERNANDES e AMARAL, 2000) e desta forma, na base da

vertente o material antes coeso é transformado em um fluxo de terra. Dentre as feições oriundas da ocorrência do movimento rotacional podem se formar rupturas concêntricas em forma de colher (Figura 18^a) ou caso se estendam pela vertente de forma perpendicular ao movimento, boa parte da superfície de ruptura se assemelha a um setor de cilindro (Figura 18b) (VARNES, 1978).

Figura 18 – Feições do movimento rotacional



Fonte: Varnes, 1978.

O escorregamento rotacional é comum no Brasil, em especial na região sudeste do país graças a espessos mantos de alteração, contudo, muitas vezes a ocorrência do fenômeno não se identifica imediatamente como rotacional posto que características geológicas e geomorfológicas não geram feições esperadas como escarpas de topo, fendas transversais de material transportados ou línguas de material acumulado do sopé da encosta (FERNANDES e AMARAL, 2003). Na Figura 19 é possível identificar o fenômeno do município de Mendes, cidade da mesorregião metropolitana do Rio de Janeiro.

Figura 19 – Deslizamento Rotacional em Mendes – RJ.



Fonte: A autora, 2023.

O escorregamento translacional apresenta-se como o mais comum dos movimentos de massa, através de descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas no interior do material. A descontinuidade mais comum se dá através de contato entre solo e rocha-sã, onde após um evento de chuvas intensas, pode gerar o escorregamento, como é possível notar na Figura 4, no terço superior do deslizamento ocorrido no Morro da Oficina, em Petrópolis. Lima et al., (2022) identificaram nesse evento que o solo possuía cerca de 4,5m a 5m de profundidade na meia encosta, onde estavam instaladas a maioria das edificações, enquanto o perfil a montante se tratava de perfil de solo mais delgado, entre 0 e 2,5m de profundidade. Também podem ser elencados descontinuidades especificamente geológicas (como fraturas), geomorfológicas (depósitos de encostas) e pedológicas (horizontes do solo) (FERNANDES e AMARAL, 2000).

Figura 20 - Deslizamento Planar no Morro da Oficina, Petrópolis.



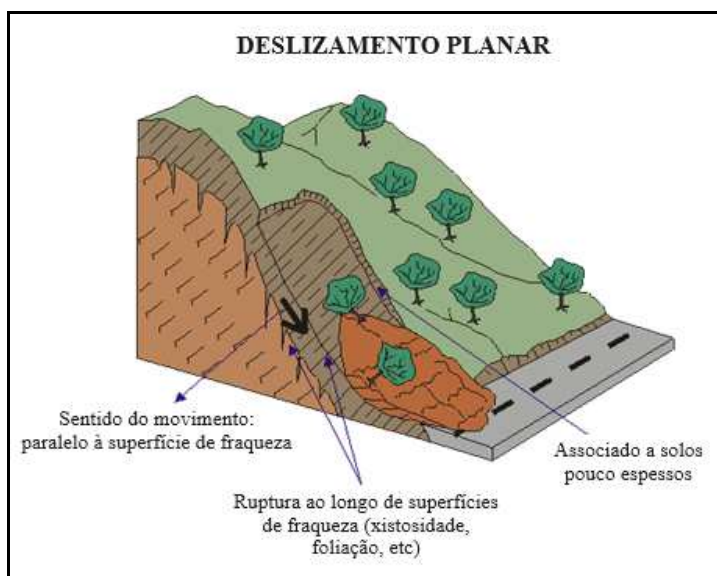
Fonte: Jornal O Globo, 2022.

Os deslizamentos planares foram os principais movimentos de massa na tragédia de deslizamentos da Região Serrana de 2011. Estudos demonstraram que eles ocorreram em solos saprolíticos, com 1 m a 3 m de profundidade, considerados deslizamentos rasos (Figura 20). O potencial destrutivo desse evento contou com altos índices pluviométricos ao longo de dias antes da tragédia, contando com índices de 200mm nas 24 horas que antecederam os acontecimentos dos dias 11 e 12 de janeiro. Tais escorregamentos translacionais ocorreram próximos a rios e vales de regiões montanhosas, o que formou uma grande enxurrada com diversos materiais (AVELAR et al., 2013).

Alguns fatores funcionam como condicionantes para a ocorrência de escorregamentos translacionais na Região Serrana do Estado do Rio: o clima tropical úmido, chegando a índices de até 2.500mm em áreas de maior altitude (COELHO NETTO et al., 2011), o que gera um intemperismo químico relevante para a produção de materiais inconsolidados, mais suscetíveis a movimentos de massa; a presença de cicatrizes mapeadas de 2011 em encostas convergentes e côncavas (SOUZA e FRANCISCO, 2021) e concentração da deflagração de deslizamentos em classes intermediárias de inclinação (20 a 45°) (GONÇALVES e FRANCISCO, 2016). Segundo o estudo de Salgado et al., (2019), através de um mapeamento posterior aos eventos de 2011, as cicatrizes de deslizamentos foram sobrepostas às

características morfológicas das encostas e classes de cobertura de terra, corroborando com a literatura que indicava variáveis morfológicas, a declividade e orientação das encostas exercem forte controle na localização e deflagração de movimentos de massa, em particular os translacionais (FERNANDES e AMARAL, 2003).

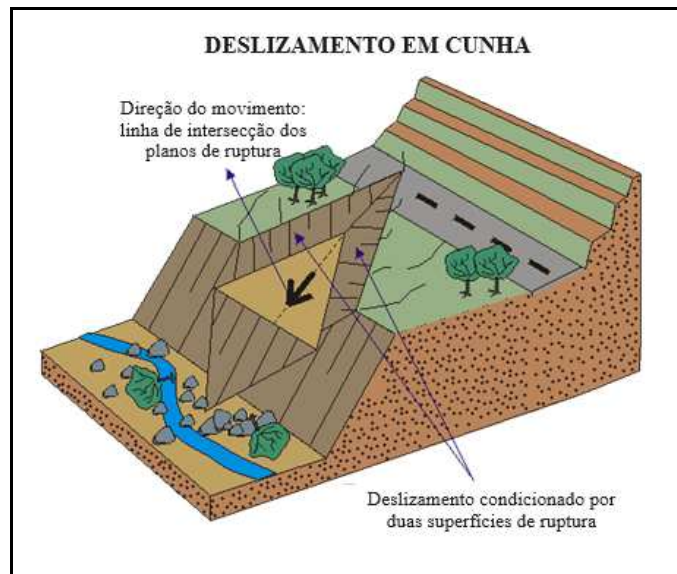
Figura 21- Esquema ilustrado de deslizamento planar



Fonte: Infanti Jr. e Fornasari Filho, 1998.

Os escorregamentos em cunha ou estruturados assim como os translacionais advém de descontinuidades na vertente, contudo de diferentes pontos, sendo associados a materiais pouco desenvolvidos de maciços rochosos em que há a existência de duas estruturas planares, com pouca estabilidade, condicionando o deslocamento de um prisma ao longo do eixo de intersecção destes planos (INFANTI JR. e FORNASARI FILHO, 1998). Onde há cortes ou encostas que sofreram alterações antrópicas é comum que haja esse tipo de movimento (Figura 22).

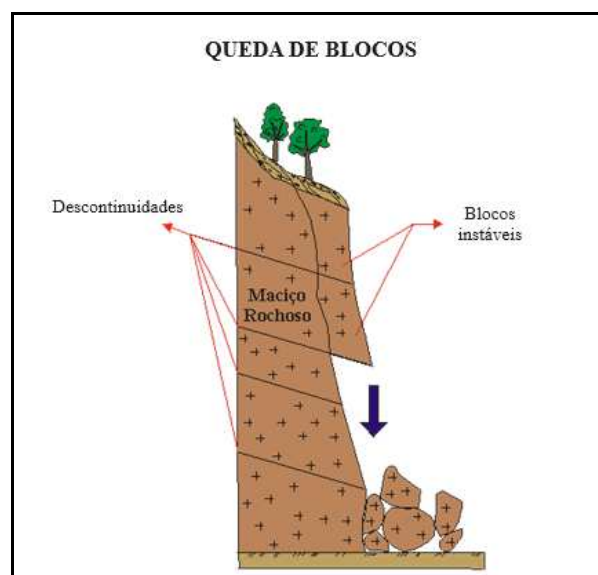
Figura 22 - Esquema ilustrado de deslizamento em cunha.



Fonte: Infanti Jr. e Fornasari Filho, 1998, p.142.

As quedas de blocos rochosos (Figura 23) são movimentos abruptos, que geralmente começam com o desprendimento de solo ou rocha, ou ambos, em escarpas mais íngremes, posto que nestas o desenvolvimento de saprólito é incipiente. O material desce principalmente por queda, ressalto ou rolamento (HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008).

Figura 23 - Esquema ilustrado de descontinuidades e queda de blocos

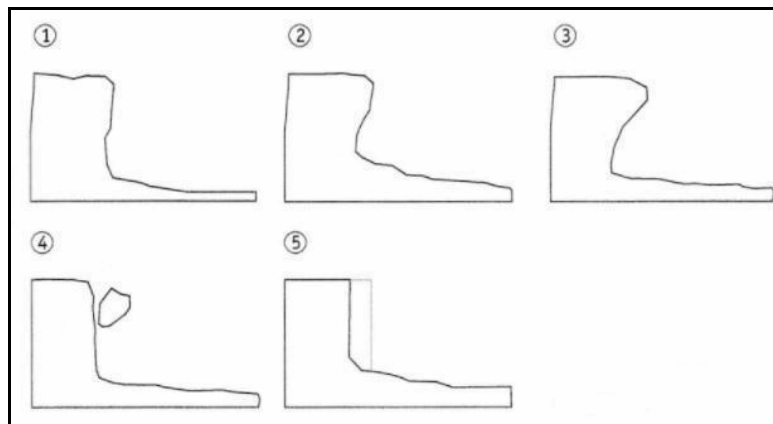


Fonte: Infanti Jr. e Fornasari Filho, 1998, p.142.

Ocorrem normalmente pela existência de fraturas na rocha e ação da gravidade, podendo ocasionar erosão através de seu rolamento posto que com a queda, haveria energia

cinética para tal fenômeno. Contudo, outros processos podem colaborar para o destacamento de blocos como alívio de pressão nas juntas através da ação da temperatura, por meio de processos hidrológicos ou alterações na base da vertente como desgastes, o que ocasiona a queda do material subjacente (FERNANDES et al., 2008). Esses desgastes vão progressivamente modificando a estabilidade da encosta, que altera seu ângulo de resistência, levando à queda de materiais superiores (Figura 24).

Figura 24 - Evolução do processo de queda de blocos



Fonte: Fernandes et al., 2008.

Em 2022 houve o desastre em Capitólio (Figura 25) com o tombamento de um bloco rochoso no lago de Furnas, deixando 10 vítimas fatais e 32 feridos (CNN BRASIL, 2022). O paredão era constituído por quartzito, uma rocha metamórfica que sofre baixos índices de intemperismo químico. Desta forma, o aparecimento de discontinuidades é causado principalmente por meio de processos físicos, como o crescimento de raízes da vegetação local e a infiltração de água, vindo por cima como chuva ou mesmo da oscilação do nível da água do reservatório. Tais eventos contribuíram para o processo de intemperismo e alargamento das trincas que por fim levou ao tombamento.

Figura 25 - Paredão em Capitólio com a trinca que levou ao tombamento.



Fonte: CNN Brasil, 2022.

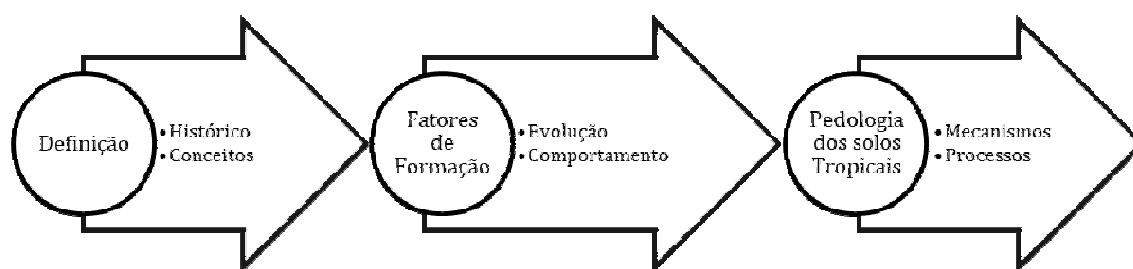
A partir das inúmeras discussões sobre o tema e causas diversas, autores concordam que chuvas concentradas, litologia e ocupações não planejadas em encostas íngremes são quase sempre os principais fatores a serem levados em conta na análise de instabilidade de encostas (FURIAN et al., 1999).

Em suma, há mecanismos de ruptura e fatores condicionantes diferentes para cada um dos tipos de movimentos de massa, além da própria ação humana que também pode colaborar para o desenvolvimento desses fenômenos.

E é justamente sobre o comportamento do solo como um dos elementos envolvidos no processo de movimento de massa que o próximo tópico pretende esclarecer. Da pedogênese à evolução dos solos, como esses processos podem influenciar a deflagração de deslizamentos?

4.2 Evolução e Comportamento dos Solos

Para compreender alguns dos conceitos históricos trabalhados da ciência pedológica e especialmente, a evolução e comportamento dos solos tropicais, esta seção pretende abordar a seguinte sequência:



Os solos tiveram uma participação marcante em diversas passagens históricas da evolução humana. O desenvolvimento da agricultura como técnica de domínio da natureza, o desenvolvimento de civilizações, seu parcelamento através da criação da propriedade privada, as revoluções industriais, a revolução verde (LEPSCH, 2011). Hoje, o homem se preocupa com a degradação desse recurso consoante as discussões sobre alterações climáticas, que impactam sobremaneira as culturas e atividades econômicas desenvolvidas pelos diversos usos da terra (IPCC, 2019).

Apesar do uso do solo ser milenar, os conhecimentos sobre a ciência do solo são relativamente recentes. Mais especificamente, da segunda metade do século XIX, com os estudos de Dokuchaev. Ele comparou solos de uma mesma região com características diferentes através da realização de uma análise vertical do solo, identificando os horizontes de forma pioneira.

Ele constatou que o clima foi o fator responsável por essa diferença por meio do estudo dos solos em campo. Os fatores responsáveis pela formação do solo (clima, relevo, organismos, tempo e material de origem) atuam de forma conjunta e independente e são responsáveis pela direção, velocidade e duração dos processos de formação de solo (GUERRA e BOTELHO, 1996). Os estudos pedológicos da escola russa possibilitaram identificar o solo como um corpo natural e dinâmico que se diferenciam a partir dos processos pelos quais passaram.

Boulet et al., (2016, p.6) afirmaram que:

“Uma vez que os fatores que determinam o pedoclima mudam suficientemente para que a cobertura pedológica perca as condições de equilíbrio, ela se transforma em outra cobertura que tende a restabelecer um novo equilíbrio com as presentes condições pedoclimáticas. Essas mudanças têm início nos locais de transformações máximas do pedoclima, na maioria das vezes nas partes baixas das vertentes, mas também nos topos dos interflúvios, progredindo lateralmente; por isso, o conjunto cobertura inicial-cobertura transformada é considerado um sistema de transformação.”

O clima pode influenciar de maneira ativa e diferenciada, posto que um mesmo material formado sob a ação de climas diferentes apresentará características distintas. O contrário também ocorre: materiais distintos sujeitos a um mesmo ambiente climático podem formar solos similares (LEPSCH, 2002).

Os elementos do clima que têm ação mais direta com a atuação na pedogênese são a radiação solar, a precipitação e a pressão atmosférica (ventos).

Segundo a lei de Vant'Hoff, a cada 10°C de aumento de temperatura, as reações químicas dobram de velocidade. É possível inferir então que nas áreas mais quentes do globo, como a zona intertropical, é onde se apresentam os solos mais intemperizados.

Aliado ao calor, a pluviosidade também age diretamente na deterioração dos solos. Os elementos presentes dissolvidos na água, oxigênio e gás carbônico, são responsáveis pela maior parte das reações químicas no intemperismo de minerais. Geralmente, a reação de hidrólise é a mais comum, onde acontece o ataque de íons H^+ à estrutura constituinte dos minerais, rompendo as ligações Al-O-Si pela substituição de íons básicos por H^+ , com a consequente destruição dos minerais (CURI e KAMPF, 2015).

O relevo será determinante na espessura dos solos. Dependendo de sua morfologia, ele influencia a distribuição da água no terreno e da incidência dos raios solares que resultarão em maiores ou menores temperaturas da superfície. Essas variações da água e do clima atuarão nas formas de relevo da seguinte forma: nas áreas mais íngremes, teremos menor infiltração de água no solo, além da própria gravidade remover qualquer saprólito que venha a surgir nessa vertente. Nas áreas deprimidas ou aplainadas, a infiltração é maior além do próprio represamento da água ser possível. Logo, solos mais profundos podem se formar (AYALEW e YAMAGISHI, 2004). Estudos em Taiwan verificaram a formação de diferentes tipos de solo de acordo com a infiltração da água na vertente dada a sua morfologia e drenagem (Lin *et al.*, 2007).

A orientação das vertentes afetará a umidade do solo e a evolução destes. Quanto maior a latitude, as vertentes que não recebam os raios solares com maior incidência, ao sul, tendem a ter temperaturas menores e por consequência menor evapotranspiração. São desta

forma, mais úmidos e mais profundos. Aquelas que recebem os raios solares com maior intensidade, voltadas ao norte, tendem assim a serem mais secos e por consequência, mais rasos (LEPSCH, 2011).

Os organismos compreendem os seres vivos da fauna e da flora que por meio de suas ações e desenvolvimento biológico, atuam auxiliando no avanço do intemperismo e consequente formação dos solos. Desde líquens, bactérias e fungos (microfauna e microflora) até seres maiores como minhocas, formigas, cupins e a cobertura vegetal (macrofauna e macroflora), cada organismo tem um papel específico (LIMA, 2001)

Os representantes da microfauna e microflora atuarão na transformação dos constituintes orgânicos e minerais. Com a decomposição da matéria orgânica, haverá formação de húmus, rico em carbono e nitrogênio, elementos que não estão presentes naturalmente nas rochas. Posteriormente, a ação da macroflora e macrofauna virá por meio da cobertura vegetal, absorção de água, fixação de nutrientes e ação de suas raízes e da macrofauna abrindo caminhos no solo, adubando-o com seus excrementos ou homogeneizando os horizontes (PRADO, 1995).

O tempo vai determinar o grau de evolução dos solos formados, já que os processos interagem entre si e dependem de longo prazo para surtirem efeito sobre o substrato rochoso. É muito difícil precisar se um solo é maduro apenas por sua profundidade. Em áreas quentes e úmidas, como dito anteriormente, a evolução da pedogênese é mais acelerada do que em áreas frias e secas, por exemplo. Logo, ao compararmos solos apenas por sua profundidade, é arriscado tomá-la como único parâmetro.

Quanto ao material de origem, ele diz respeito à rocha matriz, o material geológico da formação desse solo. Dependendo do tipo, pode oferecer uma resistência maior ou menor para a ocorrência da pedogênese, alguns sendo formados mais rapidamente do que outros (LEPSCH, 2002). Relacionado ao fator tempo, quanto menor ele for na atuação dos materiais, mais fortes serão as características de herança deste solo. Os outros fatores de formação como clima, por exemplo, terão um papel coadjuvante nesse processo (SANTOS et al., 2010).

Em se tratando do solo como um sistema complexo aberto, onde se dá um ajuste contínuo entre os fatores de formação elencados e os fatores pedogenéticos como adição, translocação, remoção e transformação, esse ajuste natural em direção ao equilíbrio envolve diferentes graus, escalas e taxas do solo. Desta maneira, o comportamento dos materiais vai depender de como essa busca pelo equilíbrio vai acontecer (TARGULIAN e KRASILNIKOV, 2007).

Quando se trata dos solos tropicais, especialmente de regiões serranas, os fatores de formação atuam de forma relativamente esperada de acordo com os parâmetros elencados em relação à pedogênese e a deflagração dos movimentos de massa nesses solos. Latitudes entre a zona tropical e subtropical, chuvas historicamente concentradas entre os meses de dezembro e março (período do verão nas zonas ao sul do Equador), litologia associada a rochas ígneas e metamórficas, com solos desenvolvidos em altitudes entre 800m e 1200m e declividades acima de 30° tendem a gerar solos delgados no terço superior dessas vertentes, criando condições para ocorrência de deslizamentos planares rasos (DIAS et al., 2016; DE PLOEY e CRUZ, 1979)

As discontinuidades entre os horizontes dos perfis de solo são uma das razões correspondentes à evolução pedogenética para a ocorrência de movimentos de massa. A diferença textural entre os horizontes pode criar zonas de discontinuidades que criem condições para um processo disruptivo (HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008).

Essa diferença textural fruto da composição pode criar discontinuidades entre os horizontes no referente à infiltração, por exemplo. De acordo com Furian et al., (1999), a formação de horizontes gibsíticos de baixa permeabilidade podem causar a saturação de horizontes caulíníticos, levando a deflagração de movimentos de massa.

A distribuição esperada nas vertentes dos minerais tende a encontrar gipsita no topo dos perfis e a montante em condições de melhor drenagem e caulinita na base dos perfis e a jusante, em condições de pior drenagem. A sequência anormal foi descrita em trabalhos de Furian et al., (1999 e 2002) e Silva et al., (2016) na região da Serra do Mar, em São Paulo e no Rio de Janeiro, respectivamente, onde a caulinita predomina nos horizontes superficiais localizados sobre e dentro de um material gibbsítico. Essa anomalia teria como causa a presença de caulinita em materiais coluvionares ou em movimentos de massa.

Essa diferença entre horizontes poderá ocasionar diferentes comportamentos frente a processos erosivos. Na perspectiva de identificar a evolução da formação dos solos, de seus processos erosivos e da suscetibilidade deste solo à ocorrência de movimentos de massa, a análise das vertentes para identificar o processo dinâmico de sua formação e transformação pode ter como metodologia de análise as topossequências, que, segundo Guerra (2008), é a sequência de solos que ocorrem numa área, sendo diferentes um do outro em função da posição topográfica que cada um ocupa.

O estudo de topossequências poderá identificar os fenômenos que aconteceram de maneira diferente em cada ponto das encostas, já que é uma metodologia que permitirá

compreender como numa mesma vertente os solos que se encontram no topo, no meio e na base, por exemplo, podem ser diferentes (SILVA, 2006).

A análise estrutural da cobertura pedológica foi desenvolvida por pedólogos franceses na década de 70 em trabalhos na África, onde constataram que o solo era um corpo contínuo e que os perfis verticais apresentavam uma visão limitada de alguns processos físico-químicos que ocorriam, sem contemplar as variações laterais do manto de intemperismo (BOULET, 1978 apud SANTOS, 2000).

Os primeiros trabalhos realizados no Brasil, em São Paulo, sob essa metodologia de análise demonstraram que:

“A diferenciação lateral dos solos na paisagem depende também de mecanismos pedogenéticos próprios, relacionados à adição, perda, transformação e translocação de materiais no solo e que estes mecanismos poderiam acontecer a partir de uma cobertura inicial, serem descendentes e/ou remontantes nas vertentes, promover o aparecimento de novos solos independentemente do substrato rochoso e até mesmo controlar a evolução do próprio relevo (SANTOS, 2000, p.133)”.

Partindo dessa concepção, é possível perceber que a abordagem da análise estrutural da cobertura pedológica em estudos com objetivo de reconhecer segmentos de encosta com funcionamento hídrico interno diferenciado é relevante. Essas diferentes dinâmicas internas que levam a alterações nos constituintes e características do solo têm sua explicação mais bem estruturada com esses estudos. Dessa forma, é possível compreender o porquê de alguns setores do solo serem mais suscetíveis ao processo de ravinamento, transporte de partículas entre os horizontes e outras análises complementares feitas em laboratório com o auxílio da micromorfologia dos solos (SILVA, 2006).

E é justamente a micromorfologia que pode colaborar para compreender o comportamento de minerais nos horizontes de solo que gerem as discontinuidades arroladas neste capítulo do presente estudo.

4.2.1 Micromorfologia dos solos

A pesquisa pedológica tem como parte fundamental o estudo do perfil de solo, ou seja, um corte vertical em profundidade de uma dada cobertura pedológica, que expõe seus diferentes horizontes até a rocha não alterada (CASTRO, 2002). Essa análise do perfil é importante para verificar os processos pedogenéticos pelos quais aqueles horizontes passaram

desde o momento de sua formação a partir da rocha-sã. A partir desse corte, diversas análises poderão ser executadas, dependendo do objetivo do estudo em prática.

Para compreensão mais específica dos componentes do solo há a micromorfologia, que busca examinar as inter-relações entre partículas microscópicas e elementos sedimentares relacionados. Os objetivos da análise micromorfológica envolvem a identificação dos constituintes presentes da fração sólida; estabelecimento das relações existentes entre os constituintes considerando, por exemplo, tipos e cronologia de organização e hierarquia; dedução de mecanismos e processos genéticos ou atuais (CASTRO, 2002). Esta técnica foi apresentada por Kubiena (1938) em um dos primeiros trabalhos que abordaram esse processo, ao escrever sobre a micropedologia. Segundo o autor, diferentes tipos de solo deveriam ter diferentes microestruturas que serviriam para a sua caracterização. Com estas concepções, ele começou suas pesquisas de estudos dos solos, sempre acompanhado de um pequeno microscópio para reconhecê-los no campo.

É importante ressaltar que desde o desenvolvimento dessa prática de análise de solo por Kubiena, outros autores passaram a contribuir nessa área, realizando estudos que demonstraram as organizações pedológicas e os processos pedogenéticos (CASTRO, 2002). Foram criados eventos, publicações, e outros pesquisadores surgiram nessa área, como Brewer em 1964 com a obra *“Fabric and mineral analysis of soils”*⁴, que deu novo impulso e divulgação para tais análises pedológicas. Propôs uma nova nomenclatura para a distribuição relativa (DR), melhorou os critérios de descrição do fundo matricial (composto por fração grossa, fração fina e poros) e introduziu o estudo das estruturas plásmicas (fábricas birrefringentes) e de feições pedológicas, e sistematiza as características de sua gênese (CASTRO e COOPER, 2019).

A partir da década de 80, Fitzpatrick (1984), com sua obra *“Micromorphology of soils”*⁵ e Bullock *et al.* (1985) *“Handbook for Soil Thin Section Description”*⁶ trazem uma sistematização de conceitos e procedimentos de análise do solo, sendo até hoje uma das grandes referências nessa área de estudo. No caso de Bullock, trata-se de um guia para descrição, que até hoje é uma das referências para quem realiza a análise descritiva micromorfológica de lâminas delgadas de solo. O uso de microscópios em laboratório tornou-se uma prática básica da micropedologia e sua análise micromorfológica. Inclusive, a própria

⁴ Em tradução livre: *“Análise da estrutura e minerais dos solos”*

⁵ Em tradução livre: *“Micromorfologia dos solos”*

⁶ Em tradução livre: *“Manual de descrição de secções finas do solo”*

evolução desses instrumentos eletrônicos possibilitou avanços em relação às análises pedológicas.

Além da definição do conceito de micromorfologia e discussão sobre as técnicas, cabe destacar fatores de contribuição para a análise dos solos. Um desses papéis é de integrar diferentes áreas de estudo que têm o solo como objeto de estudo, tais como física do solo, química, mineralogia, biologia, fornecendo uma base na qual essas disciplinas podem cooperar em conjunto. A micromorfologia é, dessa forma, uma ciência integradora das áreas que estudam os solos (BLUM, 2008).

O mesmo autor destaca:

“Uma vantagem oferecida pela análise micromorfológica é sua capacidade de desenvolver modelos tridimensionais que podem demonstrar a complexidade do solo, especialmente em relação ao sistema de poros que é a base espacial para todos os processos físicos, químicos e biológicos do solo. Neste contexto, as paredes dos poros, que contêm substâncias húmicas, minerais argilosos, óxidos e outros, e o próprio espaço poroso, no qual, além do ar e da água, participam ativamente organismos vivos, como fungos, bactérias e outros processos do solo, são de grande importância. (Blum, 2008, p.3)”

Discutidas as hierarquizações de análises a serem seguidas, após a coleta de amostras e confecção das lâminas, seguem-se etapas de análise micromorfológica em si que dependerão do objetivo da pesquisa. A apreciação detalhada dos constituintes pode prover conhecimento sobre origens litológicas e/ou pedogenéticas entre os materiais, processos como alteração, morfogênese e pedogênese, eventos, fases e cronologia relativa (MELO et al., 2016).

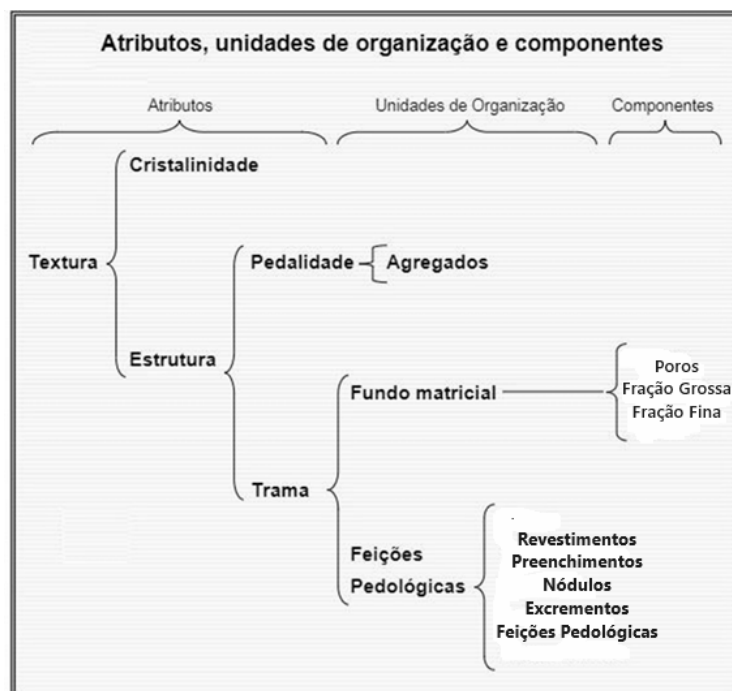
A identificação detalhada dos constituintes, por exemplo, pode contemplar análises do fundo matricial, como o plasma, que corresponde, geralmente, à argila⁷; ao esqueleto⁸ e aos poros, relativos aos vazios existentes no plano da lâmina, sendo determinada também a frequência aproximada.

São avaliadas a textura e a organização das partículas elementares nos horizontes, formando a estrutura e microestrutura do solo. Por conseguinte, avalia-se a presença de unidades estruturais e seu grau de desenvolvimento assim como a organização interna dessas unidades que formam o fundo matricial. Este, além da composição citada anteriormente, também conta a presença de feições pedológicas como revestimentos, preenchimentos, nódulos, feições pedológicas e excrementos. Estas feições também podem possuir o seu próprio fundo matricial, além de outras feições pedológicas nela embutidas (SILVA, 2006).

⁷ Fração granulométrica menor ou igual a 0,002 mm.

⁸ Fração granulométrica compreendida entre 0,002 e 2 mm.

Figura 26 - Hierarquização dos conceitos considerados como fundamentais para a identificação dos arranjos pedológicos e seus componentes na análise micromorfológica



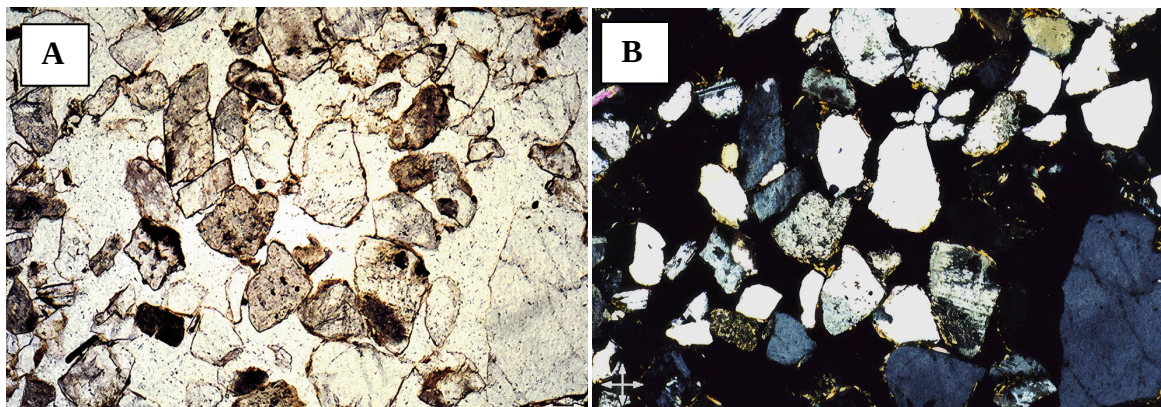
Fonte: Castro, 2002.

Ao iniciar as descrições, seguiu-se o que estrutura o “*Handbook for soil thin section description*” de Bullock. Uma das primeiras análises ao observar uma lâmina de solo é o fundo matricial que se trata do material grosso e fino que forma a base do solo. Optou-se por avaliar fatores como abundância, grau de seleção (uniformização da fração), forma e porosidade.

A fração grossa ou esqueleto abrange as frações silte e areia, com os minerais primários e as feições pedológicas, que se trata de unidades de fábrica discretas presentes no solo que se diferenciam do material adjacente por diferença de concentração de um ou mais de seus componentes (Castro e Cooper, 2019). A fração fina ou plasma não podem ser observadas no microscópio óptico apenas por difração de raio-x ou microscópio eletrônico de varredura.

Visualmente, identifica-se as porcentagens de fração grossa, fração fina e de poros presentes na lâmina. Usualmente, calcula-se a razão de fração grossa/fração fina como fator de tamanho granulométrico. O mineral usualmente identificado nas lâminas é o quartzo que sob alguns ângulos de luz polarizada (LP), se extingue, e sob a luz normal (LN) é translúcido, como é possível ver na Figura 27.

Figura 27- Diferentes aspectos de minerais sob a luz natural e polarizada.



Legenda: (A) - Quartzos translúcidos sob a luz natural (LN).

(B) – Quartzos brancos sob a luz polarizada (LP) e feldspatos acinzentados na LN e LP com lineamentos de alteração perpendiculares.

Fonte: Universidade de Granada, 2024.

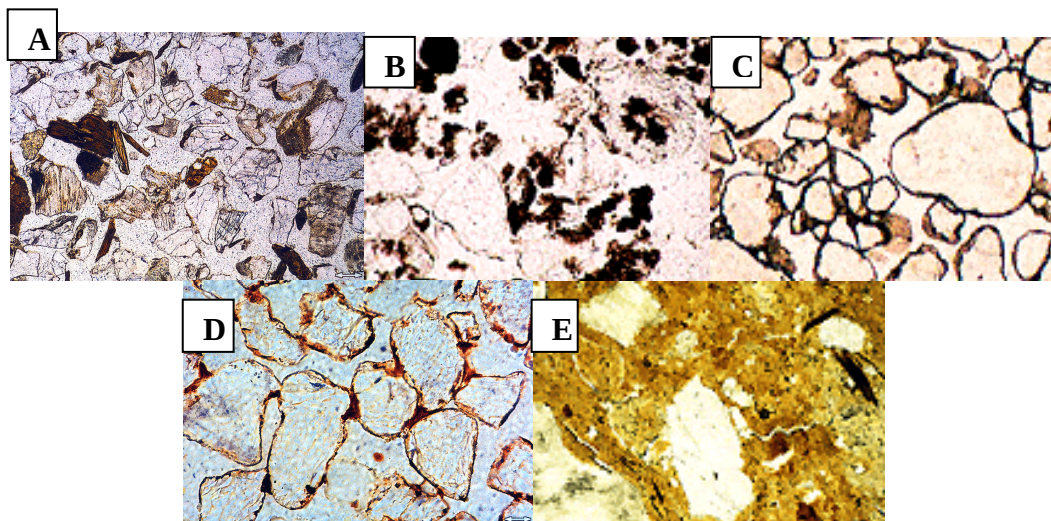
A forma da fração grossa indica fatores como deposição e transporte que essas frações podem ter sofrido ao longo da encosta, por exemplo (BULLOCK, 1985). Podem ser arredondadas, subarredondadas, subangulares e angulares, no seu formato e rugosas, onduladas ou lisas, quanto à sua superfície.

Os padrões de alteração avaliam o grau de intemperismo da fração grossa (Anexo A), ilustrando os níveis em cruzamento (tipo de minerais observados) com as classes de alteração que os minerais sofreram com os processos pelos quais foram submetidos.

Sobre a organização dos materiais, a distribuição relativa considera a posição de constituintes semelhantes em relação a constituintes diferentes, como por exemplo, da fração grossa em relação à fração fina. São 5 tipos de distribuições, a saber:

- a) Mônica: as partículas pertencem a um tipo de material com tamanho similar;
- b) Enáulica: agregados constituídos de material fino estão dissociados da fração grossa, dispersos nos poros;
- c) Quitônica: Os constituintes maiores estão envolvidos por películas de material fino;
- d) Gefúrica: Os constituintes maiores estão parcialmente conectados entre si por material fino;
- e) Porfírica: Os constituintes maiores estão distribuídos em uma matriz de material fino.

Figuras 28 - As distribuições relativas respectivamente indicadas nos itens acima.

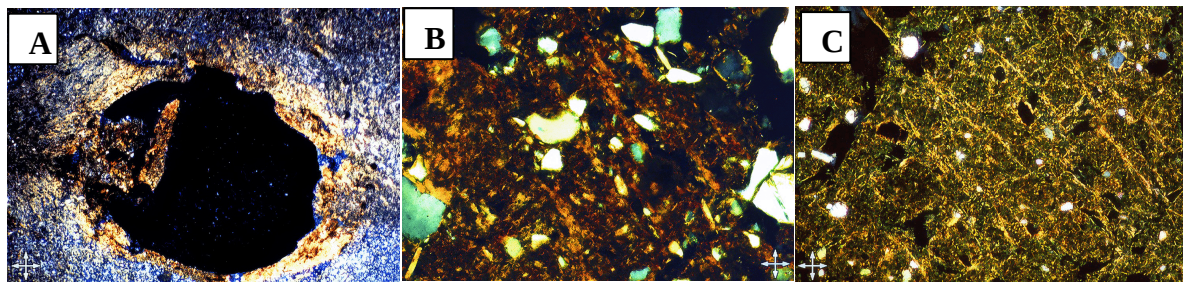


Fonte: Universidade de Granada, 2024.

O material fino geralmente é constituído pela fração argila e por minerais pequenos da fração silte, poeiras, cinzas, sais solúveis, óxidos e hidróxidos e matéria orgânica (Bullock, 1985). A transparência da fração fina é chamada limpidez em relação ao fundo matricial, podendo ser salpicada, pontilhada, turva, opaca e límpida. É na fração fina que são analisadas as fábricas birrefringentes, somente visíveis em LP, são padrões de orientação e distribuição de cores identificadas na fração fina do fundo matricial (CASTRO e COOPER, 2019).

Os tipos mais comuns de fábricas birrefringentes são classificados de acordo com a orientação/extinção sob LP: manchada, estriada podendo ser monoestriada, granoestriada, poroestriada (Figura 29A), paralela (Figura 29B), cruzada (Figura 29C), reticular, circular e crescente, com orientação forte contínua e nula.

Figuras 29 - Fábricas birrefringentes de diferentes tipos.



Legenda – (A) Fábricas birrefringentes poroestriadas.

(B) Fábricas birrefringentes estriada paralela.

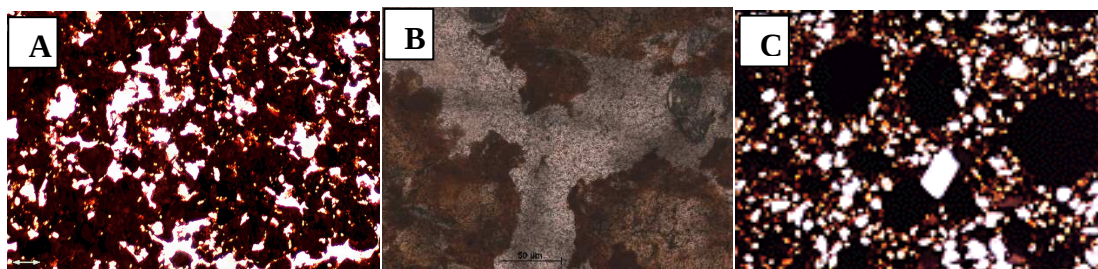
(C) Fábricas birrefringentes estriada cruzada.

Fonte: Universidade de Granada, 2024.

As orientações das argilas tendem a preservar a orientação dos minerais que as formaram. Além disso, é possível relacionar algumas fábricas birrefringentes com os processos de alteração e pedogênese sofridos (CASTRO e COOPER, 2019).

Os poros trata-se de vazios nos horizontes de solo, que além de apresentarem abundância, sua morfologia pode indicar facilidade ou dificuldade para a infiltração da água no perfil de solo, gerando descontinuidades entre os horizontes ou dentro destes. Os tipos de poros são de empilhamento simples ou composto (Figura 30A), câmaras (Figura 30B), vesículas, canais, cavidades (Figura 30C) e planares ou fissuras. Estes, podem ser interpedais quando se situam entre os agregados de solo; intrapedais quando dividem os agregados e transpedais, quando atravessam os agregados.

Figuras 30 - Alguns exemplos de poros.



Legenda – (A) Poros de empilhamento composto.

(B) Um poro câmara atravessando a lâmina.

(C) Poros do tipo cavidade.

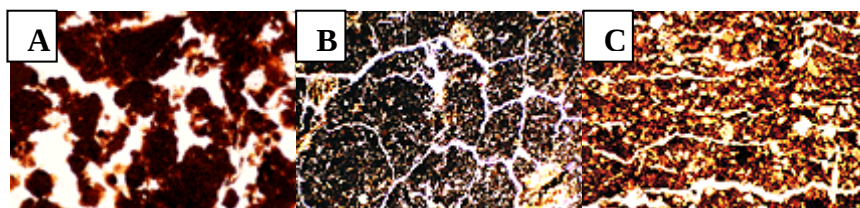
Fonte: Universidade de Granada, 2024; A autora, 2024.

Sobre a microestrutura das amostras, diz respeito a organização dos constituintes do solo, considerando a estrutura do solo em relação a tamanho, forma e arranjo de partículas primárias e poros nos materiais agregados e não agregados (STOOPS, 2003). Simplificando, é

a determinação se o solo formar agregados, trata-se de material pedal; caso não forme, considera-se sua microestrutura apedal. Quando se identifica que uma microestrutura é pedal, também se observa sua pedalidade, ou seja, seu grau de desenvolvimento, além de seus formatos e morfologias e acomodação.

Os agregados podem ser grumosos, granulares (Figura 31A), em blocos subangulares (Figura 31B) ou angulares, laminares (Figura 31C) ou prismáticos.

Figura 31 - Alguns exemplos de microestrutura.



Legenda – (A) Microestrutura granular.
 (B) Microestrutura subangular.
 (C) Microestrutura laminar.
 Fonte: Universidade de Granada, 2024.

O conceito de microestrutura do solo inclui interações complexas entre a atividade biológica, os minerais do solo e o clima local, que promovem a agregação e o acúmulo de poros. Essa importante propriedade física é influenciada por diferentes fatores físico-químicos e biológicos. Ao observar a lâmina, é possível que coexistam dois tipos de agregados. Dessa forma, deve-se identificar cada um por sua porcentagem, aproximada.

As feições pedológicas podem ser resumidas como unidades de fábricas de processos pedogenéticos pretéritos ou presentes. Normalmente se diferem dos materiais adjacentes pelas diferenças de concentração ou de sua fábrica interna (CASTRO e COOPER, 2019). No caso deste trabalho, as feições identificadas foram revestimentos, hiporrevestimentos, quasi-revestimentos, preenchimentos, nódulos, feições cristalinas e excrementos.

Usualmente estão associadas a poros, grãos ou agregados. Sobre sua natureza, as feições ditas texturais envolvem os revestimentos e preenchimentos associados a transporte e deposição. São revestimentos quando estão depositados nas paredes dos poros, grãos ou agregados, desde que preenchendo menos que 90%, senão, são preenchimentos (Figura 33A). O revestimento de argila mais comum é a iluviada (Figura 33B), depositada por secamento e podendo ter forte de contínua orientação graças a reorientação dos cristalitos de argila que ao serem observados na LP, apresentam como zona de extinção um formato de cruz (Figura 32); hiporrevestimento (Figura 33C) está em contato com a superfície externa dentro do fundo

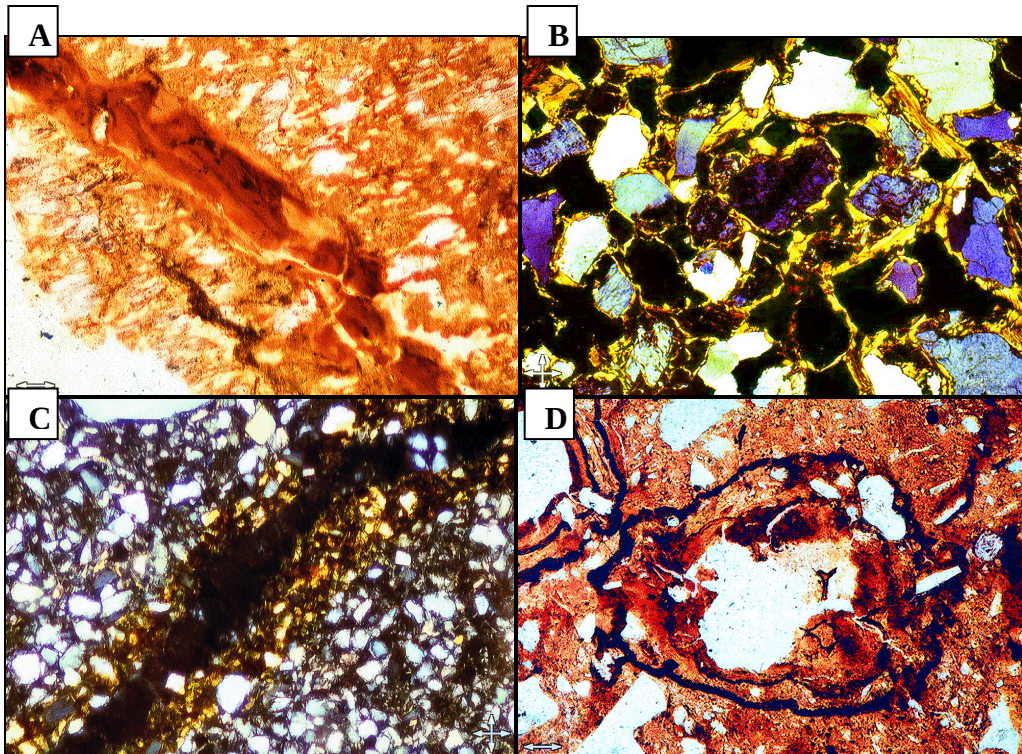
matricial e os quasi-revestimentos (Figura 33D) se relacionam com superfícies de poros, grãos ou agregados, porém não na sua vizinhança imediata

Figura 32 - Revestimento de argila fortemente contínua e orientada



Fonte: A autora, 2024.

Figura 33 - Microfotografias de feições pedológicas.



Legenda – (A) Preenchimento de um poro.
 (B) Revestimentos de argila.
 (C) Hiporrevestimento.
 (D) Quasi-revestimento.

Fonte: Universidade de Granada, 2024.

Os nódulos são formados por acumulação relativa ou absoluta de materiais finos mais ou menos equidimensionais (BULLOCK et al., 1985). Segundo Castro e Cooper (2019) junto aos revestimentos, são evidências pelos quais estes materiais passaram nos perfis de solo. Por meio de análises globais, é possível identificar se foram formados *in situ*, transportados, se são oriundos de processos pretéritos ou presentes. Ao analisar um nódulo, identificar se este está se formando (em acumulação) ou sendo destruído (em depleção).

As feições pedológicas cristalinas podem ser definidas como arranjos de cristais puros que se formaram ou foram inseridos na fração fina do solo que podem ser visíveis ao microscópio (BULLOCK et al., 1985). Dentre suas possíveis naturezas, constam de calcita, gipso, halita, gibbsita, dentre outros. As feições cristalinas podem se apresentar na forma de preenchimentos, revestimentos de todas as naturezas e nódulos. As de gibbsita, por exemplo, normalmente são encontradas na zona tropical, com hábitos prismáticos ou tabulares, normalmente sob a forma de revestimentos de todas as naturezas.

Por fim, os excrementos são produtos fecais da atividade da microfauna que habita o solo e normalmente é classificada quanto a sua morfologia.

Sendo assim, descritos os principais constituintes, entende-se que a micromorfologia é uma técnica muito útil no estudo da gênese, transformação, avaliação e no monitoramento de diversas atividades de uso do solo. As propriedades físicas de organização pedológica como textura, estrutura, densidade, porosidade, permeabilidade, fluxo de água, ar e calor assim como os constituintes estudados pela micromorfologia são atributos que influenciam os processos químicos e biológicos do solo. Ademais, são importantes para realização de previsões de comportamento, tanto em áreas naturais como naquelas alteradas pela sociedade (LEPSCH, 2011).

Considerando isso, a interpretação das características micromorfológicas tem sido baseada essencialmente na comparação destas propriedades, de fácil visualização em campo, análise de dados em laboratório e observações de seção fina de amostras obtidas dos horizontes (STOOPS et al., 2018).

A caracterização dos arranjos e constituintes presentes nas amostras auxilia na identificação, diagnóstico e prognóstico do comportamento e funcionamento do solo, dando subsídios à Pedologia no entendimento de gênese, morfologia, comportamento geoquímico, entre outros. Subsidia também a Geomorfologia, permitindo uma melhor compreensão dos processos de vertentes (movimentos de massa), depósitos correlativos e até mesmo em cronoestratigrafia. (ÁVILA, 2009).

4.2.1.1. Micropedologia dos solos tropicais

Compreender a gênese, morfologia e comportamento geoquímico através da micromorfologia para analisar como determinados constituintes microscópicos se formaram, se estabelecem e se comportam. Assim como entender se influenciam na deflagração de algum processo disruptivo como um deslizamento.

No caso dos solos tropicais, o que explicaria, sob a ótica da micropedologia, a formação de horizontes de gibbsita e caulinita dispostos de forma anômala nas vertentes?

O intemperismo geoquímico transforma os minerais primários dispostos no regolito em minerais secundários. Da hidrólise do feldspato, temos a caulinita como um dos produtos, um filossilicato. A argila caulinita $[Al_2Si_2O_5(OH)_4]$ é o principal argilomineral presente nas regiões tropicais e subtropicais úmidas. Posteriormente, por meio de um processo pedoquímico, a caulinita pode ser hidrolisada, perdendo a sílica restante e transformar-se em gibbsita $[Al(OH)_3]$, um oxihidróxido presente em solos muito intemperizados e dessilicatados. feições pedológicas, oriundas de processos específicos de formação (LEPSCH, 2011).

Em se tratando de solos tropicais, os Latossolos são os mais ricos em óxidos se comparados a outros solos. O ponto comum para o surgimento desses minerais é de temperaturas altas, umidade excessiva e solos altamente intemperizados, contudo:

“Estimativa baseada em 46 amostras de horizontes B latossólicos (...) evidencia uma fração argila constituída, em média, por 730 g/kg de argilominerais, principalmente caulinita; por 145 g/kg de óxidos de ferro (goethita e hematita). e por 125 g/kg de óxidos de alumínio (gibbsita) e outros silicatos. Estas proporções evidenciam o predomínio dos argilominerais na fração argila, mesmo em solos nos quais a concentração em óxidos tende a ser mais expressiva a evidência.” (KAMPF et al., 2015, p.82).

Para o surgimento de gibbsita, as condições que proporcionaram um ambiente de drenagem excessiva são ideais. Em contrapartida, foi observada a presença de uma caulinita intermediária em condições de drenagem moderada. As proporções de caulinita e gibbsita são frequentemente inversas, sendo a gibbsita o mineral dominante em solos altamente intemperizados e a caulinita o mineral dominante nos menos intemperizados. Em alguns casos, a gibbsita e as rochas inalteradas estavam separadas por uma zona de caulinita que variava entre alguns centímetros e muitos metros de espessura (HSU, 1989). Também foi observado que a gibbsita microscópica substituiu o feldspato, preservando o contorno e a

clivagem original do cristal de origem, formando uma feição pedológica cristalina pseudomórfica (BULLOCK et al, 1985).

Furian et al., (2002) discorre que em solos tropicais e em particular, estudos da Serra do Mar, esperam encontrar a sequência normal dos minerais: gibbsita no topo e a montante, em melhores condições de drenagem e a caulinita na base e a jusante, em condição de pior drenagem. Contudo, estudos verificaram o predomínio de caulinita nos horizontes superficial e argiloso-arenoso compacto, respectivamente, localizados sobre e dentro de um material gibbsítico (DE PLOEY e CRUZ, 1979; FURIAN, 1994).

Esses horizontes gibbsíticos de baixa permeabilidade podem causar a saturação dos horizontes cauliniticos, promovendo assim movimentos de massa (SILVA et al., 2016). De acordo com as análises em topossequências, em que são identificados como os solos mudam em função de sua posição na paisagem, a geomorfologia pode colaborar com essa compreensão.

O material transportado ou deslocado nas encostas pode ainda ser reconhecido por um certo número de características micromorfológicas. Análises dos estudos de Silva et al., (2016) verificaram que o material do terço superior da encosta analisada na Serra do Mar, em Petrópolis, era fonte do material mobilizado nos movimentos de massa na região. Os processos pós-deposicionais podem alterar profundamente as microestruturas originais, complicando assim gravemente a análise dos depósitos de encostas. Múcher et al., (2018) concordam que a micromorfologia do solo é uma ferramenta importante para caracterizar e distinguir entre solos *in situ*, materiais transportados e materiais afetados por processos pós-deposicionais, fornecendo assim informações relevantes para a reconstrução das condições pretéritas.

4.3 O clima e seus processos associados

O Brasil é considerado muito suscetível aos movimentos de massa devido às condições climáticas marcadas por verões de chuvas intensas em regiões de grandes maciços montanhosos (BRASIL, 2018). É dessa forma que o Centro Nacional de Monitoramento de Desastres Naturais (CEMADEN) ilustra uma das causas de ocorrência dos movimentos de massa no Brasil, associando a deflagração de movimentos de massa com a ação da água.

Não obstante, a água em forma de chuvas não é o único fator associado ao clima que contribui para que haja deslocamento de materiais e instabilidade de encostas. A classificação de um clima depende da análise dos elementos radiação, temperatura, pressão atmosférica e umidade. A interferência de fatores climáticos pode ser determinante para características do clima de uma determinada região. São eles: latitude, altitude, maritimidade, continentalidade, massas de ar, correntes marítimas, relevo e vegetação (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Logo, o clima de uma região é a síntese de todos os elementos climáticos em uma combinação singular, causada pela interação dos processos climáticos (AYOADE, 2011).

As diferenças na radiação solar, ou seja, na diferente incidência dos raios solares na superfície da Terra, que varia de acordo com as latitudes, associadas às diferentes formas e áreas da superfície terrestre (formas e disposição do relevo, superfícies continentais e oceânicas e suas diferenças de calor específico), aliadas ao próprio movimento de rotação da Terra, geram diferenças de pressão que mantêm a atmosfera em constante movimento. O vento tende a eliminar ou equilibrar estas diferenças de pressão. Em seus deslocamentos, as massas de ar interagem entre si e/ou com a superfície do Planeta, gerando alterações nas condições meteorológicas locais. A maior frequência dessas condições meteorológicas específicas é que vai determinar o clima local (TORRES e MACHADO, 2008).

É possível afirmar que a circulação geral da atmosfera é a forma como as massas de ar se deslocam ou escoam sobre o planeta, provocando ventos com direções distintas nas regiões tropicais, temperadas e polares. Assim, pode-se inferir que muitas das transformações no planeta começam na atmosfera, pois no seu interior ocorrem os fenômenos meteorológicos que, por sua vez, configuram o clima geral do planeta (ALMEIDA, 2016).

Os fatores dinâmicos, como as massas de ar, são bastante presentes na região sudeste do Brasil. No litoral chega a Massa Tropical Atlântica, trazendo intensa umidade, mais presente no período do verão. A Massa Equatorial Continental, vinda da Amazônia, consegue alcançar a região sudeste com seus ventos úmidos formados pela evapotranspiração da floresta equatorial. Já no inverno, faz-se presente a Massa Polar Atlântica com grande força vinda do extremo sul do continente. A chegada de frentes frias normalmente tem a participação desta massa, com quedas de temperatura e chuvas.

Segundo Nimer (1989), a região sudeste tem algumas características específicas que lhe conferem grande diversidade climática no que se refere ao regime de temperatura e de umidade. Pode-se considerar fatores como a radiação, intensa ao longo do ano por estar localizada inteiramente na zona tropical; boas condições para evaporação, explicados pela

radiação e pela presença de superfícies líquidas. O Sudeste possui vasto litoral, estando essa superfície oceânica servindo a este propósito. E por fim, sua topografia acidentada, que apresenta grandes grupamentos de Serras como a do Mar, da Mantiqueira, do Espinhaço, com pontos acima de 2.000m. Essas superfícies elevadas, favorecem as precipitações através de chuvas orográficas.

Outro fator que pode influenciar no clima e maior ocorrência de desastres são as alterações climáticas, bastante marcantes no Antropoceno (PINTO et al., 2020); (MOORE, 2022); (GOUDIE e VILES, 2016); (SUGUIO et al., 2005); (MARQUES NETO, 2021). Fala-se sobre o aumento da temperatura média global, alteração do padrão de chuvas, ventos e oscilações no nível do mar, além do aumento da temperatura dos oceanos, o que pode desencadear eventos extremos mais presentes em regiões extratropicais, por exemplo.

As anomalias climáticas como El Niño e La Niña impactam o padrão de chuvas no continente Sul-Americano. O aquecimento anormal das águas do Pacífico (El Niño) leva a uma formação de grande faixa de alta pressão cruzando o território brasileiro em sua faixa central, aproximadamente, o que forma uma barreira dos ventos úmidos do sul e litoral, aumentando o índice de chuvas nas regiões sul e sudeste. Já o resfriamento anormal do Pacífico (La Niña) ocasiona alísios mais fortes que fazem com que o território brasileiro não apresente qualquer barreira de pressão aos ventos úmidos do sul, e estes avançam com sua umidade para as regiões centro-oeste, nordeste e norte, levando chuvas mais intensas para essas regiões e certa estiagem nos estados do sul e sudeste.

Oscilações de temperatura, umidade e as chuvas têm o seu papel modificado ao longo dos anos pelas mudanças climáticas. Tais alterações no comportamento de eventos extremos do clima, como longos períodos de temperaturas altas ou baixas, precipitação intensa e secas prolongadas, por exemplo (MARENGO et al., 2007). Em 2018, foi publicado o Plano de Adaptação Climática do Estado do Rio de Janeiro, pela Secretaria do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro (SEA). O documento possui histórico e projeções dos efeitos das mudanças climáticas no Estado, tendo os índices de precipitações baseadas no intervalo de 1961-1990 para as projeções entre 2041-2070.

A Região Serrana do Rio de Janeiro obteve os maiores acumulados de chuvas, como precipitação anual total, maiores volumes de chuva concentrados em 24h e máxima precipitação anual em um dia, para qualquer cenário/modelo no Estado do Rio de Janeiro. As potenciais mudanças nos padrões climáticos podem aumentar a frequência de ocorrência de desastres naturais. Por fim, há, de um modo geral, tendência de aumento dos índices de

temperatura, sobretudo com relação à média máxima e média mínima em todas as regiões analisadas do Estado (SEA, 2018).

E são justamente esses dois fatores que contribuem não só para o avanço do intemperismo dos solos tropicais, mas também para a possibilidade de ocorrência de movimentos de massa.

Com a ocorrência de reações no manto de alteração e o avanço do intemperismo, teremos mais material alterado. A ação da gravidade e a morfologia das encostas, mesmo em declives suaves, geraram fluxos contínuos de material que podem ganhar corpo e velocidade com a quantidade de água presente. Isso cria um efeito lubrificante no solo quando se trata da umidade e com chuvas intensas e frequentes pode gerar enxurradas, sendo algumas das principais características que podem levar a deslizamentos em vertentes. (ROSA et al., 2018)

E é sobre tais fatores controladores de deslizamentos que trata o próximo item.

4.4 Hidrologia

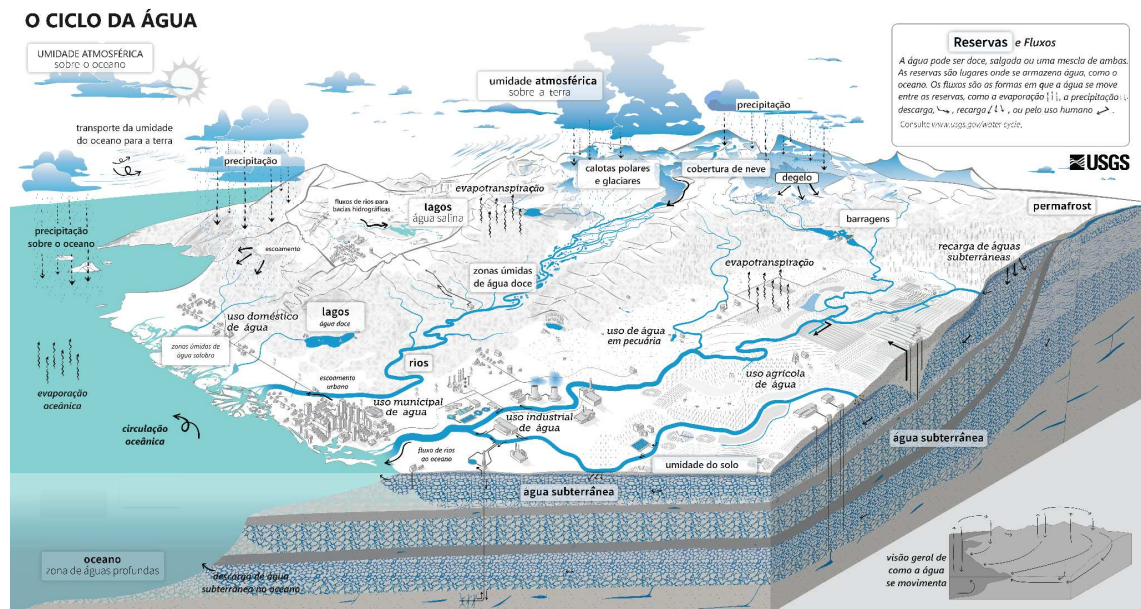
A ação da água, em particular, se apresenta como um dos mais importantes agentes modeladores do relevo. Segundo Coelho Netto (1994) a água possui tanto o papel de agente, como também exerce controle na formação e no comportamento mecânico dos solos e das rochas, destacando em especial, no domínio de encostas. Ela vai atuar no controle dos fluxos hídricos das encostas, alterar o equilíbrio das reações de intemperismo e influenciar na transformação de rochas e minerais interferindo na permanência e remoção de componentes solúveis como o silício e bases. Os produtos dessa meteorização química são compostos pelos minerais primários, íons e minerais resistentes da rocha e pela perda de gases para a atmosfera (FONSECA, 1999).

O conhecimento da área de estudo, como a forma geométrica das encostas (côncavas, convexas, retilíneas) contribui para a compreensão da mecânica de desenvolvimento dessas feições por meio da espacialização dos fluxos de detritos e sedimentos como área de erosão, transporte e deposição.

Logo, com a ação da água, sua circulação e seu ciclo formado, teremos importantes fases (Figura 34). A mudança de seu estado entre os processos de evaporação, evapotranspiração e condensação e precipitação; a interceptação pela vegetação ou simplesmente a chegada dessa água diretamente ao solo ou corpos hídricos. A infiltração, que

dependendo da sua velocidade e intensidade da chuva, pode gerar além do escoamento subterrâneo que contribui para elevação do nível freático, a geração de escoamento superficial.

Figura 34 - Ciclo Hidrológico.



Fonte: USGS, 2022.

Os fluxos de escoamento, sejam superficiais ou subterrâneos, contribuem através de suas rotas, para o desenvolvimento de processos erosivos-deposicionais que são resultado de interação de fatores bióticos, abióticos e antrópicos. Quando algum desses fatores é alterado, podemos também ter alterações nos processos hidrológicos atuantes nessas vertentes.

A morfologia das encostas, como a concavidade de uma vertente, que termina por influenciar a distribuição e movimentação da água na superfície do solo, assim como tende a concentrar fluxos hídricos; assim como a própria declividade que, de forma geral, apresenta maior propensão a deslizamentos em encostas íngremes, já que estas terão forças atuando para a desestabilização dos materiais ali depositados, são alguns dos fatores básicos que podem condicionar a ocorrência de deslizamentos (KLENK, 2019). Estes fatores, porém, serão aprofundados no próximo item, que trata de fatores geológico-geomorfológicos.

Quando ocorre a precipitação, a chegada da água no solo pode gerar diversos fenômenos. Podem ocorrer infiltrações e escoamento subsuperficial e superficial. A taxa de infiltração dependerá de fatores relacionados à chuva, como duração e intensidade, assim como de fatores do solo, como presença de vegetação, índice de porosidade, densidade

aparente, taxa de umidade e textura. Essas são algumas das variáveis que controlam a capacidade de infiltração (COELHO NETTO, 1994).

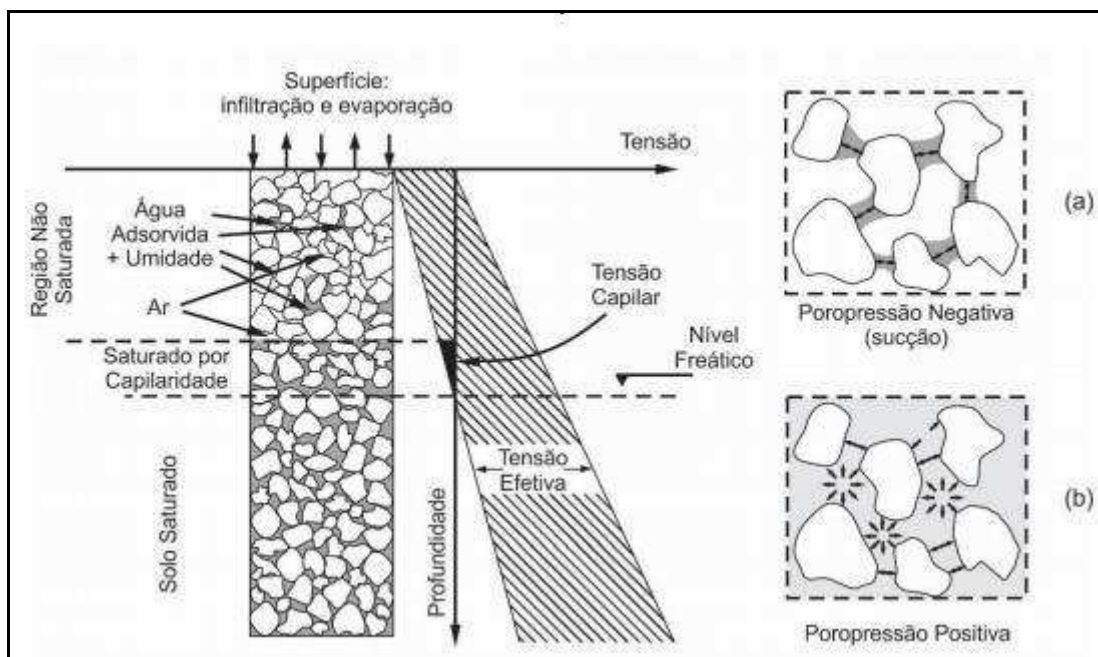
A infiltração ou percolação (HORTON, 1933) seria o fluxo em subsuperfície que atravessa a zona de aeração em direção ao nível freático, que é um limite entre a zona saturada e não saturada do solo. A força gravitacional trabalhará no sentido vertical da água no solo e a atração capilar gera forças em todas as direções, especialmente para cima.

Um dos ensaios a ser considerado no processo de infiltração é a estimativa da condutividade hidráulica (saturada e não-saturada). De acordo com Coelho Netto (1994), esse conceito às vezes é usado como sinônimo de permeabilidade, cabendo um adendo: a condutividade não se relaciona apenas com o material solo, mas com a unidade geológica como um todo. Ele indica a capacidade de transmissão de água no solo sob determinadas condições, como temperatura ou viscosidade. O papel que a condutividade assumiria seria tanto na importância na recarga da água superficial (velocidade da infiltração) quanto na geração de descontinuidades hidráulicas no interior do perfil de alteração, as quais poderão atuar localmente como camadas de impedimento ao fluxo vertical favorecendo, conseqüentemente, a geração de elevadas poro-pressões positivas.

O aumento da poro-pressão positiva leva a uma instabilização das encostas pois diminui o fator de segurança relacionado à saturação dos solos. Outro mecanismo que gera instabilidade das encostas é o da perda da sucção (e da coesão aparente), relacionada ao aumento da umidade do solo decorrente do avanço da frente de infiltração, no qual a ruptura ocorre sem que a condição de saturação seja alcançada (FREDLUND, 1987). Esses dois fatores podem gerar rupturas que culminaram em deslizamentos.

É importante assinalar que a mecânica de solos saturados pode ser aplicada quando o grau de saturação é superior a 85% (KLENK, 2019). Nesta condição, o solo pode ser representado por um sistema bifásico, composto pelas fases líquida e sólida. Nesse momento em que se alcança esse nível de saturação, ocorre a condição de geração de poropressão positiva (Figura 35). Quando o solo está não-saturado, ou seja, possui espaços vazios entre os grãos minerais, matéria orgânica e mesmo a presença de água, ocorrem as forças de sucção através da poropressão negativa.

Figura 35 - Poropressão positiva e negativa.



Fonte: Molina Jr, 2017.

Os movimentos de massa estão ligados à alteração do equilíbrio entre as tensões no interior da massa (CRUZ, 1974 apud CAMARGO, 2015). O equilíbrio é controlado principalmente pelo teor de água e pela estrutura interna das argilas, ou seja, pela interação e coesão entre os grãos que formam o solo em questão. Portanto, os movimentos de massa podem ser deflagrados por eventos chuvosos extremos, chuvas prolongadas de intensidade moderada, além de eventos tectônicos.

4.5 Os Condicionantes da Geomorfologia e Geologia

As diversas áreas do conhecimento quando analisadas em conjunto, podem formar um diagnóstico muito mais embasado das causas concretas de deslizamentos de encostas. Dessa forma, a consideração do clima, dos solos e sua estrutura microscópica e a hidrologia são alguns dos fatores físicos que podem contribuir para uma análise mais global da ocorrência dos fenômenos de movimento de massa. Dessa forma, a análise geológica-geomorfológica vem completar esse rol. Há condicionantes para a ocorrência de deslizamentos? Se sim, quais são eles?

O estudo das formas de relevo levando-se em consideração sua natureza, origem, desenvolvimento de processos e a composição dos materiais envolvidos define a ciência geomorfológica. A paisagem e sua evolução dependem de diversos fatores que, se analisados em conjunto, podem trazer respostas importantes (ROSS, 2005).

O arcabouço, composição e os processos da ciência da Terra são tratados pela Geologia, que tem como objeto de estudo a evolução dos agentes de formação e transformação das rochas, assim como de sua composição e disposição.

Sabendo-se que os fenômenos geológicos-geomorfológicos carregam em si processos que podem ter tido origem há milhões de anos, é importante perceber esse histórico na compreensão dos eventos que ocorrem atualmente. Quando do acontecimento desses eventos de forma natural, um estado de permanente equilíbrio é estabelecido (LOHMANN e SANTOS, 2005). Quando há o rompimento do equilíbrio, verifica-se a possibilidade de ocorrência de deslizamentos de vertentes, gerando uma série de consequências que podem agregar perdas econômicas e mesmo humanas.

Os movimentos de massa trazem algumas semelhanças na origem de condicionantes naturais e antrópicos, porém, sempre ocorrendo em vertentes. Por isso, é importante salientar que alguns processos de movimentos de massa ocorrem mesmo antes da existência humana ou independente de sua presença e atuação nesses locais. Logo, o homem pode ter um papel preponderante, mas não necessariamente. É nesse momento que os condicionantes físicos de formação e evolução geológica-geomorfológica devem ser estudados e compreendidos.

Como citado no capítulo anterior, alguns dos condicionantes à ocorrência de movimentos de massa de teor geológico-geomorfológico: estrutura geológica, mergulhos, diáclases; litologia, contatos, intrusões (resistência e consolidação dos materiais); topografia e declividade (SUMMERFIELD, 1991; GOUDIE e VILES, 1997; SIDLE e OCHIAI, 2006; HENSCHER, 1987 apud GUTIÉRREZ, 2013).

Guimarães et al., (2008) enumeraram alguns dos condicionantes físicos e naturais da ocorrência dos movimentos de massa: estrutura geológica; declividade, orientação e forma da vertente; área de contribuição; tipo dos materiais.

A litosfera apresenta diversos processos que garantem sua qualidade como dinâmica. Desde a movimentação e separação dos continentes há centenas de milhões de anos até o processo que envolve os ciclos das rochas. Todas essas transformações refletem nas estruturas geológicas deformações, rupturas ou fragmentações. Essas formas são capazes de mostrar através de estudos, os processos ocorridos naquela estrutura em diferentes escalas.

A estrutura geológica trata das formações rochosas e seu histórico desde a gênese até os dias atuais, com características físico-químicas e mesmo processos que possam ter gerado falhas ou dobras, por exemplo.

Enquanto em áreas mais elevadas e íngremes se destacam por terem uma retirada sistemática de sedimentos, prevalecendo a erosão e o desgaste, as áreas mais baixas ou de planície prevalecerá a deposição desses sedimentos. O transporte do ponto de origem ao ponto de destino dependerá da energia disponível no sistema para carregar as partículas e pode ser feito pela água, pelo vento, pela gravidade ou pelo gelo, por exemplo (GIANNINI e MELO, 2009).

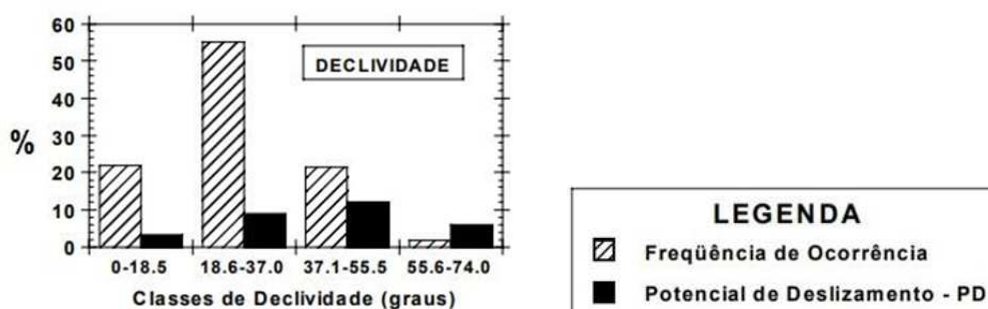
Algumas configurações da geomorfologia ilustram este propósito: de que a partir da morfologia de uma encosta, um processo pode se desenvolver mais rápido ou não; a ação da água pode gerar convergência de fluxos ou divergência; determinados movimentos de massa podem ou não ocorrer.

A morfologia das encostas no tocante a sua declividade, tamanho e sua forma, além de serem levadas em conta nos processos de avanço de erosão, também podem ser consideradas para a ocorrência de deslizamentos. E é importante sempre considerar os fatores em conjunto pois eles se inter-relacionam além da dinâmica hidrológica do local.

Morgan (1986) apud Guerra (1994) destaca que em encostas muito íngremes, o deslocamento de material intemperizado pode ser muito pequeno justamente pela baixa disponibilidade deste. Contudo, há deslizamentos de blocos de rochas por livre ação da gravidade que normalmente ocorrem em áreas muito íngremes (GUIDICINI e NIBLE, 1984 apud GUIMARÃES et al., 2008,). Logo, além de considerar os fatores relacionados para ocorrência de deslizamentos em conjunto, é preciso lembrar que há diferentes tipos de movimentos de massa, como já discutidos no capítulo anterior, com diferentes condicionantes para suas ocorrências.

Em alguns estudos realizados Fernandes et al., (2001) na região da bacia dos rios Quitite e Papagaio, na Cidade do Rio de Janeiro, há considerações sobre a influência da declividade ao condicionar deslizamentos onde o uso de modelos matemáticos identifica limites críticos em que o aumento da declividade pode gerar um deslizamento iminente. Ela leva em conta mais dois fatores para indicar o potencial de deslizamento: forma da encosta e área de contribuição. Nos resultados (Figura 13), percebe-se que o potencial de deslizamento tem aumento até cerca de 55° de inclinação da encosta, embora a ocorrência de deslizamentos se concentre na segunda classe, entre 18° e 37°.

Figura 36 - Índice de deslizamentos de acordo com a declividade.

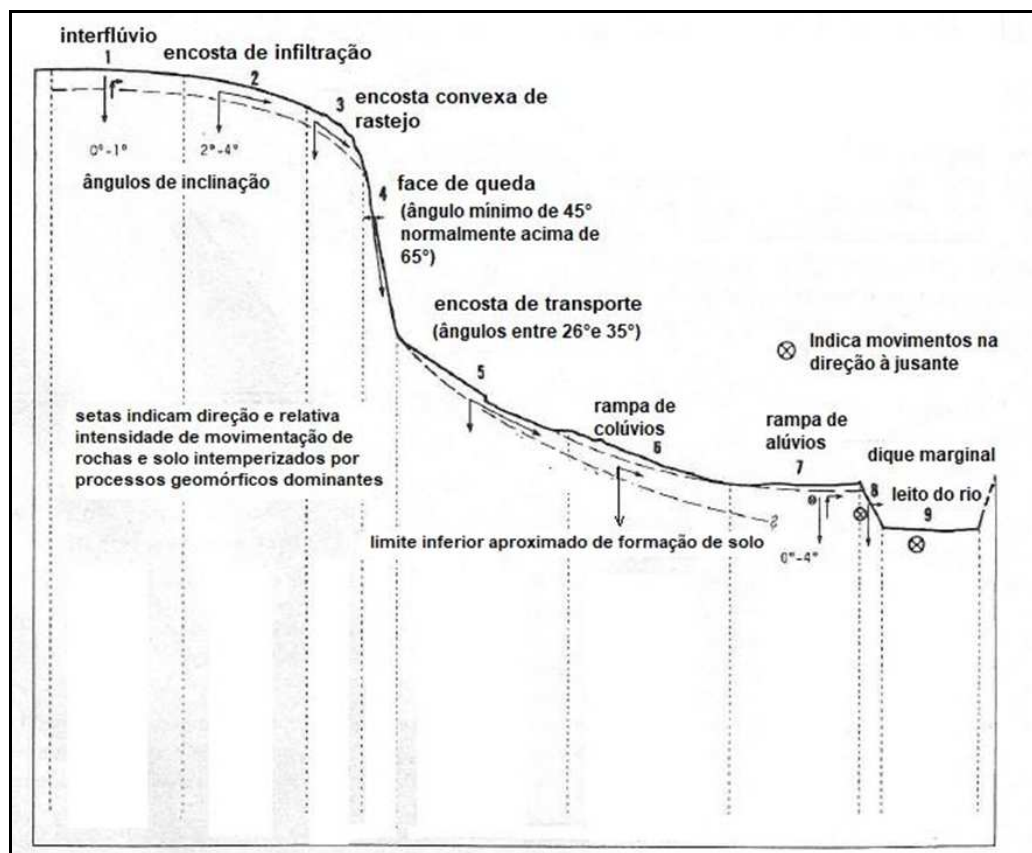


Fonte: Fernandes et al.,2001.

Desta maneira, o uso da declividade como principal ou mesmo único parâmetro de caráter topográfico incorporado aos estudos de previsão e definição de áreas instáveis geram, com frequência, distorções na análise dos deslizamentos, e áreas de menor declividade, inicialmente definidas como de baixa susceptibilidade, também mostram, com certa frequência, a presença de deslizamentos (FERNANDES et al., 2001).

A forma das encostas exerce um papel importante nessa instabilidade. Summerfield (1991) discute as diferentes morfologias de vertentes. Apesar de serem três os tipos de feições (côncavas, convexas e retilíneas) as formas de declive variam enormemente, mas em muitos casos compreendem uma convexidade de declive que leva a um principal retilíneo que termina em uma concavidade basal. Há uma gama de unidades de inclinação que podem ser encontradas, embora muito poucas inclinações individuais contenham todos esses componentes, e nem todas as unidades sempre ocorrem na sequência mencionada.

Figura 37 - Perfil de uma vertente.



Fonte: Modificado de Summerfield, 1991.

Nas encostas com feições retilíneas, por exemplo, há uma constante descida de detritos que além de aumentarem gradativamente o comprimento dessas vertentes, corrigem a estabilidade através da formação de um novo ângulo de declividade.

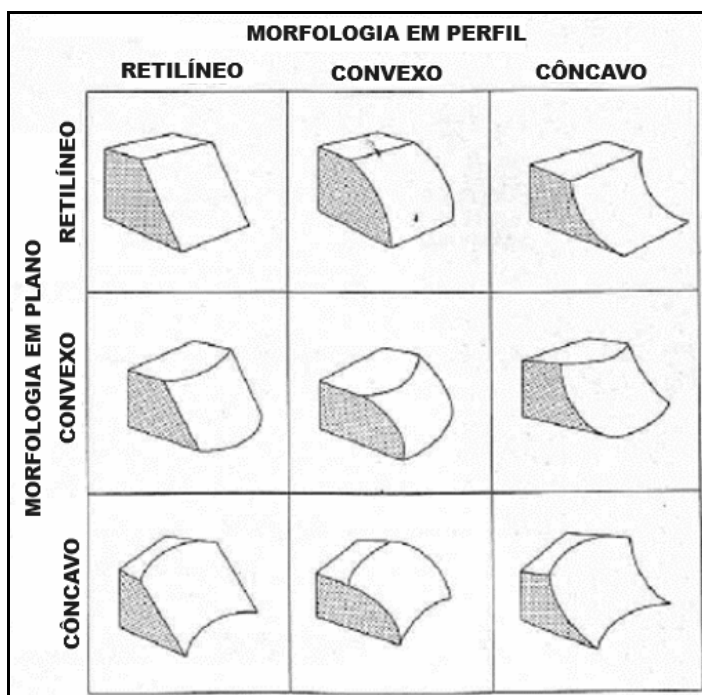
Nas encostas de feições convexas podem funcionar como vertentes de divergência de fluxos, pela sua própria geometria. Contudo, em declives onde há rastejo do solo, o afastamento gradativo do interflúvio pode ampliar a feição convexa para toda a encosta conforme a massa de solo avança aos poucos (GILBERT, 1909 apud SUMMERFIELD, 1991).

Nas encostas côncavas naturalmente há uma convergência de fluxos. Por ser uma área de contribuição de drenagem, há um aprofundamento dessa vertente, com tendência a formar solos mais profundos, intemperizados continuamente, podendo gerar feições como ravinas ou voçorocas, dependendo de fatores que venham a controlar ou não o avanço de processos erosivos assim como gerar material para possíveis deslizamentos. Pequenas variações de superfície condicionam padrão diferenciado dos atributos dos solos, na medida em que determinam diferenças na distribuição do fluxo de água e processos pedogenéticos. As

pedoformas côncavas proporcionam maior desenvolvimento pedogenético em razão da maior infiltração da água no solo (BARROS E SILVA et al., 2013).

É importante destacar que apesar de pensarmos as vertentes como sistemas bidimensionais, como a Figura 37, e que sua análise permite a compreensão de alguns processos das feições das encostas, trata-se de um sistema tridimensional, onde temos nove tipos possíveis de formas, como retratado na Figura 38.

Figura 38 - Tipos de encosta segundo sua morfologia.



Fonte: Summerfield, 1991.

De acordo com Fernandes e Amaral (2003) há condicionantes geológicos-geomorfológicos que levarão à ocorrência de deslizamentos como a lógica das fraturas aqui mencionadas. Diante de seus afloramentos, há um avanço do processo de intemperismo, especialmente com a ação da água. Isso terá como consequência uma parte da rocha que foi altamente intemperizada em sua parte superior e a rocha praticamente inalterada em sua parte inferior, gerando descontinuidades mecânicas.

A mesma lógica de meteorização da rocha ocorrendo de forma diferencial acontece nas falhas. Estas feições vão funcionar como caminhos preferenciais de alteração, gerando descontinuidades que criaram blocos não alterados num manto de intemperismo em estado bastante avançado. Essa heterogeneidade do maciço e da encosta pode levar a ocorrência de movimento de massa.

São muitas as feições e estruturas geológico-geomorfológicas que deflagram movimentos de massa. Os condicionantes naturais podem acelerar a degradação e processos erosivos, como chuvas concentradas, tipos de solo, encostas desprotegidas de vegetação, contato solo-rocha abrupto, descontinuidades litológicas e pedológicas, declividade das encostas (GUERRA e CUNHA, 2006). Contudo, as formas de ocupação dessas áreas, tipo de manejo e atividades econômicas desenvolvidas no local são algumas das atividades antrópicas que podem contribuir para uma possível instabilidade de encostas.

4.6 Relação Sociedade – Natureza

Em agosto de 2024, mais precisamente no primeiro dia do mês, o planeta alcança o seu ponto limite de recursos disponíveis para o ano vigente. Ou seja, do dia 01 em diante, 2024 operará em déficit em relação aos recursos da Terra. Essa marca de esgotamento de recursos vem sendo medida historicamente desde 1971 e nos últimos 20 anos consecutivamente a humanidade esgotou os recursos disponíveis antes do encerramento do ano. Nessa conta atual, o modelo econômico vigente e a sociedade precisariam de 1,75 planetas Terra para satisfazer o padrão de consumo atual, de acordo com dados da *Global Footprint Network* (2024).

O desequilíbrio ambiental que se nota nos espaços ocupados pelo homem é fruto da exploração através de décadas e mesmo séculos da natureza pela sociedade. No capitalismo, sistema político-econômico vigente, o uso de recursos a fim de prover um grande volume de produtos e mercadorias é a base da atual sociedade de consumo.

Crise hídrica, poluição atmosférica, extinção de espécies, contaminação de recursos hídricos superficiais e subterrâneos e degradação do solo são marcas eloquentes do mundo globalizado e de uma contraditória e desigual relação sociedade- natureza (NEVES; SODRÉ, 2023). Esse contexto indica a existência de uma questão ambiental multifacetada, a qual associa o risco de um colapso ecológico ao avanço da desigualdade e pobreza no mundo, especialmente em países periféricos (LEFF, 2002).

Embora a natureza ofereça limitações em diferentes lugares do mundo, o homem cria e adapta suas opções de vida às ofertas dos recursos locais (WORSTER, 1991). Quando se refere à moradia ou oferta desta, temos a busca pelos espaços que oferecem maior centralidade e acessibilidade. A acessibilidade traduz a capacidade e facilidade de chegar até

uma quantidade de locais, na escala dos transportes, levando em conta o tempo e o custo para alcançá-los, a partir de uma atração que este local exerce por meio das atividades que oferece na escala de uso do solo (BERTOLINI, 2008). Na centralidade, quanto maior for o uso do solo, maior será a atração exercida por este local.

Dessa forma, surgem cidades pouco ou nada sustentáveis, visto que certas áreas se apresentam saturadas por funções, pessoas e atividades enquanto outras apresentam baixa variedade de serviços e circulação de pessoas, sem contar outras disparidades e problemas sociais, econômicos e ambientais que configuram a falta de sustentabilidade do modelo de desenvolvimento vigente (MINHAVA, 2013).

Há ainda processos sociais como a exclusão de classes que reitera uma face negativa do capitalismo, levando pessoas a se estabelecerem em áreas pouco favoráveis à ocupação (ou ambientalmente frágeis) pelo seu baixo valor de uso do solo, desinteressantes para promotores imobiliários. Muitas dessas áreas podem pertencer às classificadas como “de risco” ou que deveriam ser protegidas ambientalmente. Ou o fator contrário: a autosegregação que leva classes mais abastadas a construir condomínios de casas e outras atividades nessas mesmas áreas impróprias para a ocupação (CORRÊA, 1989; SOUZA, 2003).

O espaço é uma composição da sociedade e da natureza, e esta última se transforma ao longo do tempo também por ação da sociedade. Contudo, tais mudanças são, na sua grande maioria, agressivas ao meio natural, mas que atendem de forma rápida, intensa e desmedida às necessidades de consumo da sociedade. No caso das ocupações irregulares de encostas ou de áreas ecologicamente frágeis, como várzeas e margens de rios. São locais com regimes particulares e que com as alterações promovidas pela sociedade, podem apresentar externalidades negativas que impactam a comunidade.

Diante desses avanços, a ocorrência de processos naturais se torna desastres quando atingem e/ou impactam a sociedade. E ainda:

“(...) se verifica que quando ocorre um evento climático extremo as pessoas que mais sofrem são aquelas marcadas pelo gênero, a raça e a classe, e que no Brasil, tais eventos não repercutem em desastres naturais, mas em tragédias socialmente construídas por uma sociedade racializada (Soares, 2023, p.77).”

De acordo com a reportagem do portal G1 de 2022, entre 1985 e 2020, houve um crescimento de 108,81% no espaço ocupado na cidade por favelas e comunidades urbanas (FEITOSA JR., 2022). Geralmente, estão em áreas precárias, sem infraestrutura básica e muitas vezes em regiões consideradas de risco de deslizamentos por se situarem em encostas

íngremes e instáveis, ou sujeitas a inundações. A problemática das habitações em áreas de risco normalmente acompanha pessoas de baixa renda e minorias raciais mais suscetíveis a viver em condições precárias e insalubres (CORTEZ, 2023).

Segundo Valencio (2023), as catástrofes ditas naturais resultam de estruturas institucionais e dinâmicas socioespaciais que fazem com que grupos sociais vulneráveis não tenham como se defender de fenômenos extremos. As maiores vítimas são os mais pobres, em grande parte negros, que vivem em áreas vulneráveis a enchentes e deslizamentos de terra, como as encostas da Serra do Mar (ANJOS, 2023).

Sob a ótica das Ciências Humanas e Sociais, seja o evento de natureza meteorológica, geológica ou técnica, o desastre propriamente dito é o sofrimento social de natureza coletiva. O termo “desastre natural” é, portanto, inadequado, pois os desastres ditos naturais que acometeram a Região Serrana em 2011 assim como a Cidade de Petrópolis em 2022 dão crédito extremado ao fenômeno meteorológico atípico e extremo ocorrido naqueles locais (VALENCIO, 2023).

Tem-se assim uma secundarização das estruturas institucionais e as dinâmicas socioespaciais que levam pessoas a ocuparem áreas vulneráveis ambientalmente (ANJOS, 2023). Não significa que não existiram eventos críticos relevantes relacionados a fenômenos meteorológicos e geológicos, ainda mais a época de transição climática que se atravessa; mas que a estrutura social racializada também é grande parte do fenômeno.

É necessária, assim, a compreensão e atuação nesses processos para superação dos problemas de ordem ambiental.

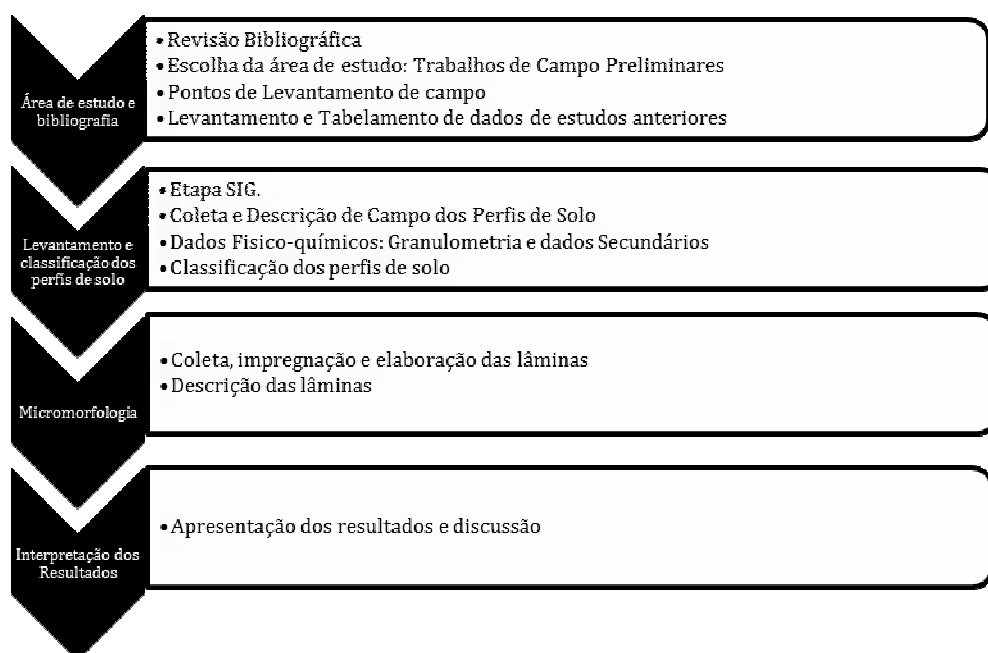
5. MATERIAIS E MÉTODOS

Cabe à metodologia estabelecer a organização do desenvolvimento do trabalho, o que é fundamental para o seu bom avanço e fluxo de ideias. A partir do fluxograma metodológico (Figura 39) abaixo, é possível identificar as etapas do presente trabalho. Para que fosse possível a sua execução, optou-se por dividi-lo em 3 partes. As duas primeiras, terão a revisão bibliográfica dos capítulos 3 e 4, que são de suma importância para contextualizar processos gerais e a região de estudo selecionada, respectivamente.

O capítulo 5 trata das análises práticas, com descrição dos dados obtidos em campo, análise morfológica e granulométrica do solo e, finalmente, da micromorfologia das lâminas de solo.

Essa terceira parte divide-se em três momentos: os trabalhos de campo, que contaram com resumos em cadernetas, coletas de dados gerais como localização por GPS, pontos de referência, altitudes, data de realização e da coleta de materiais dos pontos escolhidos; o segundo momento, de análises em laboratório, visando obter confirmações das teses lançadas ou mesmo de outras respostas que possam colaborar para o desenvolvimento da pesquisa. E finalmente, o terceiro, que diz respeito às análises microscópicas das lâminas dos solos das amostras obtidas nos dois trabalhos de campo. Foram produzidas um total de 17 lâminas dos 6 pontos visitados e pouco mais de 300 imagens, para colaborar com as análises realizadas. A descrição micromorfológica seguiu as normas descritas em Bullock et al., (1985) e Castro e Cooper (2019).

Figura 39 - Fluxograma metodológico.



Fonte: A autora, 2024.

5.1 Área de estudo e bibliografia

Esta etapa foi responsável por fundamentar teoricamente o trabalho através da revisão bibliográfica com discussão dos principais temas relacionados com os objetivos da tese, desde os mais gerais até os mais específicos. Além disso, com a definição da área de estudo foi possível planejar os trabalhos de campo com o reconhecimento da área, marcação de pontos para os levantamentos de dados e materiais além da obtenção de registros fotográficos.

5.1.1 Revisão bibliográfica

No capítulo 4 foi possível destacar os principais conceitos gerais que eram necessários para o embasamento teórico e discussão futura dos resultados. Discutindo especificamente o solo, os subcapítulos Movimento de Massa e Evolução e Comportamento de Solos abordam os principais processos disruptivos dos solos e sua evolução, especialmente em se tratando dos solos situados em zonas tropicais. Já a abordagem micromorfológica foi tratada nos itens

Micromorfologia dos solos e Micropedologia de Solos Tropicais em que os principais conceitos da ciência pedológica em âmbito microscópico é tratado assim como as principais reações e feições esperadas dos solos tropicais.

Por fim, os itens Climatologia e processos, Hidrologia, Condicionantes da Geomorfologia e Geologia e Sociedade e Natureza completam a revisão teórica inicial.

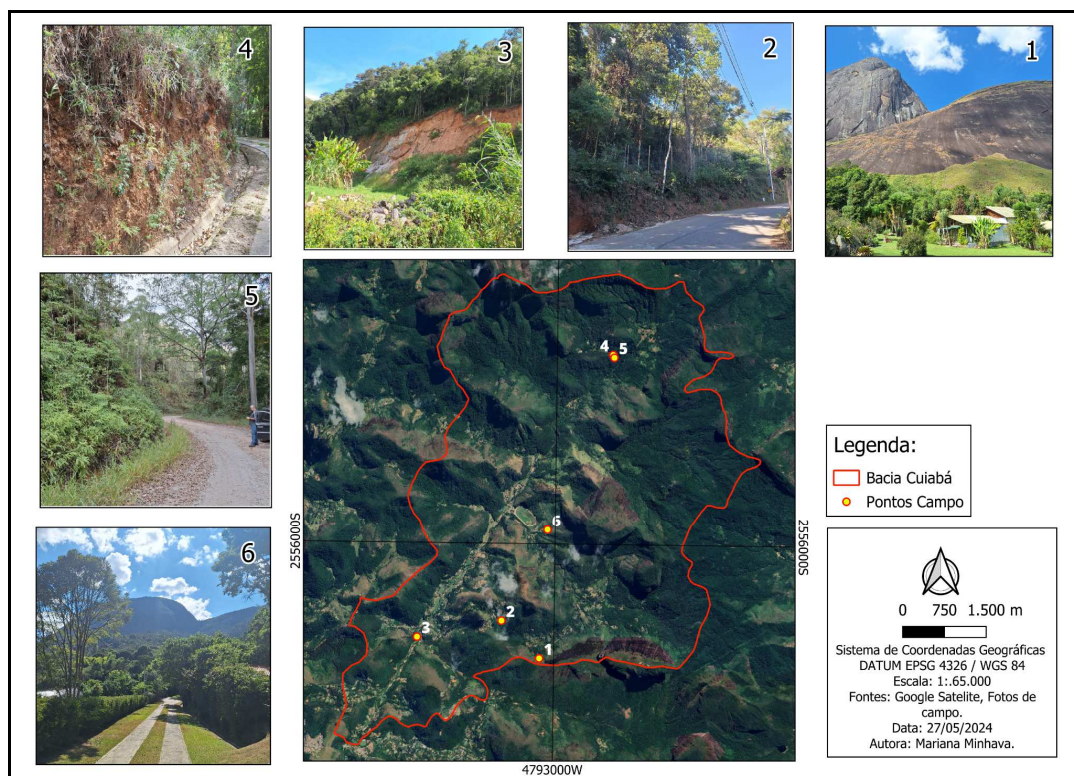
No capítulo 3 a abordagem teórica foi específica no local que se pretende analisar, com levantamentos de cunho físico ambiental e socioeconômico e elaboração de mapas para espacializar as características e processos destacados.

5.1.2 Escolha da área de estudo e Pontos de Levantamento

Foram realizados trabalhos de campo preliminares para auxiliar na escolha dos pontos a serem estudados. A busca consistiu em buscar pontos ao longo da vertente como topo, meio e base. Ademais, de acordo com os mecanismos dos processos relatados em 2011 do Megadesastre, o alvo eram Cambissolos inseridos nas áreas mais elevadas ao norte da Bacia que pudessem conter as feições pedológicas relatadas por Furian et al., (1999) e Silva (2006) de *box works* de gibbsita. Nessas áreas foi onde se concentraram os deslizamentos de solos rasos que culminaram em adensar os materiais carregados em corridas ao longo da bacia.

Definidos os locais de coleta de acordo com suas características de localização na Bacia e ao longo da vertente, foram realizadas duas visitas para coleta das amostras de solo necessárias, uma no dia 31/05/2022 e a segunda em 07/06/2022. Este período do ano foi escolhido por ser uma época com temperaturas amenas e após as chuvas de verão. Na Figura 40 pode-se verificar as localidades de onde foram realizadas as coletas de amostras assim como a localização simplificada dos pontos na Bacia do Vale do Cuiabá.

Figura 40 - Pontos de coleta de amostras de solo no campo.



Fonte: A autora, 2022.

Nesta pesquisa, os pontos 1,2 e 3 foram coletados na primeira visita e 4,5 e 6, na segunda. Ambos em dias de sol, sem chuvas, com temperaturas médias de 20°C no primeiro dia e 18,5° C no segundo, obtidos através de medição simples com auxílio do telefone celular.

Nestes pontos foram anotadas as seguintes informações: localização por GPS, medições da profundidade com trena e espessura dos horizontes assim como anotações sobre classe, cor e morfologia. Na Figura 32 pode-se visualizar um desses pontos próximos à pousada Tankamana, identificado como da ordem dos Cambissolos.

Figura 41 - Abertura e limpeza de perfil no ponto 5 para identificação, descrição e coleta de amostras.



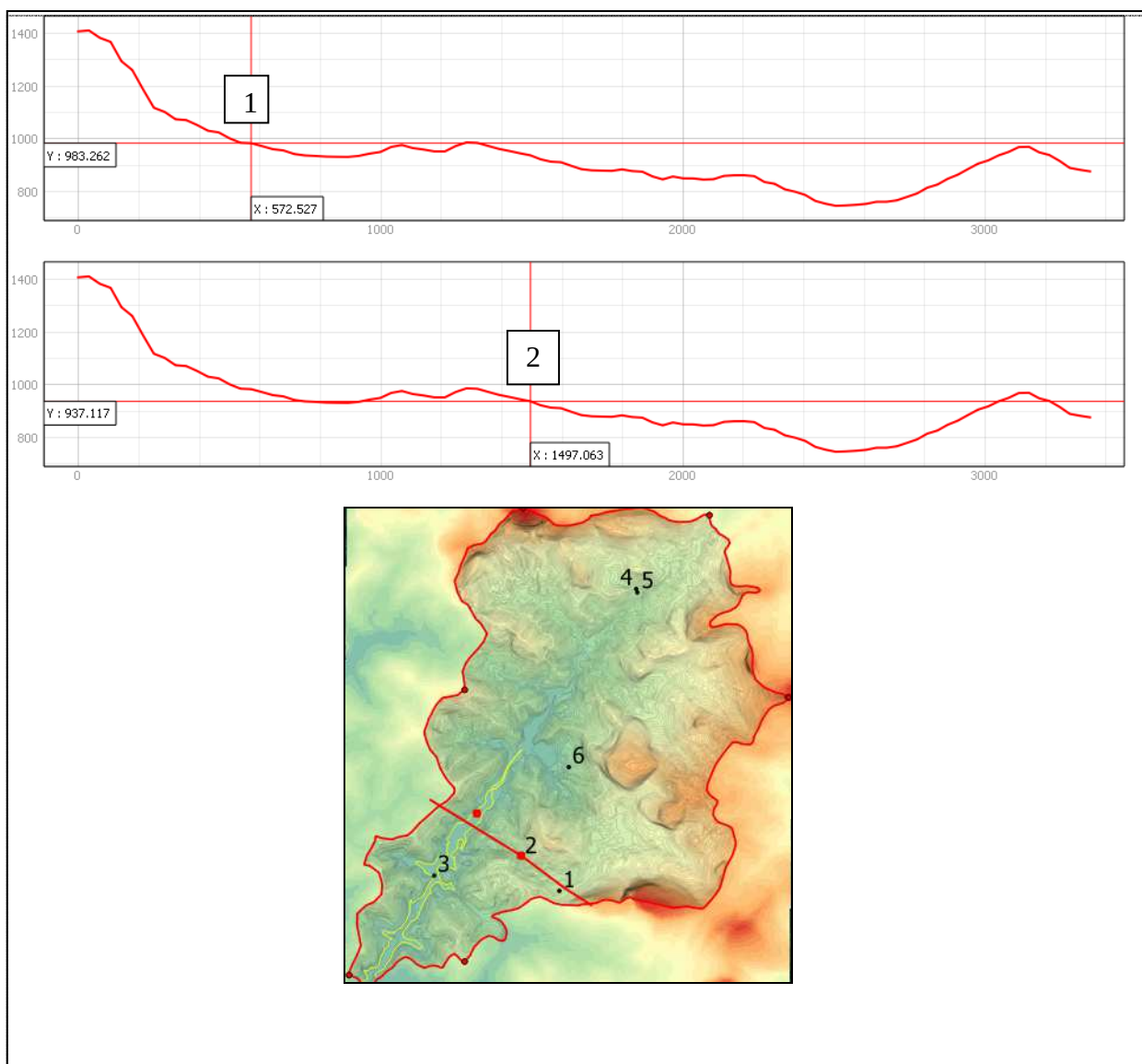
Fonte: A autora, 2022.

Após a escolha, os cortes selecionados foram limpos com auxílio de enxada e martelo, com o objetivo de remover a capa superficial influenciada e mascarada pela ação do sol e da chuva. Os horizontes foram delimitados com base na variação da cor, com auxílio da percepção de penetração da faca e em características morfológicas, notadamente a estrutura.

Dessa maneira, a bacia foi percorrida em toda sua extensão para escolha de pontos em áreas diferentes da paisagem para obtenção de amostras. Foram usadas vertentes para averiguação dos perfis de solo em cortes já existentes. É possível observar a localização dos pontos visitados nas Figuras 42, 43, 44 e 45 com indicação dos perfis nos gráficos e a linha traçada em cada um deles no mapa de elevação. Esses perfis foram elaborados a partir da

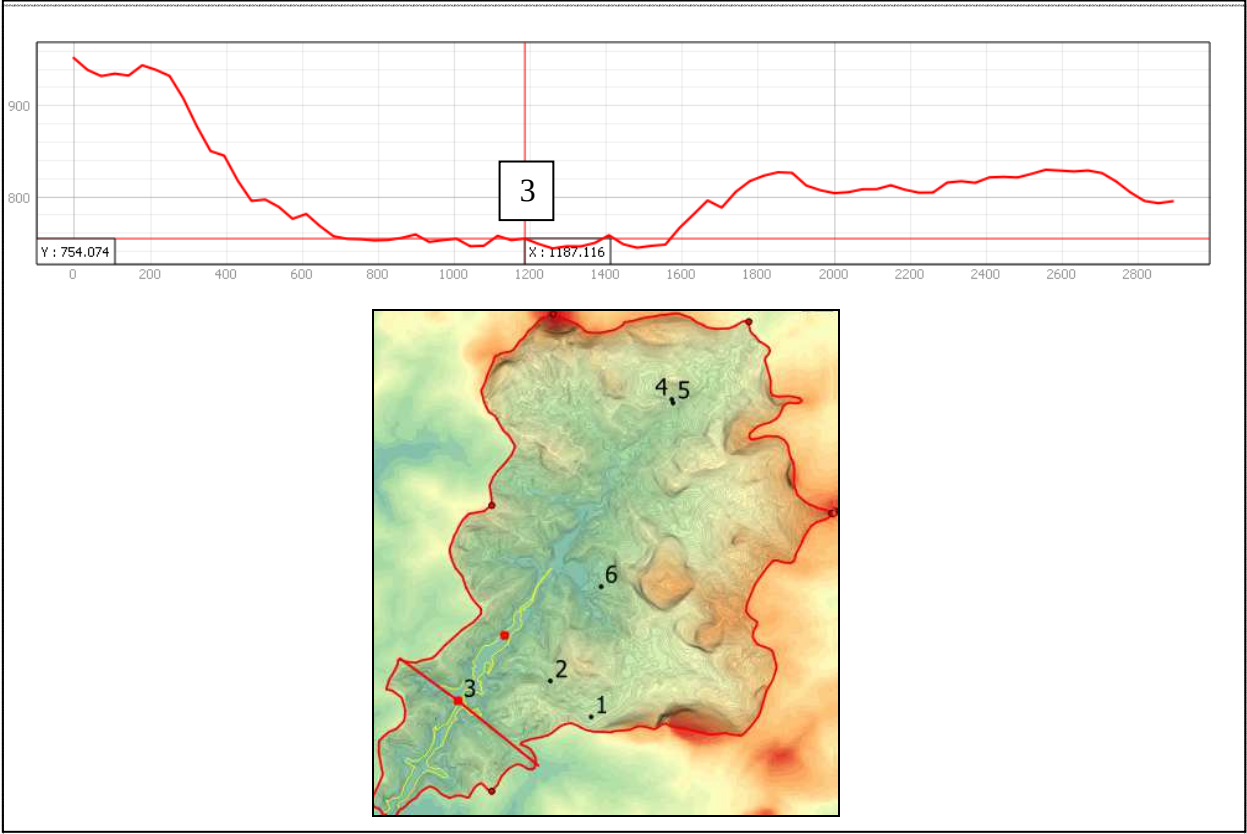
ferramenta *terrain profile* no QGIS 3.34.1 sobre um modelo digital de elevação que permita identificar as curvas de nível do terreno.

Figura 42 - Perfis topográficos dos pontos 1 e 2 com o traçado no mapa de elevação na direção SE/NO.



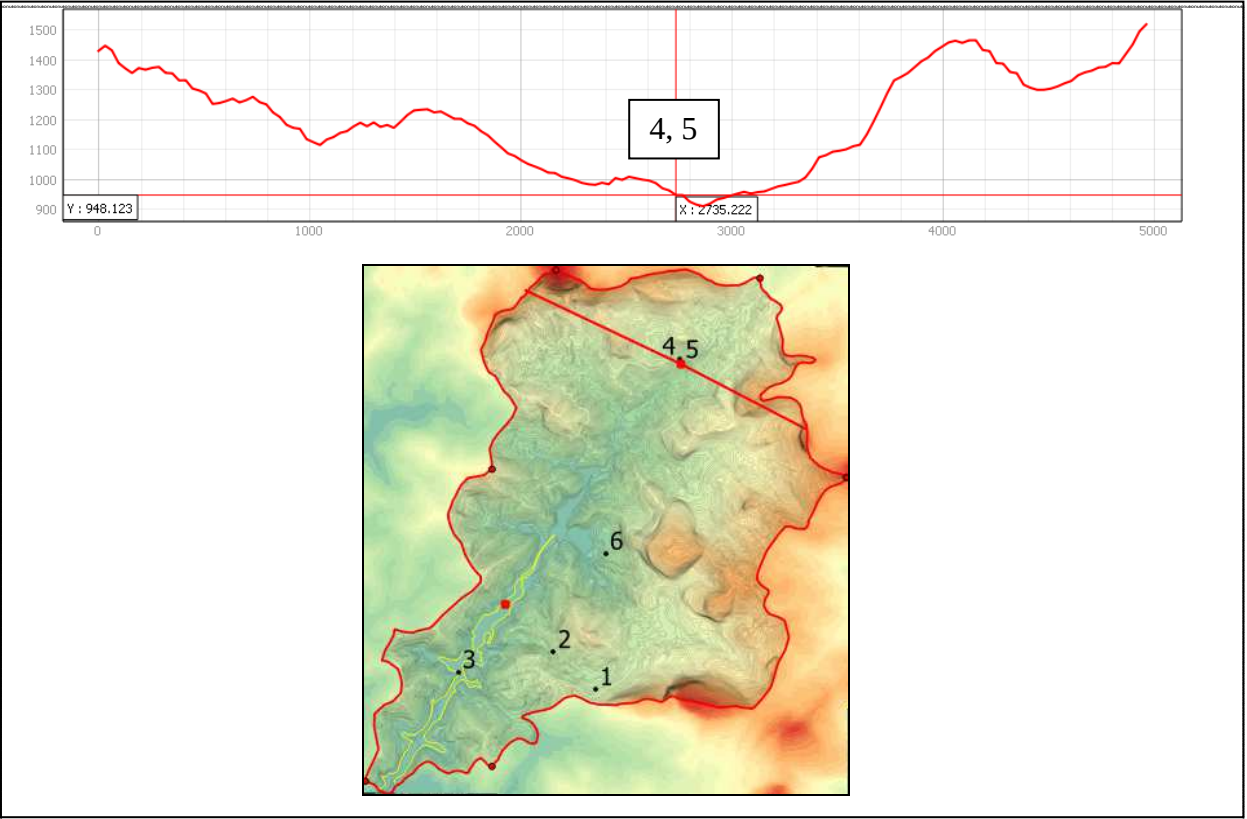
Fonte: A autora, 2024.

Figura 43 - Perfis topográficos do ponto 3 com o traçado no mapa de elevação na direção NO/SE.



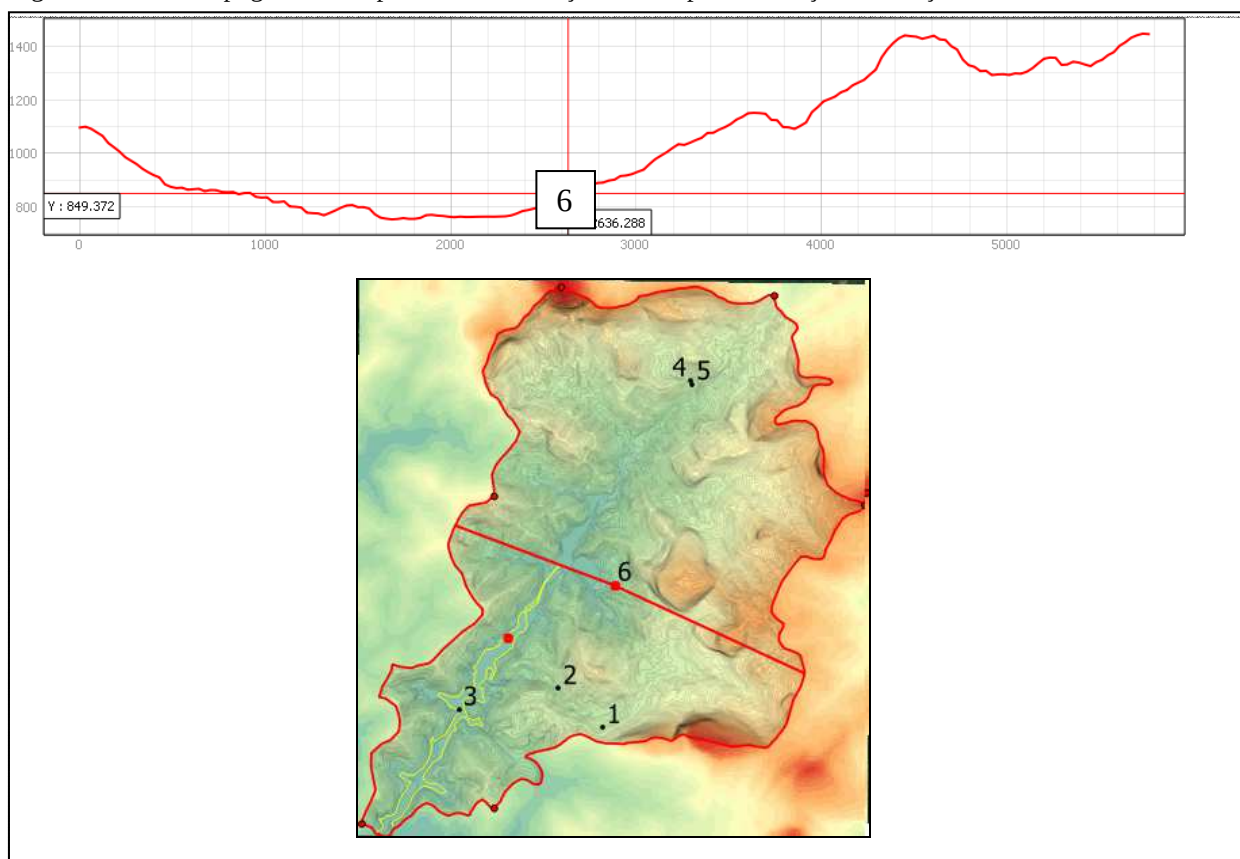
Fonte: A autora, 2024.

Figura 44 - Perfis topográficos dos pontos 4 e 5 com o traçado no mapa de elevação na direção NO/SE.



Fonte: A autora, 2024.

Figura 45 - Perfis topográficos do ponto 6 com o traçado no mapa de elevação na direção NO/SE.



Fonte: A autora, 2024.

Como os pontos não formam uma topossequência, a metodologia empregada para averiguar a posição nas vertentes foi a de realizar um corte longitudinal atravessando o vale do Cuiabá. Dessa forma, a partir das imagens é possível notar que os pontos 1 e 2 mais próximos do topo, o ponto 3 da base no baixo Cuiabá, os pontos 4 e 5 na base no alto Cuiabá e o 6, no meio da vertente.

Antes da realização dos campos em si, as áreas visitadas e pontos a serem levantados foram selecionados a partir da pesquisa de Botelho (1996) que elaborou o mapa de solos da bacia do rio Cuiabá. Nesta pesquisa foram feitos 30 pontos para levantamento de características físico ambientais, entre amostrados e apenas identificados.

O presente estudo fez uma releitura do trabalho de Botelho (1996) sendo os solos da área classificados de acordo com a autora, com o objetivo de trabalhar melhor com a micromorfologia. Dessa maneira, utilizando como referência tanto o mapa de solos como o mapa de pontos levantados na década de 90, já se possuía um embasamento espacial referente a características físicas em geral. Para mais informações em geral, vide em Botelho (1996).

5.1.3 Levantamento e Tabelamento de dados de estudos anteriores

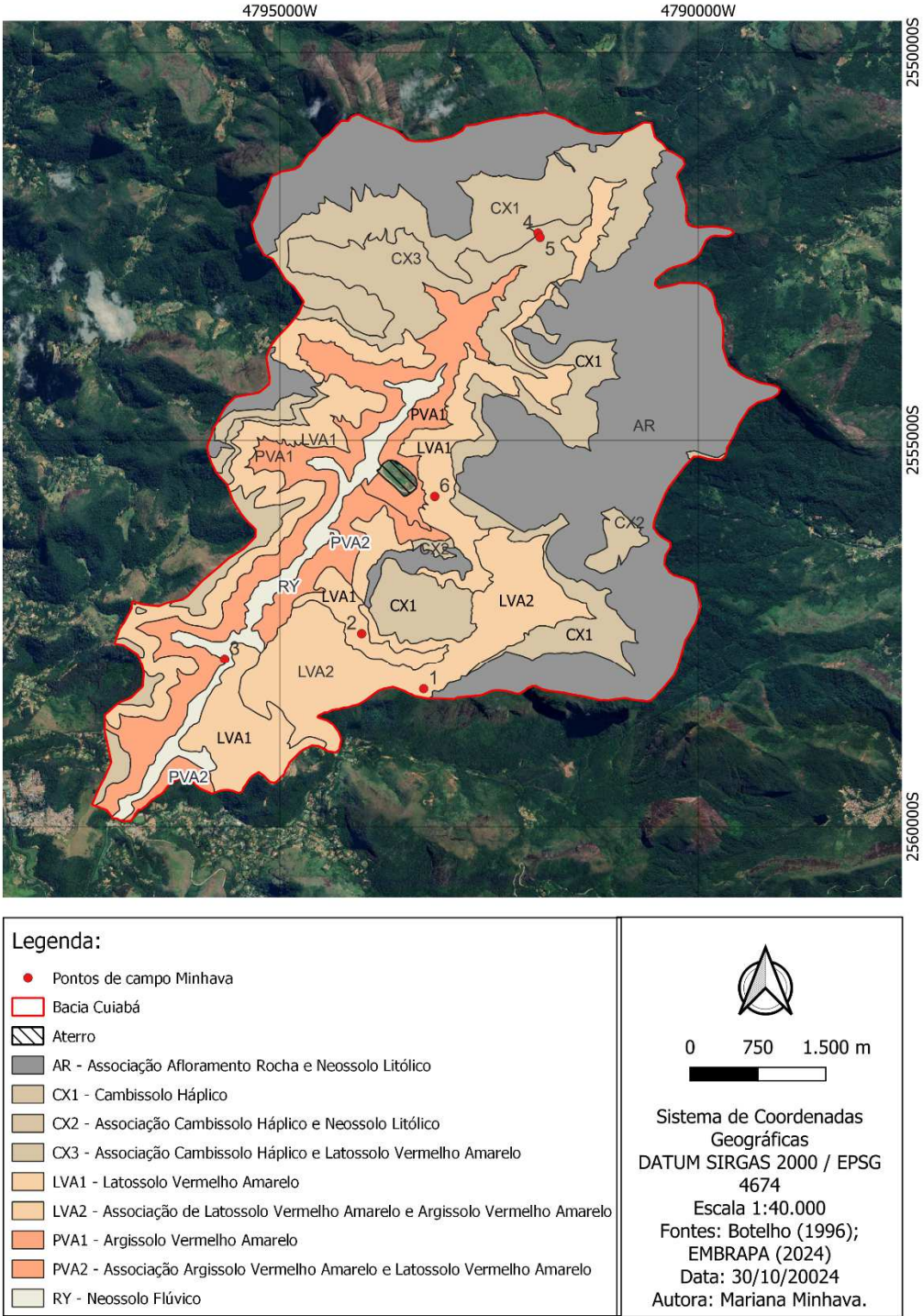
No arcabouço de referências usadas para embasarem os trabalhos de campo e decisão sobre os locais de coleta, foram reunidos dados em trabalhos realizados tanto no local de estudo como no evento do Megadesastre de 2011.

A principal referência de trabalhos no Vale do Cuiabá é de Botelho (1996); Botelho (2011). No primeiro trabalho, a autora realizou levantamentos físico ambientais em toda a Bacia com o objetivo de avaliar unidades ambientais com diferentes graus de restrição de uso e ocupação, em função das limitações do meio físico. No segundo, houve um confronto e atualização das unidades ambientais e características levantadas anteriormente com os dados de 2011 sobre o Megadesastre.

A partir de Botelho (1996) foram obtidas a espacialização de solos a partir do mapa elaborado pela autora em escala 1:20.000. Junto a isso, os dados obtidos a partir das análises de laboratório para comparação como morfologia e granulometria e ainda, as análises químicas dos solos para complementar classificações do presente trabalho posto que tais estudos não foram contemplados nesta tese. E por fim, as unidades ambientais nas quais foram realizadas recomendações de uso do solo, em função do comportamento morfodinâmico e da fragilidade ambiental de cada unidade de planejamento atualizados em 2011 para comparação com os pontos coletados, analisados e classificados pelo presente trabalho, especialmente após a análise micromorfológica, estudo esse inédito na localidade.

Foi elaborado um croqui de classes de solo (Figura 46), como forma simplificada de ilustrar a espacialização dos tipos de solo encontrados em campo, mas também considerando as contribuições de Botelho (1996). As curvas de nível da Bacia auxiliaram o traçado de cada uma das classes e suas associações.

Figura 46 - Croqui pedológico com as classes de solo identificadas na Bacia do Vale do Cuiabá.



Fonte: A autora, 2024.

Associado a este croqui, a Tabela 1 traz os detalhes destacados pela autora Botelho (1996) quanto às características dos solos estudados em seu trabalho e das análises morfológicas deste trabalho.

Tabela 1 - Características gerais dos solos indicados no croqui pedológico.

Legenda	Solo	Textura	Relevo
AR	Associação Afloramento rochoso e Neossolo Litólico	textura média (RL)*	montanhoso e escarpado
CX1	Cambissolo Háplico	textura argilosa	relevo ondulado a montanhoso
CX2	Associação Cambissolo Háplico e Neossolo Litólico	textura argilosa	relevo fortemente ondulado e montanhoso
CX3	Associação Cambissolo Háplico e Latossolo Vermelho Amarelo**	textura argilosa	relevo forte ondulado
LVA1	Latossolo Vermelho Amarelo	textura argilosa	relevo forte ondulado
LVA2	Associação Latossolo Vermelho Amarelo e Argissolo Vermelho Amarelo	textura argilosa	relevo forte ondulado
PVA1	Argissolo Vermelho Amarelo	textura média	relevo ondulado a forte ondulado
PVA2	Associação Argissolo Vermelho Amarelo com Latossolo Vermelho Amarelo	textura argilosa	relevo ondulado
RY	Neossolo Flúvico	textura média	relevo plano
RL	Neossolo Litólico	textura média	relevo montanhoso e escarpado

Legenda: *Considerando a textura do Neossolo Litólico;

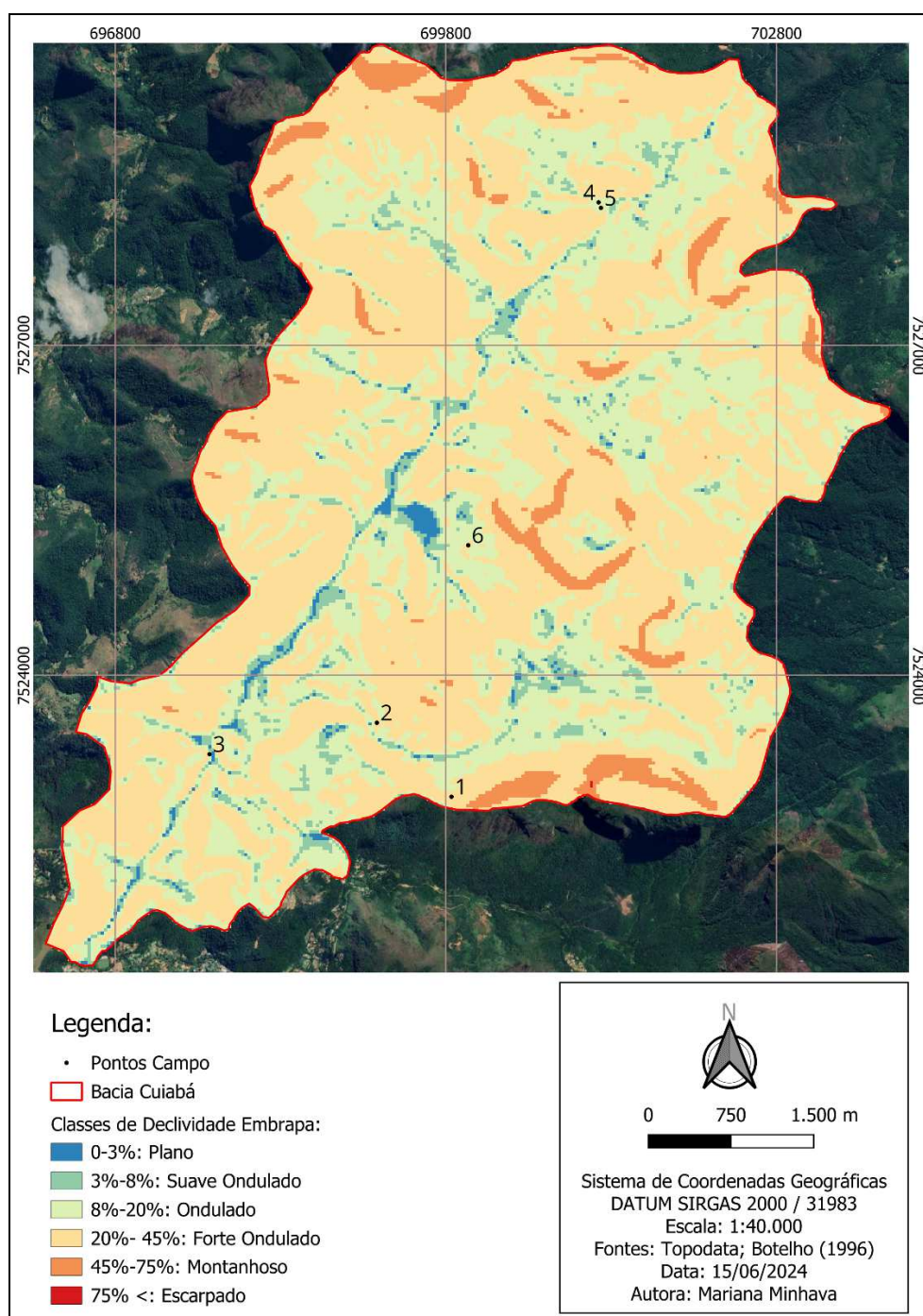
**Identificado nos levantamentos de campo.

Fonte: A autora, 2024.

No croqui acima foram apresentadas 5 classes de solo: Neossolo Flúvico (RY), Neossolo Litólico (RL), Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), Cambissolo Háplico (CX) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA); Uma área identificada como Aterro; 5 classes que foram agregadas como sendo de associação de solos: Associação Afloramento rochoso e Neossolo Litólico (AR), Associação Cambissolo Háplico e Neossolo Litólico (CX2), Associação Cambissolo Háplico e Latossolo Vermelho Amarelo (CX3), Associação Latossolo Vermelho Amarelo e Argissolo Vermelho Amarelo (LVA2) e Associação Argissolo Vermelho Amarelo com Latossolo Vermelho Amarelo (PVA2).

É importante ressaltar que tais associações foram realizadas pela autora como forma de facilitar o mapeamento dessas áreas baseadas em características predominantes, posto que o esquema ilustrativo acima se deu até o segundo táxon de classificação de solos. Ou seja, a classe de solo primeiramente elencada seria a que predomina na análise espacial do solo sendo composta de forma menos predominante pela segunda classe elencada como “intermediário” em Botelho (1996). No caso das associações, além do predomínio, similaridades, especialmente em relação a solos muito incipientes e o relevo onde se encontram. A identificação do relevo e suas classes de declividade ocorreu através da elaboração de um mapa de declividades (Figura 47) através de dados obtidos junto ao Topodata/INPE (2024) e classificados dentro dos intervalos de classes de declividade da Embrapa.

Figura 47 - Mapa de declividades da Bacia do Vale do Cuiabá.



Fonte: A autora, 2024.

Sendo assim, os dados de estudos anteriores que colaboraram para a construção do croqui de solos assim como identificação de características pedológicas, geomorfológicas e de declividade estão expressas nesse item do presente trabalho.

Os dados sobre o Megadesastre tiveram como principais referências Mello et al., (2011), Coelho Netto et al., (2011), Dourado et al., (2012), Lima (2013) que descreveram o mecanismo dos processos que atingiram a bacia, as distâncias percorridas pelos materiais

provenientes das corridas, a orientação dos falhamentos onde se encaixam o canal principal da bacia, o detalhamento dos deslizamentos rasos de solo sobre rocha nas encostas que margeiam o canal com o traçado das cicatrizes e demais impactos e consequências do desastre.

5.2 Levantamento e classificação dos perfis de solo

A etapa subsequente engloba as fases de SIG, fundamentais para obtenção de geolocalização de processos e características físicas obtidas através das revisões bibliográficas assim como do georreferenciamento de mapas já elaborados, com dados de coleta e descrição em campo dos perfis selecionados, dados obtidos em laboratório a partir das amostras analisadas e por fim, a classificação dos perfis de solo.

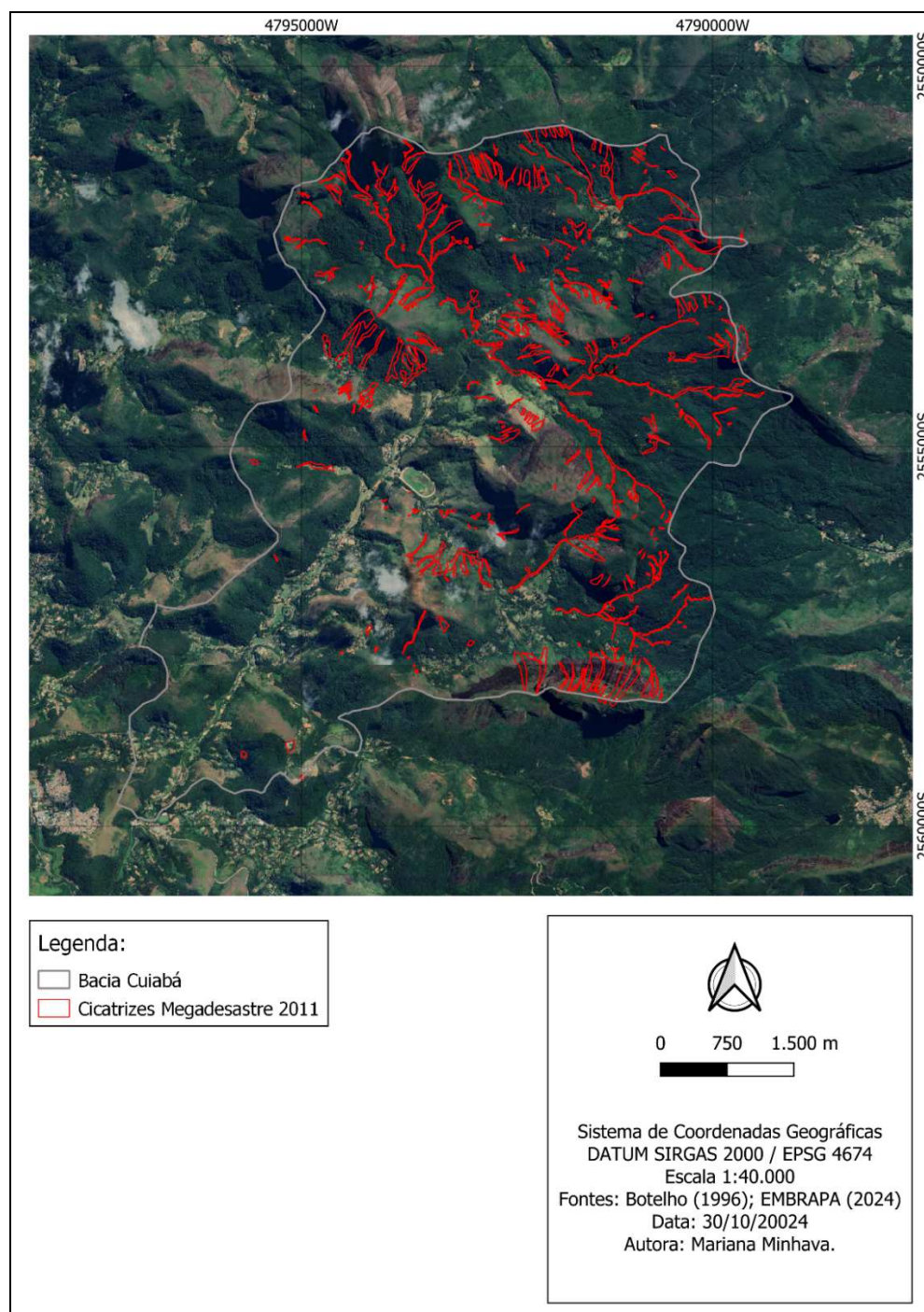
5.2.1 Etapa SIG

A primeira etapa de geoprocessamento ocorreu ainda na revisão bibliográfica para a delimitação dos limites da Bacia do Vale do Cuiabá, com a obtenção de curvas de nível e hidrografia local (ANA, 2022; IBGE, 2022). Partindo desses limites, foi realizada a espacialização de dados físico ambientais da Bacia do Vale do Cuiabá através do levantamento das classes de solo em escala 1:250.000 (EMBRAPA, 2023), formações geológicas (CPRM, 2021), feições de relevo (IBGE, 2022; CPRM, 2022), mapa de declividades (Topodata/INPE, 2024), hipsometria (Topodata/INPE, 2024), tipos de vegetação (IBGE, 2022) e ocupação em relação às áreas protegidas (IBGE, 2022). Todos os levantamentos foram realizados no software QGIS versões 3.24.1 e 3.34.1.

Sendo assim, com o software QGIS versão 3.34.1 os mapas de solos, de pontos trabalhados e de unidades ambientais de Botelho (1996) foram escaneados e transformados em imagens PDF, e posteriormente convertidos em arquivos TIFF pela ferramenta *georreferenciador*. De forma que ao realizarmos a sobreposição desses mapas após georreferenciação, houve pequena distorção em virtude da diferença das técnicas aplicadas à época. Contudo, estas foram desprezadas posto que os mapas serviram apenas como referencial teórico no presente trabalho.

Com o auxílio do software Google Earth, foi feito um levantamento para identificar e traçar as cicatrizes da época do Megadesastre. Foram contabilizadas 321 cicatrizes de deslizamentos só na Bacia do Vale do Cuiabá.

Figura 48 - Mapa de Cicatrizes do Megadesastre de 2011 deflagradas na Bacia do Cuiabá



Fonte: A autora, 2024.

Além da identificação das classes de solos em escala apropriada para as análises que esse trabalho propõe, é importante avaliar a evolução dos solos da região. No íterim do trabalho de Botelho (1996), o Megadesastre de 2011 gerou grande impacto na área estudada.

O Megadesastre deixou uma série de prejuízos econômicos e sociais na Região Serrana e em particular, na Bacia do Vale do Cuiabá. A corrida de massa, o processo principal que deixou 71 vítimas na região, percorreu cerca de 10km ao longo do eixo principal do rio. Atingiu larguras de até 40 m recebendo aporte de materiais do Vale do Santo Antônio em menos de 12h (MELLO et al., 2011).

Nesse evento, foram gerados dois processos de corridas de massa. A remobilização de materiais de fluxos de corrida pretéritos com o aporte de materiais advindos da bacia a montante junto a fluxos de mobilização de detritos e fluxos gravitacionais de blocos nas vertentes dos canais tributários. No terço superior do Rio Cuiabá, que é fortemente orientado por falhas geológicas, foi gerado um ponto de represamento natural que ao estourar, gerou um grande fluxo a jusante (LIMA, 2013).

Por fim, um fluxo de detritos do Rio Santo Antônio, alimentado por deslizamentos rasos de solo sobre rocha nas encostas que margeiam a drenagem. Esse volume de material avançou pela Bacia do Cuiabá, gerando sinergia com os processos e materiais mobilizados no local.

Quando se realiza uma espacialização das cicatrizes deixadas pelas chuvas de janeiro de 2011, há um grande impacto pela dinâmica e dimensão que elas acometeram a Bacia. Em grande parte, as corridas de massa que atingiram os topos de morros e se conectaram ao longo da vertente com materiais pré-mobilizados por outros eventos de deslizamentos superficiais (DOURADO et al, 2012), até atingirem e se juntarem ao fluxo dos rios da bacia do Rio Cuiabá.

Ao fazer o levantamento indicado na Figura 48, é possível visualizar onde os deslizamentos foram deflagrados. No capítulo de Discussão de resultados, o cruzamento das cicatrizes com os pontos de coleta de trabalho de campo poderá demonstrar onde foi a maior incidência de processos e se os dados obtidos através das análises morfológica, granulométrica e micromorfológica poderão justificar os fenômenos.

5.2.2 Coleta e descrição de campo dos perfis de solo

Em cada um dos perfis selecionados, foram coletados dois tipos de amostra: amostras deformadas, coletadas em sacos plásticos transparentes para análises de laboratório e amostras indeformadas, para confecção de lâminas delgadas, coletadas em caixas de papel cartão. As amostras deformadas foram identificadas com etiquetas onde estavam presentes informações tais como, perfil, horizonte, profundidade da amostra e tipo de solo preliminar.

Foram visitados nove pontos ao todo e destes (Tabela 2), cinco tiveram coleta para análise micromorfológica e demais verificações; 3 perfis apenas para identificação e checagem do tipo de solo e um perfil com coleta apenas para micromorfologia, pois ele coincidiu com um dos pontos de amostragem de Botelho (1996). A descrição priorizou informações que permitissem a identificação do tipo de solo e a delimitação dos horizontes.

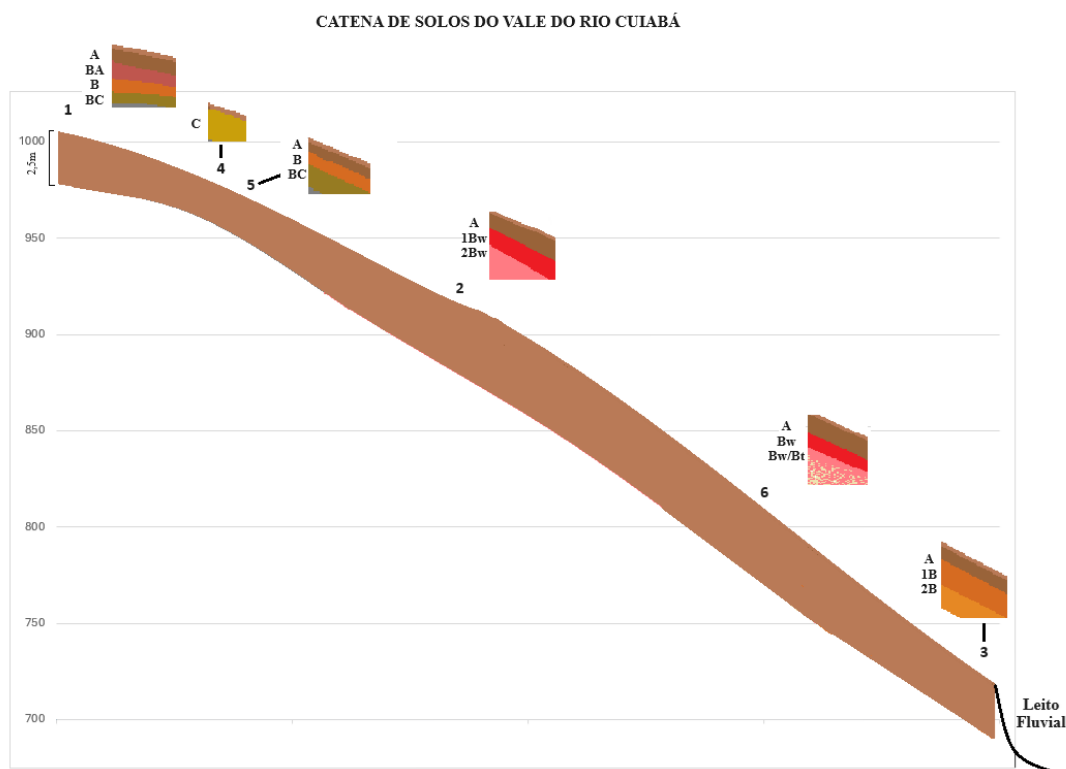
Tabela 2 - Dados resumidos dos pontos visitados em campo.

31/05/22	DESCRIÇÃO DE CAMPO	COLETA	ALT.	PROFUNDIDADE PERFIL	HOR.
Pt. 0	Deposicional escuro, alto teor de matéria orgânica, paredão rochoso a montante.	Não	985m	-	-
Pt. 1	Horizonte B Latossolo transição para Argissolo.	Sim, ambas	1.022 m	175cm+	A, BA, B, BC
Pt. 2	Latossolo com agregados individuais grandes ao longo do perfil.	Sim, ambas	934m	160cm+	A, 1Bw, 2Bw
Pt.3	Argissolo, posição de sopé da encosta.	Sim, ambas	744m	193cm	A,1B, 2B
07/06/22	DESCRIÇÃO DE CAMPO	COLETA	ALT.	PROFUNDIDADE PERFIL	HOR.
Pt. 4	Horizonte C de solo latossólico. Terço superior da encosta, distando 20m de depósito de talus.	Somente indeformada	965m	Não foi medido	C
Pt. 5	Cambissolo, estrutura microagregada onde acima era Latossolo.	Sim, ambas	943m	210cm+	A, B, BC
Pt.6	Latossolo. Material de origem: colúvio fino e homogêneo. Pouco horizonte A.	Sim, ambas	819m	170cm	A, Bw, Bw/Bt
Pt. 7	Próximo à rampa de colúvio e depósito de talus.	Não	900m	-	-
Pt. 8	Perfil de Argissolo no Condomínio Sto. Antonio da Providência.	Não	850m	-	-

Fonte: A autora, 2022.

Dessa maneira, com a coleta de amostras tendo sido realizada em 6 dos 9 pontos visitados, somente eles serão considerados para os resultados. De forma que os pontos 1 a 6 foram coletados obedecendo as localizações na vertente topo-meio-base no perímetro da bacia, a Figura 49 retrata a catena simulada das posições nos pontos na encosta.

Figura 49 - Catena de solos elaborada a partir das cotas de altitude dos pontos levantados em campo.



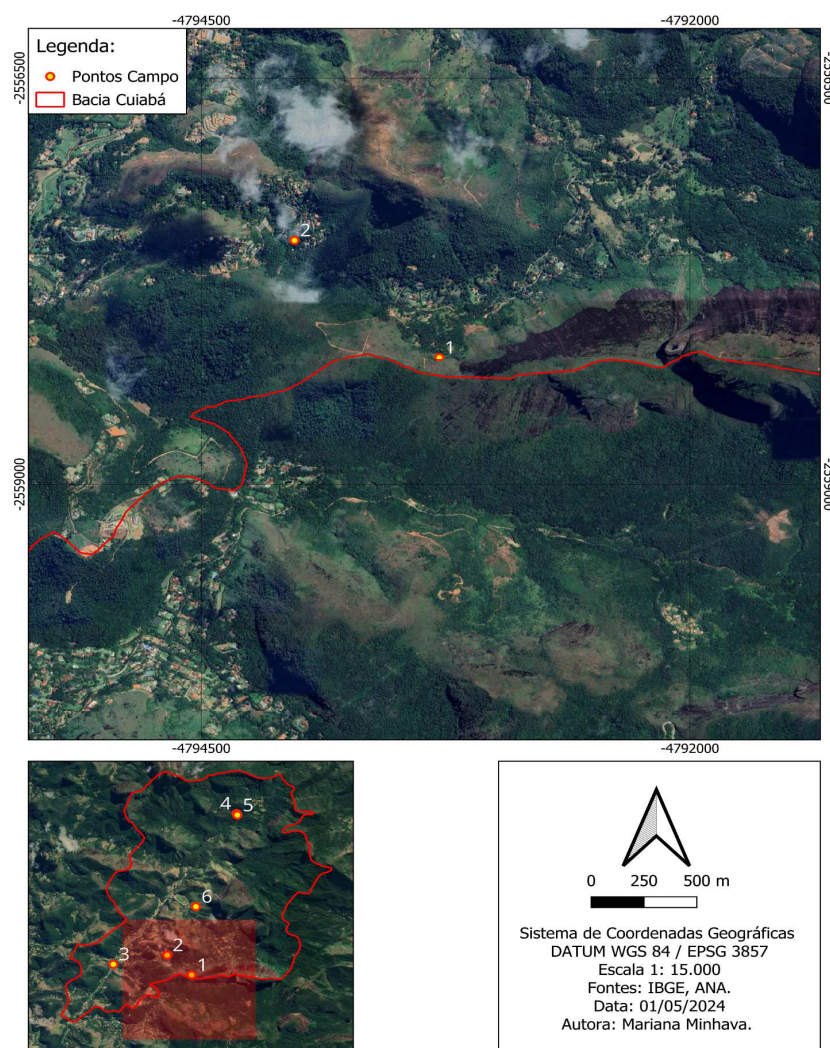
Legenda: 1: Latossolo Vermelho-Amarelo; 2: Latossolo Vermelho-Amarelo; 3: Argissolo Vermelho-Amarelo; 4: Latossolo; 5: Cambissolo Háplico; 6: Latossolo Vermelho-Amarelo.

OBS: O perfil acima foi elaborado com exagero de 10 vezes.

Fonte: A autora, 2024.

No Ponto 1 (Figura 50) foram coletadas 4 amostras deformadas para análise morfológica. Se tratava de uma vertente dentro de uma propriedade que apresentava um túnel recém-descoberto pelos locais, o que acabou ajudando na coleta do perfil. Este ponto estava a sul na Bacia, próximo ao sopé de um afloramento com altimetria de cerca de 1700 metros, sendo uma área deposicional.

Figura 50 - Localização do ponto 1.



Fonte: IBGE, 2023; ANA, 2022.

Apresentava 4 horizontes, sendo 2 bem demarcados (A entre 0 e 35cm; e B entre 70cm e 120 cm) e 2 transicionais (BA entre 35 e 70 cm e BC entre 120 e 175 cm). O perfil tinha 175cm quando escavado (Figura 51).

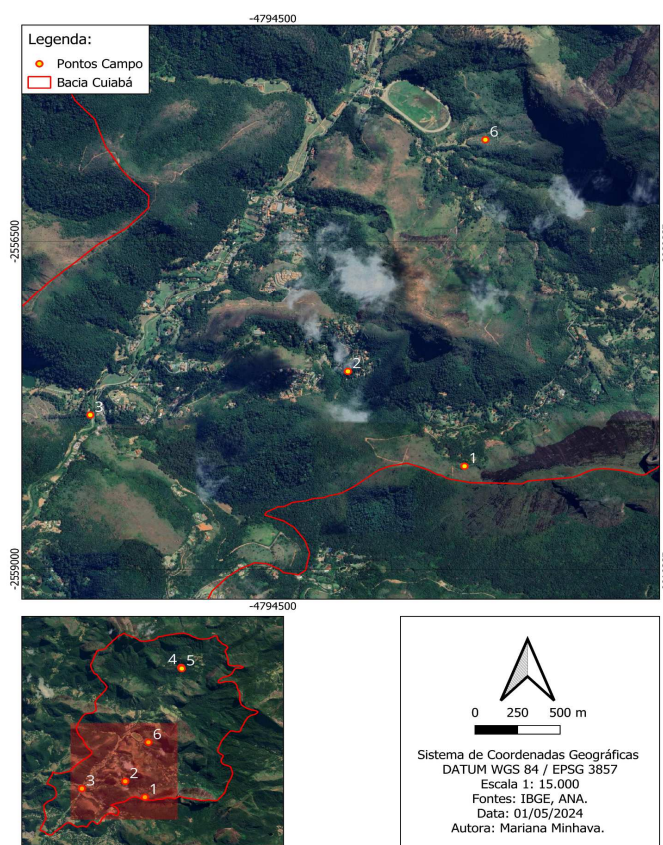
Figura 51 - Abertura do perfil do ponto 1.



Fonte: A autora, 2022.

O ponto 2 está a cerca de 1 km a noroeste do ponto 1 (Figura 52), numa cota 100 metros abaixo desse. Neste ponto foram coletadas três amostras deformadas para análise morfológica dos dois horizontes identificados em campo, bem demarcados (A coletado entre 25 e 30 cm; e Bw entre 70/75 cm e 125/130 cm).

Figura 52 - Localização do ponto 2.



Fonte: IBGE, 2023; ANA, 2022.

O perfil tinha 160cm quando escavado (Figura 53). É possível identificar uma transição irregular entre o horizonte A e o primeiro horizonte Bw.

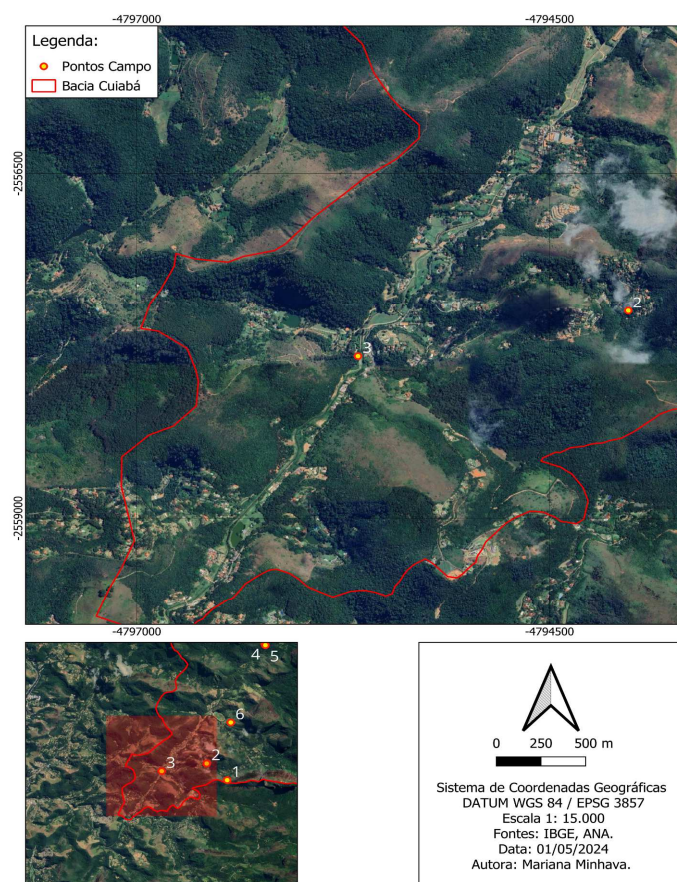
Figura 53 - Abertura do perfil no ponto 2.



Fonte: A autora, 2022.

O ponto 3 situa-se a cerca de 1,5 km a sudoeste do ponto 2. De todos os locais visitados, este era o mais próximo do rio Cuiabá, principal canal de drenagem (Figura 54), localizado na margem direita.

Figura 54 - Localização do Ponto 3.



Fonte: A autora, 2022.

Neste ponto foram coletadas 3 amostras deformadas para análise morfológica. Apresentava 2 horizontes bem demarcados (A coletado entre 10 e 14cm; e B entre 51/56 cm e 2° B entre 125/130 cm). O perfil tinha 193cm quando escavado (Figura 53) e encontra-se em posição de sopé de encosta, próximo ao Sítio Santa Cecília.

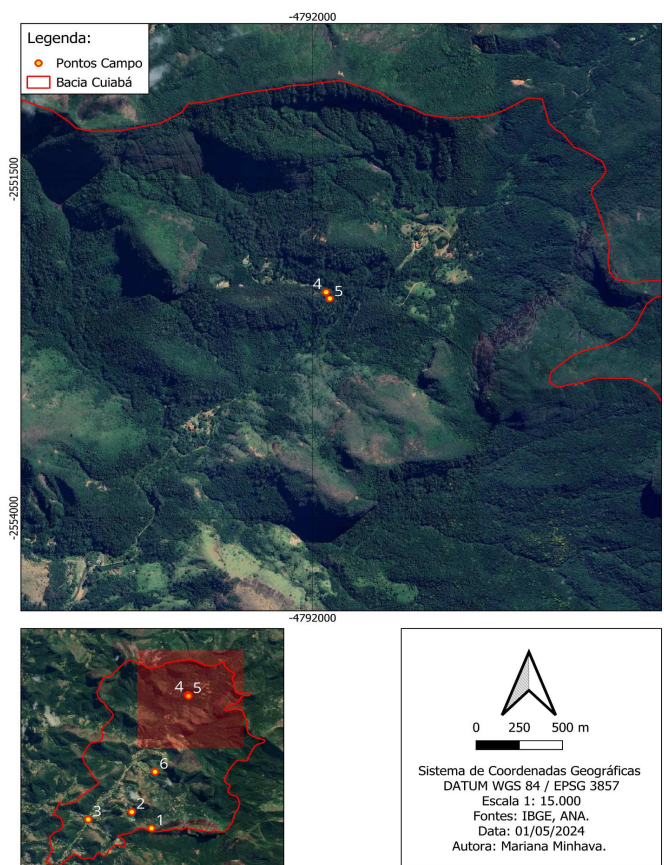
Figura 55 - Abertura do perfil no Ponto 3.



Fonte: A autora, 2022.

No segundo turno de visitas de campo, foram realizadas paradas em áreas mais ao norte da Bacia, de região mais acidentada, com coleta de materiais em 3 deles. O primeiro foi o ponto 4 que teve como papel a obtenção de uma amostra extra da vertente acima do ponto 5, para fins de análise micromorfológica apenas. Logo abaixo, o Ponto 5, próximo à pousada Tankamana (Figura 56).

Figura 56 - Localização do Ponto 5.



Fonte: A autora, 2022.

Foram coletadas 3 amostras deformadas para análise morfológica. Apresentava 3 horizontes, sendo 2 deles bem demarcados (A coletado entre 10 e 15 cm; e B entre 60/80 cm) e um transicional BC (coletado a 130/150 cm). O perfil tinha 210cm quando escavado (Figura 55).

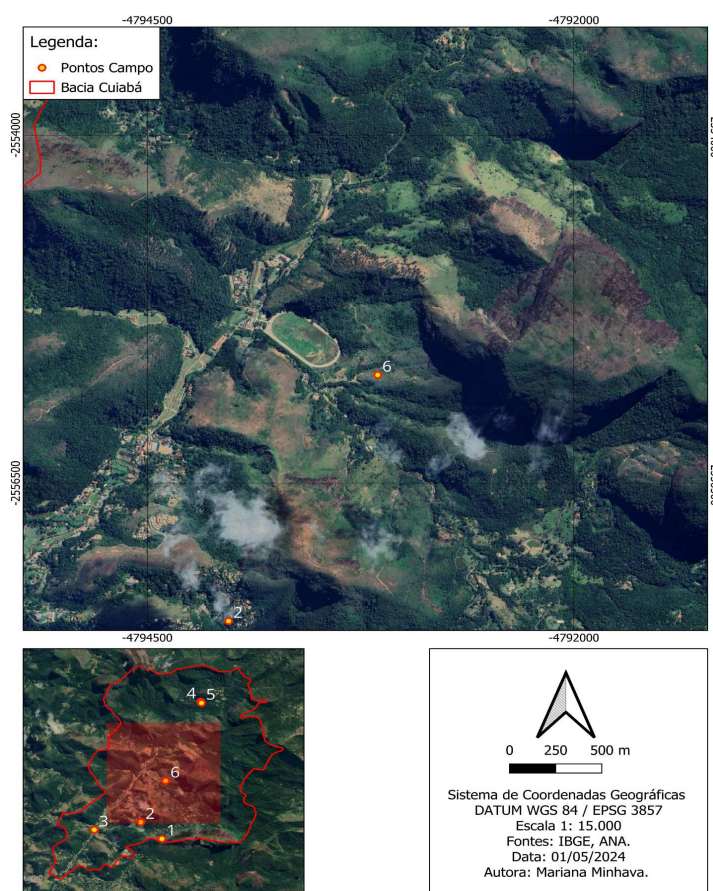
Figura 57 - Perfil de Cambissolo definido como Ponto 5.



Fonte: A autora, 2022.

O ponto 6 se situa próximo ao centro geométrico da Bacia do Cuiabá, distante cerca de 3,3 Km do ponto 5 (Figura 58).

Figura 58 - Localização do Ponto 6.

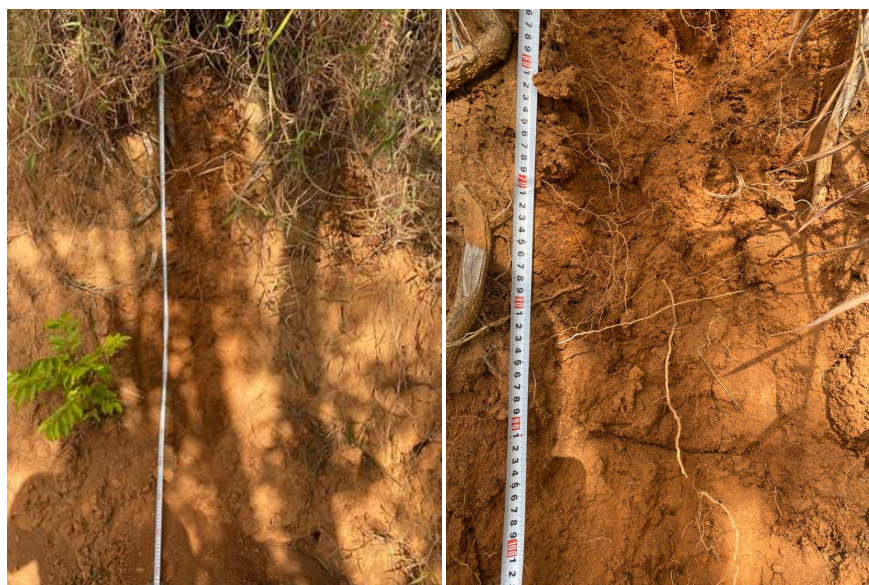


Fonte: IBGE, 2023; ANA, 2022.

Foram obtidas 3 amostras deformadas de solo na localidade conhecida como “Montanha azul”, sendo identificadas em campo como horizontes A (0/10 cm) incipiente, Bw (35/55 cm) e transição entre Bw/Bt (110/120 cm) num perfil de 170 cm.

Pela análise de campo, foi possível definir como um perfil da ordem dos Latossolos com material de origem de colúvio fino e homogêneo (Figura 57).

Figura 59 - Perfil do Ponto 6.



Fonte: A autora, 2022.

5.2.3 Dados Fisico-químicos: Granulometria e dados Secundários

Nesta próxima etapa do estudo, as amostras foram examinadas para identificação de características que permitam classificá-las quanto às suas propriedades como cor, estrutura, consistência, ou seja, sua morfologia e sua granulometria. Tais fatores permitem identificar os tipos de solo trabalhados, assim como identificar atributos que indiquem uma maior suscetibilidade desses solos a processos disruptivos.

As análises morfológica e granulométrica foram realizadas nas amostras deformadas no Lagefis (Laboratório de Geografia Física da UERJ), seguindo as metodologias indicadas nos manuais de Descrição e Coleta de Solo no Campo (LEMONS E SANTOS, 2015) e a tabela de cores de Münsell (1994).

A análise morfológica indicará aspectos mais facilmente observáveis em campo e posteriormente aprofundadas no laboratório. Neste caso, levou em conta os aspectos:

- cor da amostra seca e úmida, com base na carta de cores Münsell para solos (1994);
- estrutura, que corresponde ao padrão de arranjo das partículas do solo quanto ao tamanho, grau e forma;

- consistência que representa as forças de coesão entre as partículas do solo e a aderência entre as partículas e outros materiais, quando seco, úmido e molhado;
- porosidade, pela simples medição e descrição do tamanho dos poros;
- descrição das raízes quanto a sua presença e diâmetro;

Os 5 pontos onde houve coleta de material deformado foram analisados de acordo com os resultados da análise morfológica e tabelados.

A granulometria foi realizada em duas etapas: a primeira foi a separação dos calhaus através de destorroamento das amostras e peneiramento em água corrente para eliminação de raízes e elementos grosseiros não minerais. Os calhaus foram colocados em vidros com solução de 10 mL de NaOH e posteriormente completadas com água destilada. Mais uma vez, lavados e reservados para fração grosseira do solo.

Para análise granulométrica, foram consideradas as 16 amostras deformadas dos 5 pontos de coleta de campo. Iniciou-se a primeira etapa com 20mg de solo em um copo de plástico de 250 ml, adicionando-se 100 mL de água deionizada e 10 mL de solução normal de hexametáfosfato de sódio (calgon). As amostras foram agitadas com bastão de vidro e repousaram por 24h cobertas com um vidro de relógio (Figura 60).

Figura 60 - Amostras repousando por 24h na primeira etapa.

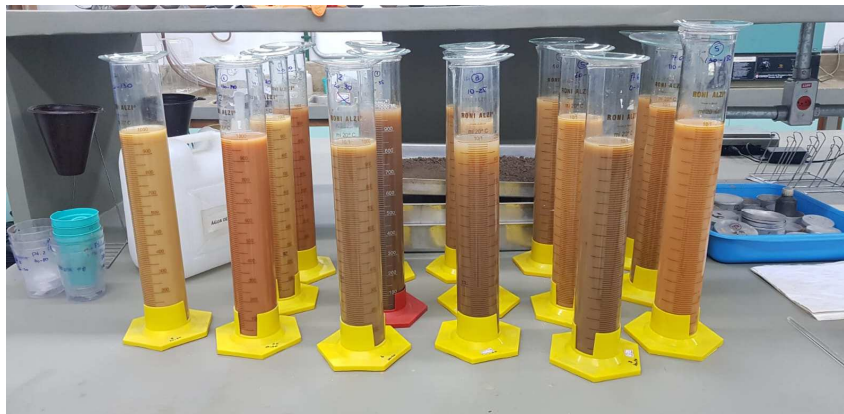


Fonte: A autora, 2023.

No dia seguinte as amostras foram batidas e passados 15 minutos, foram submetidas ao peneiramento com malha de 0,053mm (n° 270) sobre um funil apoiado em suporte com uma proveta de 1000 mL embaixo. O conteúdo retido na peneira foi lavado com água deionizada e reservado para verificação da quantidade de areia, em béqueres pesados previamente.

O conteúdo da proveta foi completado até 1000 mL e mais uma vez, ficou em repouso tampada com vidro de relógio (Figura 61).

Figura 61 - Amostras em provetas de 1000mL após peneiramento.



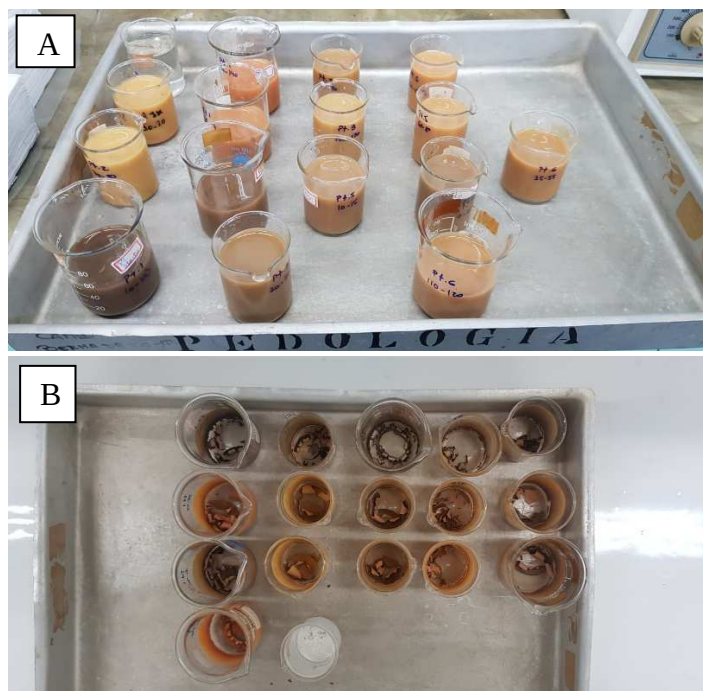
Fonte: A autora, 2023.

No terceiro dia de análise, foi preparada a prova em branco para aferição da temperatura para o tempo de sedimentação da argila. A amostra estava em 23°C, o que de acordo com a tabela do manual da Embrapa, levaria 3h43' para coleta das amostras após serem agitadas por 20 segundos com um bastão e com intervalos de cerca de 3 minutos entre cada amostra.

Findo esse tempo, foram colhidas com o auxílio de uma pipeta 50 mL, 16 amostras e 1 amostra da prova em branco, depositadas em seus respectivos béqueres. Foram levados à estufa a 105°C e passaram a noite (Figura 62A).

No quarto dia, os béqueres foram retirados da estufa e levados ao dessecador para posterior pesagem da fração de argila (Figura 62B).

Figuras 62 – Preparação das argilas para a estufa



Legenda – (A) Os béqueres antes de irem para a estufa.

(B) Os béqueres após a secagem.

Fonte: A autora, 2023.

Nesse mesmo dia, a fração de areia foi peneirada em peneira nº 70 de 20cm de diâmetro e malha 0,2 mm e separadas em areia grossa e fina em recipientes diferentes.

Ao fim de todas as pesagens e cálculos, serão obtidas as frações areia, silte e argila, desconsiderando-se o conteúdo de calgon adicionado.

Essa etapa é importante para compreender parte da identidade dos solos estudados. Saber o percentual das frações dos horizontes auxilia na compreensão do perfil, como em relação a descontinuidades texturais, desenvolvimento dos horizontes e mesmo a permeabilidade dos perfis, fatores que podem levar à deflagração de movimentos de massa ou mesmo a presença de materiais identificados como colúvios, o que evidencia a ocorrência dos processos disruptivos.

5.2.4 Classificação dos perfis de solo

Para a classificação dos perfis de solo selecionados em campo, foram necessárias etapas que fornecessem dados de forma que fosse realizada uma classificação segura. A primeira etapa consiste na observação da paisagem e local onde se insere o ponto do perfil. A posição na vertente pode indicar e/ou confirmar dados posteriormente obtidos em laboratório, já que o relevo condiciona o escoamento superficial e a drenagem, além de influenciar no tempo de exposição dos materiais ao intemperismo (CAMPOS et al., 2010).

Além da paisagem, as análises de campo e os dados de laboratório como morfologia e granulometria colaboram para a confirmação de características que serão consideradas nessa classificação.

Por fim, dados do Pronasolos (EMBRAPA, 2022) como mapa de solos do município em escala 1:250.000, ainda que uma escala sem muitos detalhes, contribuiu para a consideração de características gerais da região. E principalmente, os dados do mapa de solos de Botelho (1996) com atualizações taxonômicas, visto que a primeira edição do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SIBCS) data de 1999 e desde então recebeu algumas atualizações, sendo a última em 2018.

- Coloração dos solos: Geralmente as cores são fundamentais para a definição do 2º nível categórico, sendo classificados como amarelos (solos onde o horizonte B apresenta cores amareladas) e vermelho-amarelos (solos com cores vermelho-amareladas no horizonte B);
- Granulometria: composição granulométrica do horizonte B identificados em grupamentos texturais, baseados nos padrões de Lumbreras et al., (2001): textura muito argilosa (mais de 600g/kg de argila), argilosa (350g a 600g de argila/kg), média (350g/kg de argila e mais de 150g/kg de areia) e textura arenosa para as classes texturais areia e areia franca.
- Relação silte-argila: divide-se o teor de silte pelo de argila, obtidos na granulometria, para contribuir na identificação dos estágios de intemperismo dos solos.
- Horizontes diagnósticos subsuperficiais: foram identificados e descritos os horizontes subsuperficiais essenciais na definição de algumas classes de solo. Foram classificados como B textural horizonte subsuperficial de evidências de acumulação, sendo necessário o cálculo da relação textural para analisar esse ganho de argila. Foram

classificados como B latossólicos – horizontes de grande espessura (50cm), estágios avançados de intemperismo e presença de microestrutura granular.

- Posicionamento dentro da morfologia: considerou-se tanto a declividade, posição dentro da vertente como topo de vertente, meio de vertente e base de vertente e formato da vertente.

Dessa forma, em campo foi realizada preliminarmente a identificação das ordens, ou seja, a classificação dos solos no 1º nível categórico, posto que esse por definição da SIBCS (2018) possui presença ou ausência de atributos, horizontes diagnósticos ou propriedades visíveis em campo, como está nas anotações de caderneta de campo na Tabela 2.

Os critérios para a classificação dos solos no presente estudo, seguiu o que preconiza o Manual da SIBCS (2018), onde se discrimina o que se determina dos tipos de solo:

- Argissolos: Solos minerais, com horizonte B textural (Bt), caracterizado por aumento da fração argila em relação ao horizonte A subjacente, com argila de baixa atividade. São predominantemente caulíníticos, com um evidente incremento no teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B, com ou sem decréscimo nos horizontes subjacentes. A transição entre os horizontes A e Bt é usualmente clara, abrupta ou gradual. São geralmente bem drenados, de textura média/argilosa (Saraiva, 2021).

- Cambissolos: Solos constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente subjacente ao horizonte superficial. Têm sequência de horizontes A, Bi, C, com ou sem R. Devido à heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, as características destes solos variam muito de um local para outro. O horizonte B incipiente (Bi) tem textura franco arenosa ou mais argilosa, e o solum geralmente apresenta teores uniformes de argila, podendo ocorrer ligeiro decréscimo ou um pequeno incremento de argila do A para o Bi. Admite-se diferença marcante de granulometria do A para o Bi em casos de solos desenvolvidos de sedimentos aluviais ou outros casos em que há descontinuidade litológica ou estratificação do material de origem.

- Latossolos: Compreende solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, exceto hístico. São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, em resultado de enérgicas transformações no material constitutivo. O incremento de argila do A para o B é pouco expressivo ou inexistente, e a relação textural B/A não satisfaz aos requisitos para B textural. Apresentam horizonte B latossólico (Bw)

imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A dentro de 200 cm a partir da superfície ou dentro de 300 cm, se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura.

- Neossolos: São os solos constituídos por material mineral ou por material orgânico de pouca espessura que não apresenta alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja pelo próprio material de origem (como maior resistência ao intemperismo ou composição químico-mineralógica), seja em razão da influência dos demais fatores de formação que podem impedir ou limitar a evolução dos solos. Em suma, são solos constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando nenhum tipo de horizonte B diagnóstico (SIBCS, 2018).

Dessa forma, os solos classificados através das amostras coletadas em campo foram identificados dentro das características da 1ª ordem de classificação, de acordo com o descrito acima. Para identificação de áreas onde não foram coletados materiais e apenas foram realizadas visitas, o mapa de solos de Botelho (1996) foi considerado como base referencial junto às características de declividade do terreno, o que culminou no croqui de solos destacado no item.

5.3 Micromorfologia dos solos

A micromorfologia, principal ferramenta de análise a que se refere essa tese, é um método de estudo microanalítico do solo destinado a interpretação relativa à gênese, morfologia, classificação, comportamento e evolução dos solos (CASTRO e COOPER, 2019). Para que ela seja possível, é necessário um processo que demanda cuidado no manuseio de suas amostras, desde o campo até o laboratório, posto que a não deformação das amostras é o objetivo para contemplar a análise que se propõe. Dessa forma, serão descritas as etapas subsequentes que explicarão como esse trabalho se deu.

5.3.1 Coleta, impregnação e elaboração das lâminas

As amostras para a confecção de lâminas delgadas foram coletadas conforme o apresentado na Figura 64. São coletados torrões orientados com estrutura preservada. O armazenamento foi feito em caixas de papel cartão em forma de cubo aberto com 4 cm em cada vértice. As caixas foram posicionadas sob o torrão para que após a escavação gradual, ele não se desfizesse. Após sua retirada, as caixas foram seladas com plástico filme (Figura 63) para manter suas características.

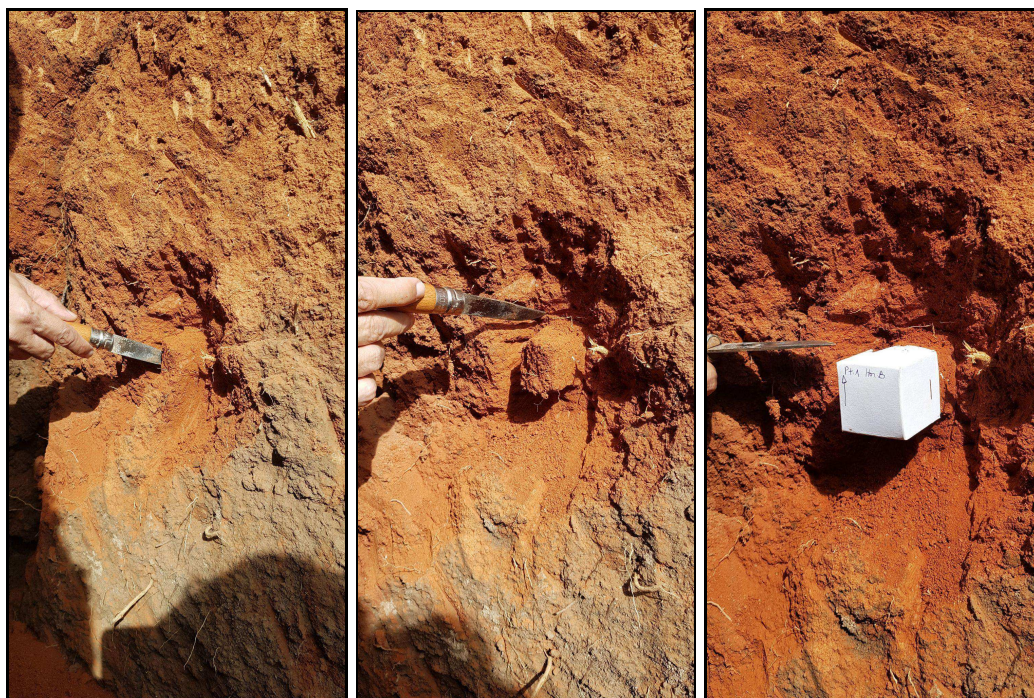
Figura 63 - Uma das amostras indeformadas, protegidas pela caixa em papel cartão e o plástico filme.



Fonte: A autora, 2023.

Todas as amostras foram devidamente identificadas com informações sobre horizonte coletado, profundidade aproximada e a orientação do torrão no perfil. A amostra da Figura 64 foi coletada na primeira visita, no ponto 1.

Figura 64 - Demonstração da retirada do torrão de solo do perfil para análise micromorfológica.

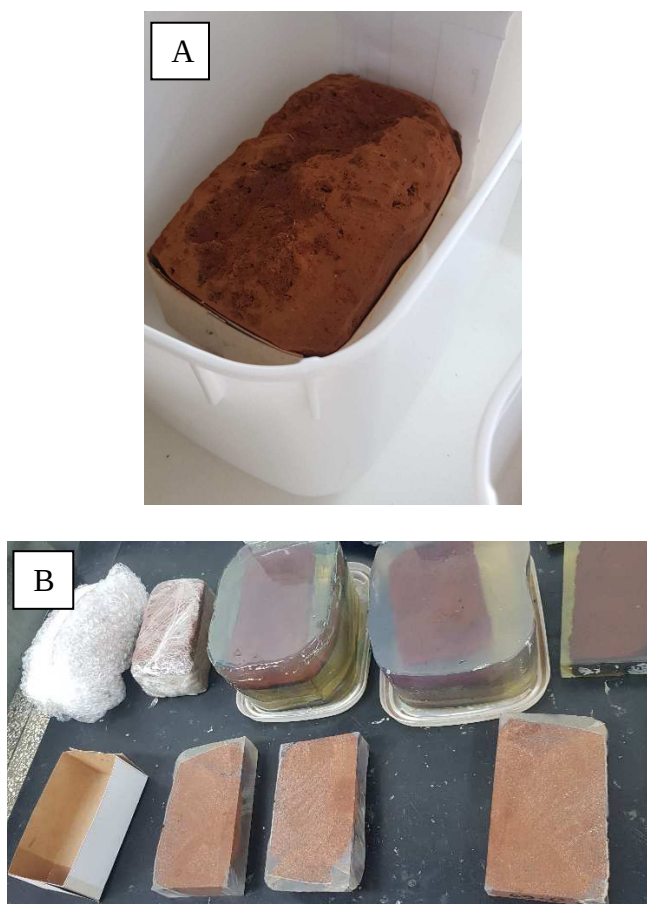


Fonte: A autora, 2022.

Todos os 6 pontos tiveram a coleta de amostras indeformadas, totalizando 17 amostras. À época do trabalho, por questões técnicas e decorrentes do fim do período pandêmico, não foi possível a confecção das lâminas na UERJ. Dessa maneira, as amostras foram levadas para a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ-USP) em Piracicaba, onde possuem um laboratório avançado para tal fim.

Acondicionadas em caixas de papel cartão, não foi necessária sua retirada para iniciar o processo de impregnação. As amostras foram acondicionadas em caixas plásticas (semelhantes a potes de sorvetes, retangulares- Figura 65A) para secagem estufa a cerca de 40°C com porta entreaberta para secagem lenta. Posteriormente, partimos para a impregnação com resina. Ela, consiste na mistura de resina de poliéster com monômero de estireno, catalisador butanox e 5g de pigmento orgânico fluorescente. Essa mistura é gradualmente vertida nas caixas com as amostras, sem molhar as amostras diretamente, formando um filme no fundo da caixa e levando ao dissecador com sistema de vácuo para que a resina ascenda por capilaridade. Desta forma, o processo de adição de resina e retorno ao dissecador é repetido para que a resina impregne totalmente nas amostras. Para a realização das amostras, levou-se mais de uma semana posto que eram 17 delas.

Figura 65 – Amostra indeformada iniciando o processo para a confecção das lâminas delgadas.



Legenda: (A) Caixa retangular para impregnação gradual da amostra de solo com resina, onde já se nota uma frente de umedecimento.

(B) Amostras endurecidas pela resina e já iniciando os cortes dos blocos para polimento.

Fonte: A autora, 2023.

Finalizada a impregnação e já endurecidas, as amostras foram levadas para a estufa a 40°C por 3 dias consecutivos. Como não se tratava de argilas expansíveis, não houve formação de rachaduras nas amostras. Um cuidado que sempre é tomado é a secagem lenta para que mesmo as argilas 1:1 não se quebrem.

Na próxima etapa, houve a confecção de blocos polidos para a elaboração das lâminas delgadas. Os blocos foram cortados em fatias de aproximadamente 10 mm de espessura (Figura 66) com a serra de disco diamantado, sempre realizando um pequeno corte na aresta que indica o norte da amostra.

Figura 66 - Corte e polimento de um dos blocos usados.



Fonte: A autora, 2023.

Após o corte, se iniciou o desbaste dos blocos para serem colados às lâminas petrográficas. A colagem foi realizada em cada uma das amostras e para que possa ser realizado o desbaste, esperou-se 24h para a fixagem.

Com as amostras já coladas nas lâminas, iniciou-se o processo de desbaste na politriz e posteriormente, com abrasivo de média a baixa granulação (Figura 67) e depois com lixa de óxido de alumínio para eliminação de quaisquer irregularidades até que os minerais estejam em conformidade para visualização no microscópio ou seja, até os grãos de quartzo que se apresentam multicoloridos no início da luz polarizada cruzada se tornarem brancos. Ao final, as lâminas ficam com cerca de 25 μ m a 30 μ m de espessura.

Figura 67 - Polimento da lâmina com peça abrasiva.



Fonte: A autora, 2023.

5.3.2 Descrição das lâminas

Foi utilizado um Microscópio Óptico de Fluorescência – Zeiss Axio Imager 2 do laboratório de Paleontologia da Faculdade de Geologia da UERJ (Figuras 66 a e b) para leitura das lâminas assim como para obtenção das imagens (microfotografias).

Figura 68 - Análise das lâminas e obtenção das microfotografias no microscópio óptico.



Fonte: A autora, 2023.

A descrição micromorfológica seguiu as normas descritas em Bullock et al., (1985) e Castro e Cooper (2019). Foram preenchidas fichas para auxiliar na obtenção de dados que podem ser visualizadas no Anexo B. Nem todos os dados obtidos foram utilizados neste trabalho, desta forma sendo basicamente utilizados dados sobre as frequências de frações grossa e fina, quantidade de poros e suas morfologias, achados como nódulos, feições pedológicas (revestimentos, preenchimentos, excrementos), microestrutura, distribuição relativa, grau de pedalidade e tipo de agregados encontrados. Da fração grossa, examinadas suas morfologias e padrões de alteração; da fração fina, sua limpidez e orientação.

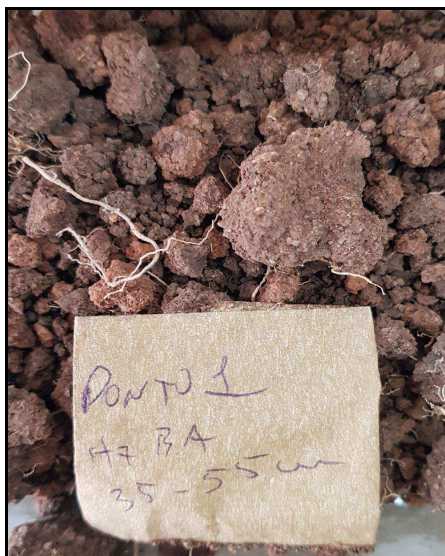
6 RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos nas análises morfológica, granulométrica e micromorfológica dos 6 pontos de coleta de amostras da Bacia do Vale do Cuiabá. Por questões de organização do capítulo, as duas primeiras análises ficarão no mesmo subcapítulo.

6.1 Análises morfológica e granulométrica

No ponto 1, a cor nos revela tanto os processos pedogenéticos como possibilita uma classificação, posto que é uma indicação dos compostos orgânicos ou inorgânicos presentes no manto de alteração (RIBEIRO et al., 2015). De acordo com a carta de cores de Münsell para solos (1994), o horizonte A apresenta a coloração 7,5 YR 3/3 (bruno escuro) e enquanto úmido, 7,5YR 2,5/2, bruno muito escuro, posto que acumula matéria orgânica proveniente do horizonte O; o transicional BA, cuja cor predominante é o 7,5YR 4/4 (bruno) e o mosqueado 7,5YR 5/6 (bruno forte) na amostra seca (Figura 69 e Tabela 3).

Figura 69 - Amostra deformada do horizonte AB do Ponto 1.



Fonte: A autora, 2023.

O horizonte B apresenta coloração quando seco vermelho-amarelado (5YR 5/8) e úmida vermelho escuro (2,5YR 3/6), o que pode ser indício da presença de óxidos de ferro livre e condições de boa drenagem (RIBEIRO et al., 2015). Este horizonte apresentava-se mais estruturado, classificado como dos Latossolos Vermelhos Amarelos (LVA2). BC possui coloração vermelho-amarelado (5YR 5/8 seco) e vermelho (2,5YR 4/8 úmido).

Tabela 3 - Resultados da análise morfológica das amostras coletadas.

HORIZONTE	PROFUNDIDADE (cm)		COR*		ESTRUTURA		CONSISTÊNCIA				POROS		RAÍZES	
	Intervalo	Coleta	Seca	Úmida	Tamanho	Grau	Forma	Seco	Úmido	Molhado	Quantidade	Tamanho	Quantidade	Diâmetro
PONTO 1 Latossolo Vermelho-Amarelo														
A	0-35	10-15	7,5 YR 3/3	7,5 YR 2,5/2	Peq.	Mod.	Gran.	Lig.D	Firme	Ñ.Pla/ Lig.Peg	Muitos	Até 3 mm	Muitas	Médias
BA	35-70	35-55	7,5 YR 4/4 e 7,5 YR 5/6	7,5 YR 5/8 e 7,5 YR e 2,5/3	Peq.	For.	Bl.Sub .	Dura	Fri.	Lig.Pla/ Lig.Peg	Muitos	Entre 1mm e 2mm	Comuns	Muito Finas
B	70-120	70-90	5 YR 5/8	2,5 YR 3/6	Peq.	Mod.	Bl.Sub .	Lig.D .	M.Fri.	Pla/Lig.Pe g	Comuns	Entre 1mm e 2 mm	Poucas	Muito Finas
BC	120- 175	126- 130	5 YR 5/8	2,5 YR 4/8	Méd.	Fra.	Bl.Sub	Mac.	M.Fri.	Pla/Lig.Pe g	Comuns	Entre 1mm e 2mm	Poucas	Muito Finas
PONTO 2 Latossolo Vermelho-Amarelo														
A	0-50	25-30	10 YR 4/6	10YR 3/4	Peq.	Fra.	Bl.Sub e Gru.	Lig.D .	Fri.	Lig.Pla/ Ñ.Peg	Muitos	Entre 1mm e 2 mm	Comuns	Muito Finas
1Bw	50-110	70-75	10 YR 7/8	7,5 YR 6/8	Peq.	Fra.	Bl.Sub .	Lig.D .	M.Fri.	Pla/Peg	Poucos	<1mm	Raras	Muito Finas
2Bw	110- 160	125- 130	10YR 7/8	7,5 YR 7/8	Peq.	Fra.	Bl.Sub .	Dura .	Fri.	Pla/Peg	Poucos	<1mm	Raras	Muito Finas
PONTO 3 Argissolo Vermelho-Amarelo														
A	0-50	10-14	10 YR 6/3	10 YR 4/4	Méd.	Mod.	Gran	Dura	Firme	Ñ.Pla/Ñ.P eg	Muitos	Entre 2mm e 5 mm	Comuns	Muito Finas
1B	50-120	51-56	10 YR 5/8	7,5 YR 4/6	Méd.	Mod.	Bl.Sub .	Mui. D	Fri.	Lig.Pla/Li g.Peg	Comuns	Entre 1mm e 2mm	Comuns	Finas
2B	120- 193	125- 130	10 YR 6/6	10 YR 4/6	Méd.	Mod.	Bl.Sub	Lig.D	Fri.	Lig.Pla/Li g.Peg	Poucos	Entre 1mm e 2mm	Comuns	Muito Finas
PONTO 5 Cambissolo Háplico														
A	0-60	10-15	10 YR 5/6	10 YR 3/4	Méd.	For.	Gran.	Lig.D .	Fri.	Lig.Pla/Li g.Peg	Comuns	<1mm	Muitas	Muito Finas
B	60-130	80-86	7,5 YR 7/8	7,5 YR 5/8	Méd.	Mod.	Gran.	Mac.	M.Fri	Lig. Pla/Lig.Pe g	Comuns	Entre 1mm e 2mm	Poucas	Muito Finas

BC	130-210	140-150	7,5 YR 7/8	5 YR 6/8	Méd.	Fra.	Gran.	Mac.	Fri.	Lig.Pla/Li g.Peg	Poucos	Entre 1mm e 2mm	Poucas	Muito Finas
PONTO 6 Latossolo Vermelho-Amarelo														
A	0-40	5-10	10 YR 4/4	7,5 YR 3/4	Peq/Méd.	Fra.	Bl.Sub /Gran e Gru	Mac.	Sol.	Ñ.Pla/Ñ.P eg	Muitos	Entre 2mm e 5mm	Muitas	Muito Finas
Bw	40-100	45-50	7,5 YR 6/6	7,5 YR 5/6	Méd.	Fra.	Gran.	Mac.	M.Fri.	Pla/Lig.Pe g	Comuns	Entre 2mm e 5mm	Comuns	Finas
Bw/Bt	100-170	105-110	7,5 YR 6/6	7,5 YR 5/8	Méd.	Mod.	Bl.Sub	Mac.	Fri.	Pla/Lig.Pe g	Poucos	Entre 1mm e 2mm	Poucas	Finas

Legenda: Peq- Pequeno; Méd- Médio; Fra- Fraca; Mod- Moderada; For- Forte; Bl.Sub- Blocos Subangulares; Gran- Granular; Grum- Grumosa; Mac- Macia; Lig.D- Ligeiramente Dura; Mui.D- Muito Dura; Sol - Solta; M. Fri - Muito friável; Fri - Friável; Ñ. Pla - Não plástica; Lig. Pla - Ligeiramente plástica; Pla - Plástica; Ñ. peg - Não pegajoso; Peg - Pegajoso. * As cores serão apresentadas ao longo dos textos de descrição dos respectivos horizontes.

Fonte: A autora, 2023

Esse perfil apresentou horizontes com textura média na sua metade superior (A e BA) e argilosa na metade inferior (B e BC). Sua estrutura apresentava-se com forma granular no horizonte mais superficial, sendo todos os outros compostos por blocos subangulares. De tamanhos pequenos, com exceção do horizonte BC. Aqui era possível identificar agregados individuais muito grandes, com mais de 50mm. Quanto ao grau da estrutura, os horizontes transicionais apresentavam o índice forte, enquanto os horizontes A e B, moderados.

A porosidade maior no horizonte superficial A, com poros de até 3mm; nos outros três ela já se apresentava com poros menores, entre 1mm e 2 mm, o que corresponde a sua textura mais diversificada nos horizontes superficiais assim como estrutura granular e mais argilosa e de blocos subangulares nos mais profundos.

O horizonte A apresentou consistência quando seco, ligeiramente dura, quando úmido, firme e quando molhado, não plástico e ligeiramente pegajoso. A consistência da amostra seca nos horizontes A e B apresentou-se ligeiramente dura, BA dura e BC, macia; já com as amostras úmidas, havia uma evolução do A sendo firme, BA friável, e B e BC, muito friáveis. Por fim, com as amostras molhadas, também houve evolução da plasticidade, onde A apresentou-se não plástico, BA ligeiramente plástico e B e BC, plásticos. Aqui, pode-se inferir que o teor de argila aumentaria com a profundidade. Todos os horizontes apresentaram-se ligeiramente pegajosos, o que confirma presença substancial de argila.

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos com a análise granulométrica das amostras de horizontes coletadas durante as visitas de campo descritas.

Tabela 4 - Análise Granulométrica das amostras coletadas.

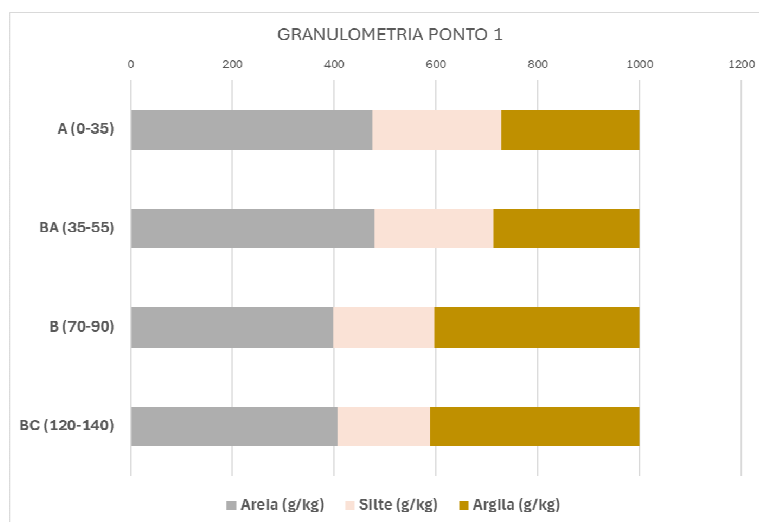
PONTO 1 Latossolo Vermelho-Amarelo				
	Cascalho(g)	Areia (g/kg)	Silte (g/kg)	Argila (g/kg)
A (0-35)	3,42 / 1,14%	475	254	271
BA (35-55)	7,36 / 1,58%	480	233	287
B (70-90)	4,3 / 0,87%	398	199	403
BC (120-140)	8,16 / 1,22%	407	181	412
PONTO 2 Latossolo Vermelho-Amarelo				
A (20-30)	1,89 / 0,44%	450	131	419
Bw (70-80)	6,77 / 1,52%	334	116	550
2Bw (120-130)	7,19 / 1,53%	372	119	509
PONTO 3 Argissolo Vermelho-Amarelo				
A (10-25)	1,06 / 0,26%	605	269	126
B (55-70)	8,65 / 1,23%	516	169	315
2B (120-130)	3,51 / 0,75%	347	156	497
PONTO 5 Cambissolo Háplico				
A (10-15)	31,55 / 4,93%	564	158	278
B (60-80)	80,81 / 9,5%	420	183	397
BC (130-150)	42,36 / 6,32%	480	175	345
PONTO 6 Latossolo Vermelho-Amarelo				
A (0-10)	6,53 / 1,23%	520	160	320
Bw (35-55)	11,26 / 1,79%	385	163	453
Bw/Bt (110-120)	6,14 / 1%	374	150	476

Fonte: A autora, 2023.

Segundo a Figura 70, a classificação textural é gradual ao longo do perfil, passando de franco-argilo-arenosa na primeira metade para argilosa na metade inferior. Essa transição é bem demarcada quando se analisam os teores de argila que vão de 271 g/kg no horizonte A, 287g/kg no BA, 403g/kg no B e, finalmente, 412g/kg em BC (Tabela 4). Em contrapartida, os teores de areia diminuem de acordo com a profundidade, passando de 475 g/kg no horizonte A, 480g/kg no AB, 398g/kg no B e, 407g/kg em BC, assim como o de silte que atinge seu maior índice no horizonte A com 254 g/kg, vai a 233g/kg no B/A, 199g/kg no B e o menor sendo 181g/kg em BC. A alteração na classificação dos teores coincide com o horizonte transicional BA assim como o maior teor de argila está acumulada nos horizontes B e BC, seja pela formação no próprio horizonte seja por transporte dos horizontes superficiais. Lemos e Santos (2015) afirmam que um horizonte no intervalo entre 30cm e 70cm, com consistência

seca dura e friável quando úmido, de textura argilosa, podem ser considerados de caráter coeso, como é o caso de BA. É usado para distinguir solos com horizontes pedogenéticos subsuperficiais adensados, muito resistentes à inserção ou entrada de ferramentas, por exemplo.

Figura 70 - Granulometria do Ponto 1.



Fonte: A autora, 2024.

Considerando a localização e o regime de chuvas torrenciais de verão, o aumento do nível de água nessas condições demarcadas pelos horizontes pode gerar um aumento do nível de água nos horizontes menos argilosos e mais porosos, reduzindo a coesão efetiva das partículas, aumentando a poropressão, levando a uma redução do ângulo de resistência ao cisalhamento e, conseqüentemente, uma ruptura (SELBY, 1993; GOUDIE e VILES, 1997)

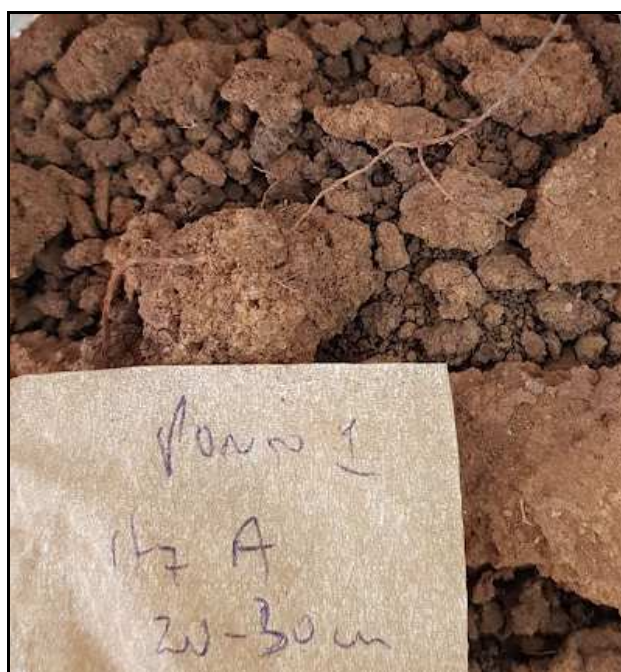
A transição textural de moderadamente fina para fina também indica que a porosidade na metade superior do horizonte e conseqüente infiltração de água é maior do que na metade inferior, o que é corroborado pela análise morfológica realizada em campo e no laboratório. Mudanças na permeabilidade do solo ou entre os horizontes como demarcado nos resultados podem contribuir para a deflagração de movimentos de massa (SILVA et al., 2016).

No ponto 2. o horizonte A apresenta a coloração bruno-amarelado-escuro (10YR 4/6 e 10YR 3/4) seco e úmido, respectivamente. Já nas outras duas amostras de Bw, cores amarelo (10YR 7/8) e amarelo-avermelhados (7,5YR 6/8) seco e úmido.

Neste caso, as cores correspondem ao teor de matéria orgânica concentrado nas camadas superficiais e os tons mais amarelo-avermelhados podem denotar a presença de ferro na forma de hematita ou goethita.

A textura se apresenta como argilosa ao longo de todos os horizontes analisados. Sua estrutura apresentava-se com blocos subangulares em todos os horizontes, contudo, podemos destacar parte da estrutura de A como de blocos sub angulares e grumosa, criando unidades estruturais muito porosas, como é possível identificar na Figura 71 e confirmar na Tabela 3.

Figura 71 - Amostra deformada do horizonte A do ponto 2.



Fonte: Acervo da autora, 2023.

Por se tratar de um horizonte mais poroso apresentando maior teor de matéria orgânica e poros considerados pequenos (entre 1mm e 2mm) ao contrário dos outros dois que apresentaram poros de diâmetro menores que 1mm, a estrutura grumosa é esperada. Os tamanhos das estruturas eram todos de pequena dimensão, contudo, nos três horizontes coletados havia alguns agregados individuais de tamanhos grandes, entre 20/50mm. Quanto ao grau da estrutura, todos apresentaram grau fraco.

A consistência das amostras quando secas se apresentaram como ligeiramente duras para os horizontes A e Bw superficial, e como dura para o Bw de profundidade, quando os torrões são moderadamente resistentes à pressão. Quando úmidas, havia

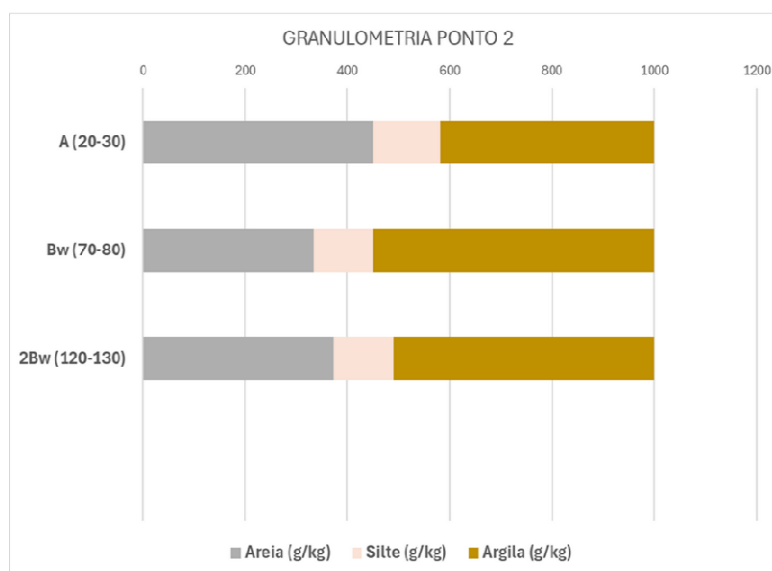
alternância entre o A e o 2Bw sendo friável. O 1Bw apresentou-se como muito friável e esboroou-se facilmente quando submetido à pressão.

Quando molhadas, o horizonte A era ligeiramente plástico e não pegajoso, possivelmente pela maior matéria orgânica e menor índice de argila quando comparado aos outros 2, que se apresentaram como plásticos e pegajosos, aderindo com facilidade em ambos os dedos nos exames laboratoriais.

De acordo com as análises, as raízes foram identificadas como muito finas em todas as amostras coletadas; contudo, a porosidade era maior no horizonte A (entre 1mm e 2mm) do que nos outros horizontes ($< 1\text{mm}$). Pela limpeza do perfil foi possível identificar o horizonte O com alto teor de matéria orgânica e uma cor mais escura no terço superior.

Na análise granulométrica neste perfil, foram identificados os horizontes com menores índices de areia e silte, comparativamente aos outros visitados e o maior índice de argila, situados no primeiro horizonte Bw (Figura 72). Por se tratar do horizonte B latossólico, muito intemperizado, é esperado o maior teor de argila, além da transição abrupta de A com maior índice de matéria orgânica pela sua cor mais escura.

Figura 72 - Granulometria do ponto 2.



Fonte: A autora, 2024.

De forma geral, o ponto 2 possui teores de silte baixos se comparados aos outros pontos estudados. O horizonte A apresenta-se como argilo-arenoso em virtude dos teores de 419 g/kg de argila e 450 g/kg de areia presentes. O primeiro e segundo Bw

possuem classificação de solo argiloso, apresentando contraste com a do horizonte mais superficial que possui textura franco-arenoso, ilustrado tanto pela porosidade quanto pela análise da consistência.

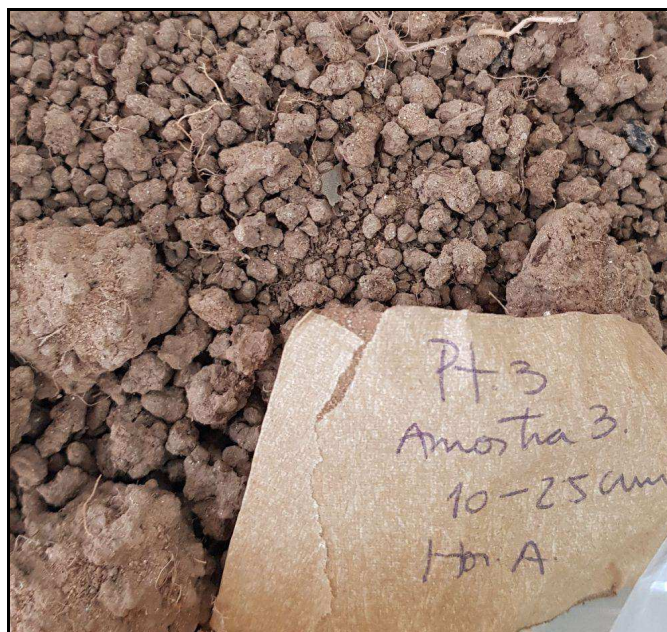
Essa mudança textural onde se verifica um aumento do teor da argila em pequena distância vertical confere maior suscetibilidade à erosão visto que apresenta uma diminuição da condutividade hidráulica e subsequente redução de coesão entre as partículas dos horizontes. O incremento de argila com a profundidade e a diferença de porosidade e consistência podem ser uma das causas de deslizamentos planares, comuns na região, pela descontinuidade mecânica dos horizontes e/ou hidrológica do material, ainda que estejam em áreas de relevo forte ondulado, como é o caso do ponto 2 que se encontra a uma declividade entre 20% a 45% (dentro da faixa das classes intermediárias de inclinação 20 a 45°) como de maior ocorrência de deslizamentos planares de 2011 (GONÇALVES e FRANCISCO, 2016; RIBEIRO et al., 2015).

No ponto 3, a coloração predominante no perfil é de tons amarelados, sendo o A como bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3 seco) e bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4 úmido); o primeiro horizonte B bruno-amarelado (10YR 5/8 seco) e bruno-forte (7,5YR 4/6 úmido); o segundo horizonte B amarelo-brunado (10YR 6/6 seco) e bruno-amarelado-escuro (10YR 4/6 úmido).

A textura no horizonte A foi identificada como média, assim como no B, e argilosa no segundo horizonte B (120 - 130 cm). A porosidade apresentava-se maior no horizonte A (entre 2mm e 5mm) do que nas amostras de B (1mm a 2mm em ambas). Contudo, as raízes encontradas em A eram muito finas, assim como no 2B e as raízes do 1B, finas.

Sua estrutura em A apresentou-se como granular, o que demarcou uma possível atividade biológica pela configuração de suas formas (Figura 73) e pela maior porosidade. Já ambos os horizontes B tinham formato de blocos subangulares.

Figura 73 - Estrutura granular do horizonte A do Ponto 3

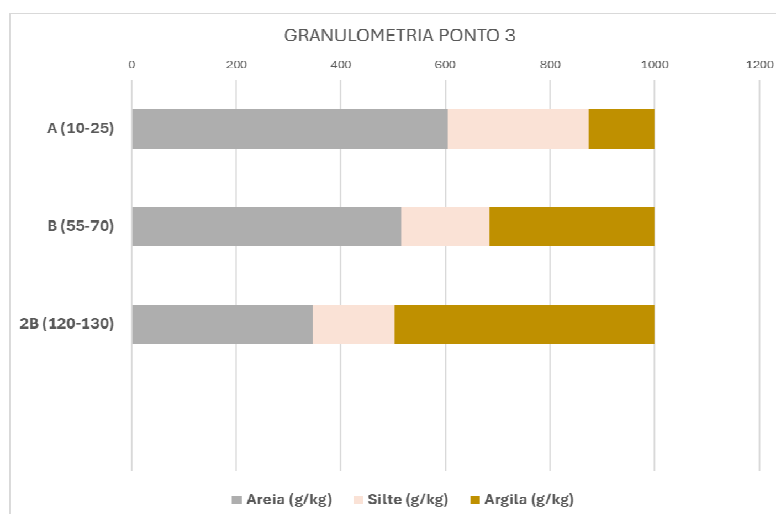


Fonte: A autora, 2023.

No condizente à consistência, quando seca, a amostra de A apresentou-se dura; o primeiro B como muito duro e o segundo B como ligeiramente duro. Quando úmidas, apenas A apresentou-se firme, sendo ambos os B friáveis. Por fim, A era não-plástico e não-pegajoso o que indica um menor teor de argila se comparado aos dois horizontes B que se mostraram ligeiramente plásticos e pegajosos. Essas amostras visivelmente tinham teores consideráveis de silte o que poderia indicar uma maior erodibilidade pela água (BARUQUI e FERNANDES, 1985 apud RIBEIRO et al., 2015).

Neste ponto, a abertura do perfil indicou preliminarmente que se tratava de um Argissolo. Foi constatado que o horizonte A possui 605 g/kg de areia, 269 g/kg de silte (maiores índices dentre as amostras analisadas) e 126 g/kg de argila (menor valor das amostras), tendo sua identificação como franco-arenoso (Figura 74).

Figura 74 - Granulometria do Ponto 3.



Fonte: A autora, 2024.

O teor de areia diminuiu de acordo com a profundidade do perfil, tendo alcançado teores de 516 g/kg no primeiro B e 347 g/kg no 2º B. Já no teor de argila, o horizonte diagnóstico teve os valores aumentados, com 315 g/kg no 1º B e 497 g/kg no 2º B. Os valores de silte acompanharam a lógica da areia, com teores de 169 g/kg no 1º B e 156 g/kg no 2º B. A classificação do 1º horizonte B foi de solo franco-argilo-arenoso. Já do 2º B, argiloso.

A progressão textural do mais superficial para o mais profundo identificou respectivamente como de textura franco-arenosa, franco-argilo-arenosa e argilosa, o que corrobora com a granulometria desenvolvida. Assim como a porosidade era de diâmetro médio em A, facilitando a infiltração, progressivamente ela diminuiu com a profundidade.

Este ponto localiza-se no sopé da encosta, próximo à drenagem. Sua localização aliada às características das análises laboratoriais permite inferir que se trata de porção da encosta de chegada de materiais de montante. Tendo o horizonte superficial silte e areia com altas taxas de composição, tem baixa taxa de coesão e adesão, o que facilita seu transporte. Sousa e Lobato (2021) reafirmam a condição erosiva desse tipo de perfil quando da diferença textural entre os horizontes, especialmente quando se trata de um horizonte A arenoso e o B, mais argiloso. E por fim, que em declividades acima de 8%, o que é o caso do ponto 3, o processo de transporte de materiais é quase inevitável.

O ponto 5 foi identificado de forma preliminar em campo como da ordem dos Cambissolos, tendo o horizonte B com estrutura de transporte microagregada,

perceptivelmente de colúvio bem alterado. Foi verificado que acima estava o Latossolo, que coincidiu com a descrição realizada no Ponto 4, 20 metros acima, na via de acesso à Pousada Tankamana, que se tratava de Latossolo.

A coloração presente no horizonte A era bruno-amarelada quando seca (10YR 5/6) e bruno-amarelado-escuro (10YR 3/4) quando úmida; em B, amarelo-avermelhado seco (7,5YR 7/8) e bruno forte (7,5YR 5/8) e por fim, em BC, amarelo-avermelhado (7,5 YR 7/8 e 6/8) seco e úmida, respectivamente. O terceiro horizonte era envolvido, com características mais marcantes de B e isso pode ser demonstrado pela coloração também.

Quanto à estrutura, todo o perfil apresentou forma granular de tamanhos médios. No horizonte BC, quando seco, formaram-se blocos subangulares que se quebravam em pequenos blocos. O grau de resistência era gradativo, onde em A era forte, B, moderado e BC, fraco. A textura dos horizontes apresentou-se igualmente média em todo o perfil.

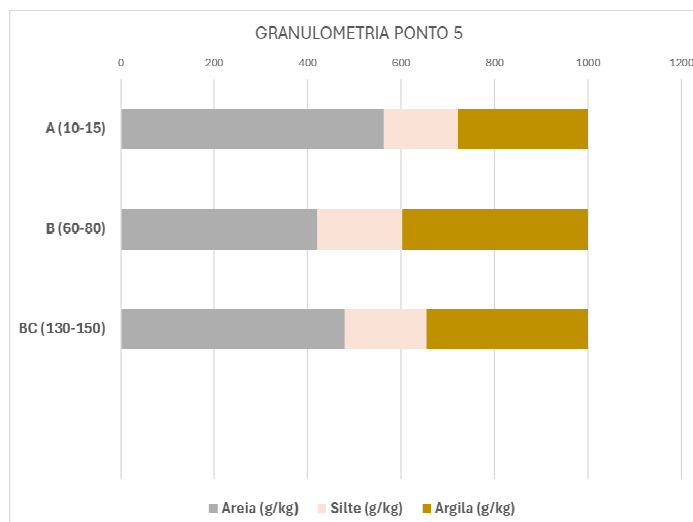
Em relação à consistência, quando seco A apresentou-se ligeiramente duro e friável; B e BC apresentaram-se macios e quando úmidos, muito friável e friável, respectivamente. A friabilidade pode indicar uma maior predisposição à erosividade e transporte desse solo posto que apresenta baixa estruturação, com menor resistência às intempéries, como a chuva, por exemplo. A plasticidade e pegajosidade de todos os horizontes eram ligeiramente plásticos e ligeiramente pegajosos.

Todos os horizontes apresentaram raízes muito finas, e com exceção do horizonte A que apresentou porosidade inferior a 1 mm, os outros eram mais porosos, com diâmetros entre 1mm e 2mm.

O perfil do ponto 5 foi identificado como Cambissolo Háplico após as análises morfológica e de granulometria, além das considerações de Botelho (1996) sobre os solos do setor.

O horizonte A foi classificado como franco-argilo-arenoso, com teor de argila de 278 g/kg, 158 g/kg de silte e 564 g/kg de areia (Figura 75). O horizonte B apresentou aumento do teor de argila com 397 g/kg em relação a A, 183 g/kg de silte e 420 g/kg de areia. Foi classificado como franco-argiloso. Finalmente, o horizonte BC apresentou 345 g/kg de argila e 175 g/kg de silte, ambos reduzidos em comparação a B, e 480 g/kg de areia, sendo classificado como franco-argilo-arenoso. A textura acompanhou as classificações alternadas de granulometria.

Figura 75 - Granulometria do Ponto 5.



Fonte: A autora, 2024.

O horizonte superficial apresentou porosidade muito pequena, o que se justifica por sua forma granular notadamente esperada próxima à superfície. Contudo, destaca um perfil diferente dos demais, com porosidade maior em profundidade. Por se tratar de um corte de via de acesso a uma Pousada, é importante salientar que este solo não possui atividade agrícola em progresso, ou mesmo, pisoteio de animais.

O material coletado nesse ponto foi o único que apresentou teores de cascalho mais substanciais, tendo o horizonte B apresentado 9,5% de presença de cascalho, ou seja, sendo de textura franco-argilosa com cascalho. Por se tratar de um Cambissolo, espera-se um horizonte B incipiente, com materiais fracamente intemperizados (LEPSCH, 2011). E ainda, é o ponto localizado mais ao norte da bacia, onde temos as maiores altitudes e maiores incidências de deslizamentos planares rasos, especialmente dos eventos de 2011. Esses processos tinham sua deflagração causada tanto pelo contato abrupto solo/rocha, como pela transição de solos incipientes com horizontes de solo mais bem desenvolvidos (MELLO et al, 2011). Furian et al., (1999) apud Cruz (1974) sublinham que diante das condições de clima e relevo da região, vertentes com mais de 40% de declive favoreceram os deslizamentos de terra, independente do uso do solo ou presença de vegetação. No ponto 5, o relevo é considerado como forte ondulado, contudo, a hipótese traçada aqui é de que as áreas a montante, que possuem declividades maiores, sejam as áreas de onde houve a deflagração dos movimentos de massa rasos

que depositaram material neste ponto. De acordo com a revisão sobre o relevo e formação geológica da região, o ponto 5 encontra-se entre os domínios montanhoso e o de rampas de colúvio. A micromorfologia completará essa análise.

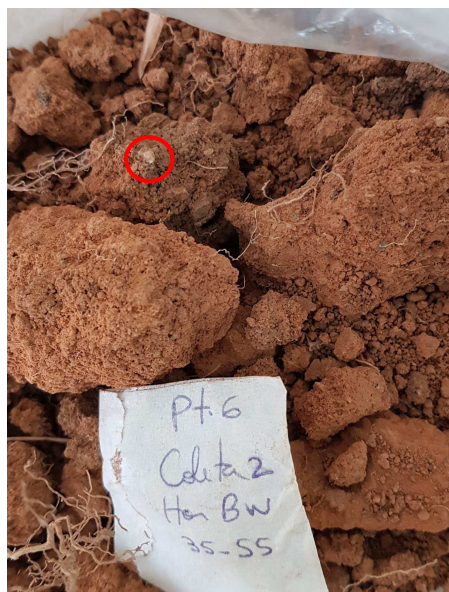
No Ponto 6, o horizonte A apresentou coloração bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4) quando seco e bruno escuro (7,5YR 3/4) quando úmida, demonstrando traços de matéria orgânica das camadas superficiais. Em Bw e Bw/Bt, foram observadas as colorações amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6) na amostra seca e bruno forte (7,5YR 5/6 e 7,5YR 5/8, respectivamente) na úmida.

A textura do horizonte A é média e dos horizontes Bw e Bw/Bt, argilosa. No horizonte A, além da textura mais equilibrada, a presença de matéria orgânica ficou demarcada em sua estrutura fraca, com porosidade média, oscilando entre 2 mm e 5 mm, além de contar com a existência de raízes muito finas. Apresentou formato composto entre blocos subangulares (pequenos) e grumosos (médios).

Por fim, sua consistência seguiu o grau de resistência, quando seca, sendo macia e quando úmida, solta. Com a amostra molhada, apresentou-se não plástica e não pegajosa.

O horizonte Bw manteve uma porosidade similar ao horizonte superficial A, mas com a presença de raízes finas oscilando entre 1 mm e 2 mm. Em sua estrutura foi possível notar o formato granular de tamanho médio, com blocos subangulares que se partem facilmente, dado o grau fraco de sua coesão. Foi possível identificar a olho nu grãos de quartzo, como o destacado na imagem (Figura 76).

Figura 76 - Quartzo incrustado no bloco subangular da amostra do horizonte Bw.

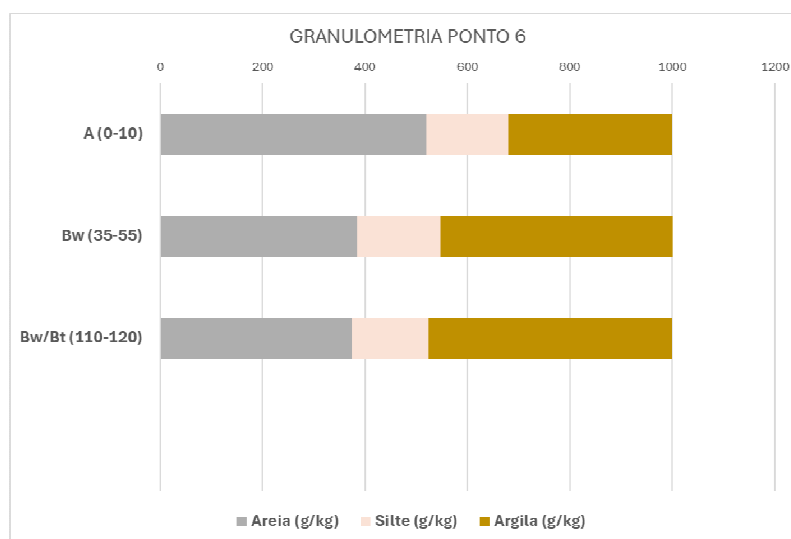


Fonte: A autora, 2022.

A consistência de Bw e Bt era macia e variando de friável a muito friável, quando seca e úmida. Com a amostra molhada, o índice de plasticidade apresentava-se no limite entre o ligeiramente plástico e plástico, além de ser ligeiramente pegajoso, o que indica um maior teor de argila, de perdas de horizontes superiores como A ou E, e a acumulação desse material nos horizontes Bw e Bt, mais profundos e de transição (CURI e KAMPF, 2015).

Na análise granulométrica deste perfil identificado como sendo de um Latossolo, apresentou aumento dos teores de argila com a profundidade (Figura 77). Em A, 320 g/kg, em Bw, de 453 g/kg e Bw/Bt, 476 g/kg. Já o teor de areia teve o padrão inverso, indo de 520 g/kg em A, para 385 g/kg em Bw e 374 g/kg em Bw/Bt. O teor de silte pouco oscilou, sendo de 160 g/kg em A, 163 g/kg em Bw e 150 g/kg em Bw/Bt.

Figura 77 - Granulometria do ponto 6.



Fonte: A autora, 2024.

O horizonte latossólico Bw possui a relação silte/argila dentro dos padrões que indicam o processo avançado de intemperização, estando na faixa de 0,35, bem abaixo dos 0,6 em solos de textura argilosa. Já o subjacente Bt demonstra o progresso de acumulação de argila através da iluviação (RIBEIRO et al., 2015). Dessa forma, foram classificados como franco-argilo-arenoso no horizonte A e argiloso em Bw e Bw/Bt.

A textura de franco-argilo-arenoso em A e argilosa em Bw e Bw/Bt demarcam algumas das características descobertas na análise morfológica como a porosidade maior em superfície do que em profundidade e a consistência, que possuem maior plasticidade e coesão em profundidade dado os níveis maiores de argila.

A posição do ponto é uma área de declive forte ondulado, entre 20% e 45% no sopé da Montanha Azul. A área a montante, do domínio alto montanhoso constituída por afloramentos do Batólito Granodiorito, possui no seu terço superior declividades acima de 45%, onde se concentram as classes de Cambissolo, Neossolo Litólico e Afloramentos Rochosos. A evolução natural do relevo acidentado leva ao desgaste gradativo deste, que é transportado para as áreas a jusante, com predomínio de depósitos de colúvio e tálus.

6.2 Micromorfologia dos solos

Nesta etapa, que envolve a análise microscópica e descrição das lâminas de solo, o maior objetivo é a busca por feições pedológicas que indiquem a ocorrência de movimentos de massa ou que sejam indicativas da predisposição de movimentos de massa, tais como aquelas do tipo *box works* de gibbsita. Assim, a suscetibilidade inerente a deslizamentos terá uma comprovação já validada por outros autores.

Na Tabela 5, encontram-se os resultados das análises de cada uma das lâminas dos seis pontos, como forma de melhor visualizar e compreender as características resumidas das amostras. Esses dados têm seu desenvolvimento e discussão a seguir.

Tabela 5 - Resultados da análise micromorfológica dos perfis.

Perfil	Horizonte	Pedalidade/ Microestrutura	Distribuição Relativa	Fábrica Birrefringente	Porosidade
Ponto 1	A	Bem desenvolvida a moderada / Granular (80%) Subangular (20%)	Porfírica-Enáulica	Salpicada Granida e Mosaico	Câmaras, Empilhamento Complexo, Cavidades, Fissuras
Ponto 1	BA	Moderada a Fraca / Bl. Subangulares	Enáulica-Porfírica	Salpicada Salpicada e em Mosaico	Câmaras e Fissuras
Ponto 1	B	Moderada / Bl. Subangulares	Porfírica-Enáulica	Salpicada Manchada e Granida	Empilhamento Complexo, Câmaras, Cavidades e Fissuras
Ponto 1	BC	Fraca / Bl. Subangulares	Porfírica Aberta	Salpicada Mosaico e Granoestriada	Câmaras, Fissuras e Cavidades
Ponto 2	A	Moderada / Grumosa e Bl. Subangulares	Porfírica-Gefúrica	Salpicada Mosaico e Granida	Câmaras, Empilhamento Complexo, Cavidades e Fissuras
Ponto 2	Bw	Moderada / Bl. Subangulares	Porfírica	Salpicada Mosaico	Câmaras, Cavidades e Fissuras
Ponto 2	2Bw	Fraca / Bl. Subangulares	Porfírica Aberta	Salpicada Mosaico, Monoestriada, Granoestriada	Câmaras, Cavidades e Fissuras
Ponto 3	A	Fraca / Bl. Subangulares e Granular	Quitônica-Mônica	Salpicada Mosaico, Poroestriada e	Câmaras, Empilhamento Complexo,

				Granoestriada	Cavidades e Fissuras
Ponto 3	B	Moderada / Bl. Subangulares	Porfírica Fechada	Salpicada Mosaico, Granida e Monoestriada	Câmaras, Empilhamento Complexo, Cavidades e Fissuras
Ponto 3	2B	Fraca / Bl. Subangulares	Porfírica Aberta	Salpicada Mosaico, Poroestriada e Granoestriada	Câmaras, Empilhamento Complexo, Cavidades e Fissuras
Ponto 4	C	Apedal	Quitônica-Mônica	Salpicada Granida	Cavidades e Câmaras
Ponto 5	A	Moderada / Granular	Porfírica	Salpicada Granida e Monoestriada	Câmaras, Fissuras e Cavidades
Ponto 5	B	Fraca / Granular	Porfírica Aberta	Salpicada Granida e Monoestriada	Câmaras, Fissuras e Cavidades
Ponto 5	BC	Moderada / Granular e Bl. Subangulares	Porfírica-Enáulica	Salpicada Granida	Fissuras, Cavidades e Câmaras
Ponto 6	A	Moderada / Granular e Bl. Subangulares	Enáulica	Salpicada Mosaico e Estriada Cruzada	Câmaras, Empilhamento Complexo, Fissuras e Cavidades
Ponto 6	Bw	Fraca / Bl. Subangulares	Porfírica Aberta	Salpicada Granida e Mosaico, Monoestriada	Câmaras, Empilhamento Complexo, Fissuras e Cavidades
Ponto 6	Bw/Bt	Fraco / Bl. Subangulares Moderada / Granular	Porfírica Fechada	Salpicada Granida	Empilhamento Complexo, Fissuras, Cavidades

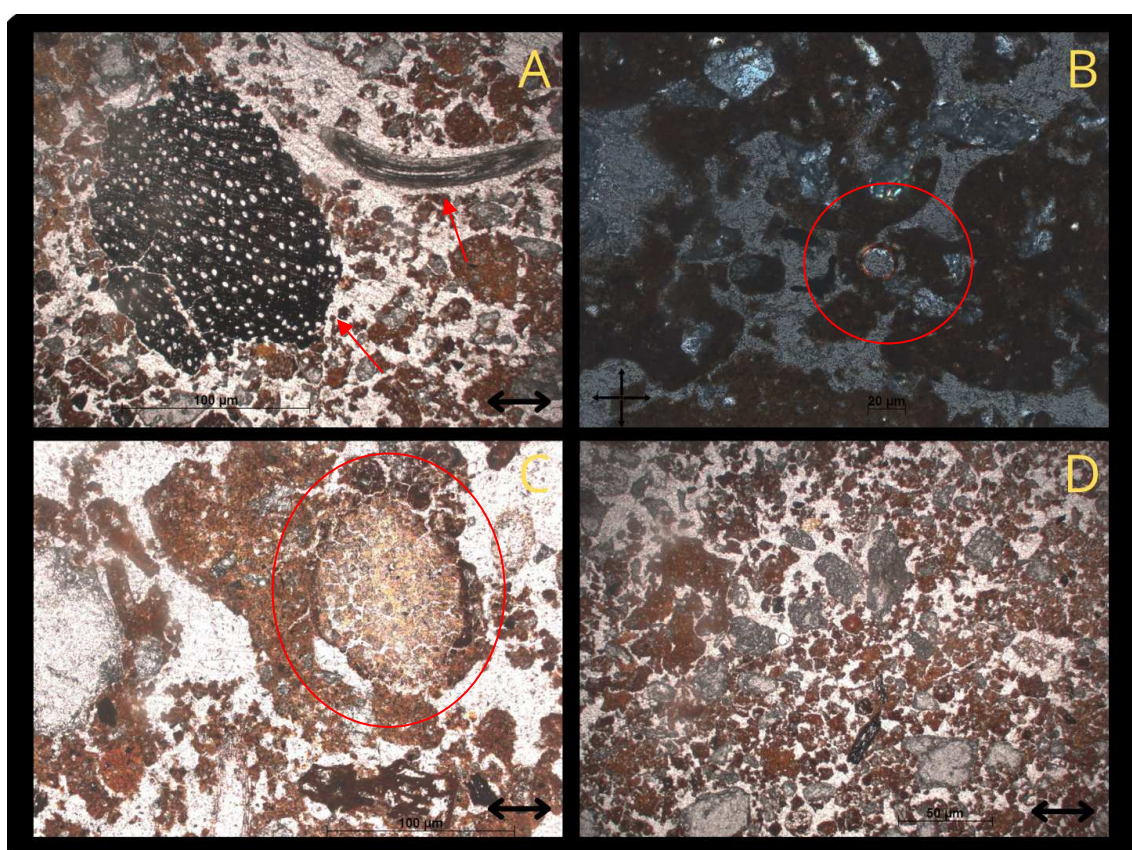
Fonte: A autora, 2024.

● Ponto 1

Lâmina M1 (horizonte A - Figura 78): Material moderadamente selecionado, sendo a fração grossa constituída por cerca de quartzo (80%), feldspato (15%), nódulos 5%, ocupando cerca de 20% da lâmina, fracamente orientada e com cariações e fissuras, apresentando padrões de alteração A0 e D0 (Anexo A), de acordo com esperado para perfis superficiais. Possui morfologia subangular e lisa. A Fração Fina ocupa cerca de 45% da lâmina, de natureza argilosa, salpicada com orientação mosaico e grânida em sua maior parte. Distribuição relativa porfírica- enáulica com grau de pedalidade

moderada a bem desenvolvida, de microestrutura granular (80%) e sub-angular (20%), característica também identificada na análise morfológica assim como de todos os horizontes. Poros ocupando cerca de 35% da lâmina, sendo 60% do tipo trans (com 70% de câmaras e 30% empilhamento complexo) e os outros 40% divididos entre intra (cavidades e fissuras) e inter (câmaras e empilhamento complexo). As feições pedológicas encontradas foram de revestimentos, hiporrevestimentos de difusão de Fe e preenchimentos de óxido de Fe e argila, além de excrementos e matéria orgânica.

Figura 78 - Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte A do ponto 1.



Legenda: (A) - Raízes e carvão vegetal;

(B) - argila bem orientada com revestimento forte e contínuo na luz polarizada, graças a organização dos cristalitos de argila;

(C) - excrementos mamelonados, provavelmente de anelídeos e microfissuras em revestimento de argila;

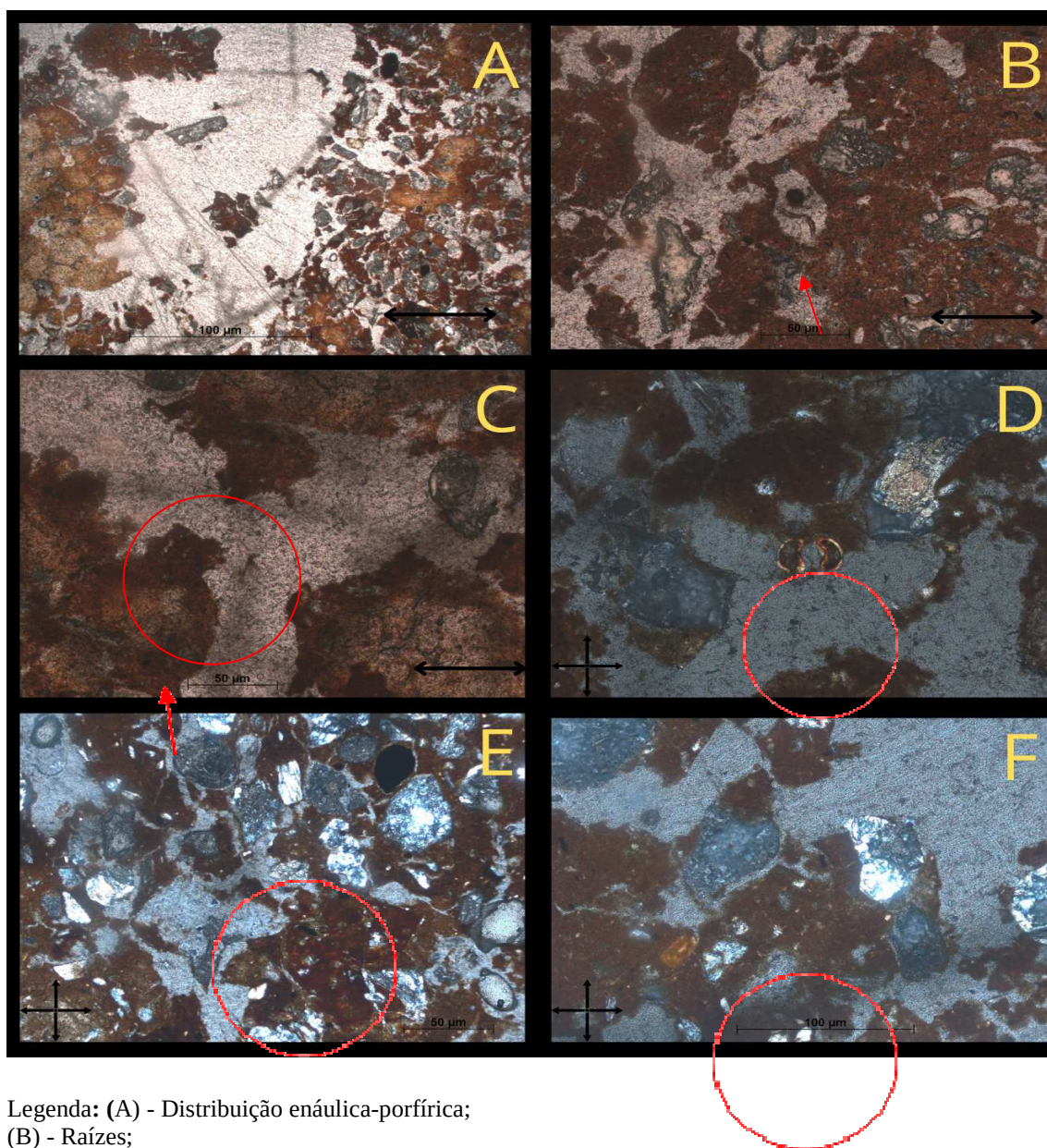
(D) -distribuição relativa porfírica-enáulica.

Fonte: A autora, 2024.

Lâmina M2 (horizonte BA - Figura 79): Material fracamente selecionado com 30% de fração grossa, apresentando cariações e fissuras, com padrões de alteração D2 e B1 (Anexo A) e morfologia sub arredondada e sub angular ondulados. Poros ocupando cerca de 40% da lâmina, sendo 70% de poros do tipo trans, sendo majoritariamente de

câmaras. Dos tipos inter e intra se dividem entre fissuras e câmaras. Pedalidade de moderada a fracamente desenvolvida com microestrutura de blocos sub-angulares; a distribuição relativa é enáulica-porfírica. A fração fina é de cerca de 30% de argila, com limpidez salpicada manchada e orientação mosaico. Matéria orgânica e raízes foram identificados. Feições pedológicas identificadas foram as de revestimento e preenchimento.

Figura 79 - Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte BA do ponto 1.



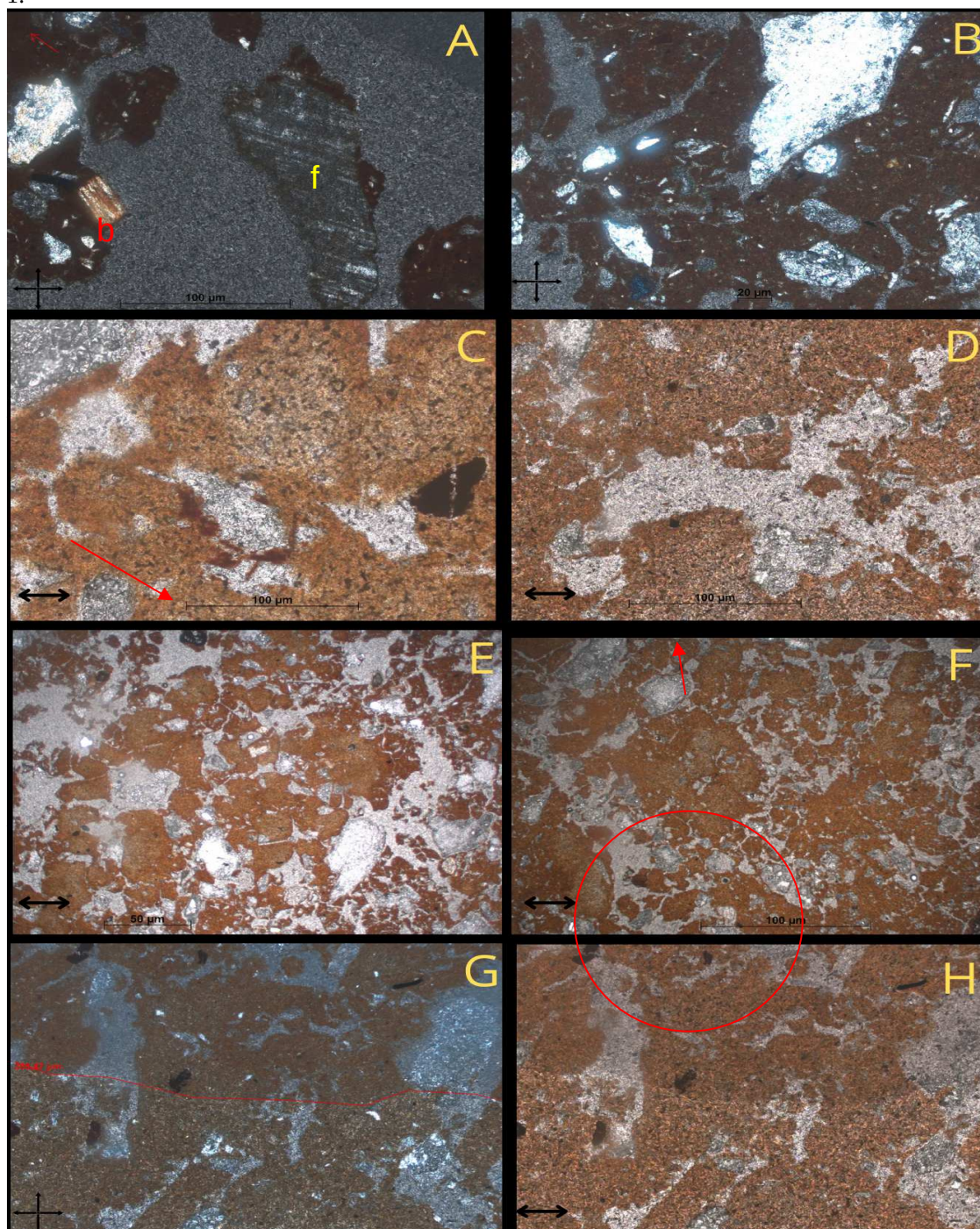
Legenda: (A) - Distribuição enáulica-porfírica;
 (B) - Raízes;
 (C) - Feição pedológica de revestimento em um poro do tipo câmara;
 (D) - revestimento bem orientado de argila;
 (E) - Feições pedológicas de revestimento e preenchimento;
 (F) - Fábrica birrefringente salpicada mosaico.

Fonte: A autora, 2024.

Lâmina M3 (horizonte B - Figura 80): Material moderadamente selecionado com cerca de 25% de fração grossa, com morfologia subangular e ondulada, apresentando cariações e padrão de alteração D1 (Anexo A). É principalmente constituída por quartzo, feldspato e biotita. A pedacidade é moderada com microestrutura de blocos subangulares. A fração fina ocupa cerca de 40% da lâmina e é de natureza argilosa, salpicada machada e granida. É importante ressaltar o achado de descontinuidade textural visível no topo da lâmina, onde se nota uma diferença das fábricas birrefringentes abaixo da linha das imagens G e H da Figura 60. Os horizontes B e BC possuem maior teor de argila se comparados aos superiores, o que fica demarcado pelas diferenças entre as frações finas do fundo matricial e anteriormente corroboradas pela análise morfológica (Tabela 4).

Possui distribuição porfírica-enáulica. Possui 35% de poros com cerca de 60% do tipo trans (empilhamento complexo e câmaras), 25% de intra (cavidades e fissuras) e 15% inter (câmaras e fissuras). Feições pedológicas identificadas na lâmina foram hiporrevestimentos, quasi-revestimentos, revestimentos e preenchimentos.

Figura 80 - Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte B do ponto 1.

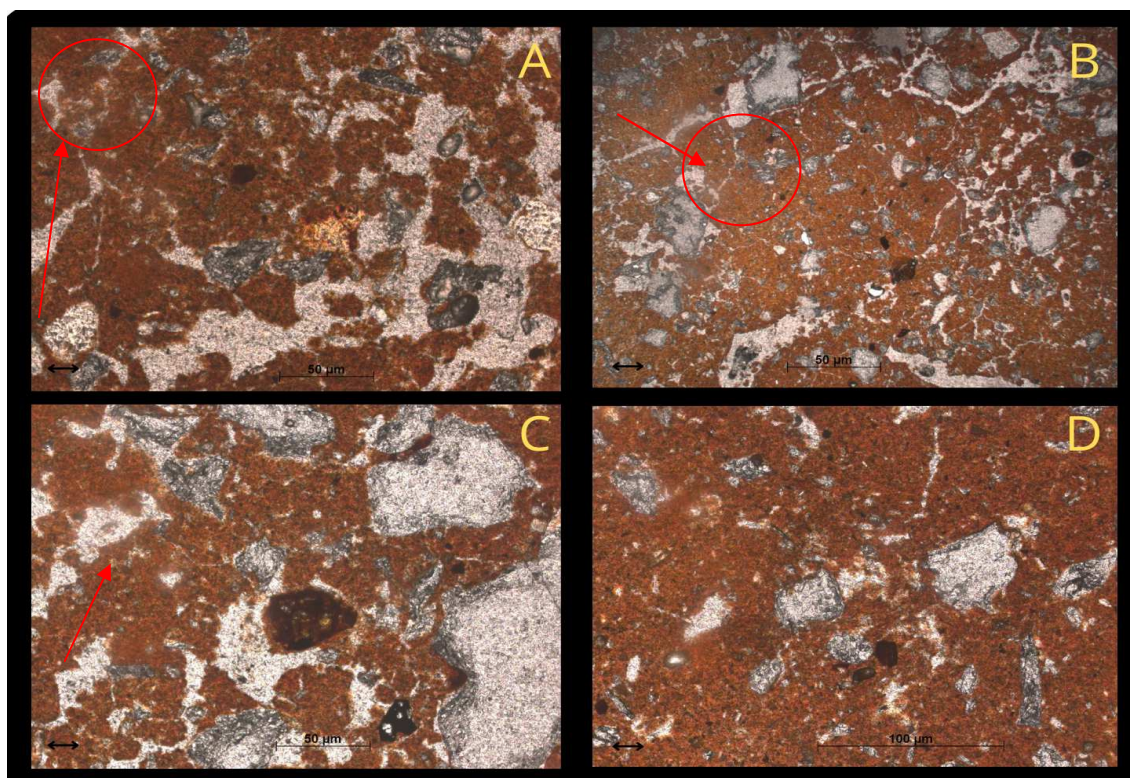


Legenda: (A) - Feldspato (f) e biotita (b);
 (B) - Fábrica birrefringente manchada;
 (C) - Feição pedológica de Quasi-revestimento;
 (D) - Feição pedológica de hiporrevestimento de um poro tipo câmara;
 (E) - Distribuição relativa porfírica-enáulica;
 (F) - Microestrutura de blocos subangulares;
 (G) e (H) - descontinuidade textural identificada no topo da lâmina, em XPL e PPL respectivamente (siglas em inglês de luz polarizada cruzada e luz paralela plana).

Fonte: A autora, 2024.

Lâmina M4 (horizonte BC - Figura 81): Possui microestrutura de blocos subangulares com pedalidade fracamente desenvolvida. Esse fator de baixa adesão entre os agregados pode ser explicado pelo nível baixo de matéria orgânica e pouca ação de fauna do solo nessa profundidade. A fração grossa é de aproximadamente 30%, sendo majoritariamente de quartzo com parcelas de nódulos e feldspato, de morfologia subangular e ondulada, apresentando padrões de alteração B2 e D2 (Anexo A) com cariações, demarcando avanço do intemperismo acentuado sobre os minerais. Fração fina de cerca de 50% composta majoritariamente por argila e óxido de ferro. A distribuição relativa é porfírica aberta, com fábricas birrefringentes salpicadas em mosaico e granoestriada. Os poros ocupam cerca de 20% da lâmina, sendo metade do tipo trans (câmaras e fissuras), seguindo de inter (câmaras e fissuras em maioria) e intra (fissuras e cavidades). Feições pedológicas encontradas foram revestimentos e nódulos, além de hiporrevestimentos e preenchimentos.

Figura 81 - Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte BC do ponto 1.



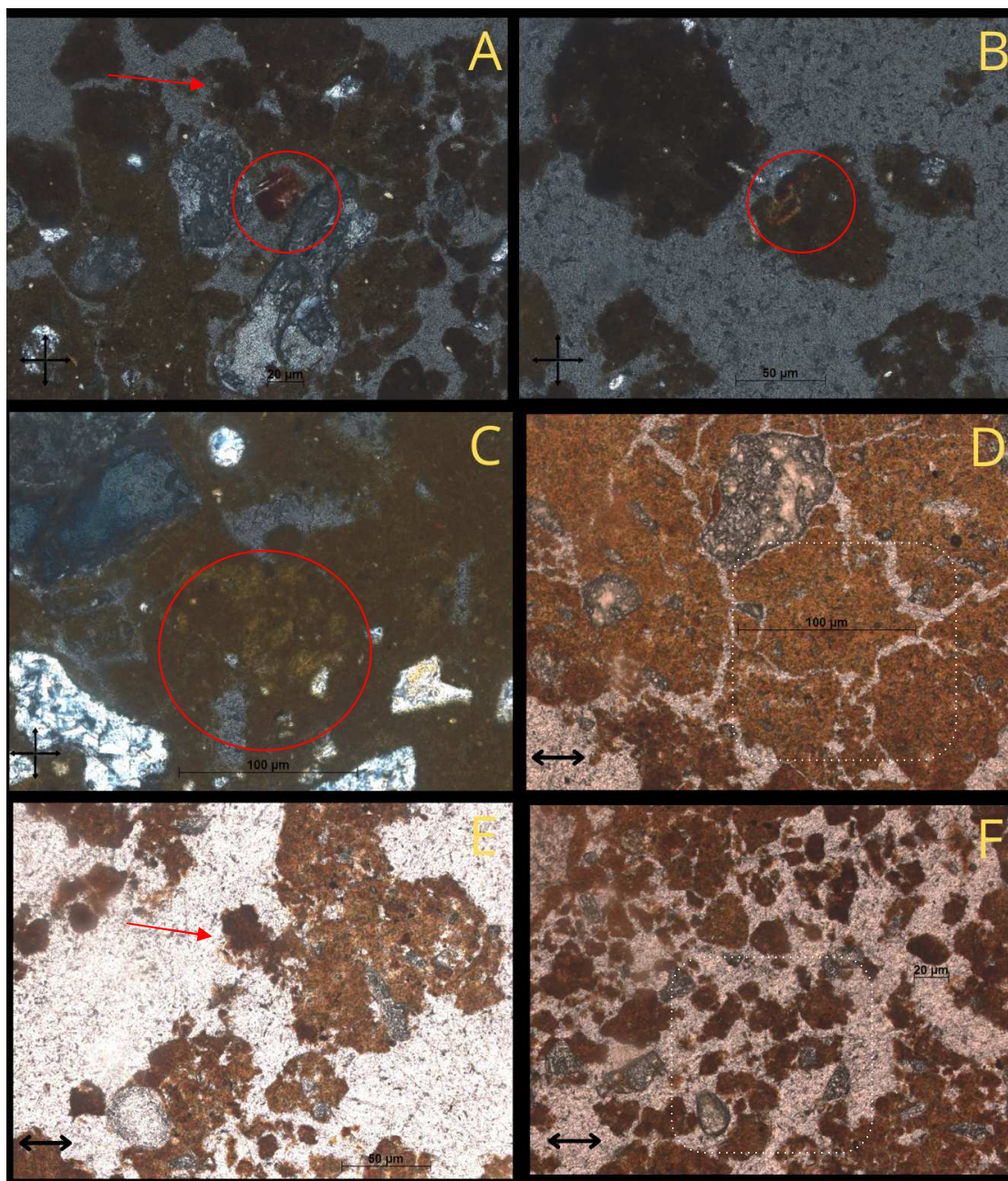
Legenda: (A) - Revestimentos em óxido de Ferro e Feição pedológica amorfa (Nódulo); (B) - Revestimento e preenchimento em poros do tipo câmara;
(C) - Revestimento e preenchimento em poros do tipo câmara, além de nódulos de óxido de ferro;
(D) - Distribuição Porfírica aberta.

Fonte: A autora, 2024.

- Ponto 2

Lâmina M7 (horizonte A - Figura 82): Material moderadamente selecionado, sendo a fração grossa constituída por cerca de 25%, com destaque para quartzo, nódulos amorfos e biotita. Características internas com cariações e fissuras, apresentando padrões de alteração D1 e D2 (Anexo A), apresentando ligeiro avanço do intemperismo sob seus minerais. Possui morfologia subangular e rugosa. A Fração Fina ocupa cerca de 35% da lâmina, de natureza argilosa e com concentrações de ferro, tendo limpidez salpicada com orientação mosaico e granida em sua maior parte. Distribuição relativa porfírica em grande parte sendo identificados setores gefúricos, o que pode se justificar pela textura argilo-arenosa desse horizonte, com a argila funcionando como as ligações parciais entre as frações mais grosseiras do horizonte. O grau de pedalidade é moderado, possuindo microestrutura grumosa, típica de horizontes superficiais e de blocos sub-angulares. Poros ocupando cerca de 40% da lâmina, sendo 80% do tipo trans (com 40% de câmaras e 60% empilhamento complexo) e os outros 20% divididos entre intra e inter com cavidades e fissuras. Feições pedológicas encontradas foram de revestimentos, preenchimentos de óxido de Fe e argila.

Figura 82 - Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte A do ponto 2.



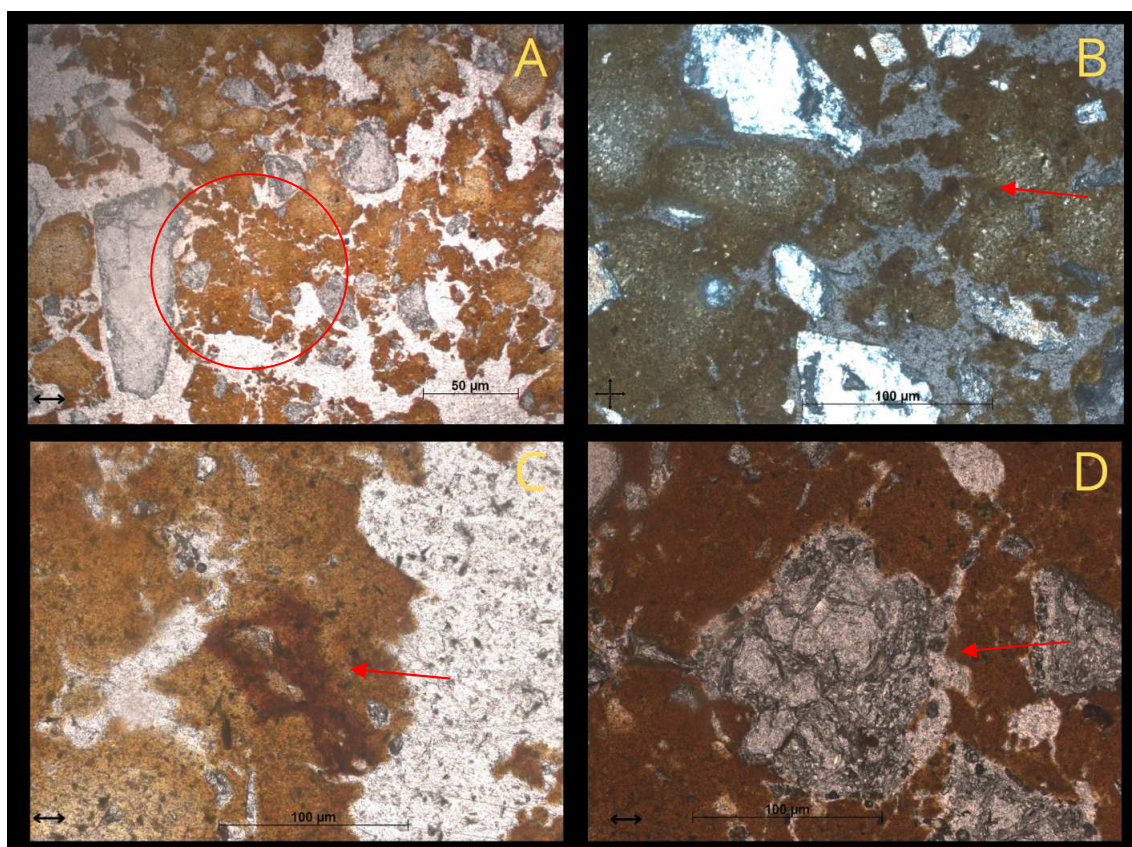
Legenda: (A) - Revestimentos em óxido de Ferro;
 (B) - Revestimento de argila orientada;
 (C) - Fábrica birrefringente do tipo mosaico;
 (D) - Microestrutura em blocos subangulares;
 (E) - Feição pedológica do tipo revestimento;
 (F) - Microestrutura grumosa.

Fonte: A autora, 2024.

Lâmina M6 (horizonte Bw - Figura 83): Material fracamente selecionado, com a fração grossa ocupando cerca de 35% da lâmina, apresentando características internas com cariações com padrões de alteração D1 e D2 (Anexo A), com o grau de

intemperismo similar ao horizonte superficial. Possui morfologia subangular e lisa. A fração fina ocupa cerca de 35% da lâmina, de natureza argilosa e com concentrações de ferro, tendo limpidez salpicada com orientações em mosaico. A distribuição relativa é porfírica com grau de pedalidade moderado, possuindo microestrutura de blocos sub-angulares. Os poros ocupam cerca de 30% da lâmina, sendo 70% do tipo trans majoritariamente em câmaras e os outros 30% divididos entre inter com grande parte em cavidades e fissuras, assim como os do tipo intra. As feições pedológicas encontradas foram preenchimentos e nódulos de ferro. *Lâmina M6 (horizonte Bw - Figura 63)*: Material fracamente selecionado, com a fração grossa ocupando cerca de 35% da lâmina, apresentando características internas com cariações com padrões de alteração D1 e D2 (Anexo A), com o grau de intemperismo similar ao horizonte superficial. Possui morfologia subangular e lisa. A fração fina ocupa cerca de 35% da lâmina, de natureza argilosa e com concentrações de ferro, tendo limpidez salpicada com orientações em mosaico. A distribuição relativa é porfírica com grau de pedalidade moderado, possuindo microestrutura de blocos sub-angulares. Os poros ocupam cerca de 30% da lâmina, sendo 70% do tipo trans majoritariamente em câmaras e os outros 30% divididos entre inter com grande parte em cavidades e fissuras, assim como os do tipo intra. As feições pedológicas encontradas foram preenchimentos e nódulos de ferro.

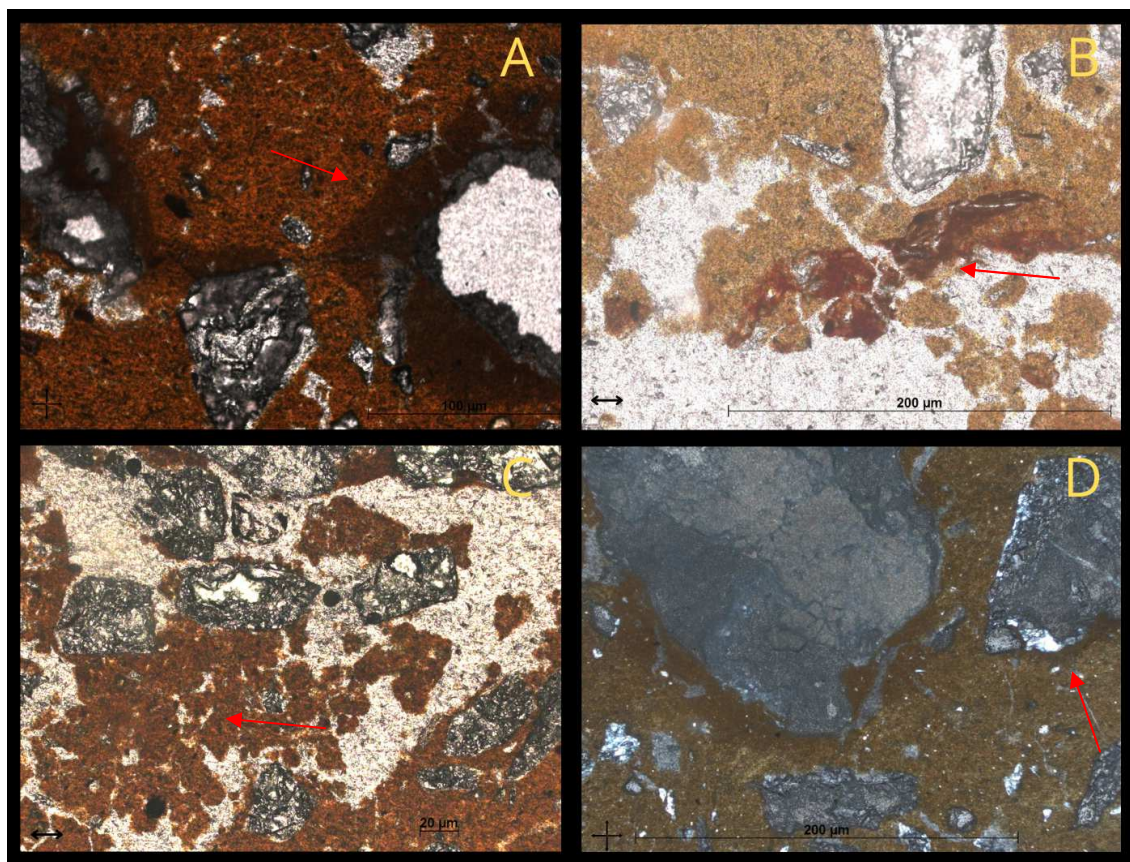
Figura 83 - Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte 1° Bw do ponto 2.



Legenda: (A) - Pedalidade moderadamente desenvolvida com microestrutura em blocos subangulares;
 (B) - Revestimento e preenchimento em poros do tipo câmara;
 (C) - Depleção de ferro no fundo matricial, aparentemente vindo do poro;
 (D) - Avanço do intemperismo em um quartzo (q).
 Fonte: A autora, 2024.

Lâmina M5 (horizonte 2° Bw - Figura 84): Material fracamente selecionado, sendo a fração grossa constituída por cerca de 35%, com destaque para quartzo e nódulos amorfos. Características internas com cariações, apresentando padrões de alteração D1 e D2, apresentando o mesmo nível de intemperismo sob seus minerais ao longo de todo o perfil. Possui morfologia subangular e ondulada a rugosa. A Fração Fina ocupa cerca de 45% da lâmina, de natureza argilosa e com concentrações de ferro, tendo limpidez salpicada com orientação monoestriada e granida em sua maior parte. Distribuição relativa porfírica aberta posto que o material fino se estende com as partículas maiores espaçadas. O grau de pedalidade é fracamente desenvolvido, possuindo microestrutura de blocos sub-angulares. Os poros ocupam cerca de 20% da lâmina, sendo majoritariamente trans do tipo câmaras e os outros divididos entre intra e inter com cavidades e fissuras. Feições pedológicas encontradas foram de revestimentos, preenchimentos e nódulos de ferro.

Figura 84 - Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte 2° Bw do ponto 2.



Legenda: (A) - Hiporrevestimento da fração grossa;
 (B) - Nódulo de ferro em depleção;
 (C) - Poro do tipo câmara, com algumas feições de revestimento e preenchimento;
 (D) - Revestimento e hiporrevestimento de um quartzo.
 Fonte: A autora, 2024.

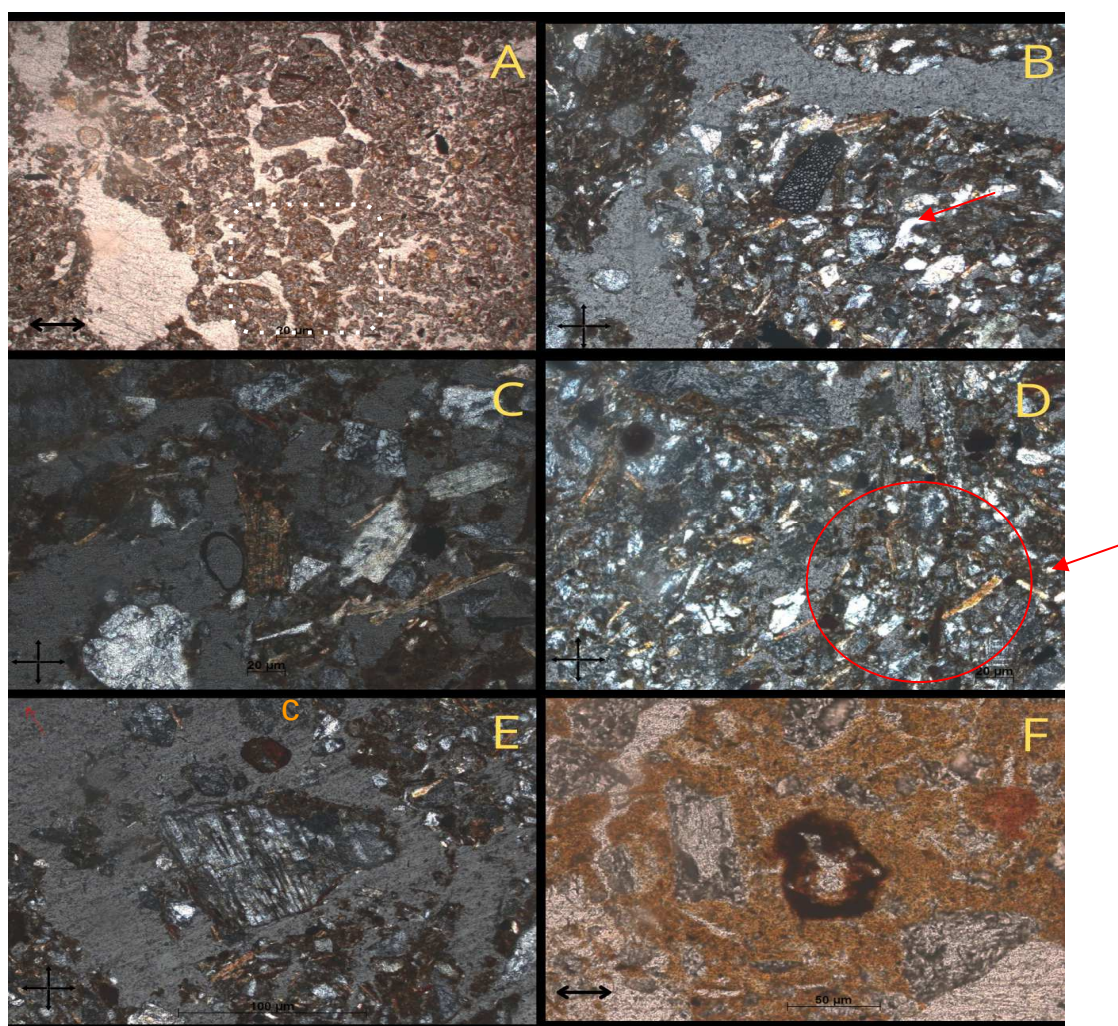
● Ponto 3

Lâmina M8 (horizonte A - Figura 85): Material fracamente selecionado, sendo a fração grossa constituída por cerca de 50%, com destaque para quartzo, nódulos amorfos e feldspato. Características internas com cariações e fissuras, apresentando padrões de alteração variado como C1-0, C2-0 e D2 (Anexo A). Possui morfologia angular e subangular de rugosidade lisa a ondulada. Por ser um horizonte franco-arenoso, a fração grossa possui destaque e variedade nesse horizonte. A Fração Fina ocupa cerca de 20% da lâmina, com baixo índice de argila, tendo limpidez salpicada com orientação em mosaico em sua maior parte e com alguns exemplos de estriada paralela, poroestriada e granoestriada. Distribuição relativa quitônica em cerca de 70% da lâmina e 30% mônica, o que pode se justificar pela textura rica em areia desse horizonte e baixo teor de argila. O grau de pedalidade é fraco, possuindo microestrutura

de blocos subangulares e granular. Os poros ocupam cerca de 30% da lâmina, sendo metade do tipo trans (com 40% de câmaras e 60% de empilhamento complexo) e os outros 50% divididos entre 30% inter com câmaras e fissuras majoritariamente e 20% intra, divididos entre fissuras e cavidades. Feições pedológicas encontradas foram de revestimentos, quasi-revestimentos e nódulos amorfos. Vale ressaltar os achados de origem orgânica neste horizonte, como carvão e partículas de ossos.

A evolução de cores do perfil permite visualizar ainda em campo algumas de suas características. No perfil superficial, apresenta-se bruno-claro acinzentado transicionando para bruno amarelado escuro.

Figura 85 - Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte A do ponto 3.

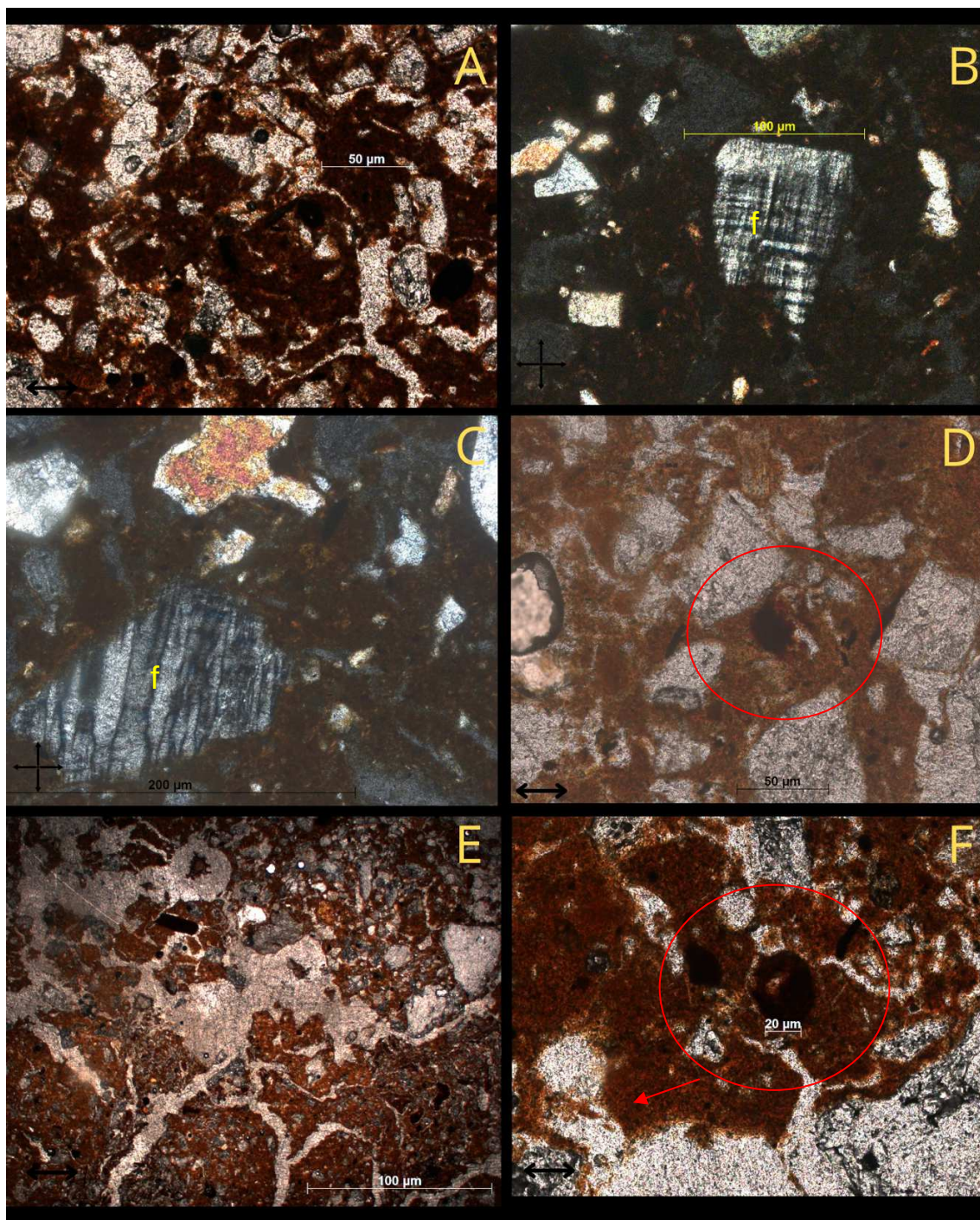


Legenda: (A) - Microestrutura de blocos subangulares e granular com pedalidade fraca; (B) - o achado de carvão vegetal, em meio à fração grossa evidente; (C) - Achado de caulinite (c) em meio ao material; (D) - Fração grossa destacadamente angulosa, com achado de fragmentos de ossos; (E) - Feldspato (f) com revestimento de óxido de ferro; (F) - Feição pedológica de hipo e quasi-revestimento.

Fonte: A autora, 2024.

Lâmina M9 (horizonte B - Figura 86): Material fracamente selecionado, sendo a fração grossa constituída por cerca de 35% da lâmina, com destaque para quartzo e feldspato. Características internas dos compostos minerais com cariações e fissuras, apresentando padrões de alteração C1-1, C2-2, D1 e D2 (Anexo A). Possui morfologia subangular de rugosidade ondulada. A fração fina ocupa cerca de 35% da lâmina, com as fábricas birrefringentes tendo limpidez salpicada com orientação em mosaico, granida e monoestriada, de natureza argilosa, apresentando óxidos de ferro e alguns nódulos. A distribuição relativa é porfírica fechada, já demonstrando uma alteração textural para franco-argilo-arenosa, com o material grosso ainda abundante imerso em material fino. O grau de pedalidade é moderadamente desenvolvido, possuindo microestrutura de blocos sub-angulares. Os poros ocupam cerca de 30% da lâmina, sendo metade do tipo trans (com 70% de câmaras e 30% de empilhamento complexo) e os outros 50% divididos entre 30% intra com cavidades e fissuras igualmente e 20% inter, sendo representado em quase totalidade por fissuras. Quanto à porosidade, é possível identificar outra transição em relação ao horizonte A, com uma redução do quantitativo confirmadas pela distribuição relativa fechada, na análise morfológica e pela inversão dos tipos de poros intra-agregados sendo mais representativos que os do tipo inter. As feições pedológicas encontradas foram de revestimentos, hiporrevestimentos e nódulos amorfos. Nesse horizonte, as cores já evoluem para um bruno amarelado escuro, o que demonstra a depleção progressiva de ferro e a presença gradual de argila em relação ao horizonte superficial.

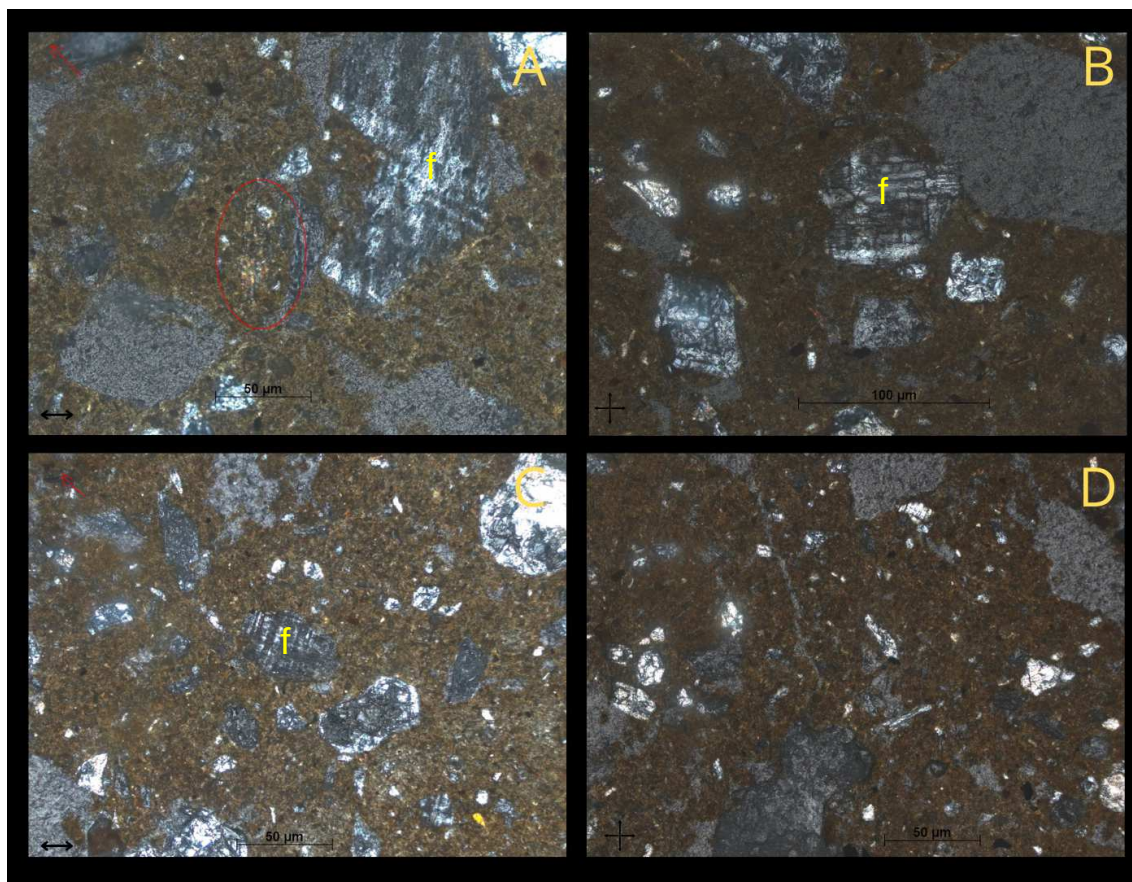
Figura 86 - Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte B do ponto 3.



Legenda: (A) - Microestrutura de blocos subangulares com pedalidade moderadamente desenvolvido;
 (B) - Feldspato (f) em grau C2-1 de alteração;
 (C) - idem;
 (D) - Nódulos de ferro em depleção;
 (E) - Poro do tipo câmara;
 (F) - Nódulo de ferro em depleção, com feições pedológicas de revestimento e preenchimento.
 Fonte: A autora, 2024.

Lâmina M10 (horizonte 2B - Figura 87): Material fracamente selecionado, sendo uma característica de todo o perfil pelo elevado volume de fração grossa presente, sendo esta constituída por cerca de 35% da lâmina, com destaque para quartzo, feldspato e nódulos. Características internas dos compostos minerais com cariações e fissuras, apresentando padrões de alteração B1, C2-1 e D2. Possui morfologia subangular de rugosidade ondulada. A fração fina ocupa cerca de 40% da lâmina, com as fábricas birrefringentes tendo limpidez salpicada com orientação em mosaico principalmente e poroestriada e granoestriada, de natureza argilosa, apresentando óxidos de ferro e alguns nódulos. A distribuição relativa é porfírica aberta, confirmando o maior volume de argila nesse horizonte. O grau de pedalidade é fracamente desenvolvido, possuindo microestrutura de blocos sub-angulares. Os poros ocupam cerca de 25% da lâmina, sendo 60% do tipo trans (com 70% de câmaras e 30% de empilhamento complexo) e o restante divididos entre intra com cavidades e fissuras e inter agregados, sendo representado em quase totalidade por câmaras e fissuras. Neste ponto, a porosidade é menor de todo o perfil, onde apresenta textura argilosa e distribuição relativa com a fração grossa imersa em material fino. As feições pedológicas encontradas foram de revestimentos, hiporrevestimentos, quasi-revestimentos, preenchimentos e nódulos amorfos. Nesse horizonte, as cores já evoluem para um bruno amarelado escuro, o que demonstra a depleção progressiva de ferro e a presença gradual de argila em relação ao horizonte superficial.

Figura 87 - Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte 2B do ponto 3.



Legenda: (A) - Feldspato (f) em grau de alteração C2-1 e preenchimentos;
 (B) - Feldspato (f) em grau C2-2 de alteração, apresentando revestimento;
 (C) - idem;
 (D) - Distribuição relativa porfírica aberta.

Fonte: A autora, 2024.

● Ponto 4

Único ponto com coleta apenas de amostra indeformada, este perfil é de um Latossolo situado acima do ponto 5 na topossequência. A amostra é proveniente de seu horizonte C (Figura 88). O perfil se apresenta com muitos fragmentos de rocha, demonstrando seu caráter incipiente.

Figura 88 - Vertente de onde foi obtida a amostra do ponto 4.

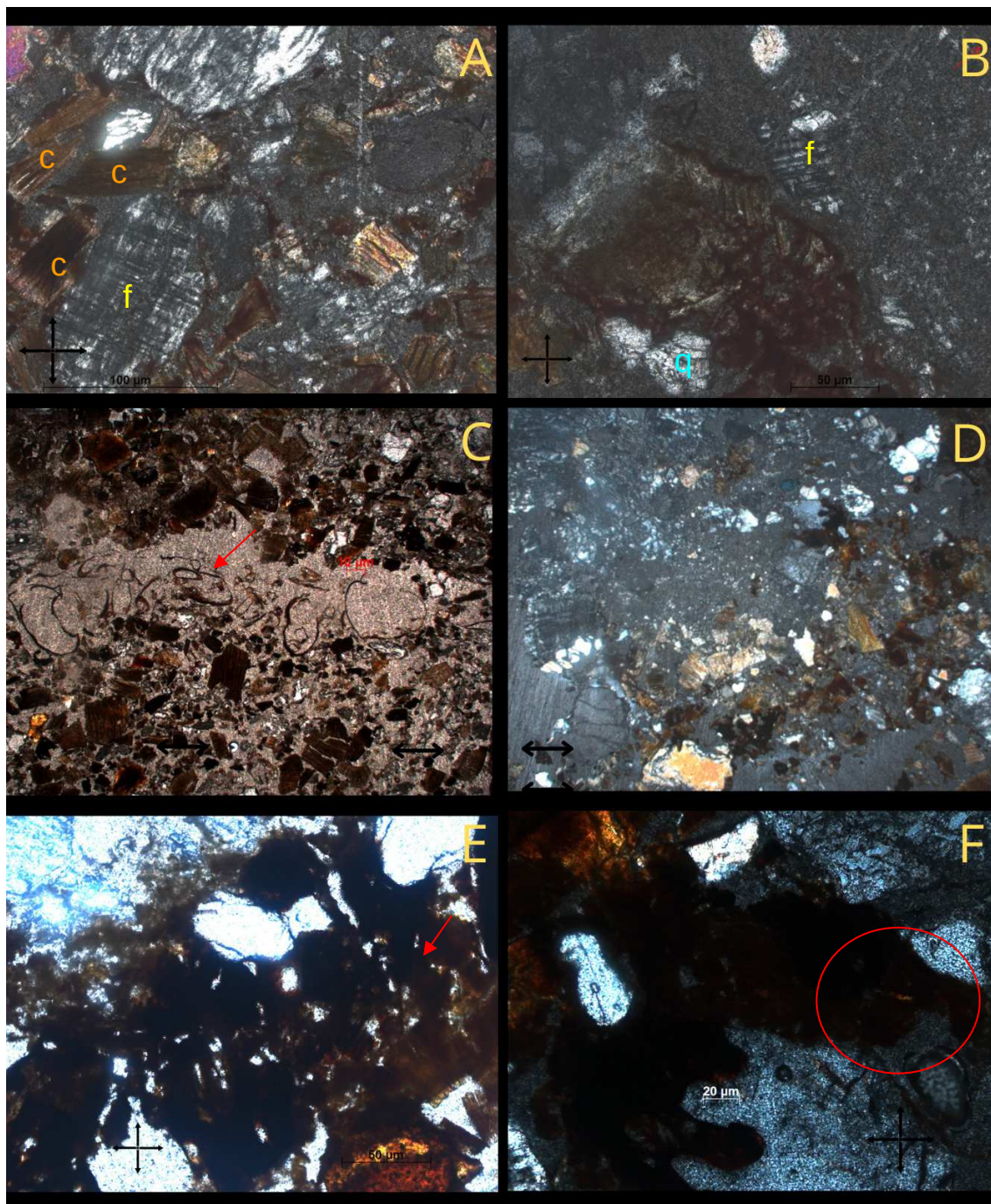


Fonte: A autora, 2024.

Lâmina M11 (horizonte C - Figura 89): Material fracamente selecionado, com elevado volume de fração grossa presente, mantém preservadas algumas feições do material de origem sendo visualmente um solo coluvionar. É constituído por cerca de 55% de fração grossa, com destaque para quartzo, feldspato e nódulos. Características internas dos compostos minerais com cariações e fissuras, apresentando padrões de alteração D0, C1-2 e C2-2 (Anexo A). Possui morfologia angular a sub angular de rugosidade ondulada. A fração fina ocupa cerca de 15% da lâmina, com as fábricas birrefringentes tendo limpidez salpicada com orientação granida, de natureza argilosa, com algumas delas fortemente orientadas, o que demonstra seu caráter iluvial pelo reordenamento dos cristalitos de argila. Apresenta também óxidos de ferro e alguns nódulos em depleção. A distribuição relativa é em grande parte quitônica, com a fração grossa envolvida em películas de ferro e argila e em menor grau, mônica, dado o elevado teor de fração grossa. O grau de pedalidade é apedal, sem formação de agregados. Os poros ocupam cerca de 30% da lâmina, sendo os intergrãos, majoritariamente, formados por cavidades e câmaras. Em uma das câmaras, inclusive, foram visualizados excrementos com formato mitóide, sendo um dos maiores poros

encontrados na lâmina. As feições pedológicas encontradas foram de revestimentos e nódulos.

Figura 89 - Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte C do ponto 4.



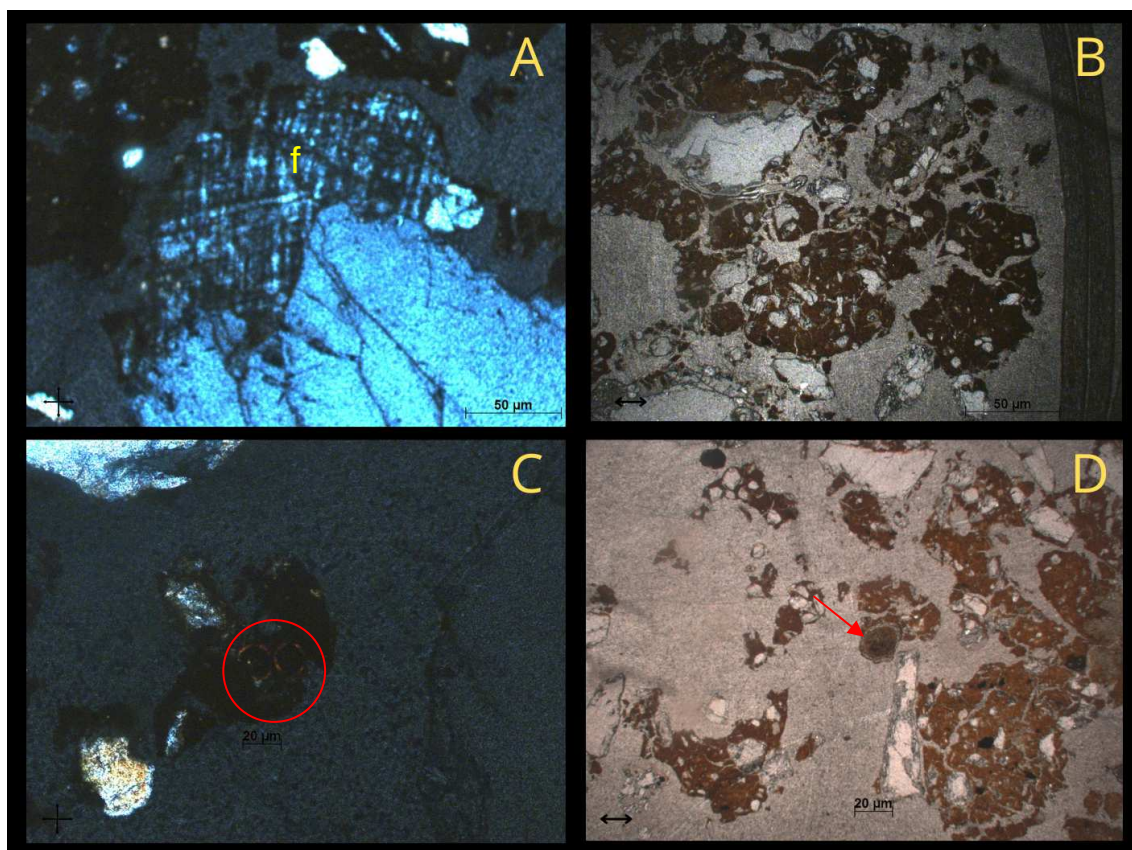
Legenda: (A) - Feldspato em grau de alteração C2-2, biotita e caulinita;
 (B) - Feldspato em grau C2-2 de alteração e quartzo em D0;
 (C) - poro do tipo câmara intergrãos com estrutura mitóide de excrementos;
 (D) - Fração grossa em distribuição relativa quitônica-mônica;
 (E) - revestimentos e nódulo em depleção no fundo matricial;
 (F) - revestimentos de argila fortemente orientada em decorrência de iluviação.
 Fonte: A autora, 2024.

- Ponto 5

Lâmina M13 (horizonte A - Figura 90): Perfil de Cambissolo Háplico, apresentando material moderadamente selecionado, sendo constituído por cerca de 30% de fração grossa presente, com destaque para quartzo, feldspato e nódulos. Características internas dos compostos minerais com cariações e fissuras, apresentando padrões de alteração C2-2, D0 e D1. Possui morfologia angular de rugosidade lisa. A fração fina ocupa cerca de 30% da lâmina, com as fábricas birrefringentes tendo limpidez salpicada com orientação granada e monoestriada, de natureza argilosa, apresentando óxidos de ferro e alguns nódulos. A distribuição relativa é porfírica e o grau de pedalidade é moderadamente desenvolvido, possuindo microestrutura granular. Os poros ocupam cerca de 40% da lâmina, sendo 70% trans do tipo câmaras e o restante divididos entre intra (fissuras e cavidades) e inter majoritariamente com fissuras. Neste horizonte, a porosidade é menor de todo o perfil, apesar de ser superficial, o que é corroborado pela análise morfológica e granulométrica, com grau de estrutura forte e consistência ligeiramente dura.

As feições pedológicas encontradas foram de revestimentos de argila fortemente orientados, nódulos amorfos entre achados esperados como carvão vegetal e raízes.

Figura 90 - Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte A do ponto 5.



Legenda: (A) - Feldspato em grau de alteração C2-2;
 (B) - Microestrutura granular;
 (C) - revestimento de argila fortemente orientada;
 (D) - Fragmento de raiz e atividade biológica.
 Fonte: A autora, 2024.

Lâmina M12 (horizonte B - Figura 91): Material moderadamente selecionado, sendo constituído por cerca de 25% de fração grossa presente, com destaque para quartzo, feldspato e nódulos. Características internas dos compostos minerais com cariações e fissuras, apresentando padrões de alteração C2-3 (Anexo A). Possui morfologia subangular onduladas. A fração fina ocupa cerca de 35% da lâmina, com as fábricas birrefringentes tendo limpidez salpicada com orientação granida e monoestriada, assim como no horizonte A, de natureza argilosa, apresentando óxidos de ferro, hidróxidos e alguns nódulos. A cor identificada neste horizonte difere do horizonte A e BC, indo de amarelo avermelhado a bruno forte, o que indica a presença de ferro e argila em maior volume nesse trecho. A distribuição relativa é porfírica aberta e o grau de pedalidade é fracamente desenvolvido, possuindo microestrutura granular. Em comparação ao horizonte superficial e subjacente, este é o único franco-argiloso deste ponto, justificando o material grosso imerso no material fino predominante. Os

poros ocupam cerca de 40% da lâmina, sendo em maioria do tipo trans em câmaras e o restante divididos entre intra (fissuras e cavidades) e inter majoritariamente com fissuras.

As feições pedológicas encontradas foram de hiporrevestimentos de argila fortemente orientada, nódulos amorfos, raízes e feições cristalinas de gibbsita, estando organizadas em pseudomorfos ou *boxworks* (BULLOCK et al., 1985). Esse achado, além de comprovar a tese da pesquisa, corrobora para as análises realizadas anteriormente e com o mapeamento de cicatrizes de deslizamento de 2011, que se encontravam concentrados nesse setor da Bacia do Vale do Cuiabá. A presença de *boxworks* de gibbsita é um dos fatores que pode reduzir a permeabilidade do horizonte, levando a uma instabilidade do talude, posto que essa característica interfere na condutividade hidráulica no perfil, gerando uma saturação do solo a montante, o que pode deflagrar um movimento de massa (FURIAN et al., 1999; SILVA et al., 2006).

Figura 91 - Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte B do ponto 5.

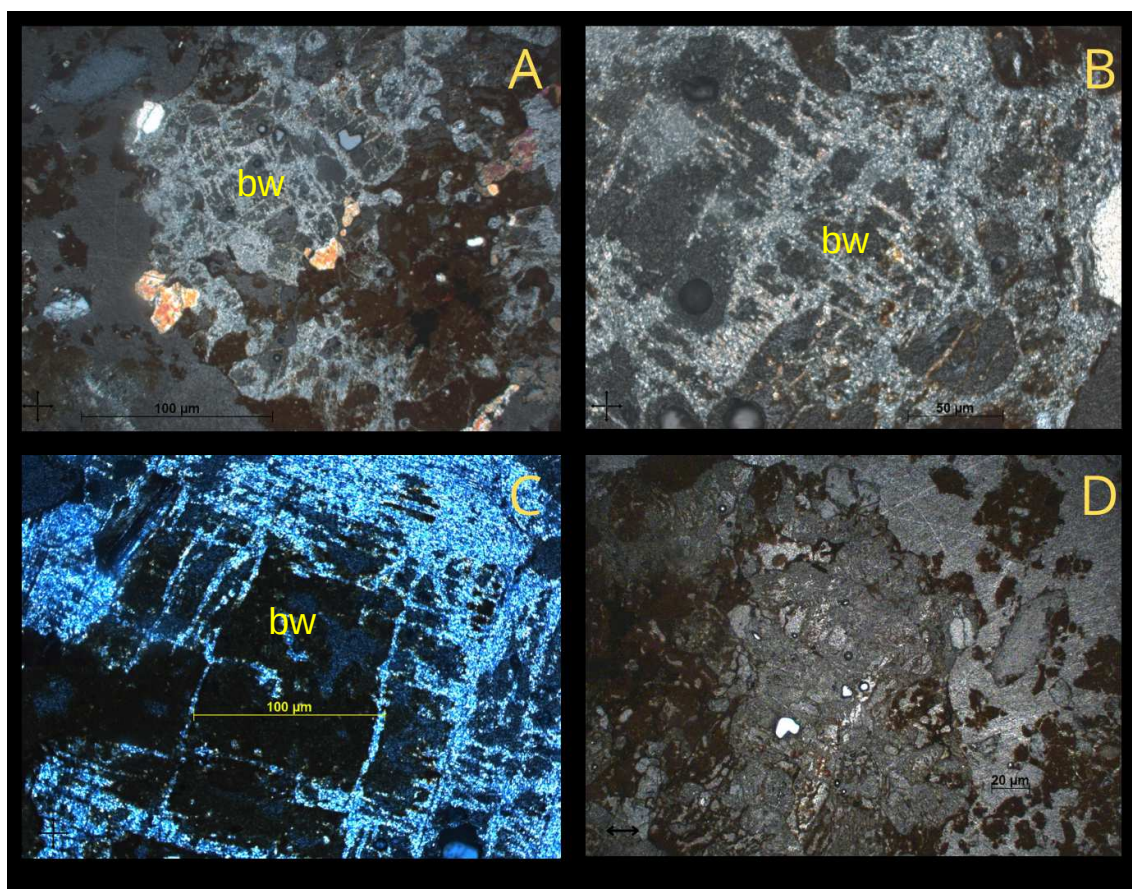
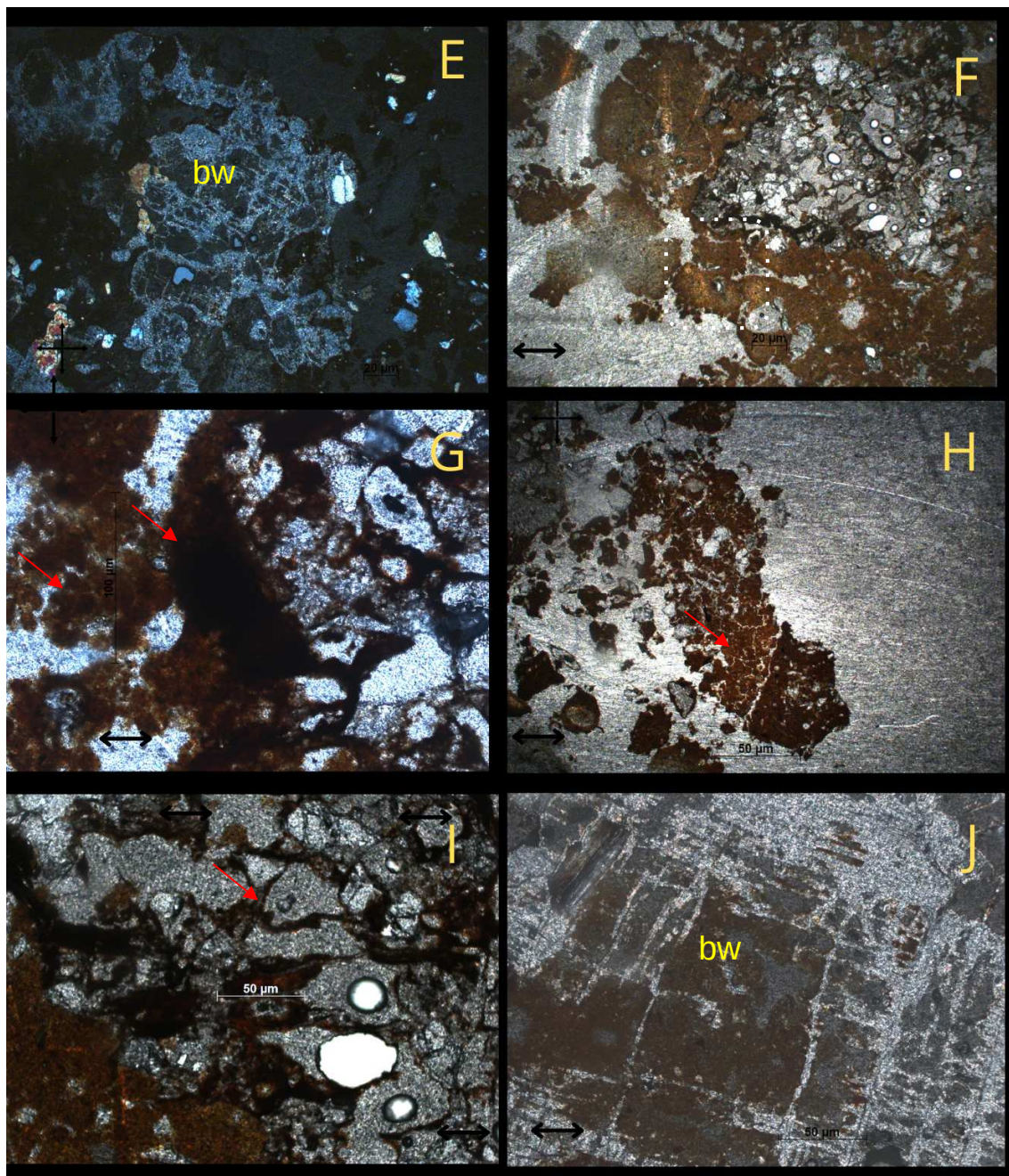


Figura 91 - Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte B do ponto 5 (continua).



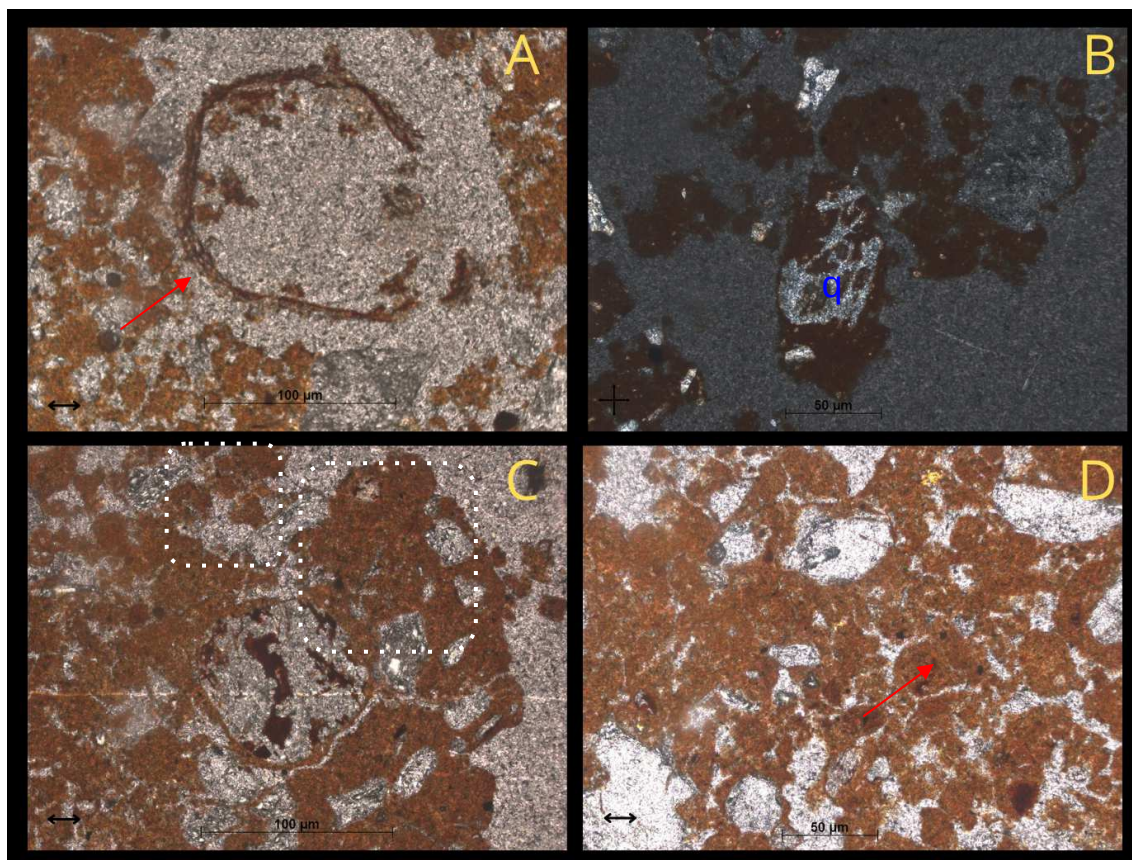
Legenda: (A) – *Box work* de gibbsita (bw) com fragmentos de quartzo;
 (B) - a mesma feição pedológica em detalhe maior;
 (C) - Feldspato C2-3 de alteração e *box work* de gibbsita em XPL;
 (D) - Feldspato em luz PPL junto a um poro do tipo câmara;
 (E) - Outra feição de *box work*, situada próximo ao topo da lâmina;
 (F) - Microestrutura granular fracamente desenvolvida;
 (G) - Nódulo de ferro em depleção, revestindo um poro tipo câmara;
 (H) - Detalhe de poros inter e intra agregados do tipo fissuras e cavidades;
 (I) - Revestimento de minerais de quartzo;
 (J) - Detalhe de um *box work* de gibbsita, situado no topo da lâmina.

Fonte: A autora, 2024.

Lâmina M14 (horizonte BC - Figura 82): Material moderadamente selecionado, sendo constituído por cerca de 25% de fração grossa presente. Características internas dos compostos minerais com fissuras, apresentando padrões de alteração B2, D0 e D1. Possui morfologia subangulares lisas. A fração fina ocupa cerca de 40% da lâmina, com as fábricas birrefringentes tendo limpidez salpicada granida. A distribuição relativa é 60% porfírica e 40% enáulica, com o grau de pedalidade é moderadamente desenvolvido, com microestrutura granular e de blocos subangulares. Os poros ocupam cerca de 35% da lâmina, sendo em maioria do tipo intra, majoritariamente em fissuras (diferente dos horizontes acima que eram de poros trans agregados). Os restantes dividem-se igualmente em inter (fissuras e cavidades) e trans (câmaras e cavidades). Essa mudança de padrão da porosidade pode acarretar alterações na condutividade hidráulica no perfil de solo entre os horizontes, posto que os poros agora não perpassam os agregados como os do tipo trans, ficando mais restritos ao interior dos agregados.

Nesse horizonte, as cores são similares às do horizonte A, sendo um bruno amarelado, o que corrobora a classificação textural com menor teor de argila (franco-argilo-arenoso).

Figura 92 - Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte BC do ponto 5.



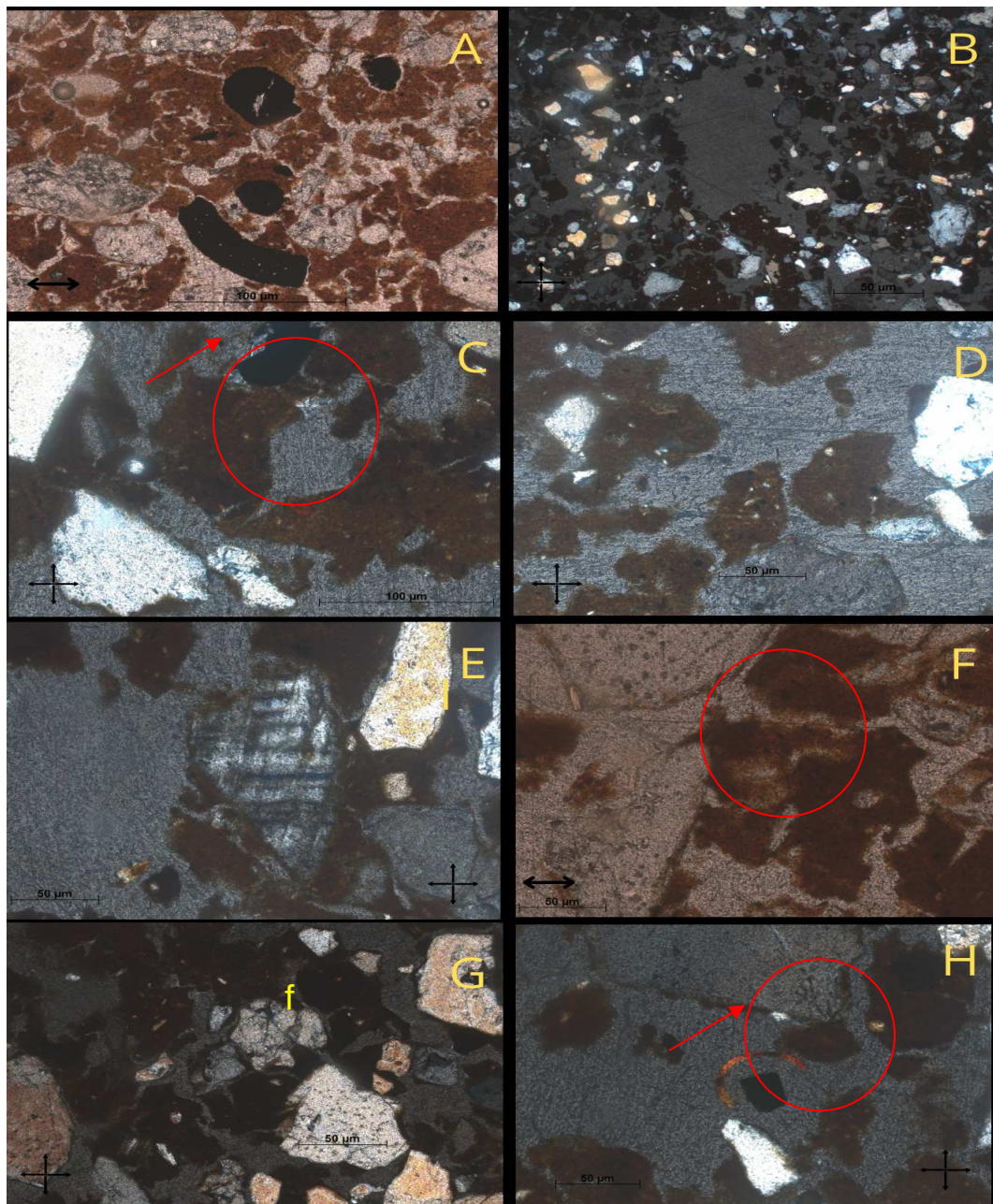
Legenda: (A) - Achado de raiz dentro de um poro do tipo câmara;
 (B) - Quartzo em avançado estado de decomposição em nível B2;
 (C) - Microestrutura granular e subangular;
 (D) - Feições pedológicas de revestimento e preenchimento em poros inter agregados.
 Fonte: A autora, 2024.

● Ponto 6

Lâmina M15 (horizonte A - Figura 93): Material pobremente selecionado, sendo constituído por cerca de 35% de fração grossa presente, com destaque para quartzo e feldspato. Características internas dos compostos minerais alternando entre muito alterados (C2-2 e D2) e pouco alterados (C2-1) com cariações e lineamentos. Possui morfologia subangulares onduladas. A fração fina ocupa cerca de 20% da lâmina, com as fábricas birrefringentes tendo limpidez salpicada com orientação salpicada mosaico e estriada cruzada. A distribuição relativa é enáulica, com o grau de pedalidade moderadamente desenvolvido e microestrutura granular e de blocos subangulares. Os poros ocupam cerca de 45% da lâmina, sendo 70 % do tipo trans, majoritariamente em câmaras e empilhamento complexo, 20% de inter (fissuras e câmaras) e intra (fissuras e cavidades). Foram encontradas feições pedológicas de preenchimentos, revestimentos, excrementos, nódulos amorfos e raízes.

Nesse horizonte, as cores são bruno amareladas escuras posto que se encontra próximo à superfície com maior teor de matéria orgânica.

Figura 93 - Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte A do ponto 6.



Legenda: (A) - Achado de carvão vegetal e um poro do tipo câmara atravessando a imagem;
 (B) - Distribuição relativa enáulica em XPL;
 (C) - Fábrica birrefringente estriada cruzada;
 (D) - Fábrica birrefringente salpicada mosaico;
 (E) - Feldspato em estado de alteração C2-2;
 (F) - Feições pedológicas de preenchimento e revestimento de poros;
 (G) - Microestrutura subangular com poro do tipo câmara e quartzo em nível D2 de alteração;
 (H) - Revestimento de argila fortemente orientada.

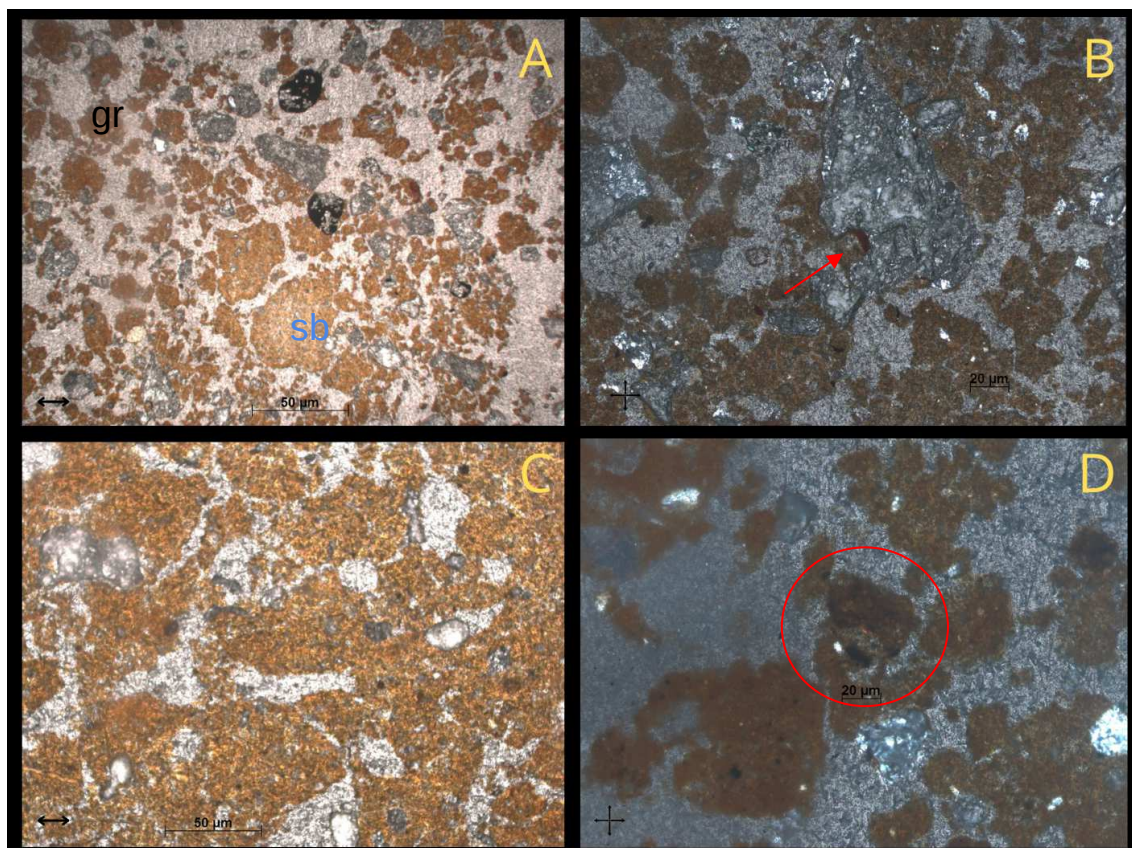
Fonte: A autora, 2024.

Lâmina M16 (horizonte Bw - Figura 94): Material moderadamente selecionado, sendo constituído por cerca de 25% de fração grossa. Características internas dos compostos minerais com fissuras e cariações, apresentando padrão de alteração B1, B2 e D1. Possui morfologia subangulares onduladas. A fração fina ocupa cerca de 30% da lâmina, com as fábricas birrefringentes com limpidez salpicada e orientação granida, mosaico e monoestriada. A distribuição relativa é porfírica aberta, dada a transição do horizonte A para o Bw de franco-argilo-arenoso para argiloso e por se tratar de um horizonte latossólico muito intemperizado (vide alterações B2). O incremento de argila neste horizonte e no subjacente provavelmente ocorreu por iluviação de A para Bw. O grau de pedalidade é fracamente desenvolvido, com microestrutura de blocos subangulares. Os poros ocupam cerca de 45% da lâmina, sendo em maioria do tipo trans, dividido entre câmaras e empilhamento complexo, além de cerca de 20% inter (fissuras e cavidades) e 10% intra (cavidades).

As feições pedológicas encontradas no horizonte são nódulos amorfos, revestimentos e hiporrevestimentos, além de carvão vegetal e raízes.

Nesse horizonte, as cores são mais claras em relação ao horizonte A, sendo um amarelo-avermelhado, o que corrobora a classificação textural com maior teor de argila.

Figura 94 - Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte Bw do ponto 6.

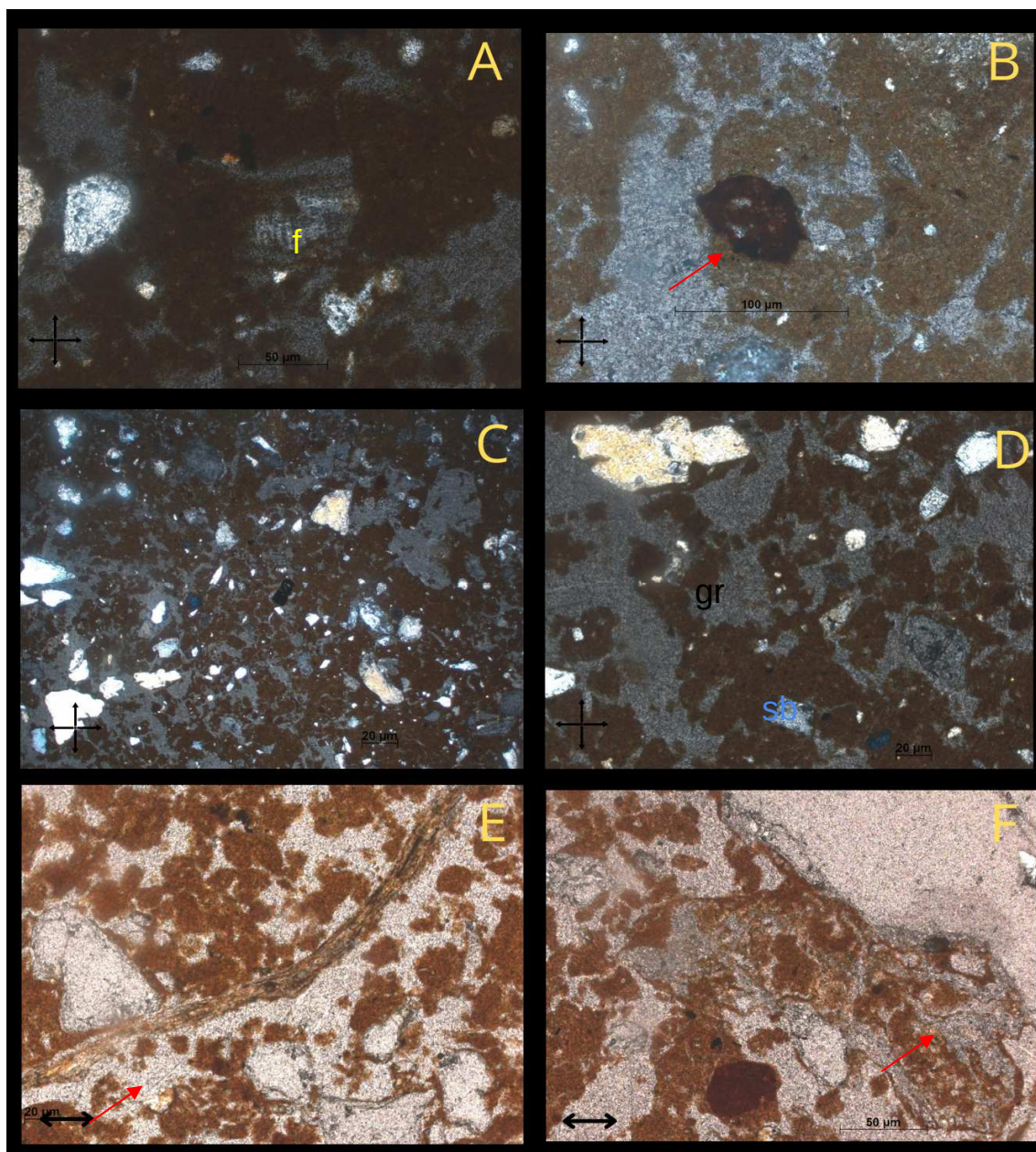


Legenda: (A) - Microestrutura de blocos subangulares (sb) e granular (gr);
 (B) - Hiporrevestimento pelo acúmulo de ferro em uma estrutura mineral;
 (C) - Distribuição relativa porfírica aberta, com poros trans do tipo câmara;
 (D) - Revestimento de poro com argila fortemente orientada.
 Fonte: A autora, 2024.

Lâmina M17 (horizonte Bw/Bt - Figura 95): Material moderadamente selecionado, sendo constituído por cerca de 30% de fração grossa presente, sendo representado por quartzo e feldspato, principalmente. As características internas dos compostos minerais possuem cariações e lineamentos, apresentando padrões de alteração B0, B2, C2-1 e D2. Possui morfologia subangulares onduladas. A fração fina ocupa cerca de 30% da lâmina, com as fábricas birrefringentes tendo limpidez salpicada com orientação granida. A distribuição relativa é porfírica fechada, pelo maior teor de fração grossa e grau de pedalidade fraco em microestruturas subangulares e moderadamente desenvolvido nas granulares. Os poros ocupam cerca de 40% da lâmina, sendo em maioria do tipo trans, majoritariamente em empilhamentos complexos e os restantes dividem-se igualmente em 20% intra (fissuras e cavidades) e inter (fissuras). O padrão da porosidade se manteve praticamente semelhante nos três horizontes, mudando apenas a morfologia dos poros destacados. No caso do horizonte

Bw/Bt, a mudança de padrão dos poros trans para somente de empilhamento demonstra uma alteração na conexão entre os poros dos horizontes, o que pode influenciar na saturação e mesmo na condutividade hidráulica em relação do horizonte Bw/Bt (Marsili *et al.*, 1998).

Figura 95 - Imagens obtidas pelo microscópio óptico das lâminas relativas ao horizonte Bw/Bt do ponto 6.



Legenda: (A) - Feldspato (f) em nível C2-1 de alteração;
 (B) - Nódulo de óxido de ferro de difusão com poros de empilhamento completo acima;
 (C) - Distribuição relativa porfírica fechada, com poros trans do tipo câmara;
 (D) - Microestruturas subangular (sb) fraca e granular (gr) moderadamente desenvolvida;
 (E) - Fragmento de raiz (r) cruzando a lâmina e revestimentos em poros do tipo câmara;
 (F) - Revestimento em quartzo e nódulo de ferro.

Fonte: A autora, 2024.

7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após a apresentação dos dados das análises a que esse trabalho se propôs, a discussão desses poderá elucidar as perguntas e teses lançadas no capítulo de objetivos a serem alcançados.

No ponto 1, um Latossolo Vermelho-Amarelo, a localização na vertente a 1022 m de altitude, em uma posição próxima ao topo da vertente em que se encontra. Apresentou uma transição bem demarcada entre os horizontes BA e B, com uma relação silte/argila (KAMPF et al, 2015) entre os horizontes que aponta para um estágio de intemperismo avançado entre B e BC (0,49 e 0,43 respectivamente) de textura argilosa. Valores inferiores a 0,7 em solos de textura média ou inferiores a 0,6 nos de textura argilosa ou muito argilosa indicam processo de intemperismo mais acentuado.

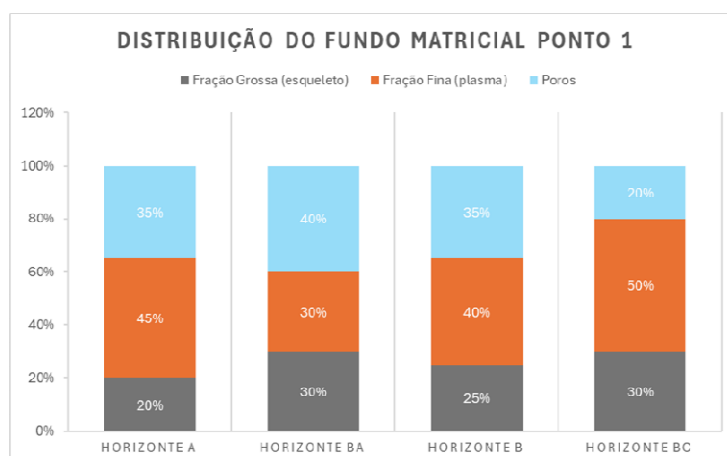
A análise micromorfológica de seus materiais demonstrou a transição entre os horizontes BA e B, onde feições pedológicas encontradas nas lâminas micromorfológicas deram indícios de que se tratava de material deslocado ao longo da vertente.

Segundo Múcher et al., (2018), os revestimentos assim como nódulos ferruginosos com limites nítidos podem ser indícios de materiais deslocados ao longo da vertente na formação dos perfis de solo e dinâmicas geomorfológicas. Tais características foram identificadas em todas as lâminas do perfil, com exceção da presença de nódulos demarcados que foram identificados apenas na lâmina M4.

A formação de fração fina e seu incremento conforme a profundidade do perfil (Figura 96) ilustra o intemperismo da fração grossa por herança ou *in situ* levando em consideração as condições climáticas locais. Além disso, o horizonte BC é o que possui a fração grossa com o estado de decomposição em maior nível se comparado aos demais (STOOPS e MEES, 2018).

A morfologia da fração grossa é dominante como subangular em todos os horizontes, tendo o BA também morfologia subarredondada, o que de acordo com Múcher et al., (2018) são características de materiais coluvionares, o que se comprova pela posição na vertente.

Figura 96 - Distribuição em (%) do fundo matricial do ponto 1.



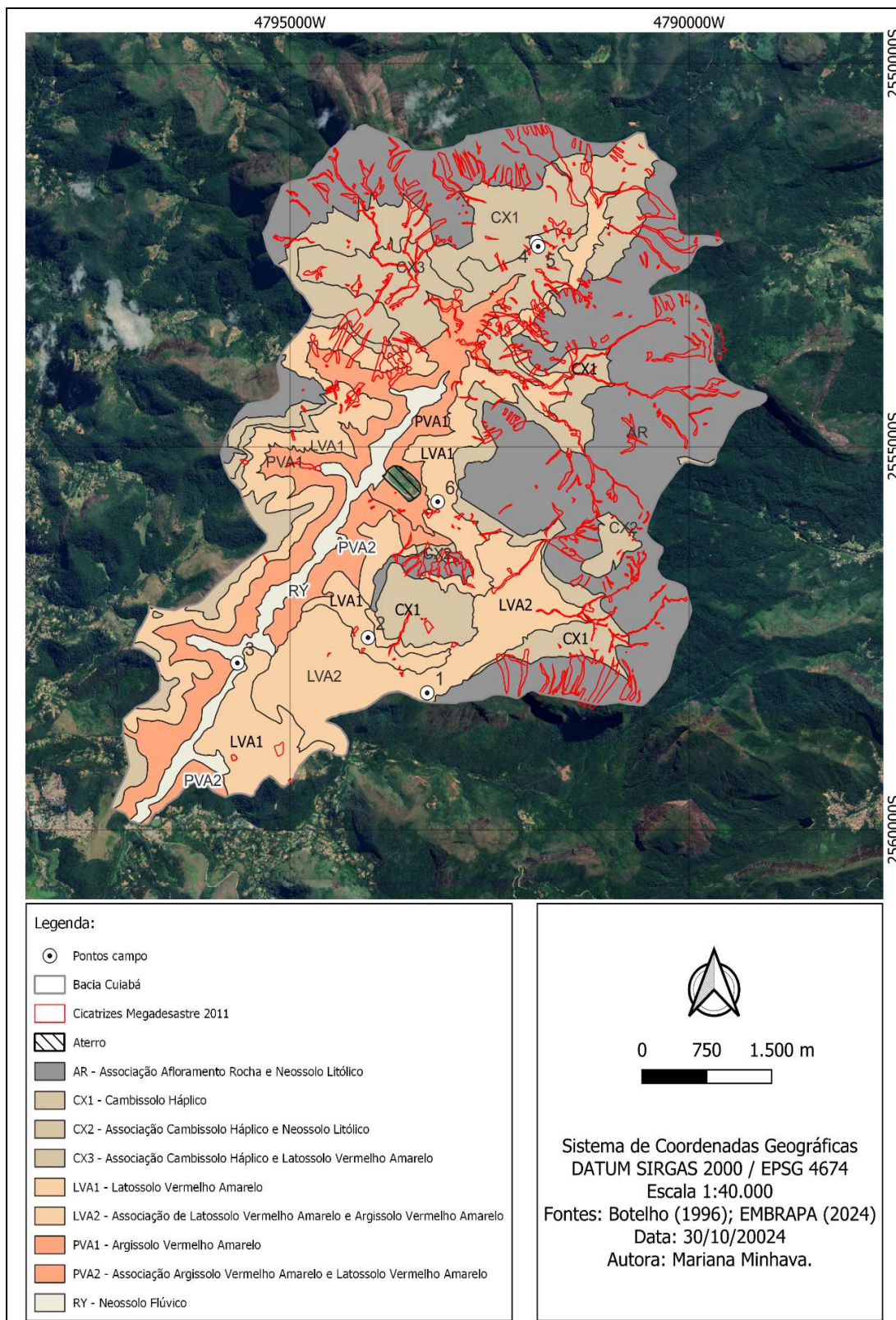
Fonte: A autora, 2024.

A distribuição relativa integrada vem sendo reconhecida como decorrência de diferentes categorias de fluxos em sedimentos de encosta ou de bioturbação em processos pedogenéticos. A ocorrência conjunta de agregados de diferentes morfologias (nesse caso, porfíricas e enáulicas em A, BA E B) indica a mistura de sedimentos na fase deposicional ou o retrabalhamento dos materiais (BIFFI e PAISANI, 2021).

Levando em consideração o clima local, com precipitação média anual de 2.200mm e temperaturas médias no verão por volta dos 21°C, é um fator que incide sob o intemperismo avançado notado como característica desse perfil. Além disso, pela sua localização, próxima ao topo em relevo forte ondulado, em períodos de pluviosidade intensa e/ou acumulada, podendo levar ao aumento de poropressão e redução do ângulo de resistência ao cisalhamento de seus constituintes, culminando na ruptura do equilíbrio de seus constituintes e a deflagração de um deslizamento.

O ponto está situado em vertente retilínea, levemente convexo, ou seja, não há uma convergência de fluxos acentuada neste ponto. Contudo, segundo estudos de Gerente et al., (2015), Nery e Vieira (2009) e Vieira (2009) na Serra do Mar, os ângulos entre 30° e 40° de declividades de vertente concentraram a maior parte de deslizamentos estudados, além da forma retilíneo-convexa ter sido a com maior deflagração de processos disruptivos. Apesar dessa constatação através dos dados obtidos, ao se realizar o cruzamento dos pontos, classes de solo identificadas e das cicatrizes de deslizamento deflagradas à época do Megadesastre de 2011, este ponto praticamente não apresentou processos deflagrados, como pode ser visto na Figura 97.

Figura 97 - Cruzamento do croqui pedológico com as cicatrizes de deslizamento do Megadesastre de 2011 e os pontos de coleta.



Fonte: A autora, 2024.

Por fim, dada a porosidade aparente nas lâminas, foi identificado uma porosidade maior na metade superior do perfil em cerca de 10%, o que aliado a granulometria (A e BA franco-argilo-arenosos) e (B e BC argilosos) gera uma descontinuidade textural no perfil.

No ponto 2, um Latossolo Vermelho-Amarelo situado a 934 m de altitude, com leve diferença de classificação textural entre os horizontes A e 1° e 2°Bw (argilo-arenoso e argilosos, respectivamente) de acordo com a granulometria. Os horizontes 1° e 2° Bw apresentaram a relação silte/argila indicando maior nível de alteração química em todo o perfil analisado (0,31; 0,21; 0,23, respectivamente) e textura argilosa. Assim como o ponto 1, o Ponto 2 não possui cicatrizes expressivas próximas.

A análise micromorfológica identificou em seus horizontes a fração grossa em estado de intemperização avançada, que ratifica a classificação do croqui pedológico de Latossolo Vermelho Amarelo e dos horizontes Bw.

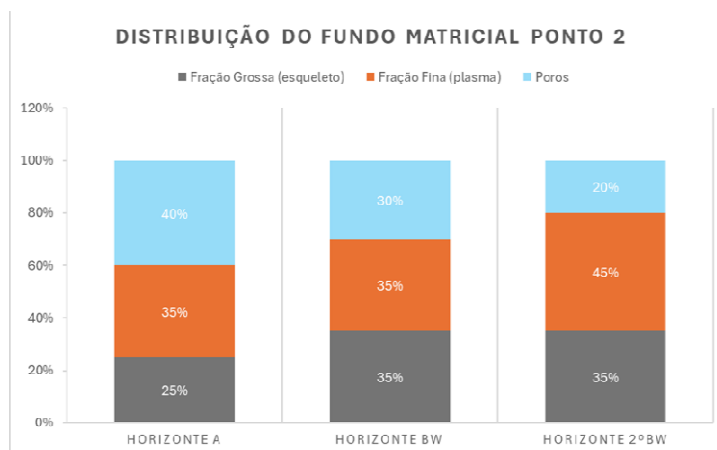
Os totais de poros identificados nas lâminas é decrescente pelas microestruturas apresentadas (40%/ 30%/ 20%, respectivamente, de A para o 2°Bw), o que também pode influenciar na velocidade de infiltração da água no perfil. Ademais, os tipos de poros identificados nos horizontes são similares, com exceção do horizonte mais superficial que possui poros de empilhamento complexo. É importante ressaltar que esses poros são extremamente resistentes e funcionais, além de serem responsáveis pelo rápido movimento da água no solo (CARDUCCI et al., 2022).

A distribuição relativa porfírica e porfírica aberta é indicativa de solos com alto grau de argila, comprovado pela granulometria nos dois horizontes Bw. Inclusive, o perfil por si é um demonstrativo dos estudos de Chadwick e Nettleton (1994) onde a evolução dos solos demonstra que estes podem apresentar uma transição de distribuições relativas onde partiriam de uma configuração mônica, com partículas de um só tamanho e tipo de material até alcançarem o que seria o seu estágio de evolução mais avançado que seria a distribuição porfírica aberta, como no 2°Bw.

Por fim, os tipos de agregados encontrados e o grau de pedalidade apresentam relação com a porosidade e tipos de poros. Em A, a pedalidade é moderada com estruturas grumosas, que pela sua morfologia favorecem um maior e mais integrados números de poros (FITZPATRICK, 1984). Conforme o perfil se aprofunda, além da estrutura ser subangular, a porosidade decai (Figura 6), assim como o grau de

pedalidade, que passa de moderada para fraca, posto que a individualização dos agregados é menor.

Figura 98 - Distribuição em (%) do fundo matricial do ponto 2.



Fonte: A autora, 2024.

A distribuição relativa integrada (nesse caso, porfírica-gefúrica em A) indica o mesmo quadro do ponto 1. Levando em consideração sua posição na catena de solos, a tese é de que o material superficial seja oriundo de fluxos de materiais mobilizados a montante da encosta em direção ao ponto estudado.

Além disso, as características ambientais destacadas em 1 se seguem para os demais pontos no que tange ao clima. Na vertente, o ponto 2 situa-se em posição em terço superior da encosta. Neste ponto, apresenta morfologia convexa com ruptura de declive positivo em um relevo forte ondulado, faixas destacadas como suscetíveis a deflagração de deslizamentos por Vieira (2009) e Nery e Vieira (2009).

No ponto 3, o Argissolo Vermelho-Amarelo, localizado a 744 metros de altitude, é o ponto mais próximo da drenagem e da base de encosta. Há uma mudança textural abrupta no perfil com o teor de argila mais que dobrando de A para o 1ºB, destacando a condição erosiva deste perfil. Enquanto em A há 126g/kg, em B é 315g/kg de argila. A relação silte/argila nesse ponto identificou os horizontes B com avançado estágio de intemperismo (0,53 e 0,31) de texturas média e argilosa, respectivamente.

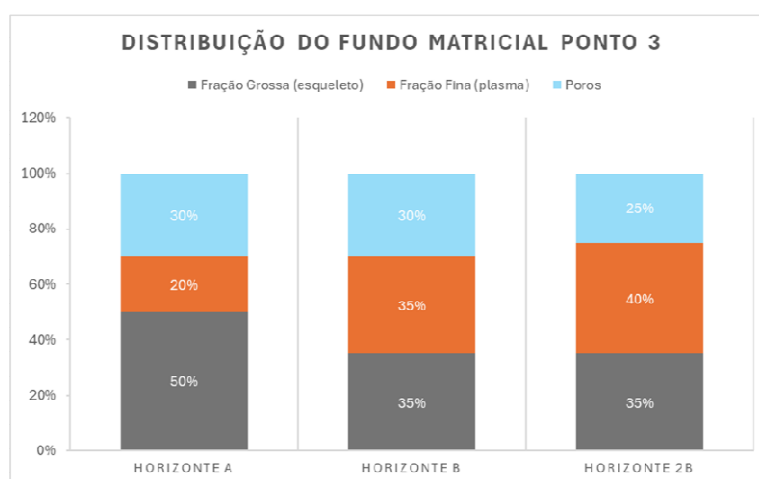
A morfologia dos agregados do perfil de solo mostra que prevalecem formas subangulares, assim como da fração grossa. Esses agregados resultam da ruptura pela ação da água corrente dos horizontes do subsolo, principalmente horizontes B, e são bastante estáveis durante o transporte na água. As camadas contêm poucos poros, sendo estes característicos de empacotamento simples e compostos. Segundo Mücher et al.,

(2018) são características de colúvios fruto de erosão laminar ou de material mobilizado por movimento de massa. De acordo com características levantadas através da granulometria e da posição na encosta ser a base, tais evidências completam a análise do perfil das amostras do ponto 3.

O horizonte A difere-se também quanto a distribuição relativa quitônica que revela um material superficial e com alta composição em areia. Com o ganho de profundidade, o padrão evolui para porfírica fechada e aberta de B para o segundo B, que revela maior intemperismo da fração fina e composição mais argilosa (Figura 99) e evolução pedológica conforme Stoops et al., (2018) propõem.

Os preenchimentos encontrados nos poros dos horizontes B e 2ºB pela argila iluviada podem ser responsáveis por uma descontinuidade textural que demarca a diferença dos horizontes superficiais em Argissolos (CASTRO e COOPER, 2019).

Figura 99 - Distribuição em (%) do fundo matricial do ponto 3.



Fonte: A autora, 2024.

Adiciona-se sobre a fração grossa os achados de feldspato em graus diferentes de alteração ao longo dos horizontes, sendo o superficial e o mais profundo em graus intermediários e o 1ºB com sinais de maior alteração mineral. Assim como Silva (2006) destacou em sua tese em Corrêas que os minerais não podem ser selecionados ao longo do perfil para níveis de alteração diferenciados, este perfil de Argissolo encontrou situação similar e geoquimicamente improvável. Desta forma, é possível afirmar que o material neste perfil é proveniente de transporte de montante para jusante da encosta.

A localização do ponto 3 encontra-se no terço inferior da encosta, com morfologia convexa de relevo ondulado, faixa de declividade com menor incidência de movimentos de massa de acordo com estudos realizados na Serra do Mar. Dos pontos com coleta de material, o ponto 3, identificado como Argissolo, não apresentou cicatrizes de deflagração de deslizamentos à época do Megadesastre de acordo com o mapa. Contudo, essa faixa próxima ao canal principal da drenagem foi atravessada por um grande volume de materiais transportados desde montante, que geraram uma enxurrada que avançou por quilômetros pelo canal principal, o que pode indicar que o ponto seja receptor de materiais tanto a montante da vertente onde se situa, como a montante da bacia em que se insere.

Os pontos 4 e 5, respectivamente a 965 m e 943 m de altitude, possuem características que demonstram a mobilização de material ao longo da encosta. É possível ver que a maior concentração de cicatrizes se dá na porção norte e leste da bacia, onde estão os pontos 4 e 5. Especialmente em áreas mais acidentadas, com maiores altitudes, onde os solos normalmente são pouco desenvolvidos e rasos. Exatamente de acordo com a descrição das corridas, que se apresentam como um processo complexo, iniciando-se nas áreas mais altas das vertentes, como deslizamentos planares no contato abrupto entre solo e rocha. Posteriormente, evoluem para corridas e tornam-se processos complexos por envolverem outros materiais e atingirem a drenagem. Assim, temos nessa avaliação os Neossolos Litólicos e Cambissolos com maiores números de deslizamentos, que correspondem às características elencadas acima de solos incipientes e/ou de contato abrupto (PINTO et al., 2012).

O ponto 4 analisado foi o horizonte C de um Latossolo, sendo a única amostra com estrutura apedal, justifica-se pela baixa presença de argila e matéria orgânica como mencionado acima, o que, segundo Fitzpatrick (1984), pode ocorrer por herança do material de origem, por remoção de partículas finas por lixiviação vertical ou erosão diferencial lateral. Apresenta diferentes níveis de alteração em feldspatos no mesmo horizonte C, situação similar observada no ponto 3.

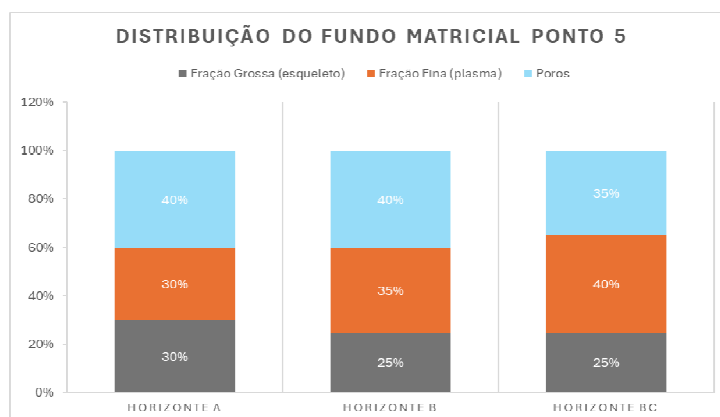
No caso dos revestimentos fortemente orientados de argila iluviada, se deposita por ressecamento e se trata de uma feição pedológica impregnativa com aumento de concentração de dado componente (CASTRO e COOPER, 2019). Levando esse dado em conta, a remoção por lixiviação se encaixa no processo descrito.

Em 4 é possível notar a localização entre o relevo ondulado e forte ondulado, estando no terço inferior da vertente do Alto Cuiabá, com uma morfologia retilínea, mais próxima de uma concavidade onde se concentram fluxos em períodos de chuva

Por sua vez, em 5, a jusante de 4, o Cambissolo Háplico com os três horizontes A, B e BC em avançado estágio de alteração pelo intemperismo (0,59; 0,46 e 0,50, respectivamente), todos de textura média. Nele foi possível constatar a presença dos *box work* de gibbsita no horizonte intermediário B, ilustrando o transporte realizado na vertente, posto que Furian et al., (1999) indicam sua formação *in situ* no horizonte C, enquanto Silva et al., (2016) apontam que quando os *box works* são encontrados em B, são deposicionais. Eles se formam a montante e com processos de movimentos de massa, são transportados se depositando em posições dos colúvios, como no horizonte B. Além disso, criam condições favoráveis para a deflagração de movimentos de massa por gerarem a redução de condutividade hidráulica e saturar o perfil de solo a montante da encosta (FURIAN et al., 1999).

Dessa forma, houve a formação a montante e transporte do material através de movimentos de massa que o depositaram nas posições de colúvio, na porção que apresentou o maior número de deslizamentos planares em 2011, concentrados principalmente nos topos dos morros, confirmando a hipótese de fragilidade natural nos solos neste ponto. Este perfil, além de localizado na porção do Vale do Cuiabá com maior concentração de cicatrizes de 2011, possui características de descontinuidade que podem desencadear processos disruptivos como deslizamentos. Essas características só puderam ser identificadas através do uso da micromorfologia.

Figura 100 - Distribuição em (%) do fundo matricial do ponto 5.



Fonte: A autora, 2024.

Apresenta distribuição relativa integrada tal qual os pontos 1, 2 e 4, sendo porfírica-enáulica em BC, que demonstra uma possível mobilização de material na encosta. Isso pode evidenciar que o fato de não encontrarmos os *box work* nesse horizonte justifica-se pelos indícios de mobilizações pretéritas ocorridas.

A porosidade abaixo de B é levemente menor (Figura 100), o que pode ser refletido pela mudança de padrão de poros trans agregados para inter, o que ilustra a menor condutividade hidráulica nesse espaço do solo (FITZPATRICK, 1984).

Por fim, 5 ocupa a mesma posição no relevo de 4, entre o ondulado e o forte-ondulado, contudo, a morfologia apresenta uma ruptura de declive positiva, situada em um setor retilíneo-convexo, porções mais problemáticas em estudos relatados sobre a Serra do Mar.

O ponto 6, localizado a 819 m de altitude, se trata de um Latossolo Vermelho-Amarelo em relevo forte ondulado, em posição mediana na vertente. Encontra-se em transição de ruptura de declive positivo para o negativo, o que de acordo com Santos (2023) trata-se de uma zona de passagem de materiais deslocados entre as zonas de diferentes morfologias de vertente. A montante, depósito de colúvio (como nos pontos 4 e 5) e tálus, oriundos do relevo montanhoso.

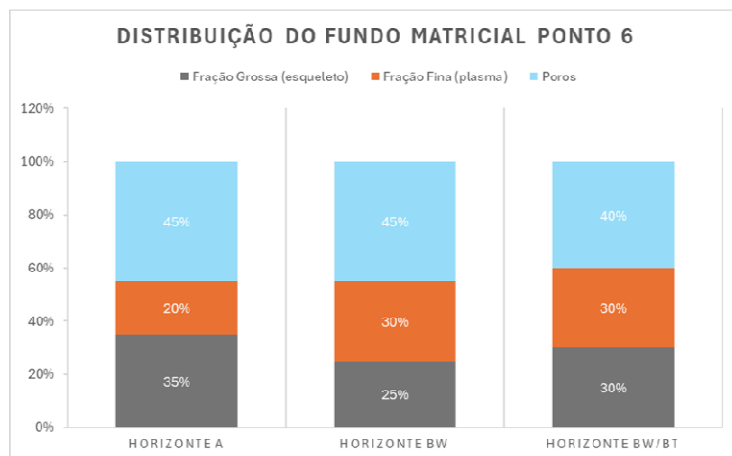
A montante do ponto 6, na composição de Afloramentos Rochosos e Neossolo Litólico, os deslizamentos foram direcionados para o lado oposto da vertente, se encaixando na drenagem a jusante. Seguiram a mesma lógica de deflagração próxima ao topo da vertente, com o volume intenso de chuvas, onde há pouco material alterado e a jusante, gerando aporte na drenagem. Por se tratar de um Latossolo bem desenvolvido, situado em zona de deposição de colúvios, difere dos pontos acima.

Apresenta indicativos de intemperização avançada, confirmado pela relação silte/argila que apontou que o perfil é bem desenvolvido e estágio avançado de processos intempéricos (0,49;0,35 e 0,41, respectivamente), tanto pelo nível de alteração intensa em seus minerais, como pela iluviação de argila que demarca uma alteração na granulometria dos horizontes A para Bw e Bw/Bt, sendo o horizonte superficial de textura média (franco-argilo-arenoso) e os outros de textura argilosa. (MÜCHER et al, 2018).

Em adição, características desse perfil de solo indicam se tratar de material deslocado. Além da sua própria localização, no sopé da Montanha Azul, possui revestimentos argilosos bem orientados, fração grossa subangular ondulada, além de

poros de empilhamento complexo (Figura 101), o que, segundo Stoops e Mees (2018), são indicativos de material coluvionar.

Figura 101 - Distribuição em (%) do fundo matricial do ponto 6.



Fonte: A autora, 2024.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como principal objetivo avaliar a contribuição da cobertura pedológica nos processos de movimento de massa na Bacia do Vale Cuiabá, em Itaipava. A micromorfologia foi a principal ferramenta que viabilizou a identificação de descontinuidades através da identificação de pseudomorfos como os *box works*, mudanças no padrão de porosidade entre horizontes e outros processos pedogenéticos similares.

Por meio de revisão teórica que embasou os conhecimentos regionais e a elaboração dos perfis topográficos e do croqui pedológico, foi possível a classificação dos perfis de solo, especialmente onde foram feitas as coletas e trabalhos de campo. Levando em consideração a altitude, suas posições na vertente e morfologia, foi possível compreender o comportamento e evolução desses solos, atualizando os estudos da região.

As análises morfológica, granulométrica e a descrição micromorfológica dos pontos da Bacia do Vale do Cuiabá dos horizontes dos solos permitiu corroborar características identificadas preliminarmente em campo, assim como da revisão teórica, e adicionar contribuições quanto à descontinuidades presentes nos solos, como diferença de padrão e porcentagem de porosidade, diferentes composições texturais e presença de pseudomorfos, o que contribui para a descontinuidade hidráulica, característica importante para a deflagração de processos de movimentos de massa quando da ocorrência de eventos pluviométricos importantes.

Foi possível observar no ponto 1, no terço superior de uma vertente de morfologia retilíneo convexo em seu setor, material coluvionar de acordo com a transição textural, a morfologia da fração grossa e a distribuição relativa integrada. Assim como a identificação de cerca de 10% a mais de poros na metade superior do que na metade inferior. Um estudo micromorfométrico futuro pode avaliar com precisão essa discrepância de porosidade.

No ponto 2, terço superior da vertente em que se encontra, de morfologia convexa com ruptura de declive positivo de relevo forte ondulado, consideradas faixas suscetíveis a deflagração de deslizamentos. Por meio da micromorfologia identificou-se que o material superficial era previamente mobilizado dadas as análises morfológicas e

granulométrica, que identificaram textura, estrutura e consistência diferentes no horizonte superficial em relação aos demais. Seus horizontes possuíam uma evolução em suas distribuições relativas e que a redução progressiva da quantidade de poros com a profundidade pode influenciar na velocidade de infiltração no perfil.

O ponto 3 situado no terço inferior da vertente do baixo Cuiabá, possuía o horizonte B composto por colúvio justificados por sua posição na vertente, sua granulometria, os tipos de poros identificados e características da fração grossa.

A granulometria indicou uma condição erosiva do perfil dados os teores de silte no horizonte A; os poros dos horizontes B possuíam preenchimentos típicos dos Argissolos pela iluviação de argila no perfil e por fim, a fração grossa em diferentes estágios de intemperização, ilustrando uma geoquímica improvável.

O ponto 4 era a única amostra apedal das estudadas, com baixos teores de argila e matéria orgânica. Por meio da análise micromorfológica, foram identificadas argilas orientadas, o que segundo Fitzpatrick (1984) indica que a lixiviação foi o processo responsável pelo transporte da argila culminando na reorganização de seus cristalitos. Assim como no Ponto 3, frações grossas em diferentes estágios de alteração no mesmo Horizonte C corroboram a versão de material transportado, assim como a ausência dos *box work* de gibbsita.

Aliás, no mesmo ponto 5, a presença de *box work* de gibbsita no horizonte B do Cambissolo Háplico, a jusante do Ponto 4, reafirma o que autores que realizaram estudos em solos da Serra do Mar descobriram sobre os pseudomorfos de feldspatos: a de que sua presença nesse horizonte indicaria sua movimentação, posto que sua formação ocorre no horizonte C. E, que, no horizonte C do perfil a montante não foram encontradas tais feições, podendo confirmar essa movimentação de montante para jusante da vertente.

Além disso, os achados de feldspatos em diferentes estágios de intemperismo no ponto 5 (assim como em outros pontos) reafirmam o caráter de chegada de materiais de montante, posto que não há qualquer processo que altere esses minerais de maneira diferenciada no mesmo horizonte do perfil de solo.

Outro processo identificado através da micromorfologia neste ponto foi a alteração na morfologia dos poros (transagregados / intragregados), o que resultaria em uma condutividade hidráulica alterada.

Em se tratando de sua localização na vertente, na base da encosta do Alto Cuiabá, com morfologia retilínea-convexa e de declive positivo, o Ponto 5 está localizado na parte nordeste da Bacia, onde houve a maior concentração de processos de deslizamentos rasos ocorridos nos topos de morros no Megadesastre de 2011, de solos delgados.

No ponto 6, situado na porção intermediária da encosta, foi constatado através das análises que se tratava de zona de passagem de materiais na vertente. Fatores como revestimentos orientados, morfologia da fração grossa e os poros do tipo empilhamento complexo corroboram a versão que se tratava de material coluvionar.

Foram identificados minerais muito alterados (justificando o horizonte Bw) e iluviação de argila que altera a granulometria de A (franco-argilo-arenosa) em relação a Bw e Bw/Bt (ambos de textura argilosa).

Ademais, o trabalho atualizou o conhecimento acerca dos solos da bacia do Cuiabá após o Megadesastre de 2011, através da identificação das cicatrizes de deslizamento à época, com os pontos coletados e as classes de solo dos setores mais críticos dos processos disruptivos. Inclusive, utilizando a micromorfologia dos solos de forma inédita como objeto de estudo para a temática de desastres. Por ser uma técnica que trabalha em detalhe, consegue demonstrar sintomas na paisagem que outras análises não conseguiriam. Em tempos de alterações climáticas e intensificação de processos destrutivos, pode ser usada como ferramenta para alimentar dados de localidades historicamente críticas e fomentar medidas preventivas.

Trabalhos futuros podem aprofundar a análise neste e em outros locais atingidos por desastres utilizando a técnica da análise micromorfológica. Além disso, consultar documentos que foram desenvolvidos enquanto este trabalho se desenvolvia e não puderam ter seus resultados considerados como o Mapeamento de Risco da Cidade de Petrópolis, elaborado pelo DRM – Departamento de Recursos Minerais-, e que identificou através de análises de risco geológico, setores nos cinco distritos da cidade com riscos muito alto, alto e de monitoramento. O Vale do Cuiabá foi considerado pelo relatório e teve uma metodologia de análise diferente, por ter se tratado de um dos locais mais criticamente afetados durante as chuvas de 2011, que culminaram nos processos de deslizamentos e corridas que avançaram ao longo do Vale.

REFERÊNCIAS

AGATOVA, A.; NEPOP, R. **Using largest seismically induced landslides for estimating earthquake magnitudes and topography changes**. In: WERNER, E. D.; FRIEDMAN, H. P. (orgs.). **Landslides: causes, types and effects**. New York (NY): Nova Science Publishers, Inc., 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Catálogo de metadados da ANA**.

Disponível em:

<<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/search?facet.q=topicCat%2FinlandWaters>>. Acesso em: 07 nov. 2023.

ALCÂNTARA, E. *et al.* Deadly disasters in southeastern South America: flash floods and landslides of February 2022 in Petrópolis, Rio de Janeiro. **Natural hazards and earth system sciences**, v. 23, n. 3, p. 1157–1175, 2023.

ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C. D. R. Origem e evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, n. 2, p. 135-150. 1998.

ALMEIDA, H.A. **Climatologia aplicada à Geografia**. 21ª Ed. Campina Grande: EDUEPB, 2016.

ANJOS, Anna Beatriz. Chuva “não dá conta de explicar o desastre” no litoral norte de SP. **Racismo Ambiental**. [2023]. Disponível em: <https://racismoambiental.net.br/2023/02/24/chuva-nao-da-conta-de-explicar-o-desastre-no-litoral-norte-de-sp-diz-especialista/>. Acesso em 13 de maio de 2023.

ARINGOLI, D. *et al.* Mass Movements in Adriatic Central Italy: Activation and Evolutive Control Factors. In: **Landslides: Causes, Types and Effects**, p. 1–71, 2010.

AVELAR, A. S. *et al.* Mechanisms of the recent catastrophic landslides in the mountainous range of Rio de Janeiro, Brazil. Em: **Landslide Science and Practice**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013. p. 265–270.

AVILA, F. F. **Análise da cobertura pedológica em uma topossequência na bacia do córrego dos pereiras - depressão de Gouveia/MG**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2009.133 f.

AYALEW, L; YAMAGISHI, H. Slope movements in the Blue Nile basin, as seen from landscape evolution perspective. **Geomorphology**, v. 57, n. 1-2, p. 5-116, 2004.

AYOADE, J. O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro (RJ): Bertrand Brasil, 2011.

AZEVEDO, L. G. Tipos de vegetação. In: **Atlas do Brasil**. Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Geografia, IBGE, 1960. p. 511-520.

BARROS E SILVA *et al.*, Gênese e classificação dos solos de uma topossequência em área de carste na Serra da Bodoquena, MS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, n.6, dez-2013. p. 1464-1480.

BARRY, R.G., CHORLEY, R.J. **Atmosfera, Tempo e Clima**. Porto Alegre: Bookman Editora Ltda, 534p, 2013.

BERTOLINI, L. Station areas as nodes and places in urban networks: An analytical tool and alternative development strategies. In: **Railway Development Impacts on Urban Dynamics**. Universidade de Amsterdam, Holanda, 2008.

BIERMAN, P. R; MONTGOMERY, D. R. **Key Concepts in Geomorphology**. New York, NY, W.H.Freeman & Co Ltd, 500p, 2014.

BIFFI, V.H.R.; PAISANI, J.C. Reconstrução morfoestratigráfica e evolução de encosta em unidade de relevo de baixa ordem no Quaternário Superior: o caso da Superfície de Cimeira de Pinhão/Guarapuava - Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. 2021, v. 22, n. 3; (Jul-Set).

BIRKMANN, J. (Ed.) **Measuring Vulnerability to Natural Hazards. Towards Disaster Resilient Societies**. Tokyo, New York, Paris: UNU-Press, 2006.

BOTELHO, R. G. M. **Identificação de unidades ambientais na bacia do rio Cuiabá (Petrópolis - RJ) visando o planejamento do uso do solo**. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro, PPGG, UFRJ, 1996, 112 p.

BOTELHO, R. G. M., *et al.*, Levantamento semidetalhado dos solos do distrito de Itaipava (Petrópolis - RJ). **XXVII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Brasília, 1999. CD-ROM.

BOULET *et al.* Geoquímica das paisagens tropicais: O papel das coberturas pedológicas. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, 37 (2), 1-23, 2016.

BLUM, W. E. H. The role of soil micromorphology in the light of the European thematic strategy for soil protection. Em: **New Trends in Soil Micromorphology**. Berlim, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008. p. 1–4.

BRASIL. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) **Manual técnico para elaboração, transmissão e uso de alertas de risco de movimentos de massa**. São José dos Campos, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), 2018. 162p.

BRITO, M. M. **Geoprocessamento Aplicado ao Mapeamento da Suscetibilidade a Escorregamentos no Município de Porto Alegre, RS**. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre. UFRGS, 2014. 155p.

BULLOCK *et al.*, **Handbook for soil thin section description**. Wolverhampton: Waine research publications, 1985.

CAMARGO, L.P. **Análise integrada do meio físico dos ribeirões braço serafim e máximo com ênfase nas áreas de fragilidade estrutural, Luís Alves, (SC)**. Tese de doutorado em Geografia, CFCH, PPG, UFSC, Florianópolis, SC. 2015. 193 p.

CAMPOS, M.C.C. et al. Segmentos de vertente e atributos do solo de uma topossequência na região de Manicoré, AM. **Revista Ciência Agronômicas**, Fortaleza, v.41, n.1, p.501-510, 2010.

CAMPOS, A.B.A., BOTELHO, R.G.M. Street View e Google Earth como ferramentas investigativas de alterações na paisagem: os campos virtuais. **William Morris Davies - Revista de Geomorfologia**. v.3, n.2, p.1-19. 2022.

CARDUCCI, C. E. et al. Micromorfologia e tomografia de raios-X: porosidade de um latossolo gibbsítico sob sistema multi-práticas de manejo cafeeiro. **RECIMA21: Revista Científica Multidisciplinar**, [S.l.], v. 3, n. 6, p. 1-21, 2022.

CARVALHO, H. W. Instituto histórico de Petrópolis. 1999. **Elementos para a história da colonização petropolitana**. Disponível em: <https://ihp.org.br/elementos-para-a-historia-da-colonizacao-petropolitana/>. Acesso em 19 nov. 2021.

CASTRO, S. S. **Micromorfologia de solo - base para descrição de lâminas delgadas**. Apostila da disciplina Micromorfologia de Solos. (Vol. 1, pp. 1–135). UFG/UNICAMP, 2002.

_____. **Micromorfologia dos solos: bases e aplicações**. 2ª Ed. [CD-ROM]. LABOGEF/ IESA/ UFG; 2008.

CASTRO, S.S., et al., Micromorfologia do solo: bases e aplicações. In: CURI, N., et al., **Tópicos em ciências dos solos**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo; 2003. v.3. p. 107-164.

CASTRO, S.S., COOPER, M. **Fundamentos de Micromorfologia**. 1ª Ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa (MG), 2019. 240p.

CAVALCANTE FILHO, E. C. et al., Tragédia Climática e Ambiental Na Região Serrana/RJ 2011: Diagnóstico, Desafios e Ações. **Associação Brasileira de Recursos Hídricos**. Apresentado no XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, 2011.

CHADWICK, O. A., NETTLETON, W.D. Quantitative relationships between net volume change and fabric properties during soil evolution. In: A. J. Ringrose-Voase & G.S. Humphreys (Eds.), **Soil Micromorphology: Studies in Management and Genesis**. (1st ed., Vol. 22, pp. 353–360). Elsevier.

CLAGUE, J.J., ROBERTS, N. J. Landslide hazard and risk. In: CLAGUE, J.J., STEAD, D. **Landslides: Types, Mechanisms and Modeling**, 1st. Ed. Cambridge University Press, New York (NY), p. 27-40, 2012.

COELHO NETTO, A L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Betrand Brasil, 1994. p. 93-148.

COELHO NETTO, A. L. et al., January 2011: The extreme landslide disaster in Brazil. In: WORLD LANDSLIDE FORUM, 2, 2011, Roma. **Proceedings of the second world landslide forum**. Roma: International Programme on Landslides (IPL), 2011. p. 1-7.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. **Base de dados do Serviço Geológico Brasileiro**. Disponível em: <https://geoportal.sgb.gov.br/geosgb/>. Acesso em: 11 out. 2023.

CONTI, J.B. FURLAN, S.A. Geoecologia: O clima, os solos e a biota. In: ROSS, J.L.S. (org). **Geografia do Brasil**. 5ª Ed. Revisada e ampliada. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 2005.

COOPER *et al.*, 2017. Micromorfologia do solo. In: PAULO, P.C. *et al.*, **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª Ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p.527-561.

CORTEZ, Henrique. O racismo ambiental é visível nas habitações em áreas de risco. **Racismo Ambiental**. [2023]. Disponível em: <https://racismoambiental.net.br/2023/02/28/o-racismo-ambiental-e-visivel-nas-habitacoes-em-areas-de-risco/> Acesso em: 21 de maio de 2023.

COSTA NUNES, A. J., FERNANDES, C. E. M. **Contribuição ao conhecimento do Risco Geológico da Cidade de Petrópolis**. 1º Simpósio Latino Americano sobre Risco Geológico Urbano, São Paulo, 1990, p. 102-114.

CNN Brasil. **Polícia identifica todos os 10 mortos em desabamento de rocha em Capitólio**. 2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/policia-identifica-todos-os-10-mortos-em-desabamento-de-rocha-em-capitolio/#:~:text=O%20acidente%20deixou%2C%20al%C3%A9m%20de,de%20Bom%20de%20Minas%20Gerais>. Acesso em 01 ago. 2022.

CURI, N., KAMPF, N. Caracterização do solo. In: KER, J.C., *et al.*, **Pedologia**. 1ª Ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG. 2015. p. 147-170.

DE PLOEY, J.; CRUZ, O. Landslides in the Serra do mar, Brazil. **Catena**, v. 6, n. 2, p. 111–122, 1979.

DIAS, H. C. *et al.*, Landslides and morphological characterization in the Serra do Mar, Brazil. In: S. AVERSA, L. CASCINI, L. PICARELLI, & C. SCAVIA (Eds.), **Landslides and Engineered Slopes**. 1st ed., CRC Press. pp. 831–836, 2016. 3

D'ORSI, R. N. **Correlação entre pluviometria e escorregamentos no trecho da Serra dos Órgãos da rodovia federal BR-116 RJ (Rio-Teresópolis)**. 2011. Tese de Doutorado, UFRJ, Rio de Janeiro, 2011.

DOURADO, F. *et al.*, O Megadesastre da Região Serrana do Rio de Janeiro: as causas do evento, os mecanismos dos movimentos de massa e a distribuição espacial dos investimentos de reconstrução no pós-desastre. **Anuário do Instituto de Geociências. Rio de Janeiro, RJ**, v. 35, n. 2, p.43–54, dez. 2012.

DREES, L.R. *et al.*, Micromorphological characteristics of long-term no-till and conventionally tilled soils. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, WI. v.58, p.508-517, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Procedimentos para a coleta de amostra de solo para fins de fertilidade**. 1ª Ed. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2014.

FERNANDES, N. F. **Avaliação estatística de parâmetros fit-morfológicos nas cicatrizes dos movimentos de massa da bacia do Rio Quitite, Jacarepaguá(RJ).** XL Congresso Brasileiro de Geologia. SBG, Belo Horizonte, 1998, pp. 417.

FERNANDES, N. F. *et al.* Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 51–71, 2001.

_____. *et al.*, Movimentos de Massa. In: FLORENZANO, T.G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FERNANDES, N. F. e AMARAL, C. P. Movimentos de massa: Uma abordagem geológica-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. 3º Ed. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p. 123-194

FERREIRA, G. M. L. **Atlas geográfico: espaço mundial**. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2010.

FITZPATRICK, E, A. **Micromorphology of soils**. Robert E. Krieger, New York, 482p. 1984.

FONSECA, A.C. Geoquímica dos solos. In: **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Orgs.: A. J. T. Guerra, A. S. Silva e R. G. M. Botelho. Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro. 17-55, 1999.

FREDLUND, D. G. Slope stability analysis incorporating the effect of soil suction. In: Anderson, M.G. e Richards, K.S (eds.) **Slope Stability**. John Wiley, Chichester: p.113-144, 1987.

FUNDAÇÃO CENTRO ESTADUAL DE ESTATÍSTICAS, PESQUISAS E FORMAÇÃO DE SERVIDORES PÚBLICOS DO RIO DE JANEIRO - (CEPERJ). **Divisão Municipal e Regional Fluminense**. 2018. Disponível em: <https://www.rj.gov.br/ceperj/wp-content/uploads/2021/08/Divisao-municipal-e-regional-fluminense-2018-CEPERJ.pdf>. Acesso em: 10 set. 2021.

FURIAN, S., 1994. **Morphogenèse/ pédogenèse en milieu tropical humide de la Serra do Mar, Brésil. Contribution de l'altération et de la pédogenèse a une dynamique actuelle de glissement**. PhD Thesis, University Caen, 178 pp.

_____. *et al.*, Organisation of a soil mantle in tropical south-eastern Brazil (Serra do Mar) in relation to landslide processes. **Catena**, 1999, v 38, n 1, p. 65–83.

_____. *et al.*, Distribution and dynamics of gibbsite and kaolinite in an oxisol of Serra do Mar, southeastern Brazil. **Geoderma**, 2002, v. 106, p. 83-100.

G1. **Ocupação irregular de áreas em Petrópolis mais do que dobrou entre 1985 e 2020**. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2022/02/23/ocupacao-irregular-de-areas-em-petropolis-mais-do-que-dobrou-entre-1985-e-2020.ghtml>. Acesso em: 17 jun. 2024.

GABERTI, M. M.; ROBAINA, L. E. S. Análise da suscetibilidade a escorregamentos a partir do estudo do relevo, com apoio de SIG, na Bacia do Arroio Veado, Rio Grande do

Sul. Em: **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**. [s.l.] INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - UNICAMP, 2017. p. 4191–4195.

GERENTE, J. *et al.*, Análise da variável forma de relevo como condicionante de movimentos de massa: estudo de caso na bacia do Rio Saltinho em Gaspar/SC. **Revista Equador (UFPI)**, Vol. 4, Nº 3, (2015). Edição Especial XVI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Teresina- Piauí.

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. **Earth Overshoot Day**. 2024. Disponível em: https://overshoot.footprintnetwork.org/?_ga=2.33162110.110588443.1722601268-775120466.1722601268. Acesso em: 14 maio 2024.

GIANNINI, P. C. F ; MELO, M. S. Do grão à rocha sedimentar: erosão, deposição e diagênese. In: TEIXEIRA, W. *et al.*, **Decifrando a Terra**. 2ª Ed. local Companhia Editora Nacional, 2009, cap.9, p. 240-277.

GONÇALVES, L.F.H. **Avaliação e diagnóstico da distribuição espacial e temporal dos movimentos de massa com a expansão da área urbana em Petrópolis - RJ**. 1998. Dissertação (Mestrado em Geografia). Departamento de Geografia, UFRJ, Rio de Janeiro, 1998.

GONÇALVES, U. S. FRANCISCO, C. N. Análise espacial das variáveis geomorfométricas e movimentos de massa na Região Serrana Fluminense. **Revista brasileira de cartografia**, v. 68, n. 9, p. 1839-1851, 2016.

GONZÁLEZ DÍEZ, *et al.*, The Incorporation of Geomorphological Factors into Environmental Impact Assessment for Master Plans: A methodological proposal. In: MCGREGOR, D.F.M., THOMPSON, D.A. (eds.) **Geomorphology and land Management in a Changing Environment**. New York (NY). John Wiley & Sons. 349p. 1995.

GOUDIE A, VILES H. **The Earth Transformed: An Introduction to Human Impacts on the Environment**. Blackwell, Oxford, 1997.

GOUDIE, A.; VILES, H. **Geomorphology in the Anthropocene**. Cambridge: Cambridge University Press. 2016. 380p.

GOUVEIA, J.R. **Avaliação das Condicionantes Geológicas para os Movimentos de Massa Gravitacionais na Região de Mangaratiba – RJ**. 2010. Trabalho de conclusão do Curso de Geologia. Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, Rio de Janeiro, 2010.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T e CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 149-209.

_____. O Início do Processo Erosivo. In: GUERRA, A. J. T., SILVA, A. S. e BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e Conservação dos Solos**. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 17-55.

GUERRA, A.J.T, *et al.*, Evolução histórico-geográfica da ocupação desordenada e movimentos de massa no município de Petrópolis, nas últimas décadas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Ano 8, nº 1, 2007.

_____. *et al.*, Slope Processes, Mass Movements and Soil Erosion: A Review. **Pedosphere**. V. 27, Issue 1, Feb- 2017, p. 27-41.

GUERRA, A. J. T., BOTELHO, R.G.M. Características e Propriedades dos Solos Relevantes para os estudos Pedológicos e Análise dos processos Erosivos. **Anuário do Instituto de Geociências**, v.9, p.93-114, 1996.

GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. Degradação Ambiental. In: GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. (orgs). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 3ª Ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2006. Cap. 7, p. 337-374.

GUERRA, A.J.T., JORGE, M.C.O. Geomorfologia do cotidiano – A degradação dos solos. **Revista Geonorte**. Edição Especial, v. 4, n. 4, p.116 – 135, 2012.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo. Edgard Blücher; Ed. da Universidade de São Paulo, 1984. 194p.

GUIMARÃES, R. F. *et al.*, Movimentos de Massa. In: FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. 1ª Ed. 2008. Cap. 6, p. 159-184.

GUTIÉRREZ, M. **Geomorphology**. Londres, Inglaterra: CRC Press, 2013.

HARTWIG, M.E. Tectônica rúptil Mesozóico-Cenozóica na Região da Serra dos Órgãos, RJ. 2006. **Dissertação de Mestrado**, Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica. São Paulo, 2006.

HEILBRON, M. *et al.*, A orogênese brasileira no segmento central da Faixa Ribeira, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 25, p. 249-266, 1995.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. **The Landslide Handbook: A Guide to Understanding Landslides**. Virginia: U.S. Geological Survey. 2008. 129 p.

HORTON, R.E. (1933) The Role of Infiltration in the Hydrologic Cycle. **Transactions of the American Geophysical Union**, 14, 446-460.

HSU, P.H., Aluminium hydroxides and oxyhydroxides. In: DIXON, J.B. e WEED, S.B. (eds). **Minerals in soil environments**. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p. 331-378.

INFANTI JUNIOR, N. & FORNASARI FILHO, N. Processos de Dinâmica Superficial. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. cap. 9, p.131-152.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA -IBGE. **Suscetibilidade a Deslizamentos do Brasil: Primeira aproximação**. Rio de Janeiro, 2019, p. 54.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Ocupação de encostas**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate Change and Land**. ONU: IPCC, 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/srccl/>. Acesso em: 20 de novembro de 2021.

JORNAL DA UNESP. **Geólogos explicam desabamento de cânion em Capitólio e veem Brasil atrasado em avaliações de segurança de áreas turísticas**. 2022. Disponível em: <https://jornal.unesp.br/2022/01/14/geologos-explicam-desabamento-de-canion-em-capitolio-e-veem-brasil-atrasado-no-monitoramento-de-seguranca-de-areas-turisticas/>. Acesso em: 01 ago. 2022.

JORNAL O GLOBO. **Tragédia em Petrópolis: Morro da Oficina sofreu com chuvas, deslizamentos e mortes há 34 anos**. 2022. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/rio/tragedia-em-petropolis-morro-da-oficina-sofreu-com-chuvas-deslizamentos-mortes-ha-34-anos-25397462>. Acesso em: 25 mar. 2022.

KAMPF, N. *et al*, Mineralogia de solos brasileiros: principais aspectos. In: KER, J.C., *et al.*, **Pedologia**. 1ª Ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG. 2015. p. 81-146.

KLENK, G. **Comportamento hidrodinâmico de encostas em decorrência de eventos pluviométricos: estudo de caso no Morro do Bom Brinquedo, Antonina**. 2019. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFPR, Curitiba, 2019.

KUBIENA W.L. 1938. **Micropedology**. Ames, Collegiate Press, 243 p.

LEFF, E. **Epistemologia ambiental**. 3 ed. São Paulo: Cortez, 2002.

LEMO, R.D. SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPq, 2015.

LEPSCH, I.G. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 178 p.

_____. **19 Lições de Pedologia**. 1ª reimpressão, São Paulo: Oficina de textos, 2011.

LIMA, I. F. **O fluxo de massa do Vieira, Teresópolis-RJ, Megadesastre da serra em 2011: análise das feições sedimentológicas e de sua fenomenologia**. 2013. 97 f. Dissertação de Mestrado- Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

LIMA, V.C. **Fundamentos de pedologia**. 1ª Ed. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2001. 343p.

LIN, Y. S. *et al.*, Relationships between topography and spatial variations in groundwater and soil morphology within the Taoyuan–Hukou Tableland, Northwestern Taiwan. **Geomorphology**. v. 90, nº 1, p. 36–54, 2007

LOHMANN, M., SANTOS, L. J. C. A Morfopedologia aplicada à compreensão dos processos erosivos na Bacia Hidrográfica do Arroio Guassupi, São Pedro Do Sul – RS. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Ano 6, nº 2. 2005.

LUMBRERAS, J. F.; CARVALHO FILHO, A. de; CALDERANO FILHO, B.; SANTOS, R. D. dos; CALDERANO, S. B.; AMARAL, F. C. S. do; LEMOS A. L.; WITTERN, K. P.; GOMES, I. A.; MARTORANO, L. G.; REBELLO, E. R. G.; BERTOLOCCHI, R.; ALMEIDA JUNIOR, P. B.; BARRETO, W. de O.; ANDRADE, A. G. de; OLIVEIRA, R. P. de; CHAFFIN, C. E.; AGLIO, M. L. D.; MEDEIROS, C. D. F. de; NAPOLEÃO, R. P.; SOUZA, F. da S.; ROXO, M. F. de O. **Levantamento pedológico, vulnerabilidade e potencialidade ao uso das terras: quadrículas de Silva Jardim e Rio da Ostras, estado do Rio de Janeiro**: Embrapa Solos, 2001. Contém texto e mapa color., escala 1:100.000. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa, 23). 2001.

MACEDO *et al.*, Processos pedogenéticos e susceptibilidade dos solos à degradação no semiárido brasileiro. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia-MG. v. 22, n. 81 p. 176–195, jun- 2021.

MACHADO, D. F. T., CASTRO, S. S. DE., LADEIRA, F. S. B. (2022). A Geopedologia como abordagem metodológica para o levantamento de solos: uma breve discussão. **Revista Brasileira De Geomorfologia**, 23(4), 1834–1857.

MACHADO, R.; DEHLER, N. M. Revisão e discussão do significado tectônico de granitóides do tipo-S neoproterozóicos no estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geociências**, v 32, nº 4, p. 471-480, dez- 2002.

MARCATTO, F. S.; SILVEIRA, H. 2022. Efeitos do uso e manejo e dinâmica físico-hídrica de um sistema pedológico derivado de arenitos, no Paraná-Brasil. **Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía**, 32 (1): 140-157.

MARENGO, J.A., *et al.* **Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais**. Relatório 5. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Brasília/DF, 2007

MARQUES NETO, R. Antropoceno, quo vadis? Nota Técnica, **Revista de Geografia da UFJF**, V.11, Nº.1, 2021.

MARSILI, A. et al., Changes of some physical properties of a clay soil following passage of rubber- and metal-tracked tractors. **Soil & Tillage Research**, v.49, p.185-199, 1998.

MELLO, R.C. et al., Megadesastre da Serra Fluminense: a corrida de massa do Vale do Cuiabá, em Itaipava/Petrópolis – análise preliminar dos condicionantes geológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 13, São Paulo. **Anais**. 2011.

MELO, R. F. T. et al. **A utilização da micromorfologia de solos para o estudo da evolução geomorfológica na Lagoa das Pedras, Água Branca – AL**. In: **SINAGEO: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA**, 11., 2016, Maringá (PR). **Anais [...]**. Maringá: UGB, 2016.

MENDONÇA, F., DANNI-OLIVEIRA, I.M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto, 2007. 206 p.

MENDONÇA-SANTOS, M. de L. et al., Mapeamento digital de classes de solos no Estado do Rio de Janeiro. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** 119, Rio de Janeiro, RJ, 2007.

MILNE, G. Normal Erosion as a Factor in Soil Profile Development. **Nature**, v. 138, n. 3491, p. 548–549, 1 set. 1936.

MINHAÇA, M.S.M.S. **Procedimento para Classificar Estações Ferroviárias como Pólos Promotores de Desenvolvimento Integrado**. 2013. Dissertação de Mestrado. Programa de Engenharia de Transportes, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2013.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental (APA) de Petrópolis**. Diretoria de Ecossistemas - Direc. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Brasília, DF, 2007.

MOLINA Jr, W. F. **Comportamento Mecânico do Solo em Operações Agrícolas**. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2017.

MOORE, J.W. **Antropoceno ou Capitaloceno? Natureza, história e a crise do capitalismo**. Editora Elefante, 1ª Ed, 2022, 344 p.

MÜCHER et al., Colluvial and Mass Wasting Deposits. In: STOOPS, G., et al., **Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths**. 2nd Ed. Elsevier, Amsterdam, 2018. p.21-36.

MUNSELL COLOR COMPANY. **Munsell Soil Color Charts**. Baltimore, 1994.

NIMER, E. Climatologia da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 1, p.3-48, 1989.

NÚCLEO GESTOR DE PETRÓPOLIS. **Sistema de Informações Geográficas do município**. 2020. Disponível em: <https://sig.petrópolis.rj.gov.br/>. Acesso em: 22 set. 2020.

OCAKOGLU, F. et al., Dynamics of a complex mass movement triggered by heavy rainfall: a case study from NW Turkey. **Geomorphology**. v. 42, p. 329–341, 2002.

OCHI, H. et al., Sediment-related Disasters in Petrópolis, Brazil, on February 15 and March 20, 2022. **International Journal of Erosion Control Engineering**. V. 15, No. 3, p. 31-38, 2022.

PENHA, H. M. et al., Relatório Final - Folha Itaipava. **Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro**. Departamento de Recursos Minerais/Departamento de Geologia (UFRJ). Niterói, 1981, 177 p.

PEREIRA, A.B. Mata Atlântica: uma abordagem geográfica. **Revista Nucleus**, v.6, n.1, abr- 2009.

PEREIRA, N. R. et al., **Levantamento semidetalhado dos solos da microbacia do Córrego do Bonfim, município de Petrópolis, Região Serrana do Estado do Rio de**

Janeiro. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, nº 273. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2021.

PINTO, G.E. *et al.*, O Antropoceno e a mudança climática: a percepção e a consciência dos brasileiros segundo a pesquisa IBOPE. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente.** V. 54, p. 1-25, jul- dez, 2020.

PINTO, R. C. *et al.*, Classificação dos movimentos de massa ocorridos em março de 2011 na Serra da Prata, Estado do Paraná. **Geoinfá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia Maringá**, v. 4, n. 1 , p. 3-27, 2012.

POLIVANOV, H. **Caracterização química, mineralógica, física e geotécnica de perfis de alteração desenvolvidos de gnaisses no Rio de Janeiro.** 1998. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação de Geologia, UFRJ, Rio de Janeiro, 1998.

PRADO, H. **Manual de classificação de solos do Brasil.** 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995, 197 p.

QUEIROZ NETO, J. P. DE. **Relações entre as Vertente e os Solos: uma Revisão.** p. 17, 2011.

RANDOLPH, R. **Utopia burguesa ou revolução urbana? - Transformações da organização territorial e novas formas urbanas em áreas peri-metropolitanas do Rio de Janeiro.** In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL – ANPUR, 11., 2005, Salvador, BA. **Anais**, p. 1-19.

REIMER, E.S. **Inventário dos Movimentos de Massa e Análise da Suscetibilidade aos Escorregamentos Rasos em Solo no Distrito de Cascatinha, Petrópolis, RJ.** 2006. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação de Geologia, UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.

RIBEIRO, J.C. *et al.* Chemical properties of an Oxisol affected by different land use and soil management systems. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science (AMBIAGUA)**, V. 15, n. 7, 2020.

RIBEIRO, M.R. *et al.* Caracterização morfológica do solo. In: KER, J.C., *et al.*, **Pedologia.** 1ª Ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG. 2015. p. 47-80.

RITTER, D.F. *et al.*, **Process Geomorphology.** 5 Ed. Waveland Press, 2011.

ROSA, F.B. *et al.*, Correlações entre pluviosidade e movimentos de massa no Bairro do Engenho Pequeno - SG / RJ. In: WORKSHOP DE ENGENHARIA DE BIODIVERSIDADE - WEB 4.0, 4, 2018, Niterói-RJ. **Conference paper.** p 181-185.

ROSS, J. L. S. **Geografia do Brasil.** 5ª Ed. São Paulo: EDUSP, 2005.

SALGADO, C. M. *et al.*, Condicionantes geomorfológicos e da cobertura da terra na ocorrência de movimentos de massa na região serrana do Rio de Janeiro. **Caderno de Geografia**, v.29, n.56, 2019, p. 27-44.

SANTOS, A. C., *et al.* Gênese e classificação de solos numa topossequência no ambiente de mar de morros do médio Vale do Paraíba do Sul, RJ. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 34, p. 1297-1314, 2010.

SANTOS, A.R. **A Grande Barreira da Serra do Mar: da trilha dos Tupiniquins à Rodovia dos Imigrantes**. (122 p.). Nome da Rosa, São Paulo, 2023.

_____. **Enchentes e Deslizamentos: causas e soluções**. (124 p.). Ed. Pini, São Paulo, 2012.

SANTOS, H. G. *et al.*, **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Embrapa Solos, Brasília (DF), 2018.

SANTOS, L.J.C. Contribuição da análise estrutural da cobertura pedológica ao desenvolvimento da ciência do solo. **Revista RA'EGA**, Curitiba, n. 4, p. 131-138. 2000.

SANTOS, R.P. **Caracterização de solos coesos com diferentes cores em tabuleiro costeiro do litoral norte da Bahia**. 2015. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Bahia. 2015.

SARAIVA, V. I. C. **Distribuição da Cobertura Pedológica e Mapeamento de Solos Aplicado ao Manejo dos Solos em Silva Jardim**. 2021. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2021.

SECRETARIA DO AMBIENTE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO- SEA. **Plano de Adaptação Climática do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, RJ. 2018.

SELBY M J. 1993. **Hillslope Materials and Processes**. 2nd Ed. Oxford University Press, Oxford, 451pp.

SiBCS Embrapa Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Embrapa. 2018

SIDLE, R. C., OCHIAI, H. **Landslides: processes, prediction, and land use**. 1st Ed. Washington DC, The American Geophysical Union, 2006.

SILVA, A.S. Análise morfológica dos solos e erosão. In: GUERRA, A.J.T., SOARES DA SILVA, A. e BOTELHO, R.G.M. (orgs.) **Erosão e conservação dos solos - conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 101-126.

_____. **Influência da erosão na remoção de nutrientes e metais pesados em uma topossequência em Petrópolis (RJ)**. 2006. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências /UFRJ/ IGEO, Rio de Janeiro, 2006.

SILVA, A. S. *et al.* **Estudo das relações solo, geologia, relevo através de SGI em Itaipava (Petrópolis - RJ - Brasil)**. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 14., 1999, Chile. CD-ROM.

_____. *et al.*, Soil structural indicators of hillslope destabilization in the Serra do Mar mountain range (Rio de Janeiro State, Brazil). **Natural Hazards**, v.81, p. 1177–1191, 2016.

SILVA, J. G. **Análise tridimensional da distribuição da matéria orgânica em horizonte superficial de encosta na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, PPGG/UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.

SILVA L.A., TEIXEIRA S.C.G., PÉREZ D.V., MARQUES M.R.C. 2012. Impact of Chemical Oxidation on Brazilian Soils. **Journal of the Brazilian Chemical Society**., 23:367-371.

SILVA, M. B. E *et al.* Gênese e classificação dos solos de uma topossequência em área de carste na Serra da Bodoquena , MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 6, p. 1464–1480, dez. 2013.

SOARES, C.C.F.Z. Estado Socioambiental de Direito e racismo ambiental: debate sobre as repercussões dos eventos climáticos extremos no Brasil (2010-2023). **Revista Sociologias Plurais**, v. 9, n. 2, p. 77-109, jul -2023.

SOUSA, D. J. G.; LOBATO, E. **Latossolos**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-cerrado/solo/tipos-de-solo/latossolos>. Acesso em: 02 fev. 2024.

SOUZA, J.M *et al.* Movimentos de massa na bacia do rio São Pedro, município de Nova Friburgo, associado ao evento de janeiro de 2011. **ACTA Geográfica**, p. 149–163, 1 jan. 2012.

SOUZA, L.F.G., FRANCISCO, C. Mineração de dados na análise dos condicionantes dos movimentos de massa na região serrana do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 22, n. 4, p. 809-823, 2021.

SOUZA, M. L. **ABC do desenvolvimento urbano**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2003.

STOFFEL, M.; HUGGEL, C. Effects of climate change on mass movements in mountain environments. **Progress in physical geography**, v. 36, n. 3, p. 421–439, 2012.

STOOPS, G., *et al.*, **Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths**. 2nd Ed. Elsevier, Amsterdam, 2018. 982p.

STOOPS, G. MEES, F. Groundmass Composition and Fabric. In: **Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths**. 2nd Ed. Elsevier, Amsterdam, 2018. p. 73-125.

STRAFORINI, R. **No caminho das tropas**. Sorocaba: TCM Comunicação. 2001.

SUGUIO, K. *et al.*, Período Quaternário: “quo vadis”? **Revista Brasileira de Geociências** , v. 35, n. 3, p. 427 - 432, 2005.

SUMMERFIELD, M.A. **Global Geomorphology: An introduction to the study of landforms**. 1ª Ed. Longman Scientific & Technical, 560p. 1991.

TARGULIAN, V.O., KRASILNIKOV, P.V. Soil system and pedogenic processes: Self-organization, time scales, and environmental significance. **Catena**, v. 71, issue. 3, p. 373-381, 2007.

TAVARES, C. et al. **Análise das precipitações no município de Petrópolis - RJ: características e tendências dos eventos extremos para o período de 1939-2017**. In: **ENANPEGE. A Geografia Brasileira na Ciência Mundo: produção, circulação e apropriação do conhecimento**, 13. 2019, São Paulo. *Anais*, p. 1-14.

TAVARES, N. P. **O relacionamento morfopedogênico em uma seção transversal ao Vale do Caxambu Pequeno no Município de Petrópolis - Estado do Rio de Janeiro**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, PPGG/ UFRJ, Rio 1987.

TOPODATA - **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. [2024] Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em 12 de maio de 2024.

TORRES, F.T.P. e MACHADO, P.J.O. **Introdução à Climatologia**. Ed. Geographica, Série Textos Básicos de Geografia, Ubá/ MG, 2008.

TRAUTH, M, H. *et al.* Climate change and mass movements in the NW Argentine Andes. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 179, issue 2, p. 243- 256, jun-2000.

TRIBUNA DE PETRÓPOLIS. **Censo 2022: Movimento Petrópolis 2030 propõe medidas para reverter esvaziamento econômico evidenciado com diminuição de habitantes**. 2023. Disponível em: <https://tribunadepetropolis.com.br/noticias/censo-2022-movimento-petropolis-2030-propoe-medidas-para-reverter-esvaziamento-economico-evidenciado-com-diminuicao-de-habitantes/>. Acesso em: 10 ago. 2023.

TUPINAMBÁ, M. A. **Evolução tectônica e magmática da faixa Ribeira na região serrana do Estado do Rio de Janeiro**. 1999. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 1999.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS. **El ciclo del agua - The Water Cycle, Spanish**. 2022. Disponível em: <https://www.usgs.gov/media/images/el-ciclo-del-agua-water-cycle-spanish-png>. Acesso em: 10 fev. 2024.

UNIVERSIDADE DE GRANADA. **Departamento De Edafología Y Química Agrícola**. 2024. Disponível em: < <http://edafologia.ugr.es/miclogia/index.htm> >. Acesso em: 25 nov. 2024.

USHER, M.B., 2001. Landscape sensitivity: from theory to practice. **Catena**, 21: 375-383.

VALENCIO, Norma. **Para além do dia do desastre: o caso brasileiro**. São Carlos (SP):Appris, 2012.

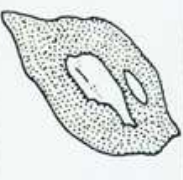
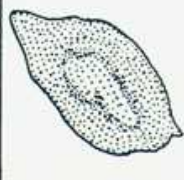
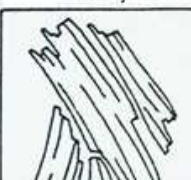
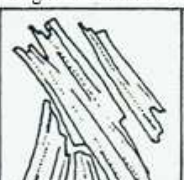
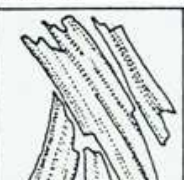
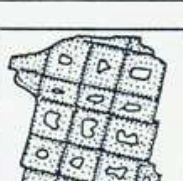
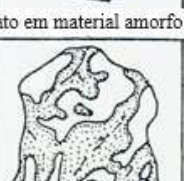
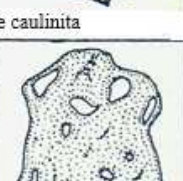
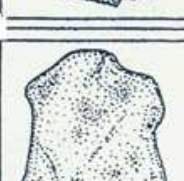
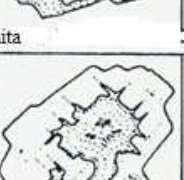
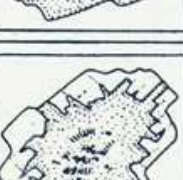
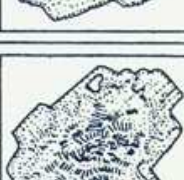
VAN BEEK, R. *et al.*, Hillslope Processes: Mass Wasting, Slope Stability and Erosion. In: NORRIS, J.E., *et al.* **Slope Stability and Erosion Control: Ecotechnological Solutions**. Springer, Dordrecht, cap. 3, p. 17-64, 2008.

VARNES, D.J. Slope movements: type and processes. In: SCHUSTER, R.L, KRIZEK, R.J (eds). **Landslides Analysis and Control**. Transport Research Board, Special Report 176, Academy Press, Washington, DC, p. 11-33, 1978.

VIEIRA, B. C.; SANTOS, W. Influência de fatores topográficos na distribuição de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar, Cubatão (SP). In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009, Viçosa. **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Viçosa, 2009.

WORSTER, D. Para fazer história ambiental. **Revista estudos históricos**. v.4, n. 8, 1991.

ANEXO A - Classes de alteração da fração grossa do solo

PADRAO ALTERAÇÃO	CLASSES				
	0	1	2	3	4
A					
	Alteração peculiar de olivina em iddingsita				
B					
	Alteração linear irregular de olivina em nontronita				
C1					
	Alteração linear paralela de muscovita em caulinita				
C2					
	Alteração linear cruzada de feldspato em material amorfo e caulinita				
D					
	Alteração pontilhada de olivina em nontronita				
E					
	Alteração complexa de plagioclásio em material amorfo e caulinita				

Fonte: Bullock *et al.*, 1985.

ANEXO B - Fichas usadas para a descrição das lâminas delgadas.

Descrição Micromorfológica

Toposequência: Projeto:

Perfil:

Profundidade:

Lâmina:

Fotos e/ou Desenho:

Croquis da lâmina

Observações gerais:

N.B. – é conveniente que as descrições a seguir estejam acompanhadas por desenhos e/ou fotos, quando necessário, que devem ser feitos segundo o objetivo do trabalho.

MICROESTRUTURA

1. Tipo de Microestrutura: _____

2. Se material Pédico:

Tipo ou Tipos de agregado: _____

Grau de pedalidade: _____

Para cada agregado descrever:

Abundância: _____

Tamanho: _____

Rugosidade superficial: _____

Grau de acomodação: _____

Distribuição de Base: _____

Distribuição Referida: _____

Total de Poros: _____

Categorias/Situação:

- interagregados: _____ % intragregados: _____ %
- transagregados: _____ %

Dominante: _____

Poros Interagregados:

Tipos de poros:

- Simples: _____ %
- Empilhamento -Compostos: _____ %
- Complexos: _____ %
- Cavidades: _____ %
- Vesículas: _____ %
- Canais: _____ %
- Câmaras: _____ %
- Fissuras: _____ %

Para cada tipo de poro descrever:

Tamanho: _____

Abundância: _____

Regularidade das paredes: _____

Poros Intragregados:

Tipos de poros:

- Cavidades: _____ %

- Vesículas: _____%

- Canais: _____%

- Câmaras: _____%

- Fissuras: _____%

Poros Transgregados:

Tipos de poros:

-Simples: _____%

- Empilhamento -Compostos: _____%

-Complexos: _____%

- Cavidades: _____%

- Vesículas: _____%

- Canais: _____%

- Câmaras: _____%

- Fissuras: _____%

3) Se material apédico:

a. Sem torrões ou fragmentos: descrever só a porosidade.

Total de Poros: _____

Tipos de poros:

-Simples: _____%

- Empilhamento -Compostos: _____%

- Complexos: _____%

- Cavidades: _____%

- Vesículas: _____%

- Canais: _____%

- Câmaras: _____%

- Fissuras: _____%

Fundo Matricial I: MATERIAL GROSSO

1. Total: _____%

2. Separar material grosso de acordo à sua natureza:

Grão de minerais simples () Grãos compostos ou fragmentos de rocha ()

Resíduos inorgânicos de origem biológica () Artefatos ()

a. Grãos minerais simples:

Mineralogia:

a) _____ % c) _____ %

b) _____ % d) _____ %

Dominantes: _____ %

Outros: _____ %

Tamanho: _____

Grau de seleção: _____

Arredondamento: _____

Esfericidade: _____

Rugosidade: _____

Frequência (em relação ao material grosso): _____

Características específicas internas: _____

Padrões de alteração (tipo e grau): _____

b. Resíduos inorgânicos de origem biológica:

Origem:

a) _____ % c) _____ %

b) _____ % d) _____ %

Dominantes: _____ %

Outros: _____ %

Tamanho: _____

Grau de seleção: _____

Arredondamento: _____

Esfericidade: _____

Rugosidade: _____

Frequência (em relação ao material grosso): _____

Características específicas internas: _____

Padrões de alteração (tipo e grau): _____

c. Artefatos:

Composição:

a) _____ % c) _____ %

b) _____ % d) _____ %

Dominantes: _____ %

Outros: _____ %

Tamanho: _____

Grau de seleção: _____

Arredondamento: _____

Esfericidade: _____

Rugosidade: _____

Frequência (em relação ao material grosso): _____

Características específicas internas: _____

Padrões de alteração (tipo e grau): _____

Fundo Matricial II: MATERIAL FINO E FÁBRICA BIRREFRINGENTE

1) Total: _____ % Cor: _____

2) Constituintes: _____

3) Distribuição:

- de base:

aleatória () agrupada () bandada ()

radial () concêntrica ()

Dominante _____ %

Associada _____ %

- referida:

sem relação () paralela () normal ()
 inclinada () cutânea () subcutânea ()

Dominante: _____ %

Associada: _____ %

- relativa:

porfírica () chitônica () gefúrica ()
 enáulica () mônica ()

Dominante:

_____ %

Associada:

_____ %

Obs.: _____

3. Orientação (observar a orientação dos agregados, do plasma no interior dos agregados, dos agregados e/ou plasmado interior de feições):

Tipo:

forte () média () fraca () s/orientação ()

obs.: _____

4. Fábricas Birrefringentes (observar inicialmente sob 10x de aumento e maiores se necessário, no caso indicar):

Anisotrópicas	Salpicada (Assépica)	Salpicada granida (Argilassépica) _____ %
		(Silassépica) _____ %
	Estriada (Sépica)	Salpicada granida (Insépica) _____ %
		Salpicada em mosaico (Mossépica) _____ %
		Poroestriada (Vossépica) _____ %
		Granoestriada (Esquelsépica) _____ %
		Monoestriada (Massépica) _____ %
		Estriada paralela (Massépica) _____ %
		Estriada cruzada (Bimassépica) _____ %
		Estriada reticular (Latissépica) _____ %

		Estriada concêntrica _____%
		Estriada circular _____%
		Estriada crescente _____%
		Estriada casual (Omniassépica) _____%
	Cristalítica (Crística)	_____%
Isotrópicas		Indiferenciada (Isótica) _____%
		(Ondúllica) _____%

Dominante: _____%

Outra(s): _____%

Observações – sempre que assinalar uma ou mais estruturas, procurar localiza-las em relação ao seu entorno, às zonas ou áreas em que são típicas, etc.-: _____

Fundo Matricial IV: DISTRIBUIÇÃO RELATIVA

- Porfírica aberta: _____%
- Porfírica fechada: _____%
- Enaulica: _____%
- Chitônica: _____%
- Gefurica: _____%
- Monica: _____%
- Intermediárias: _____% Caracterizar: _____

Observações: _____

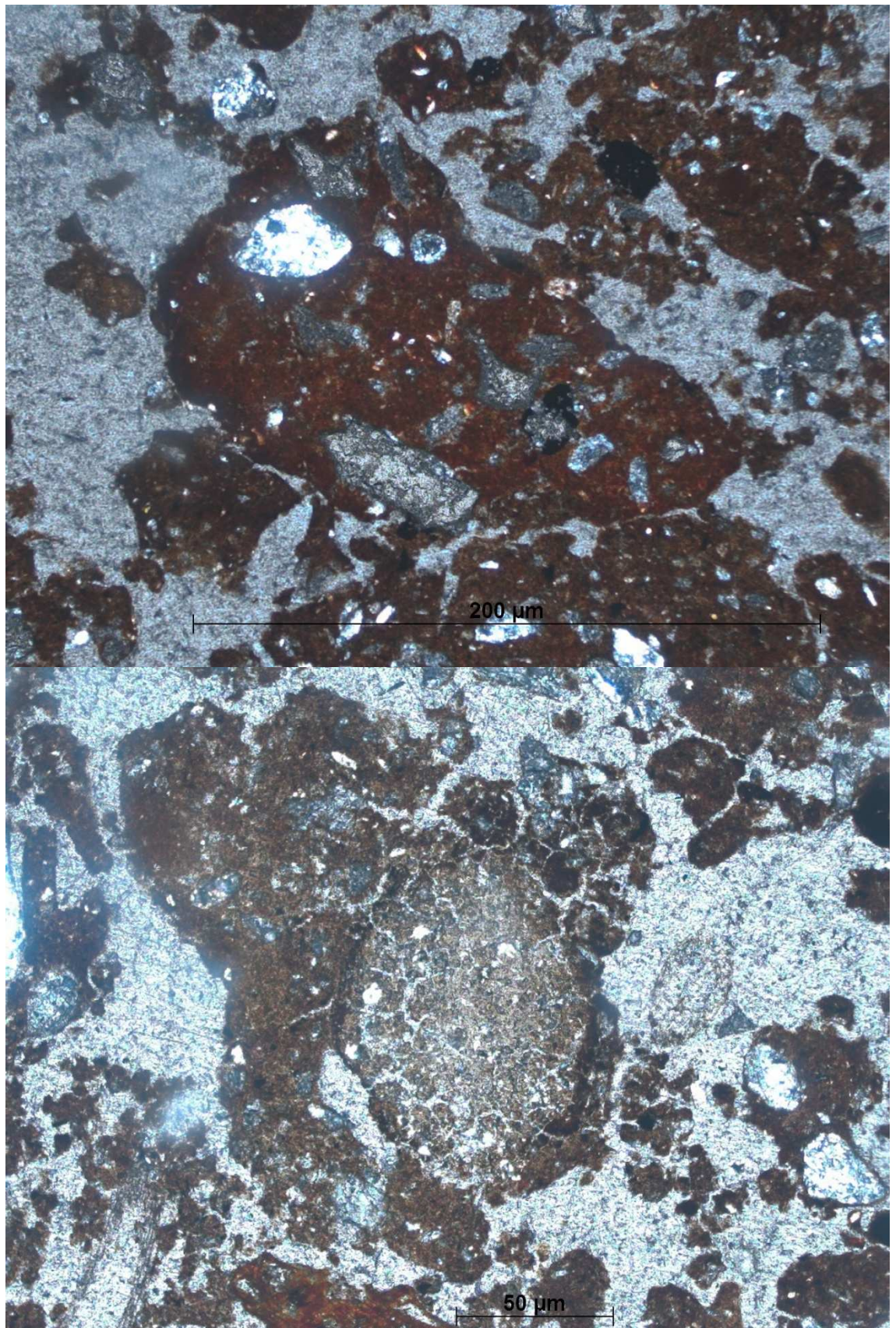
FEIÇÕES PEDOLÓGICAS

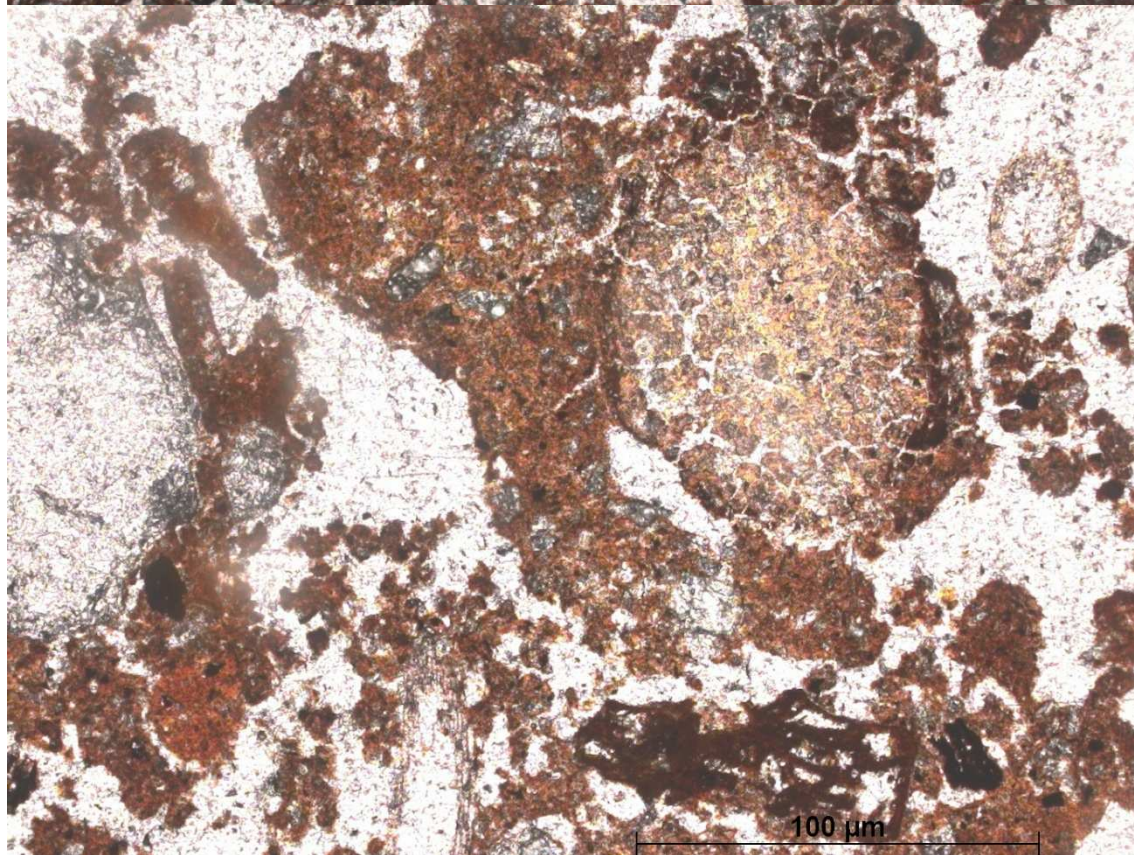
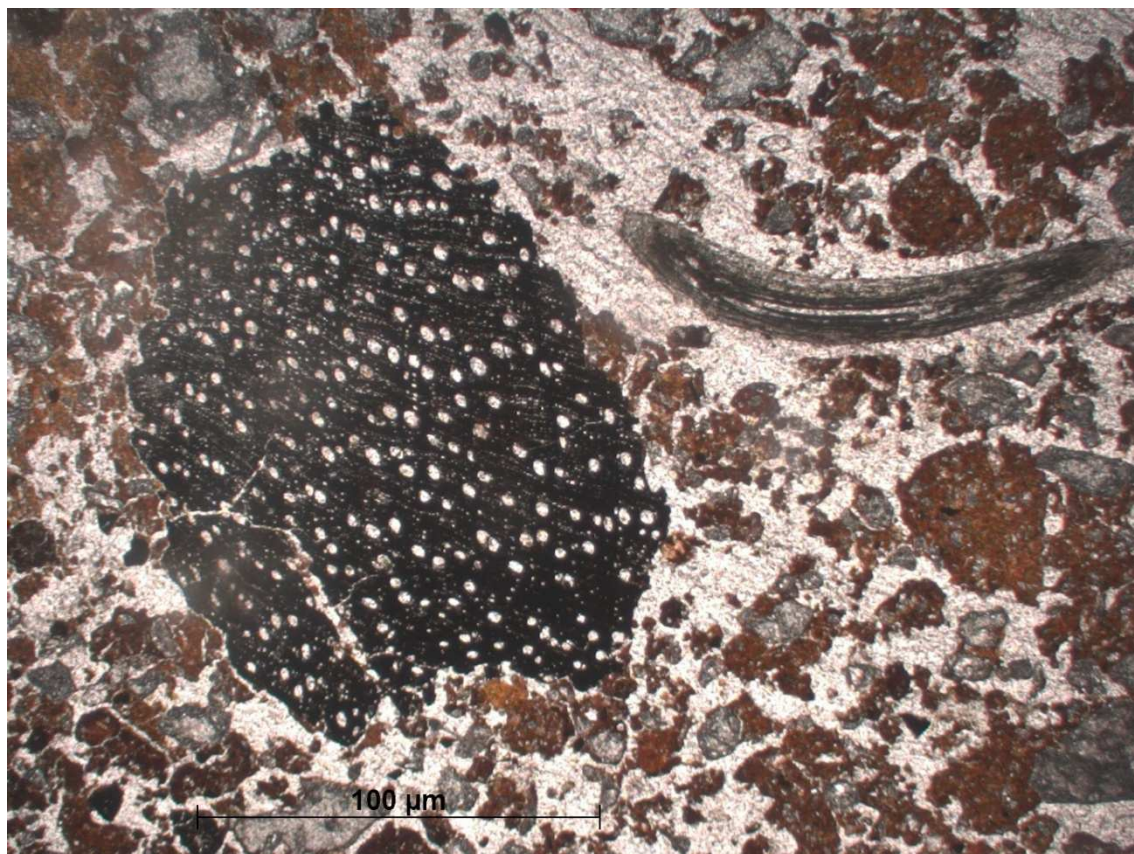
1. Revestimentos _____%
2. Hipo-revestimentos _____%
3. Quase-revestimentos _____%
4. Preenchimentos _____%
5. Nódulos _____%
6. Excrementos _____%

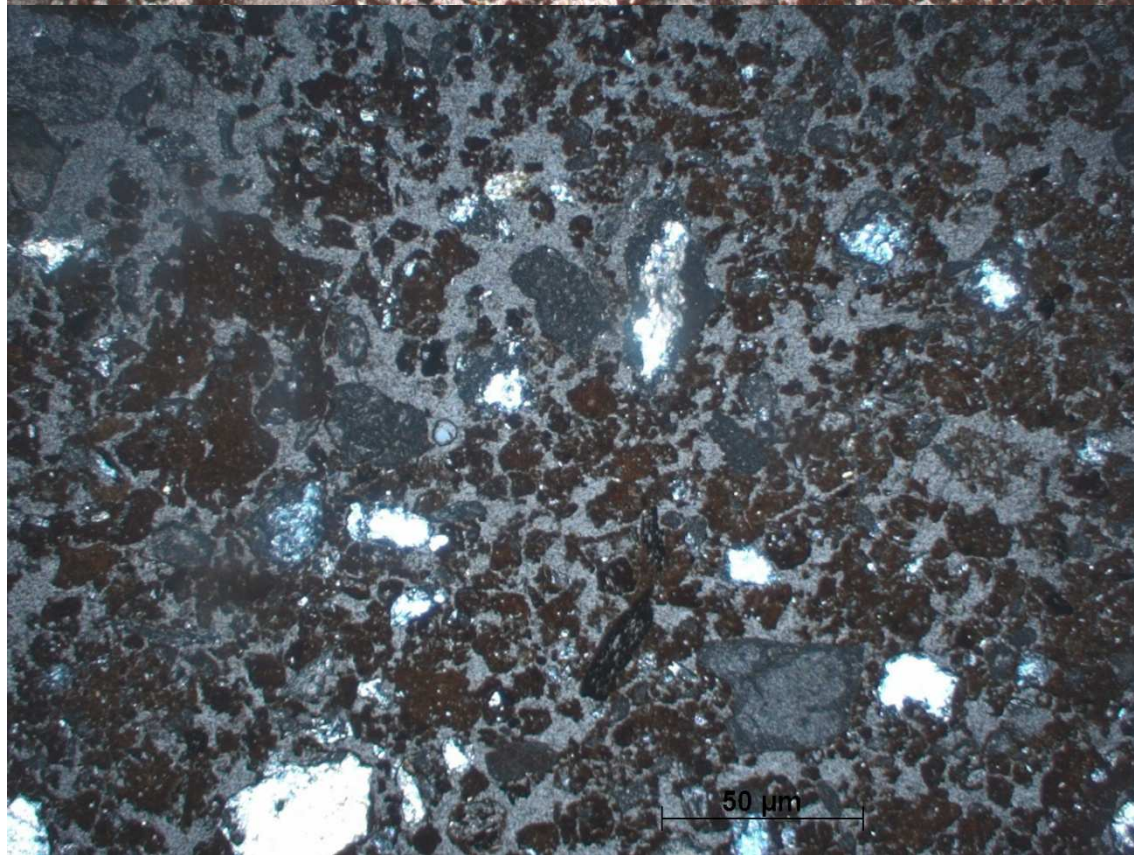
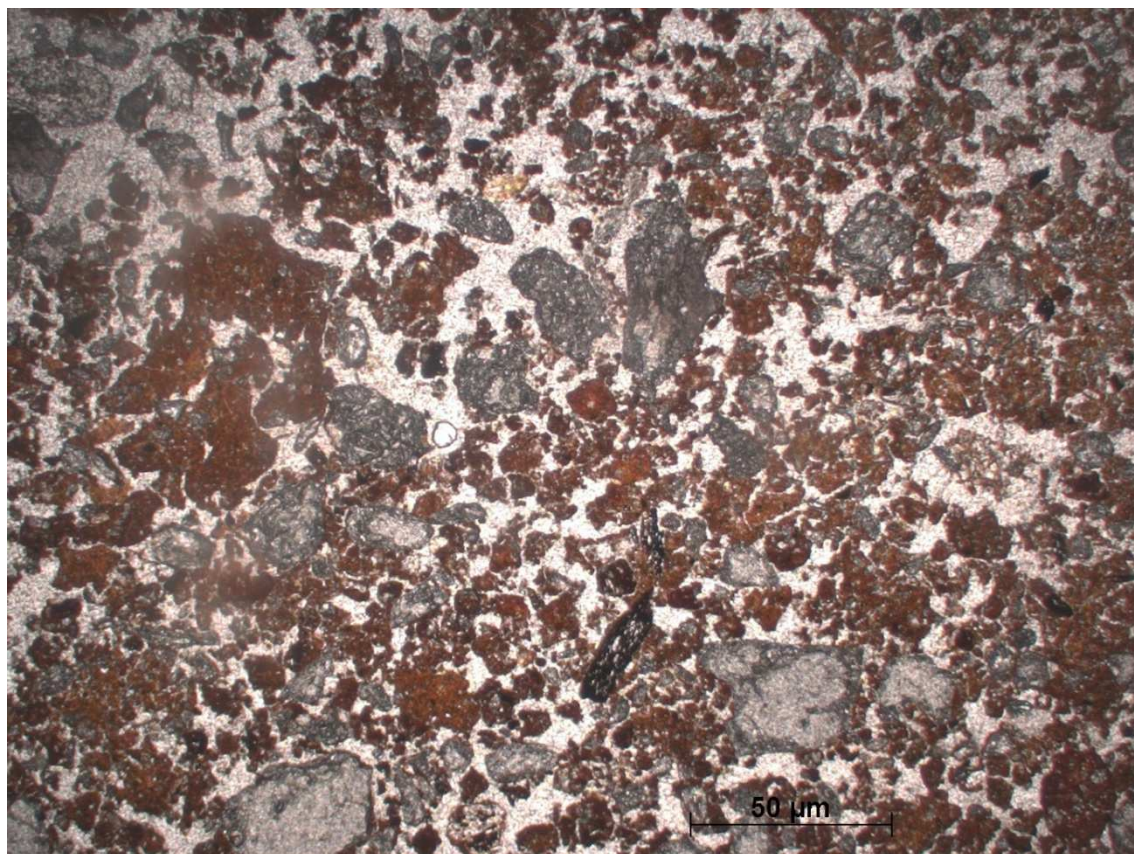
Fonte: Adaptado de Cooper, 2023.

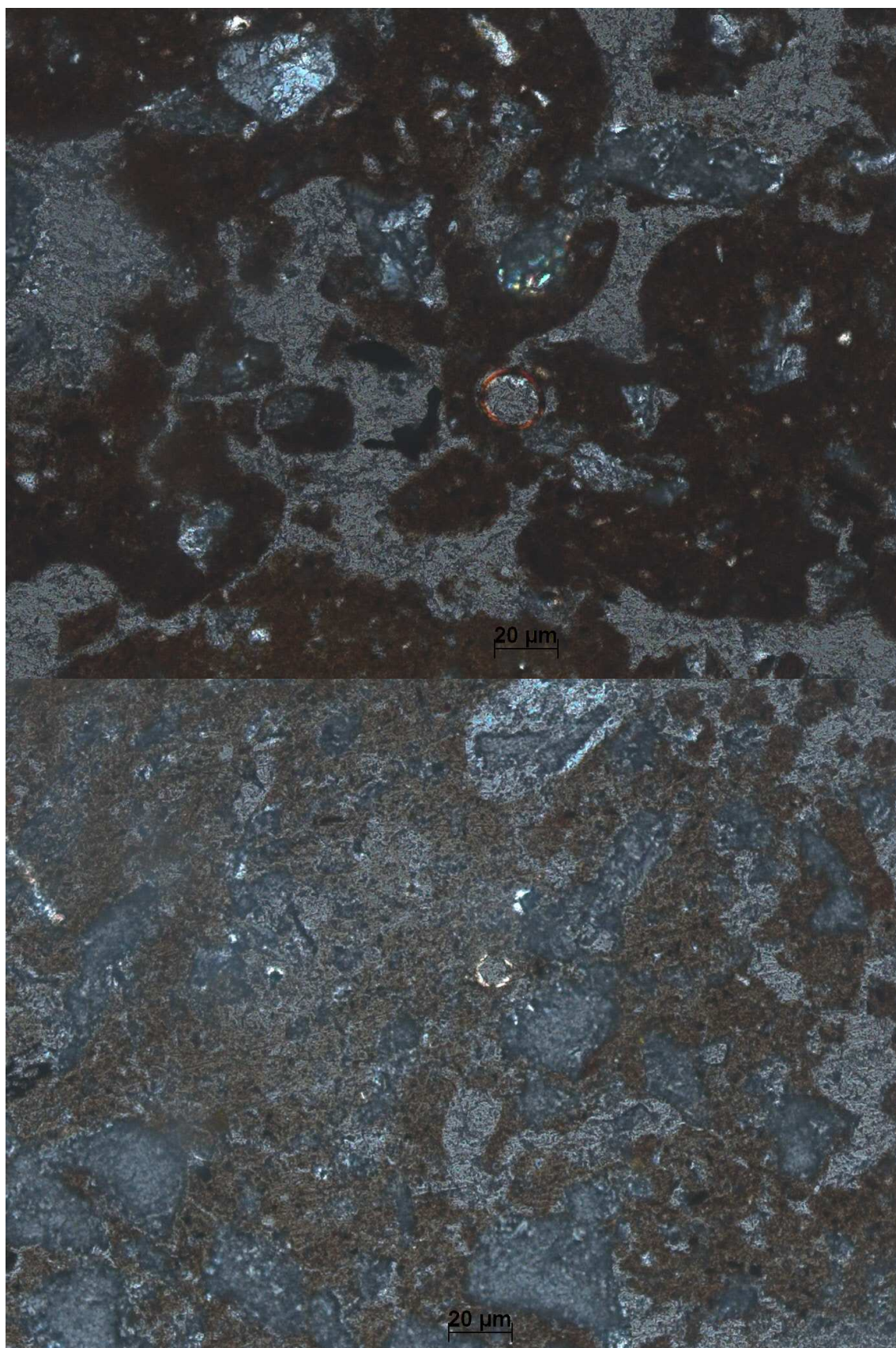
ANEXO C - Microfotografias das lâminas de solo do estudo.

- a) Lâmina
M1

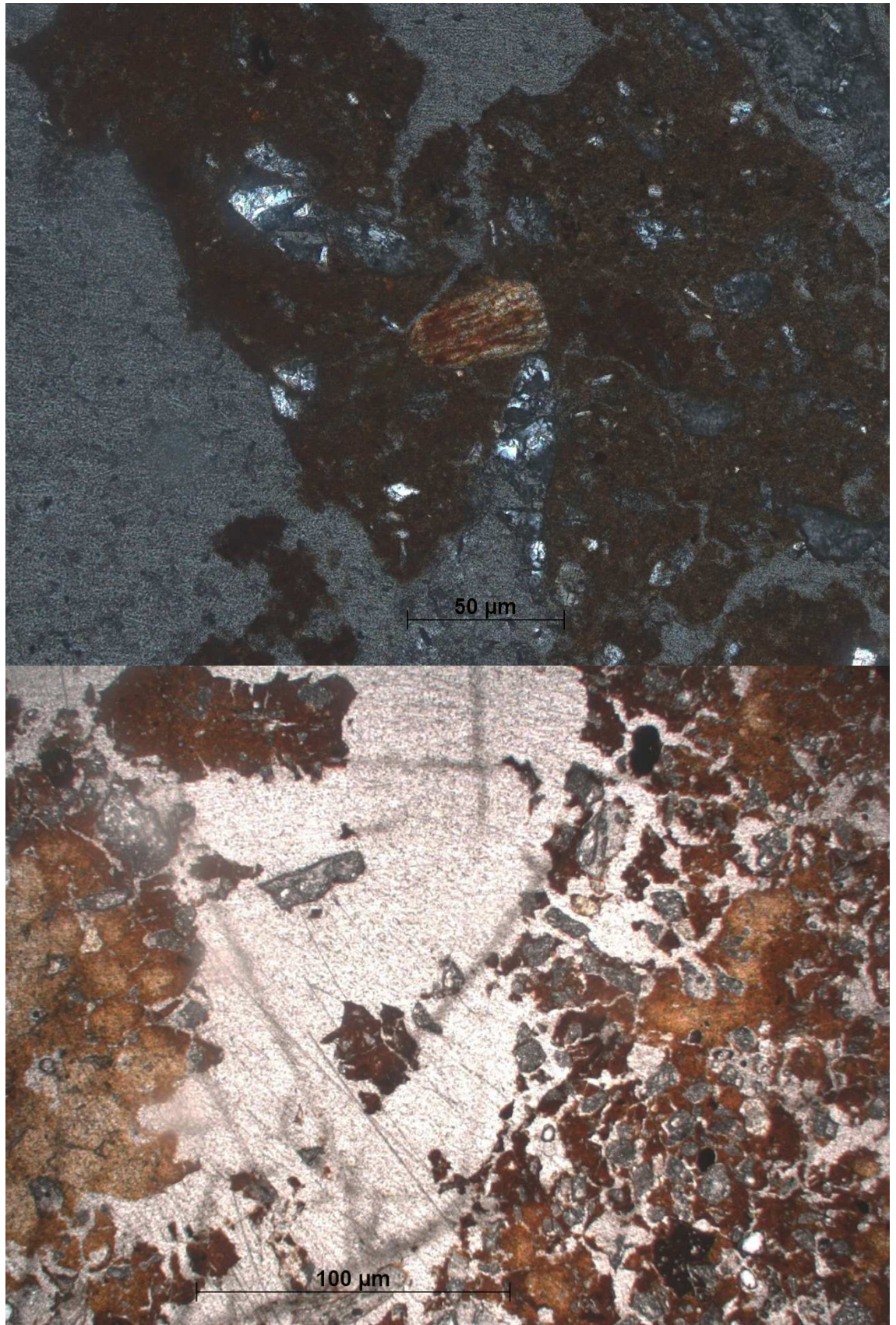


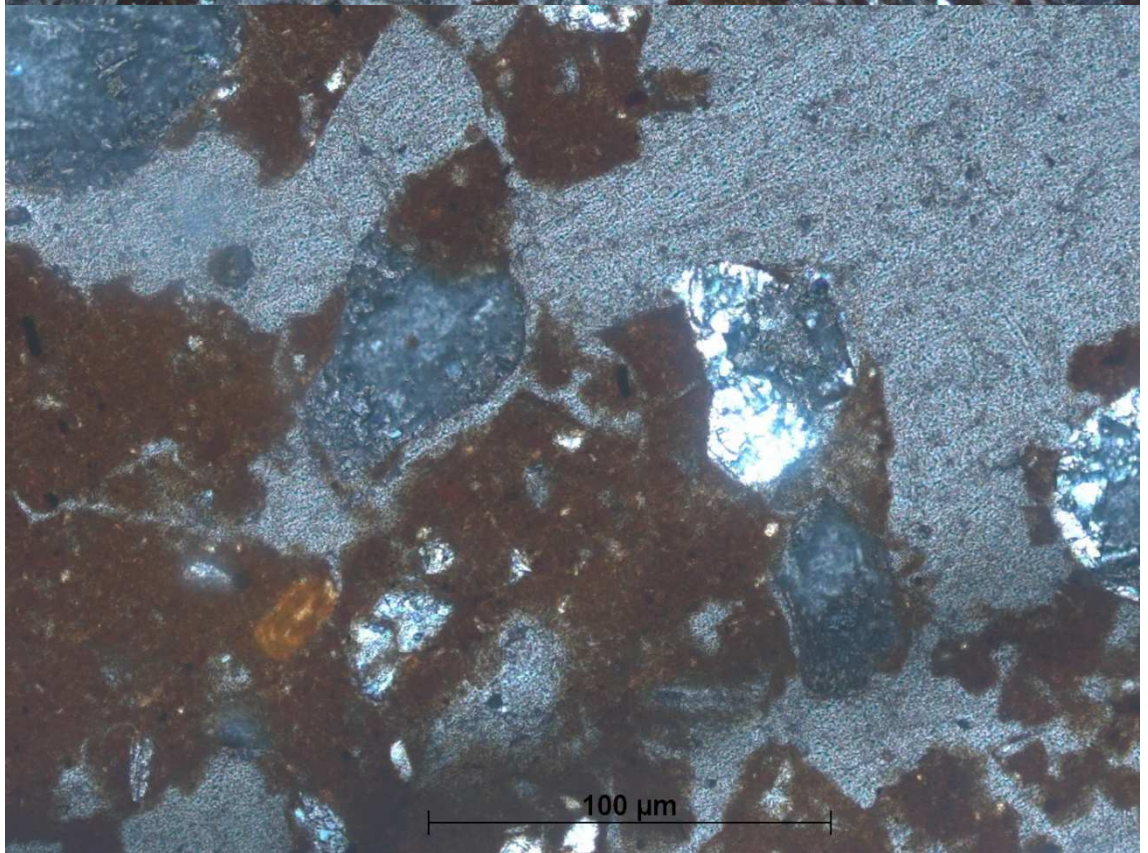
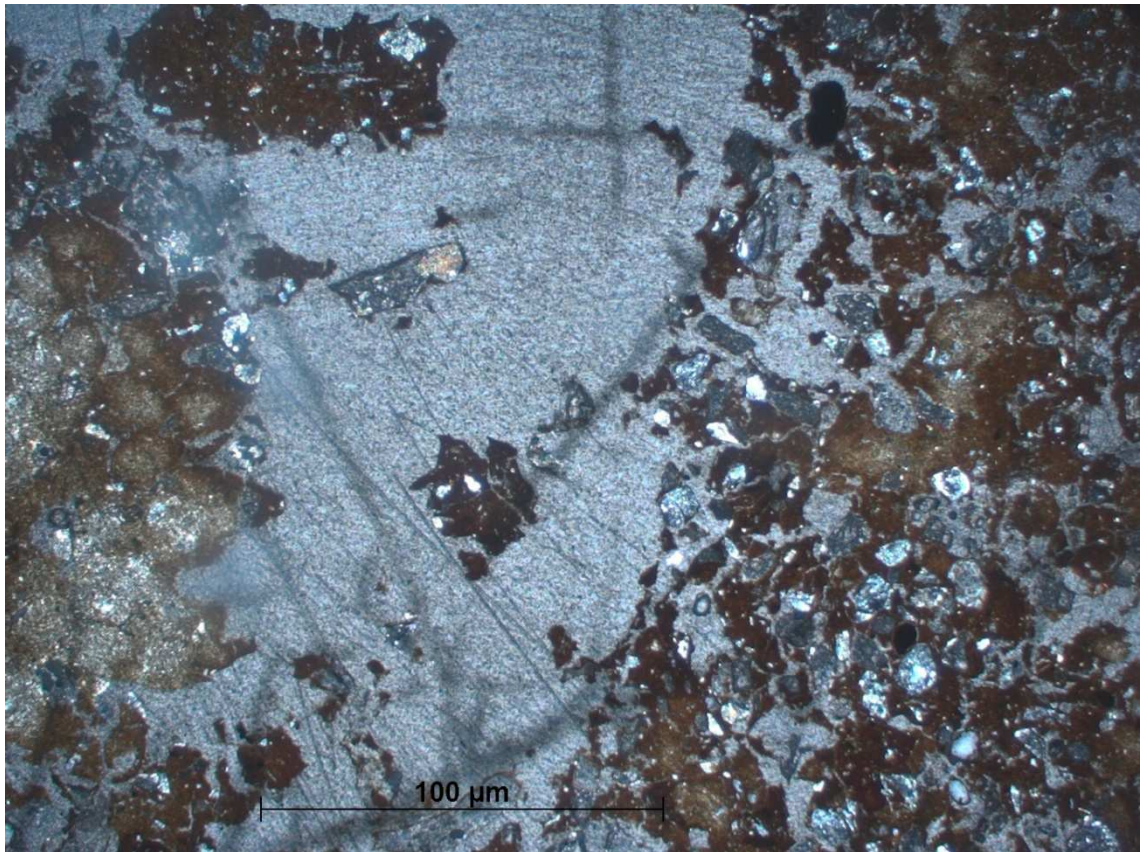


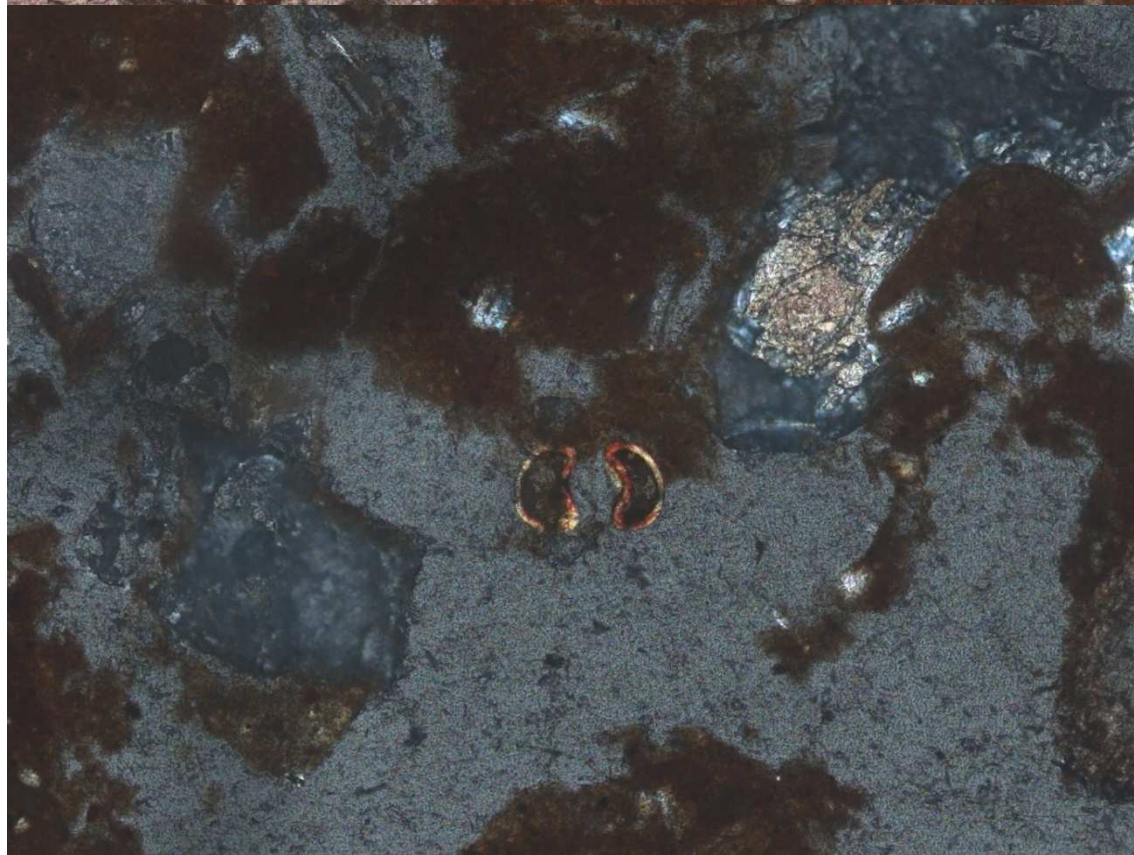
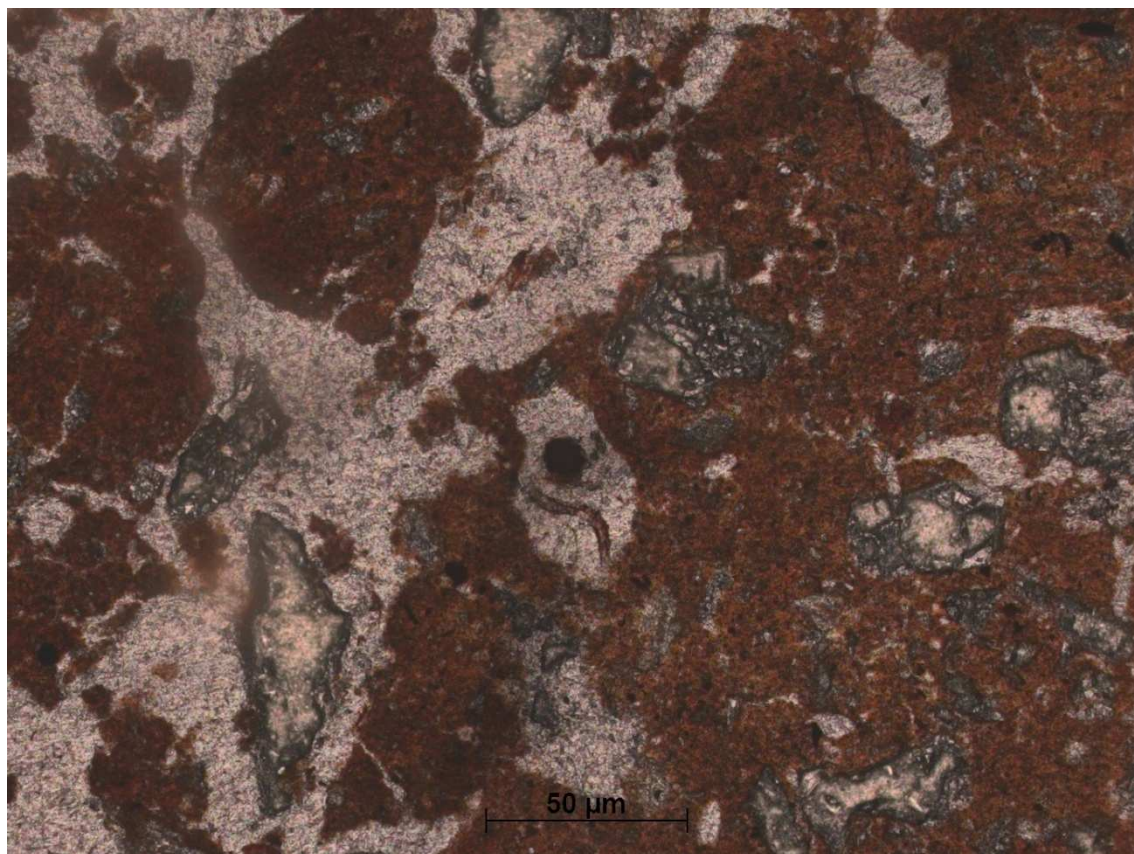


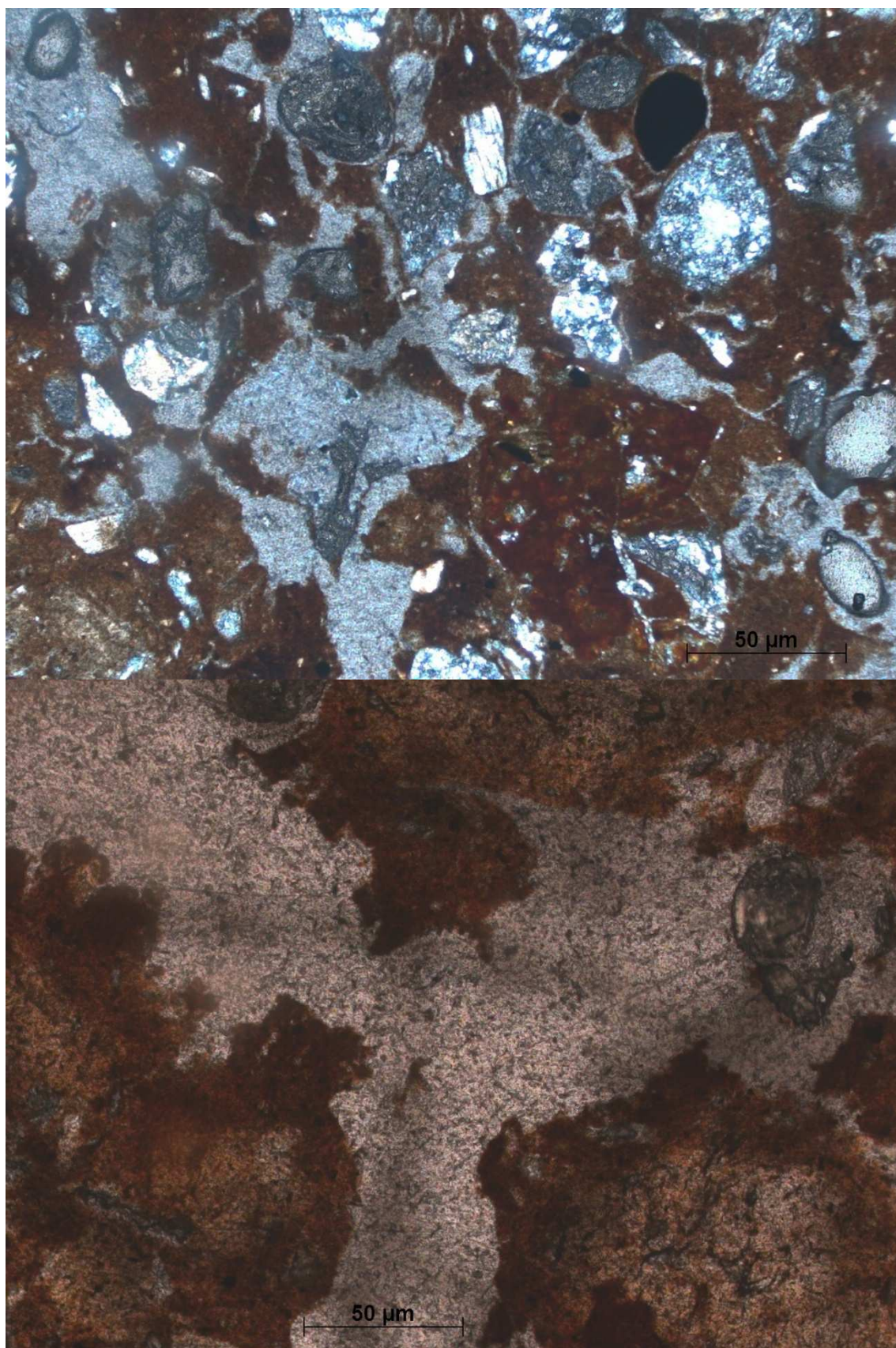


b) Lâmina
M2

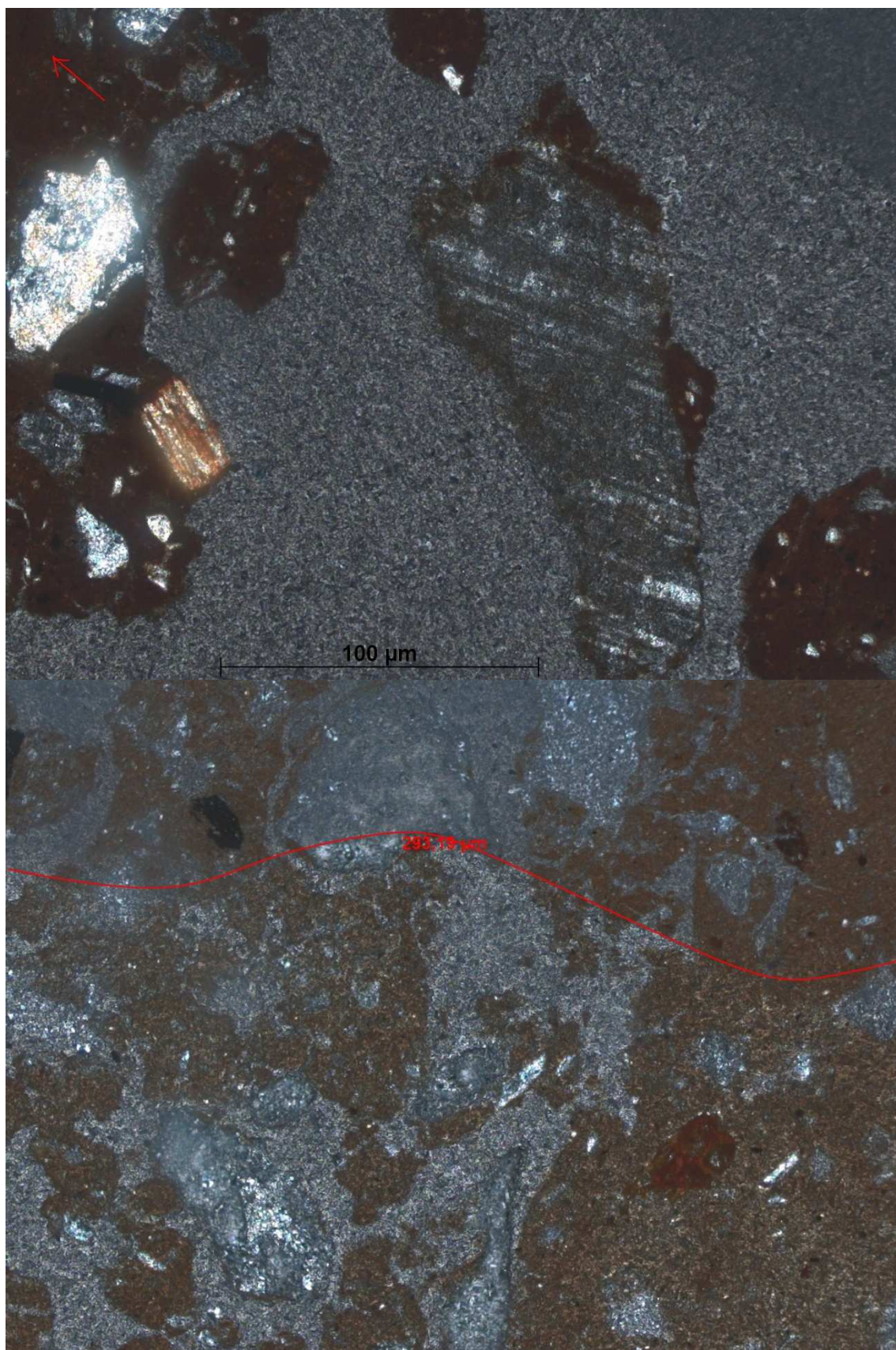


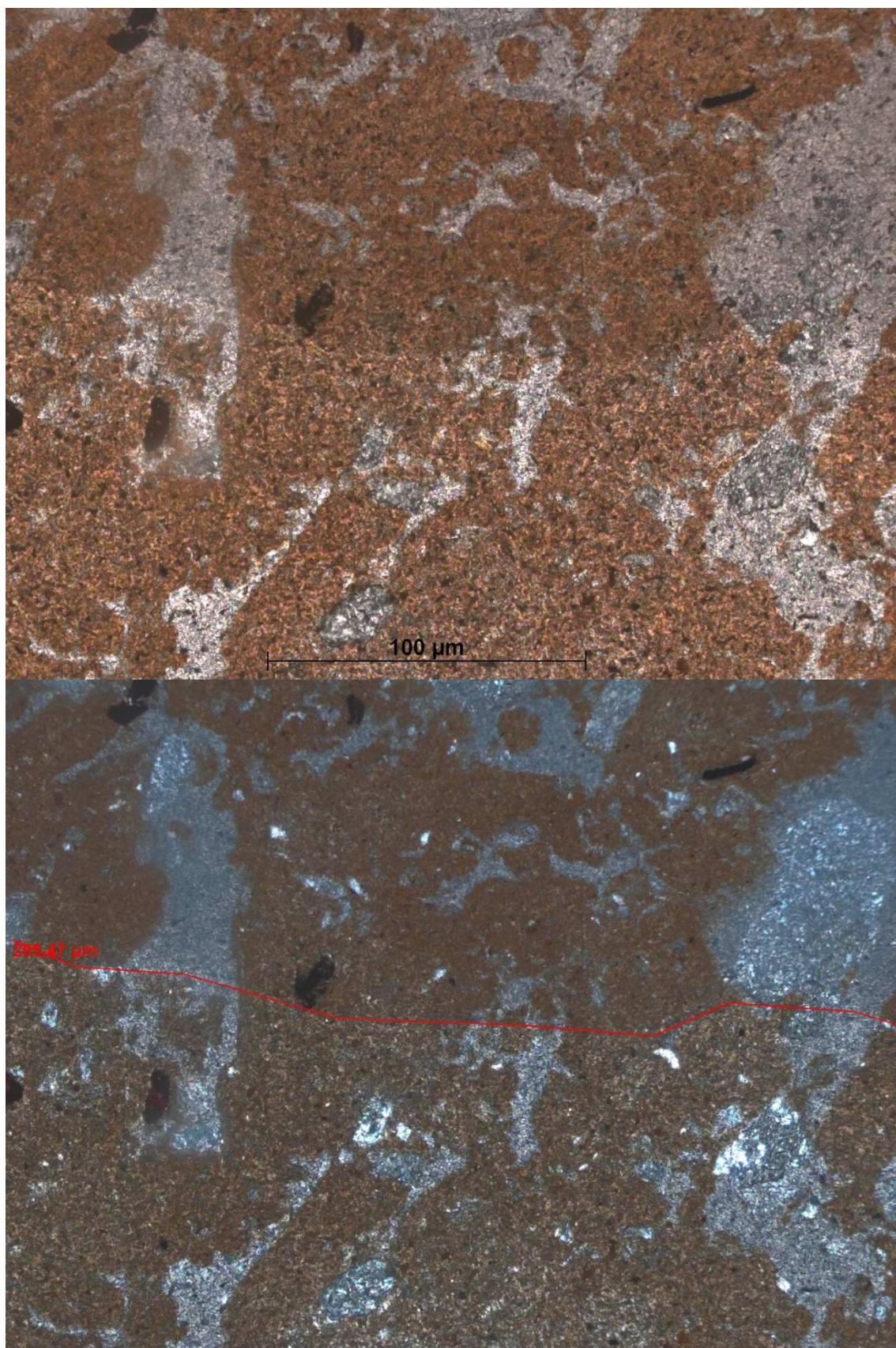


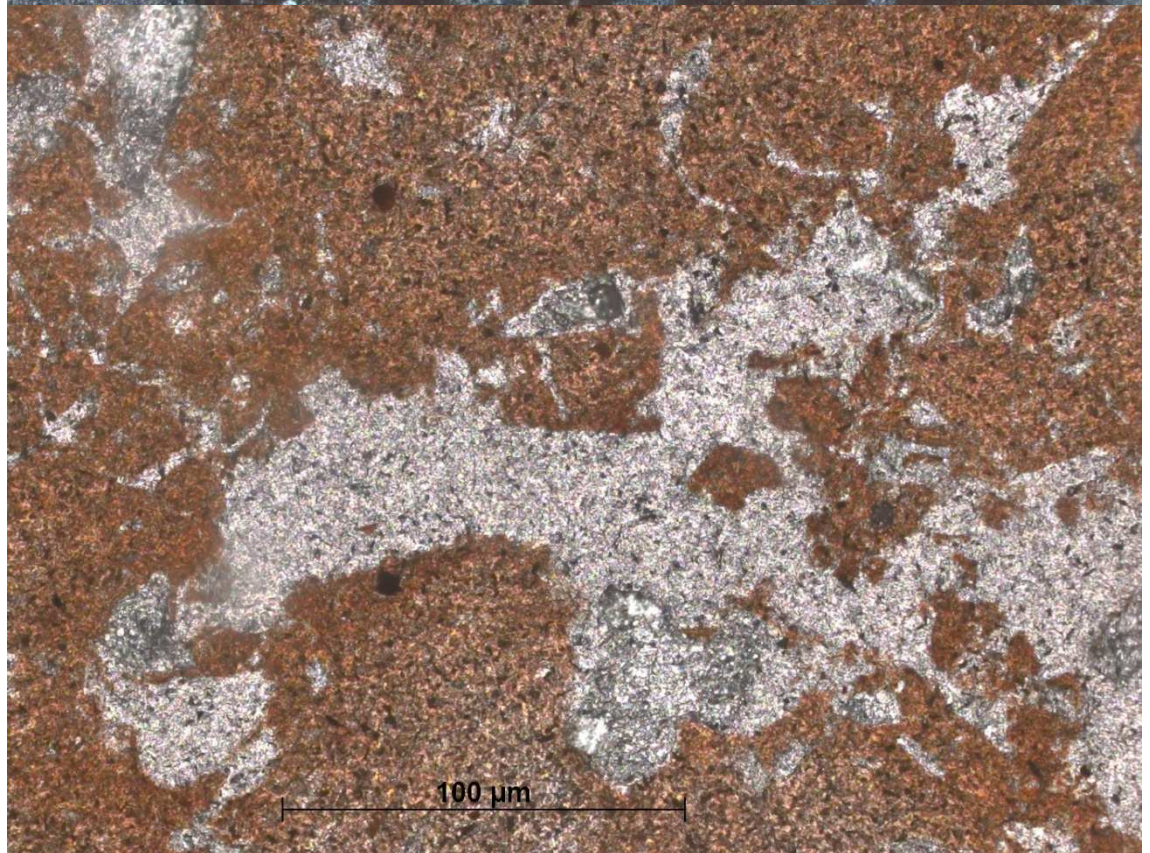
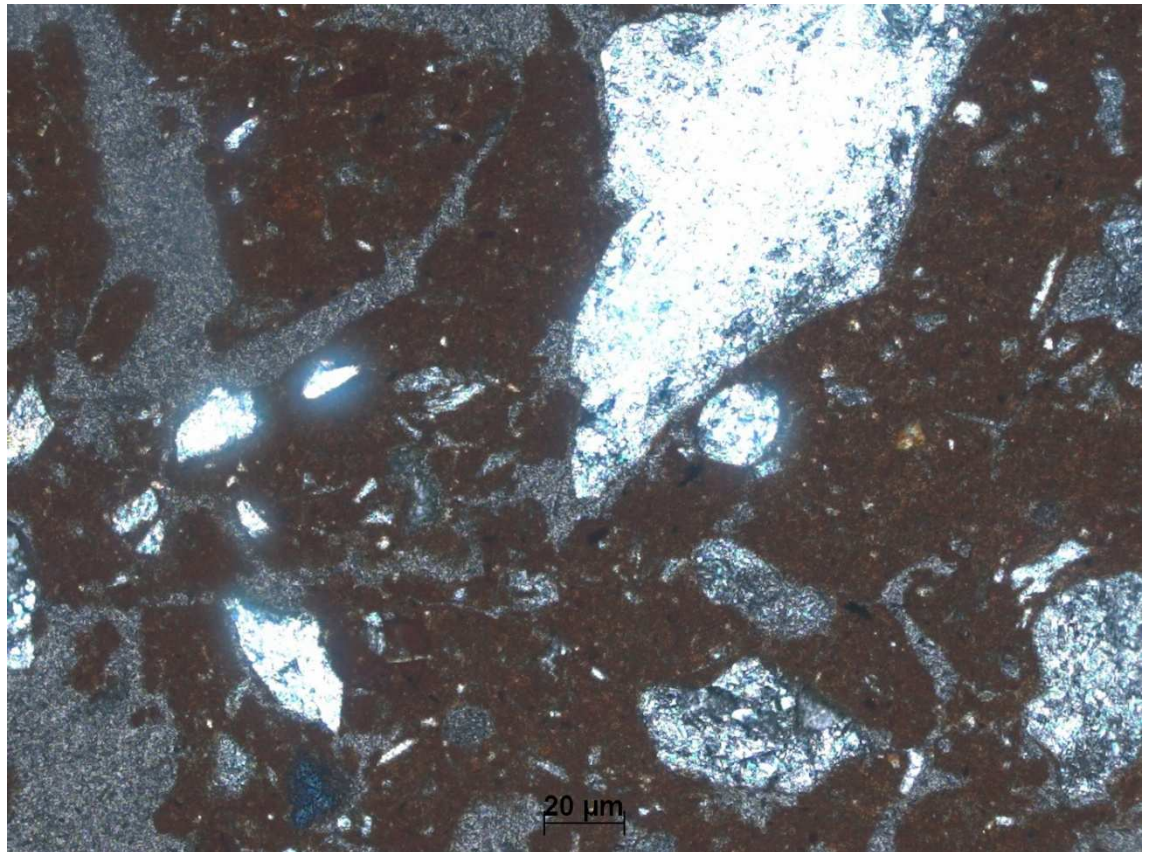


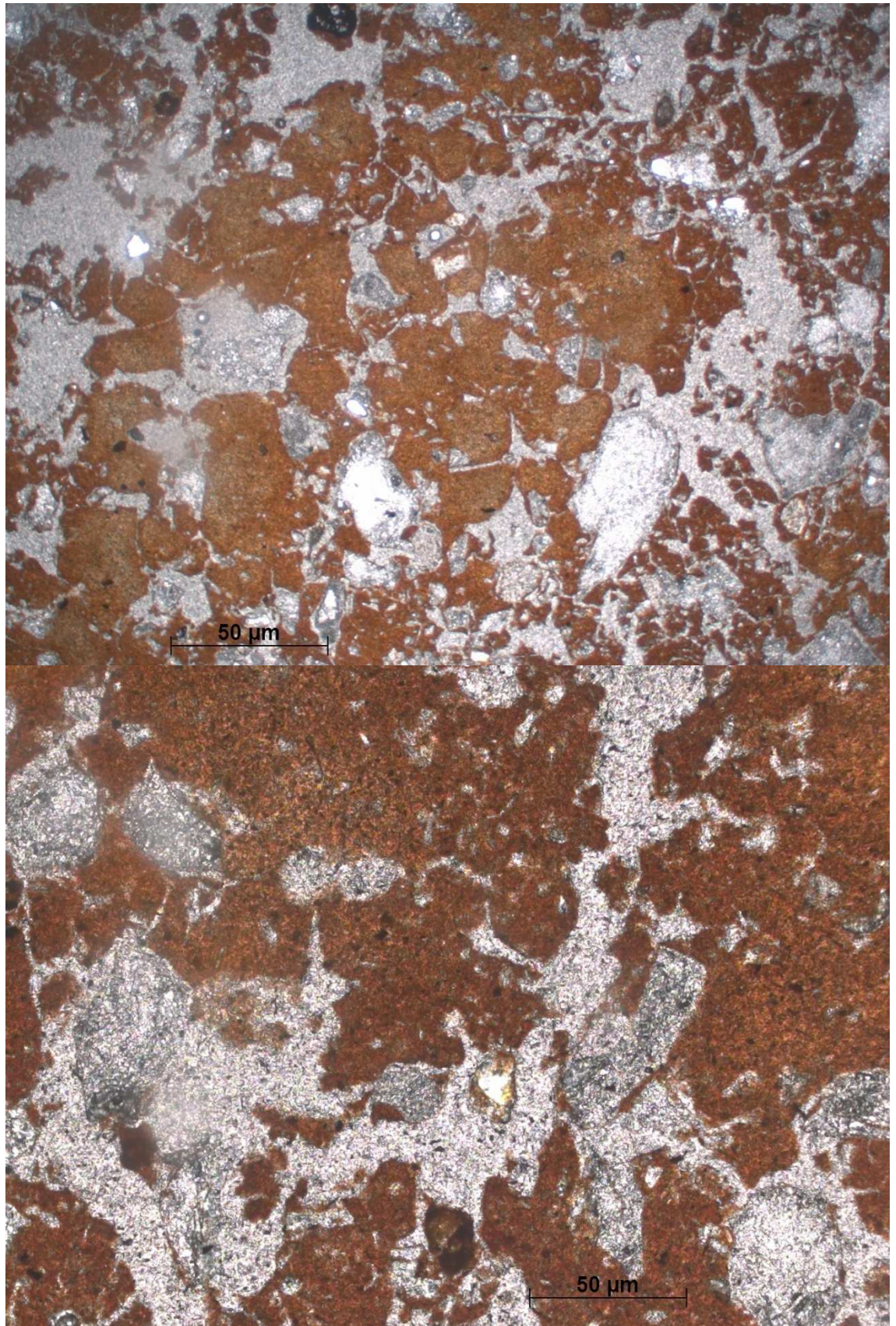


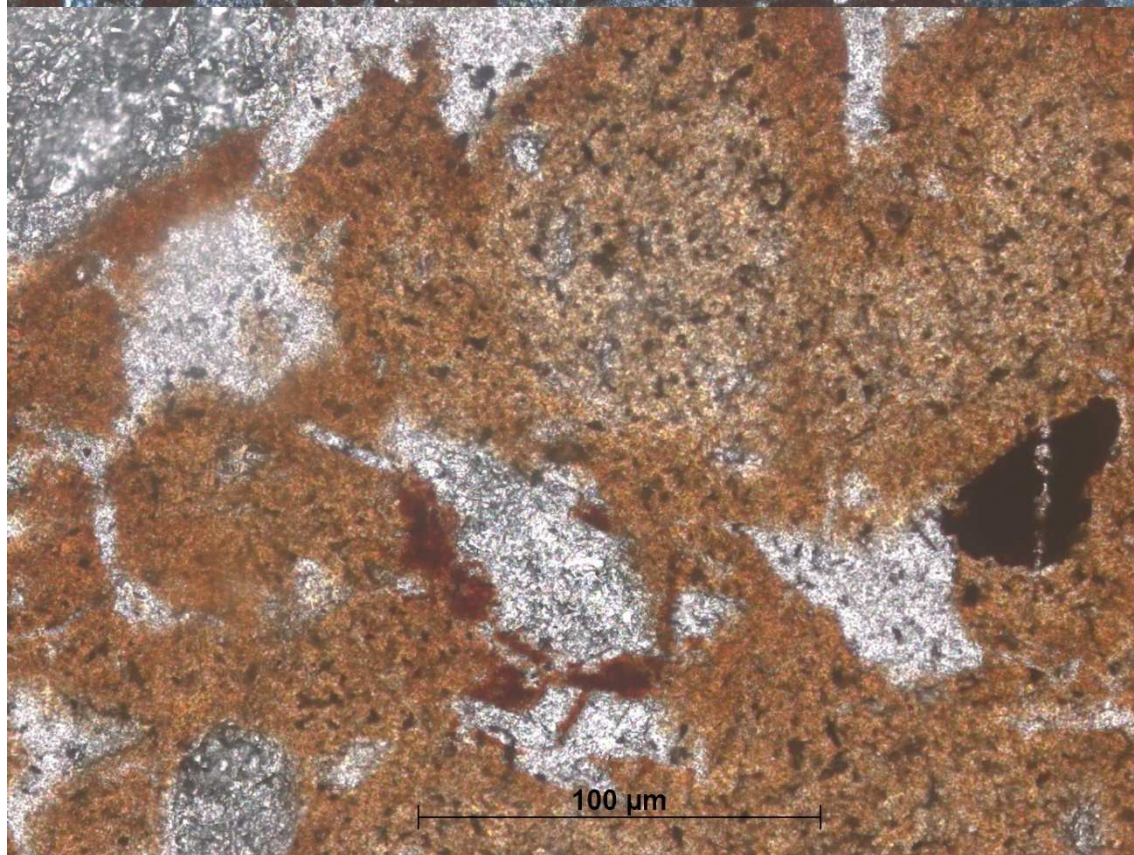
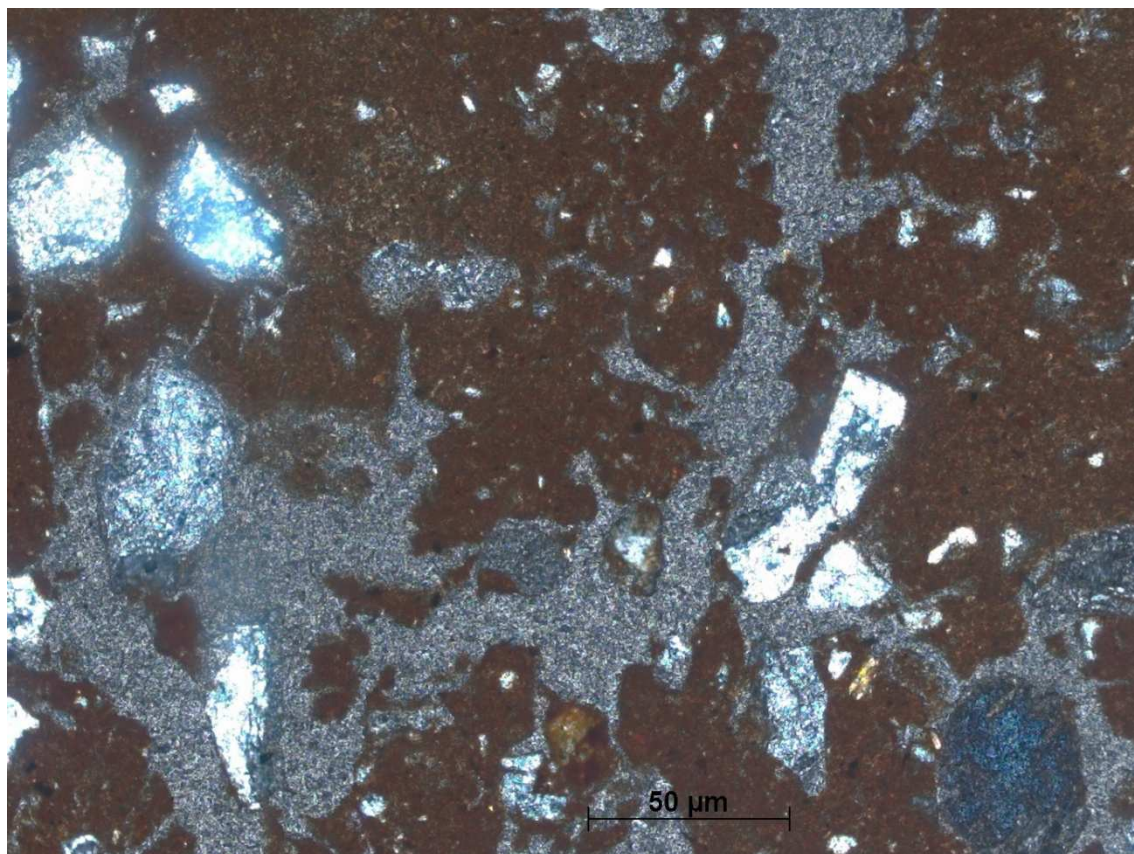
c) Lâmina
M3

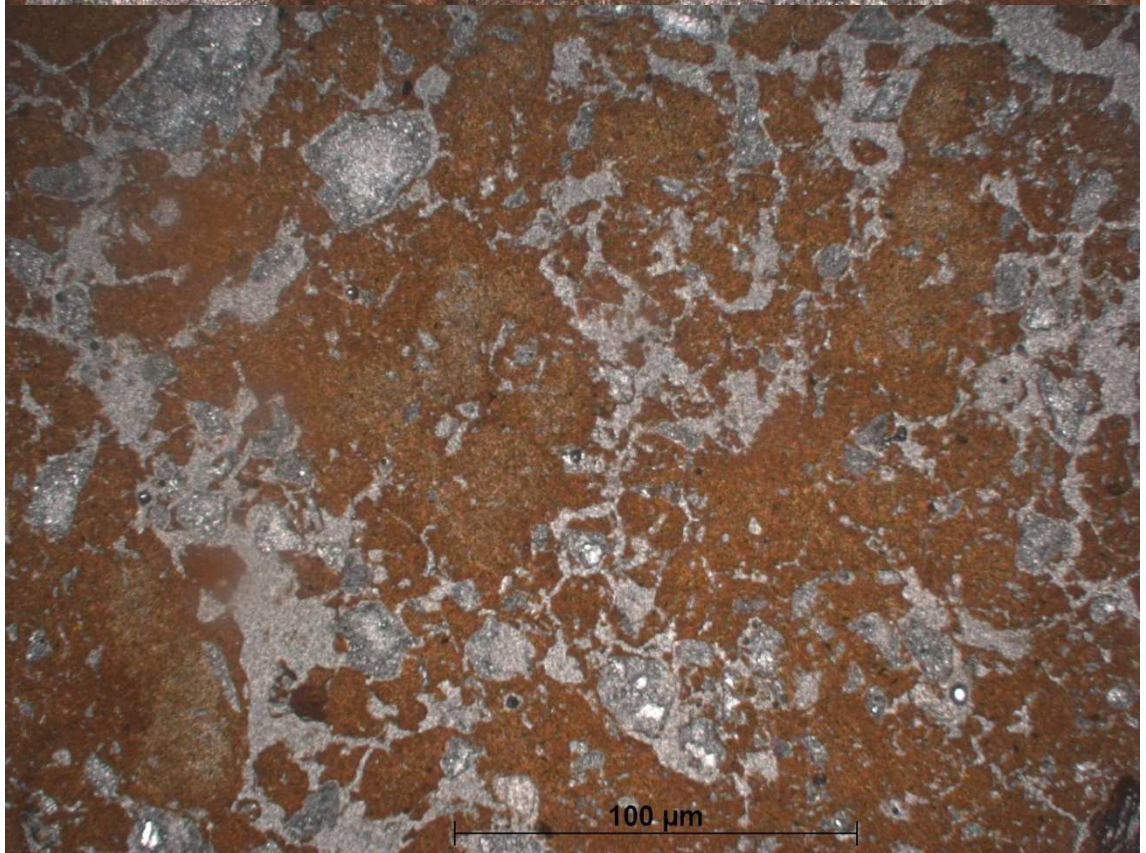
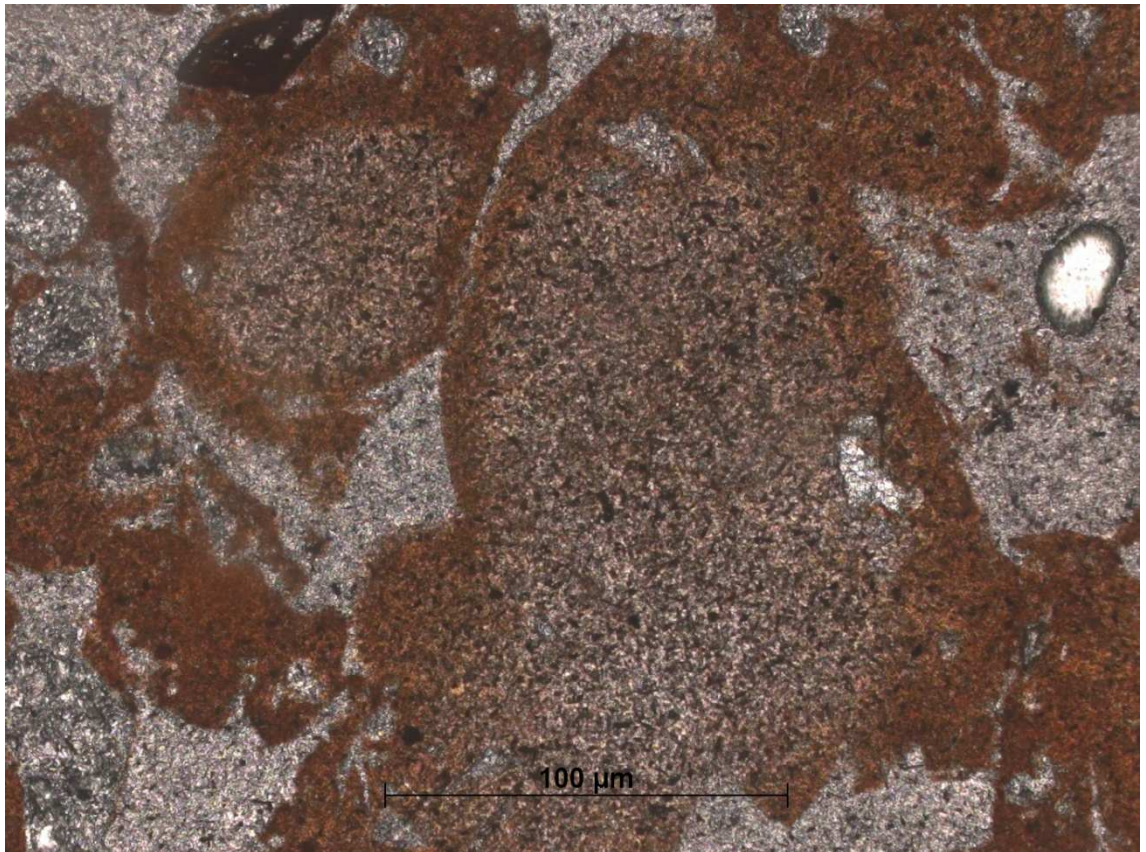


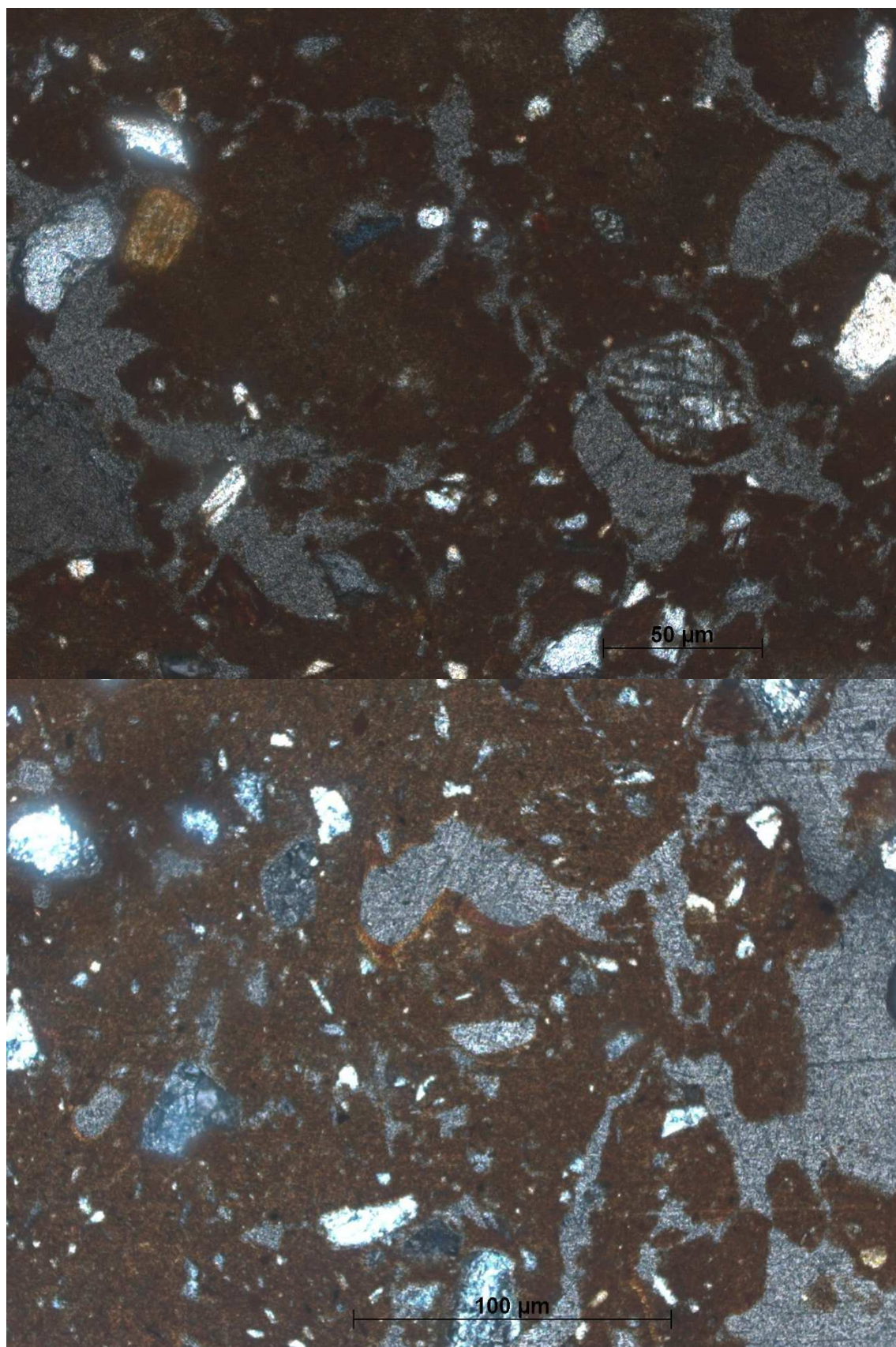






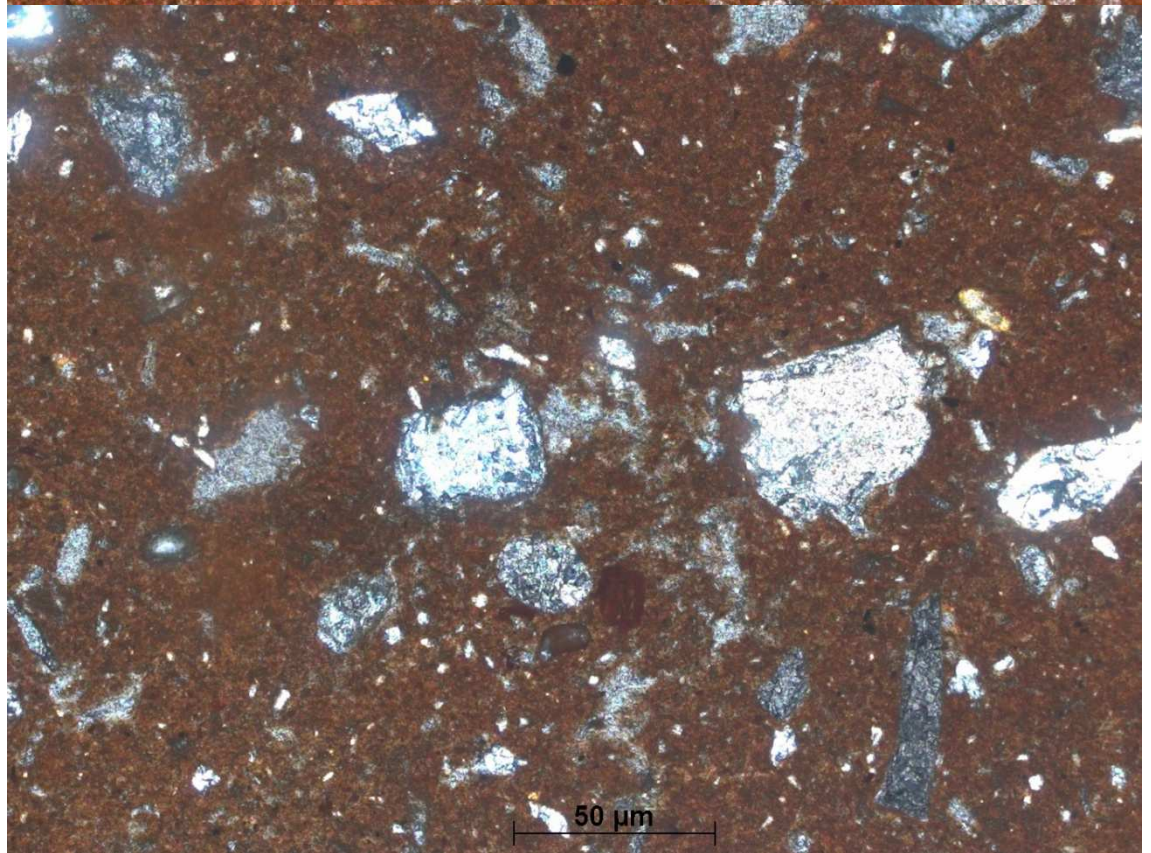
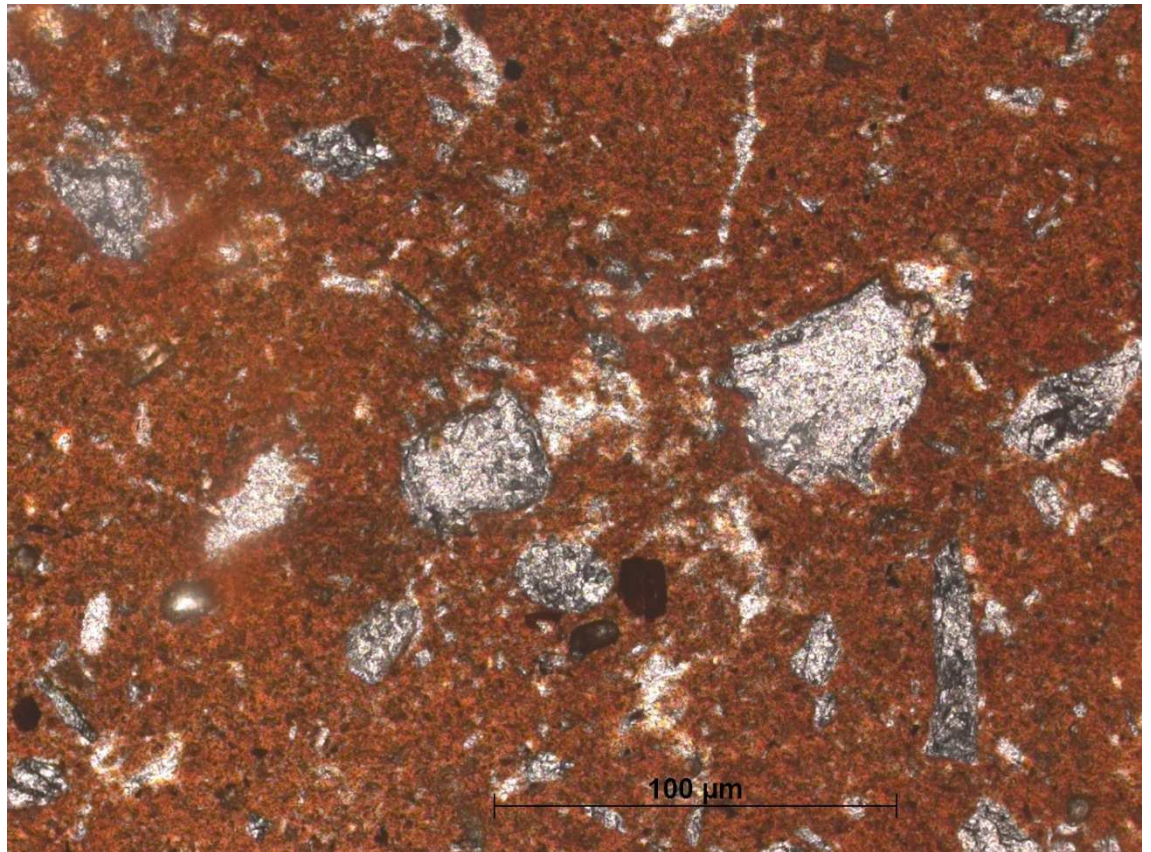


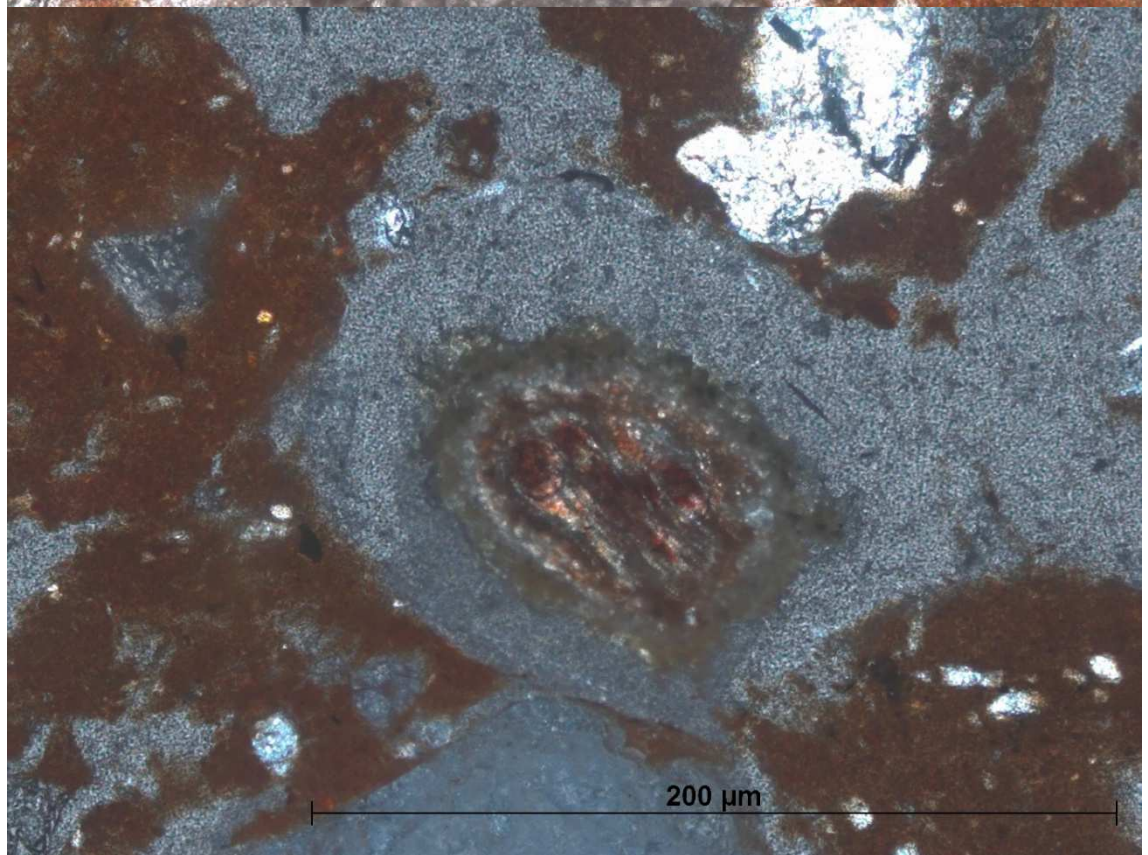
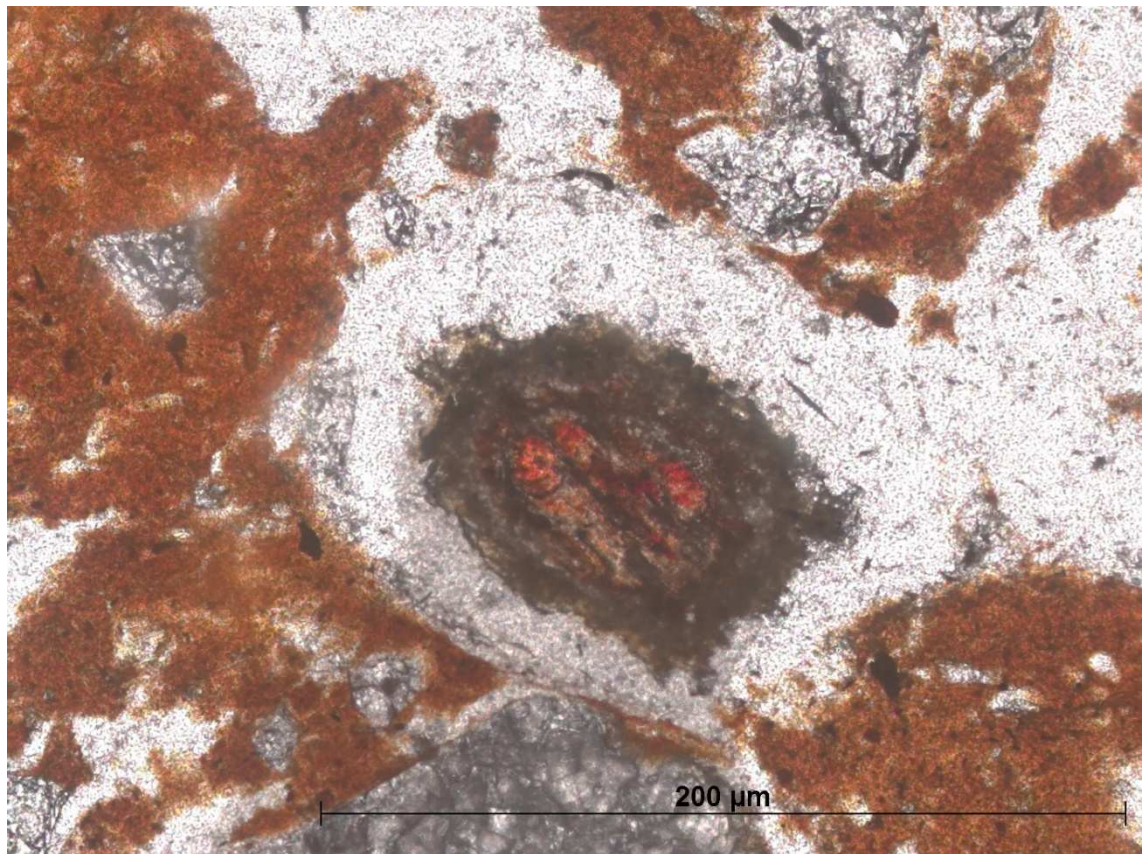


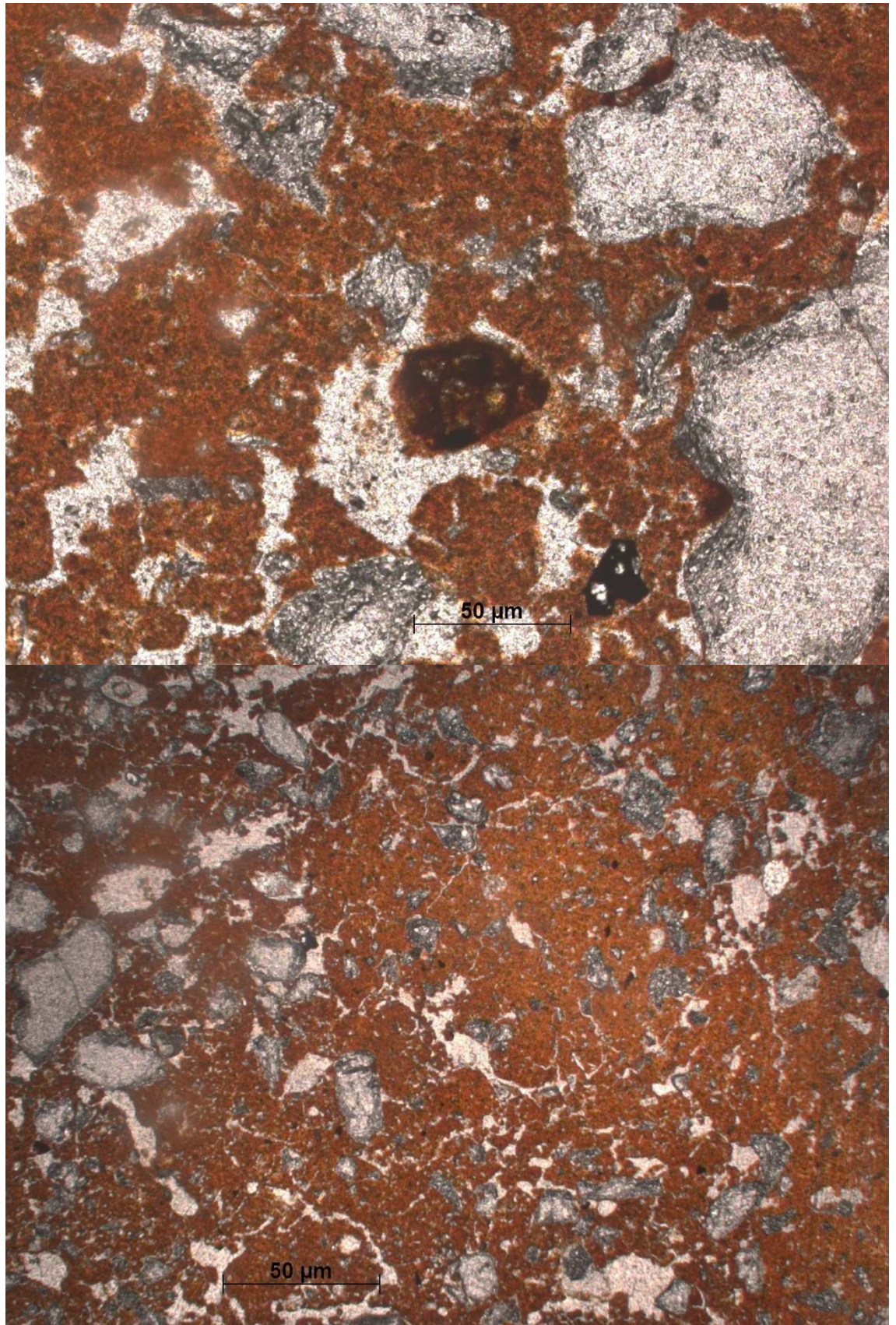


d) Lâmina
M4

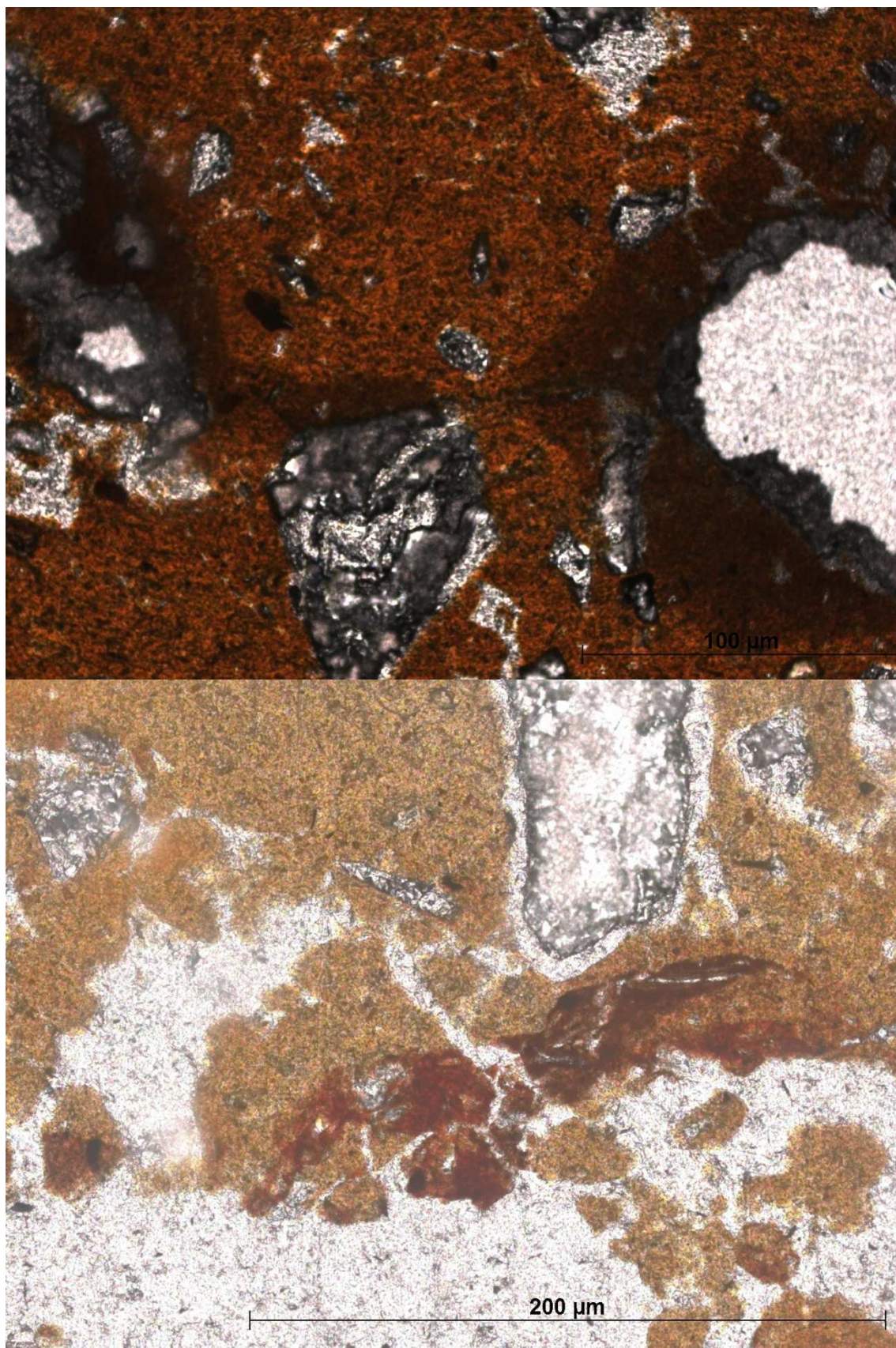


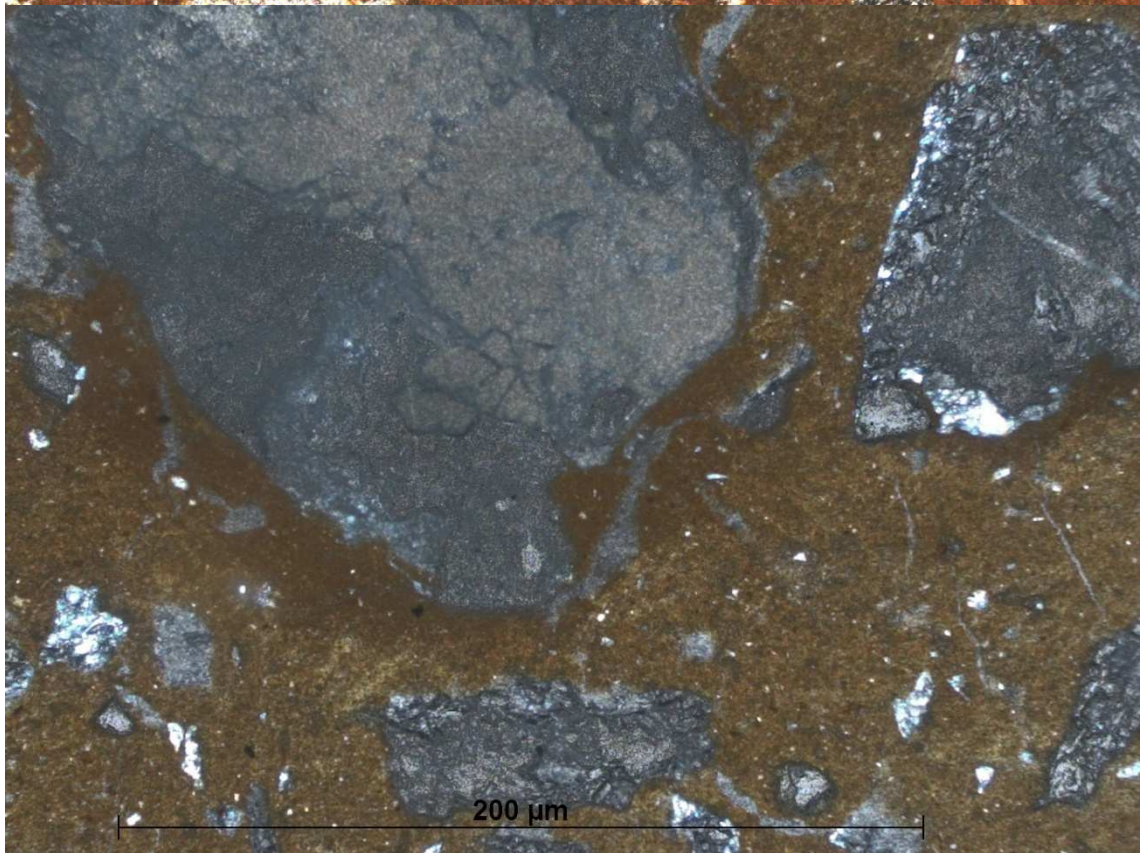
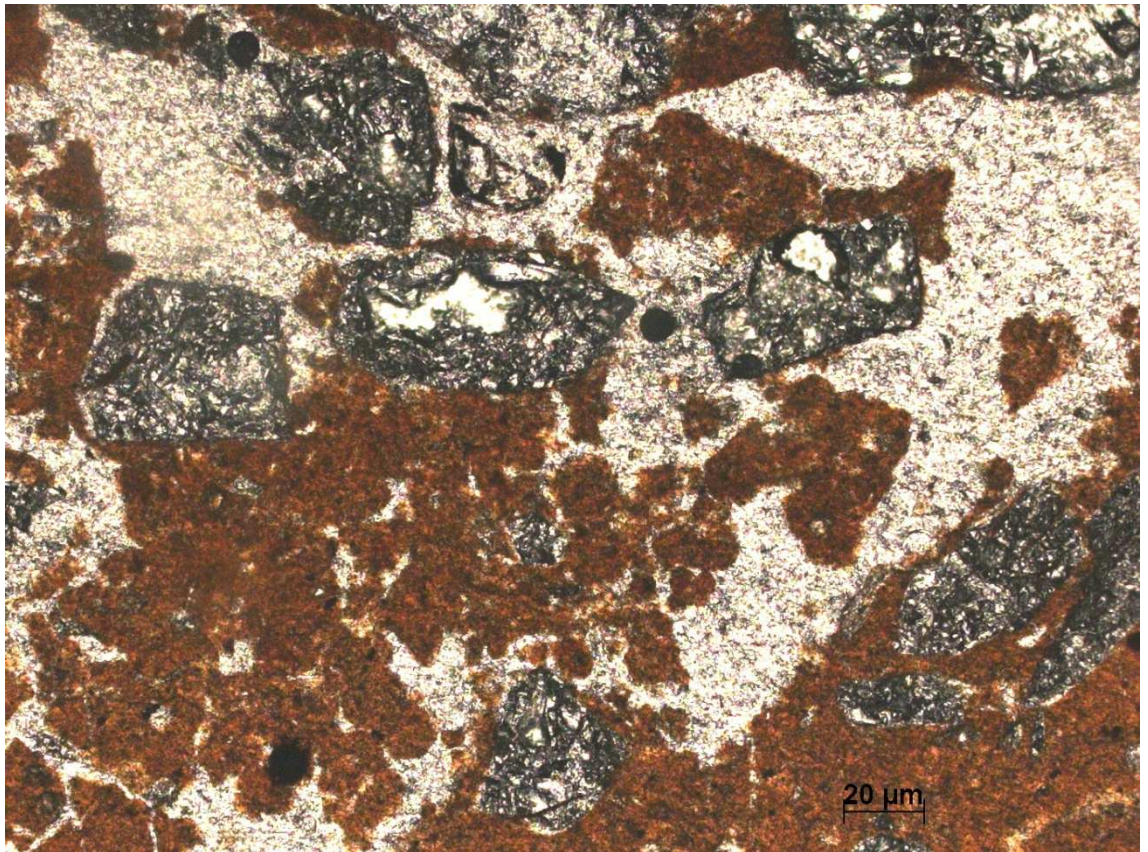


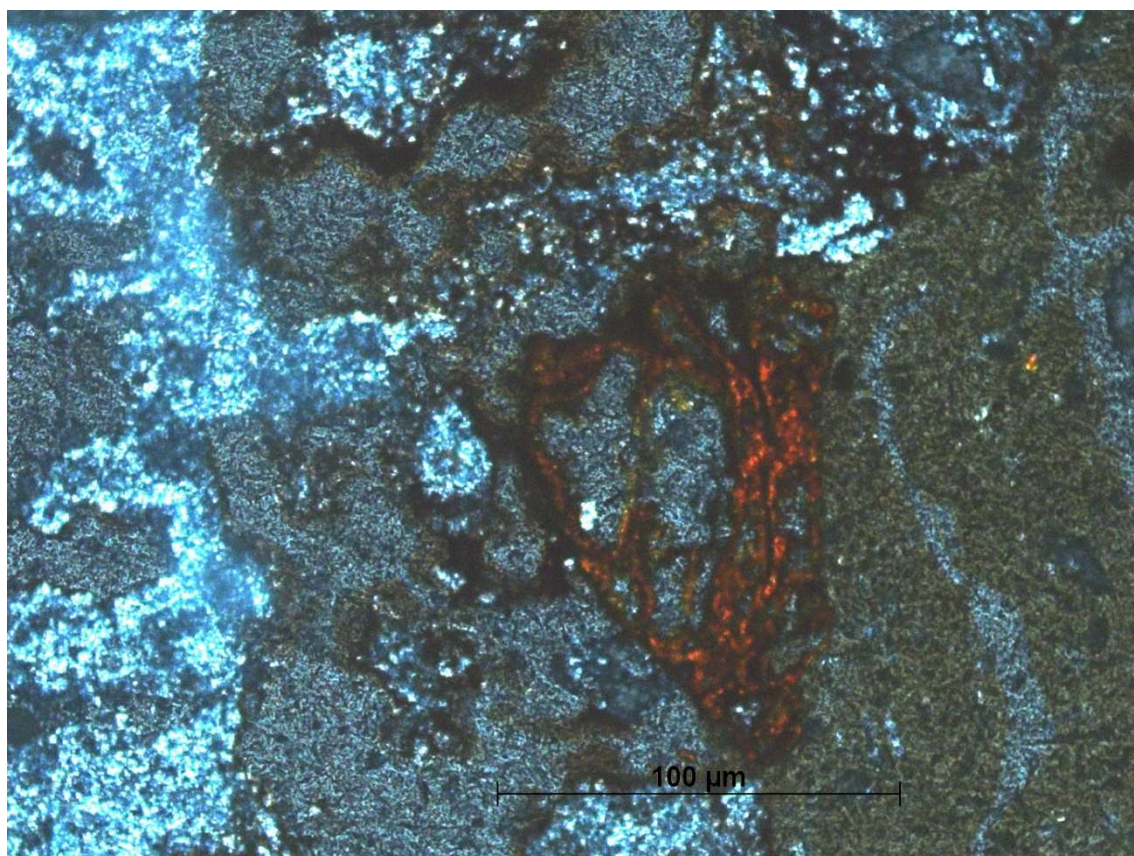




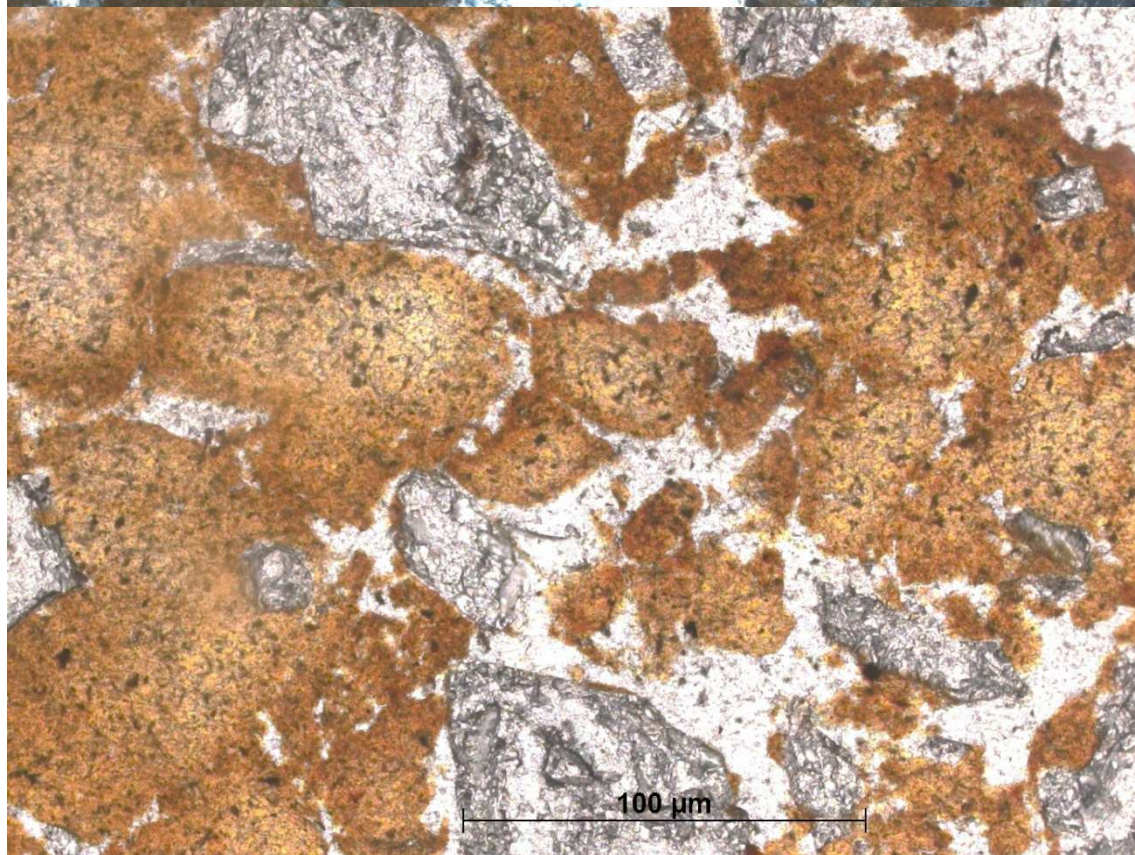
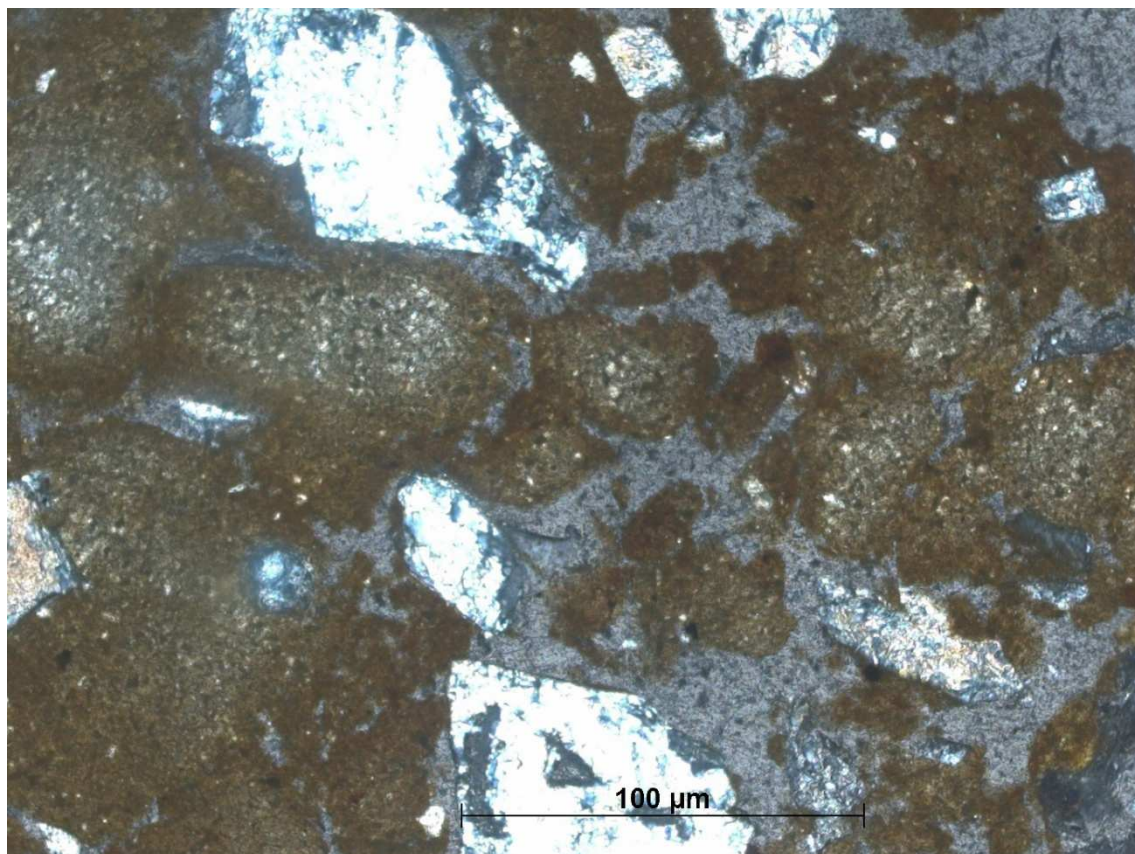
e) Lâmina M5

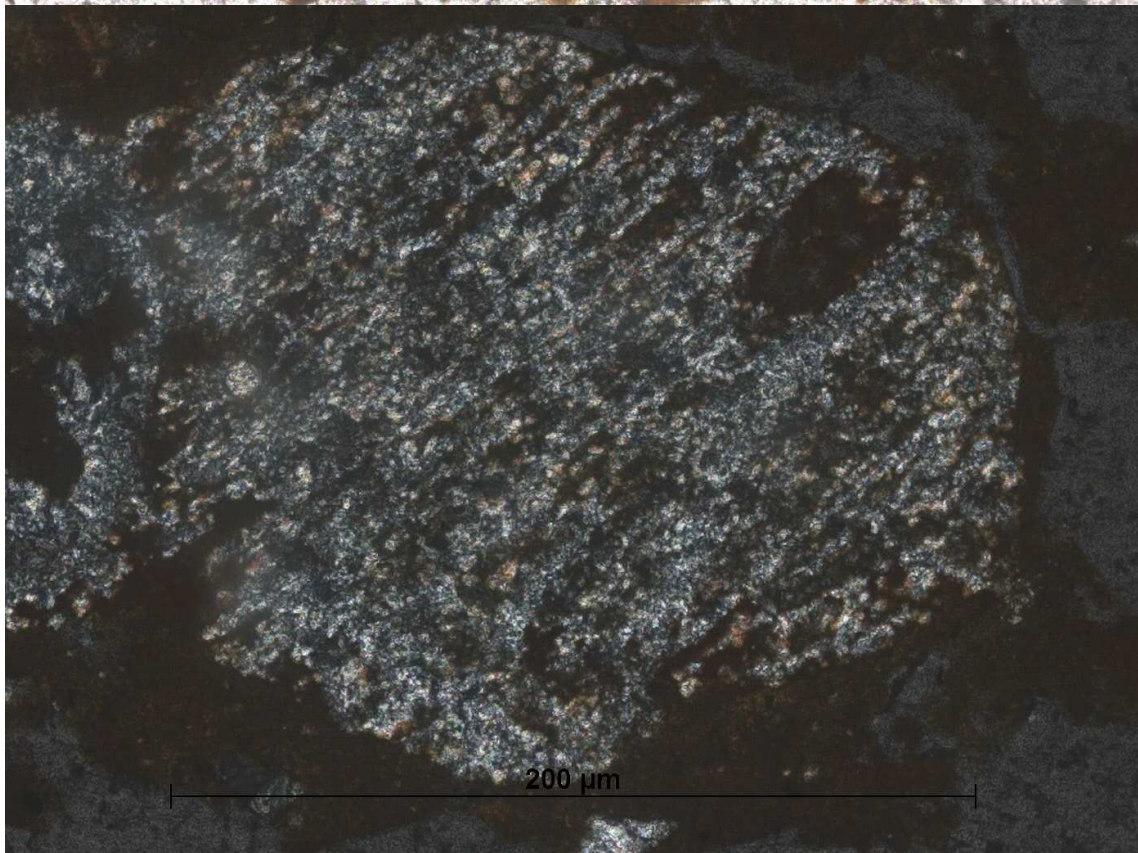
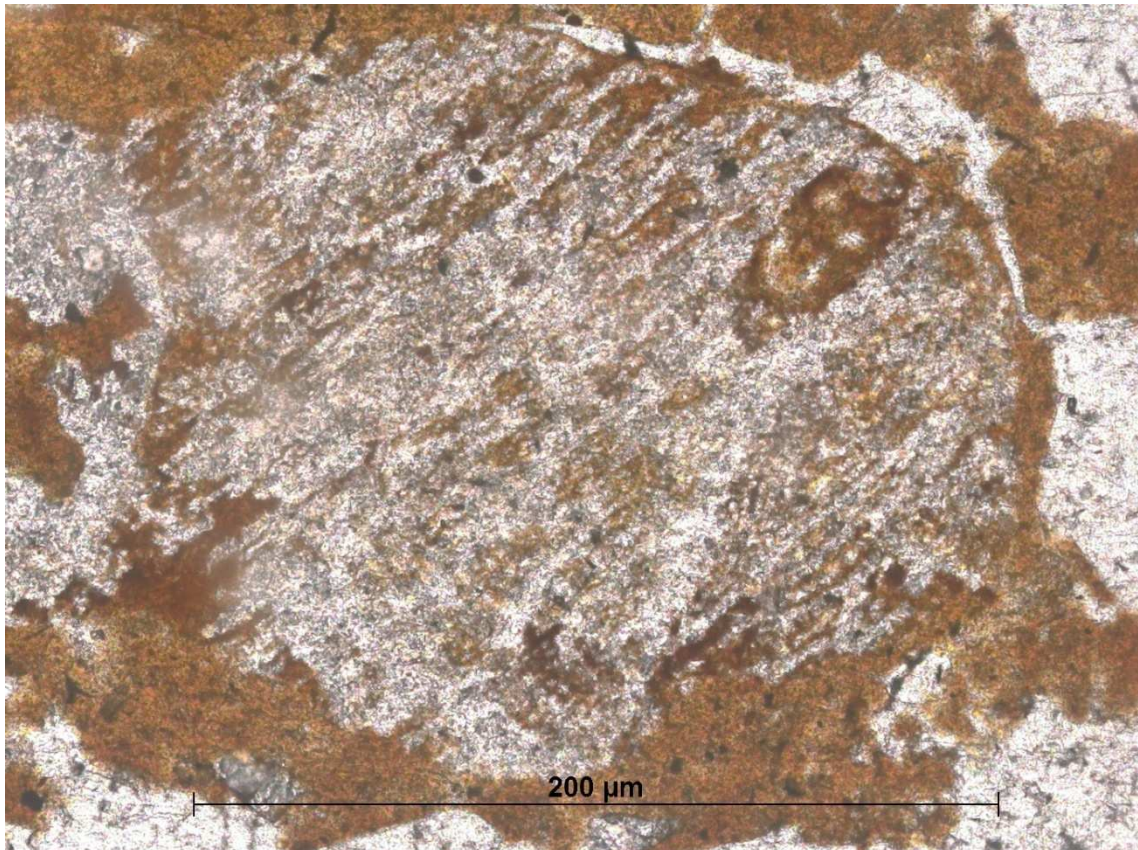


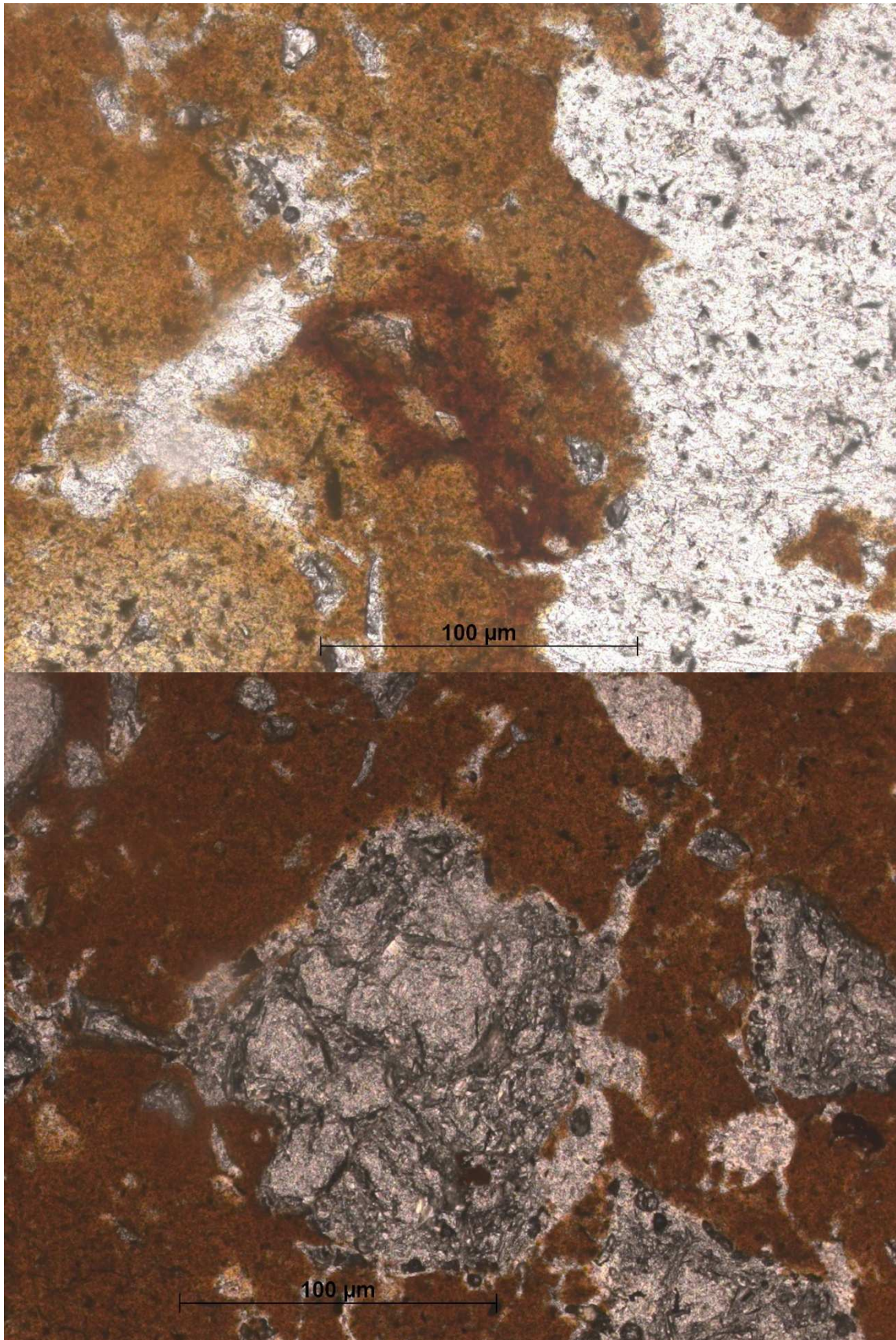


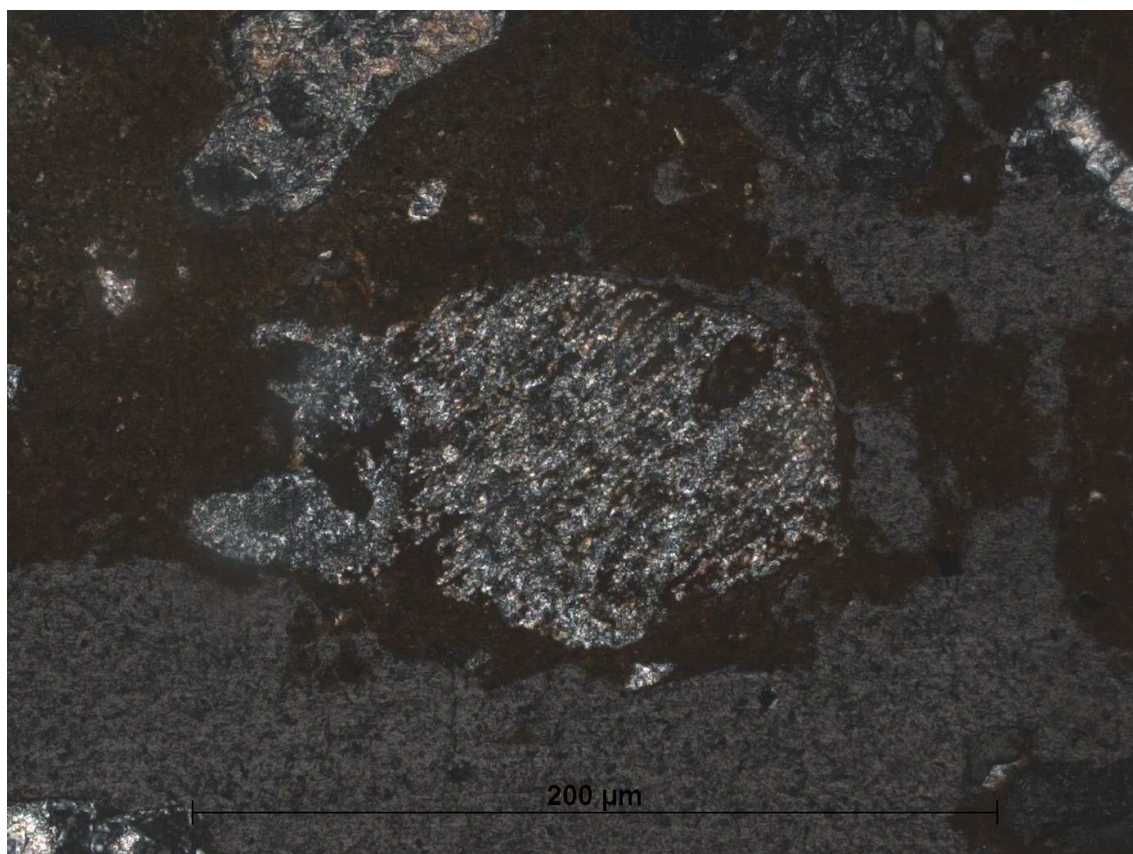


f) Lâmina M6

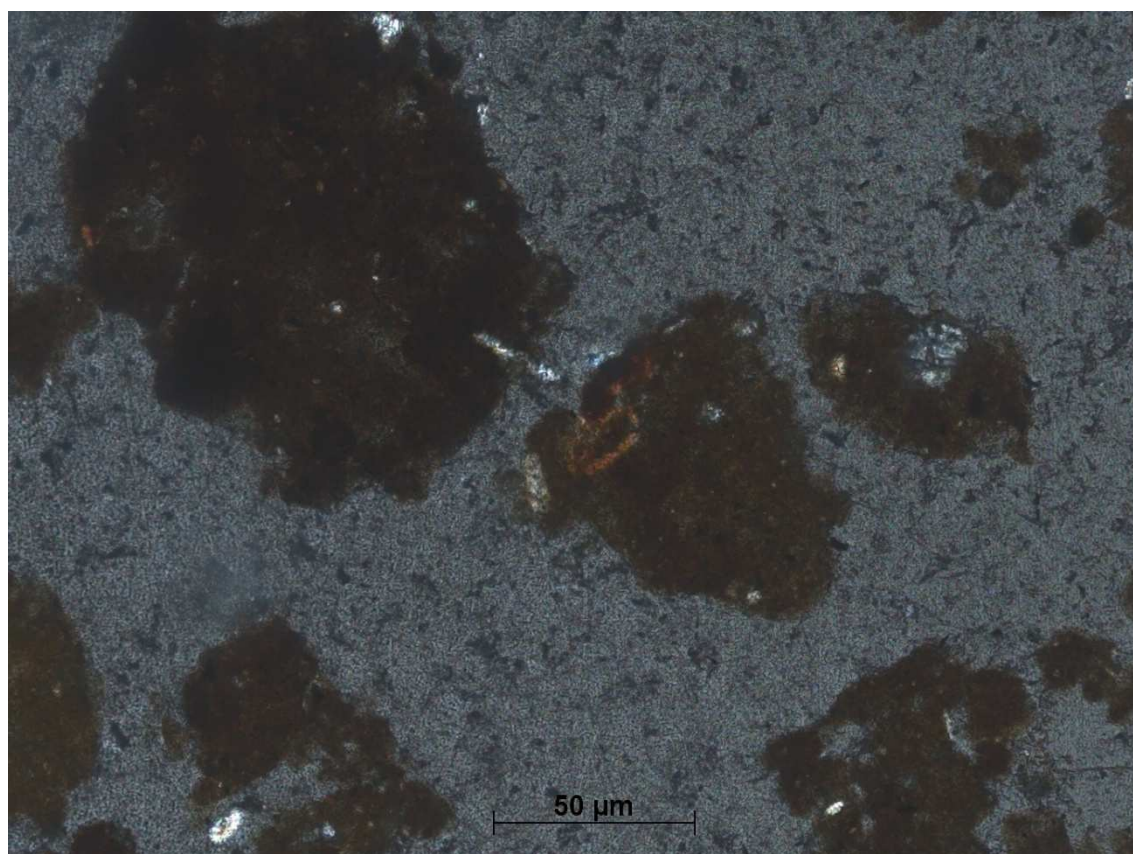


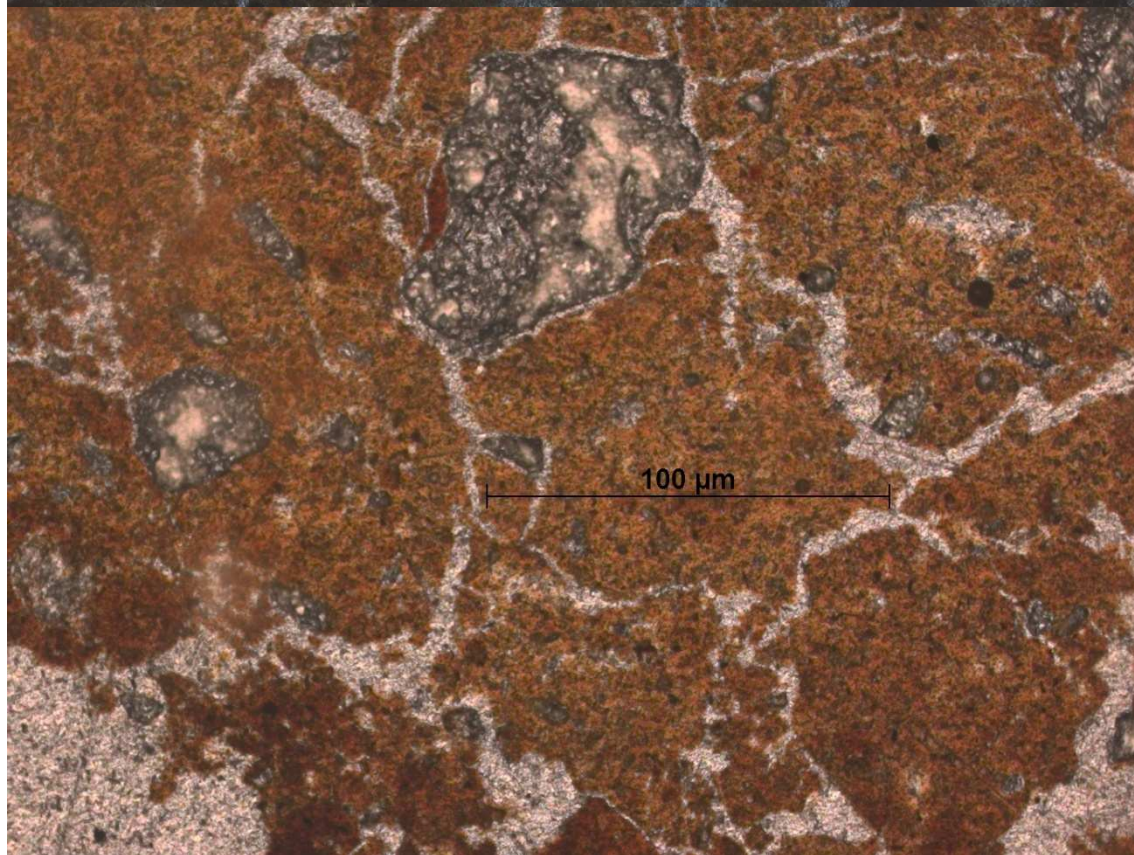
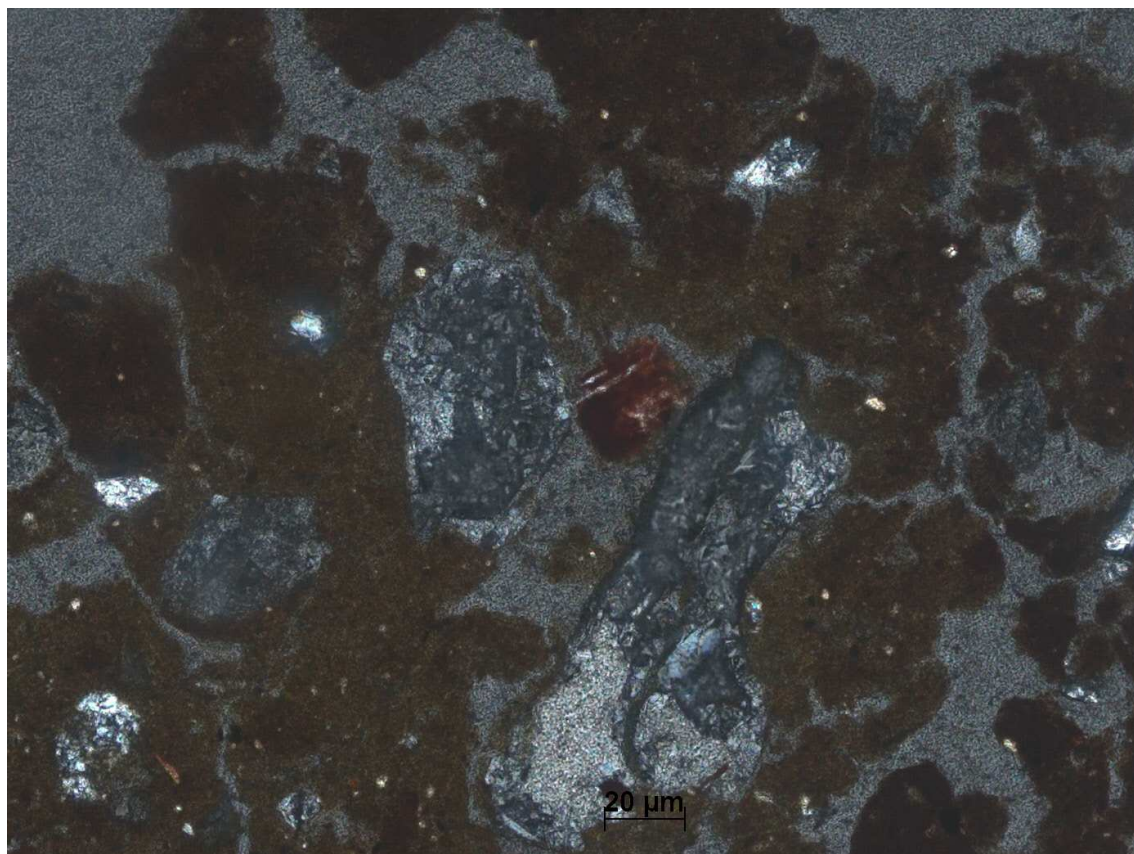


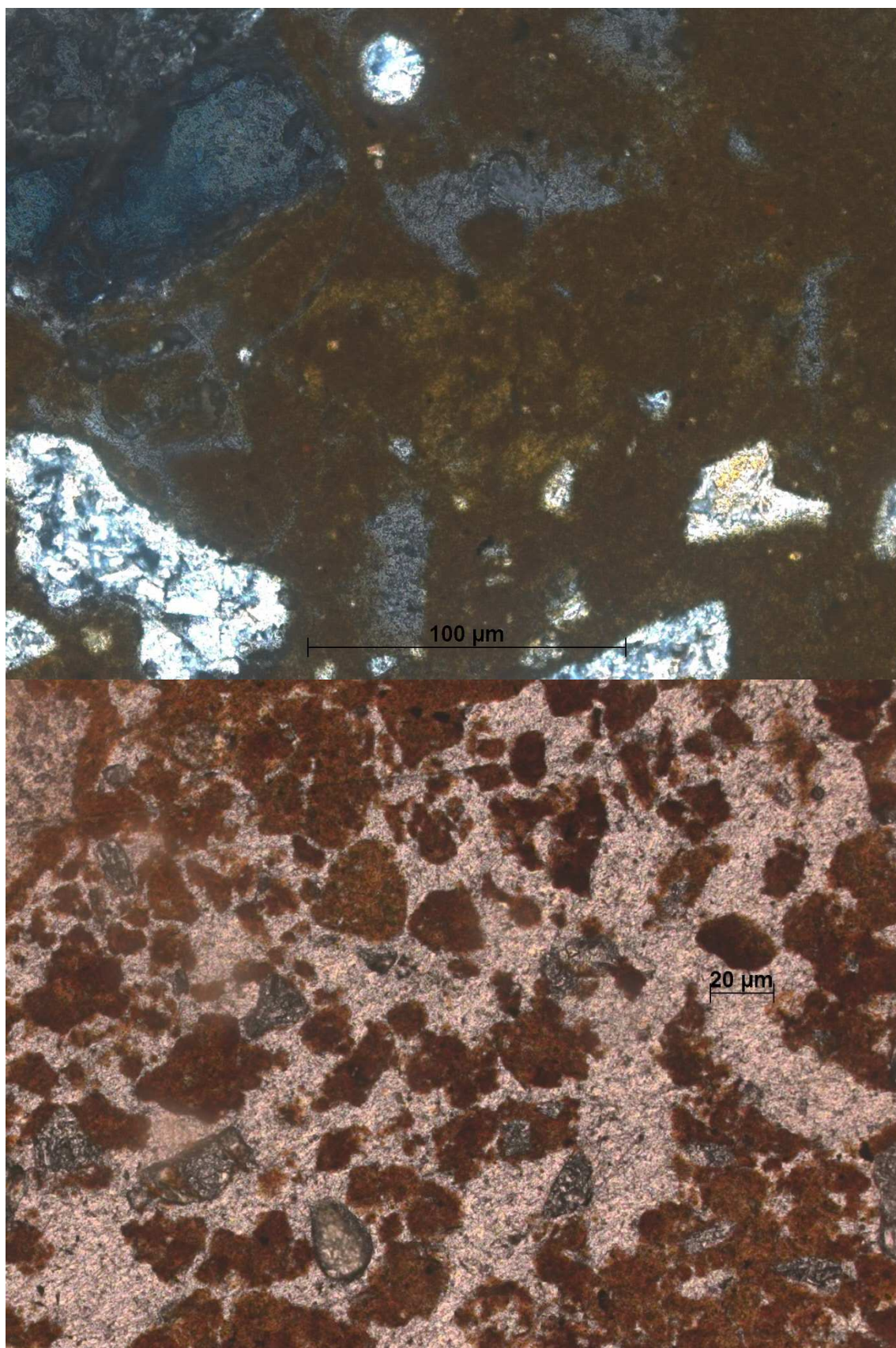


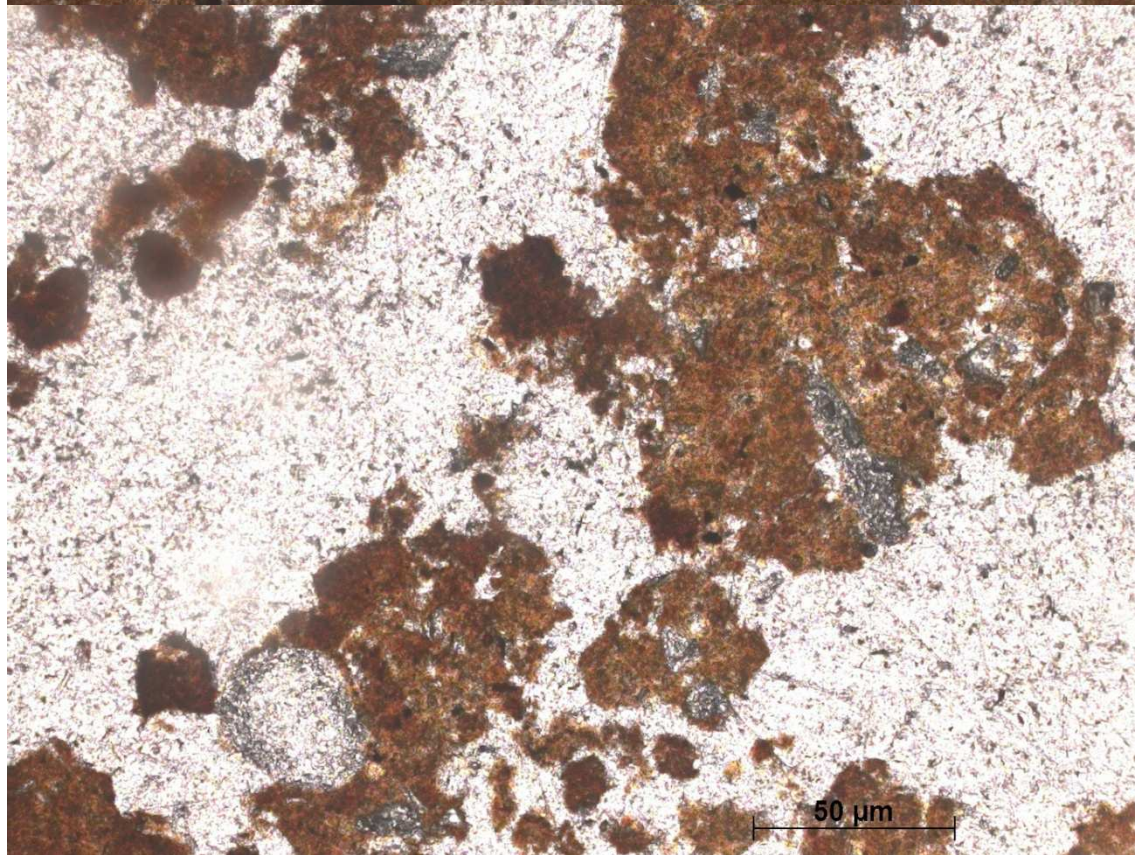
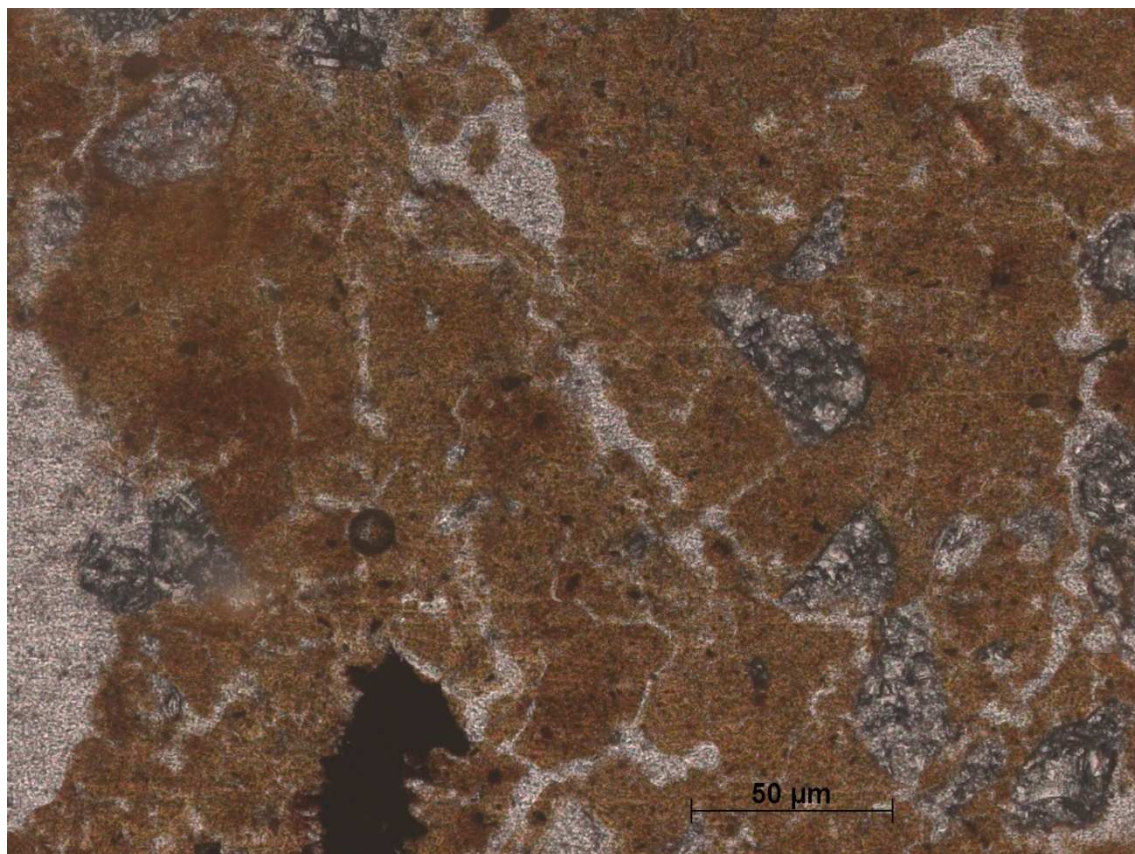


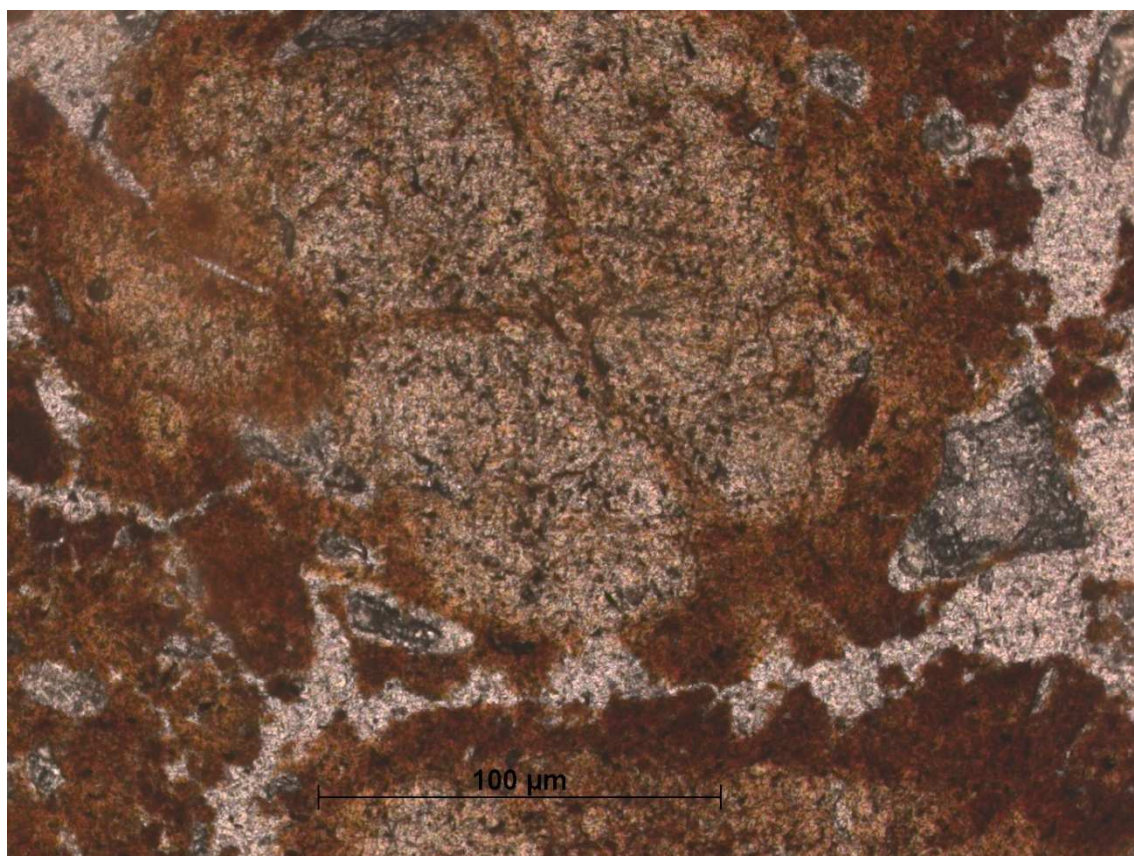
g) Lâmina
M7



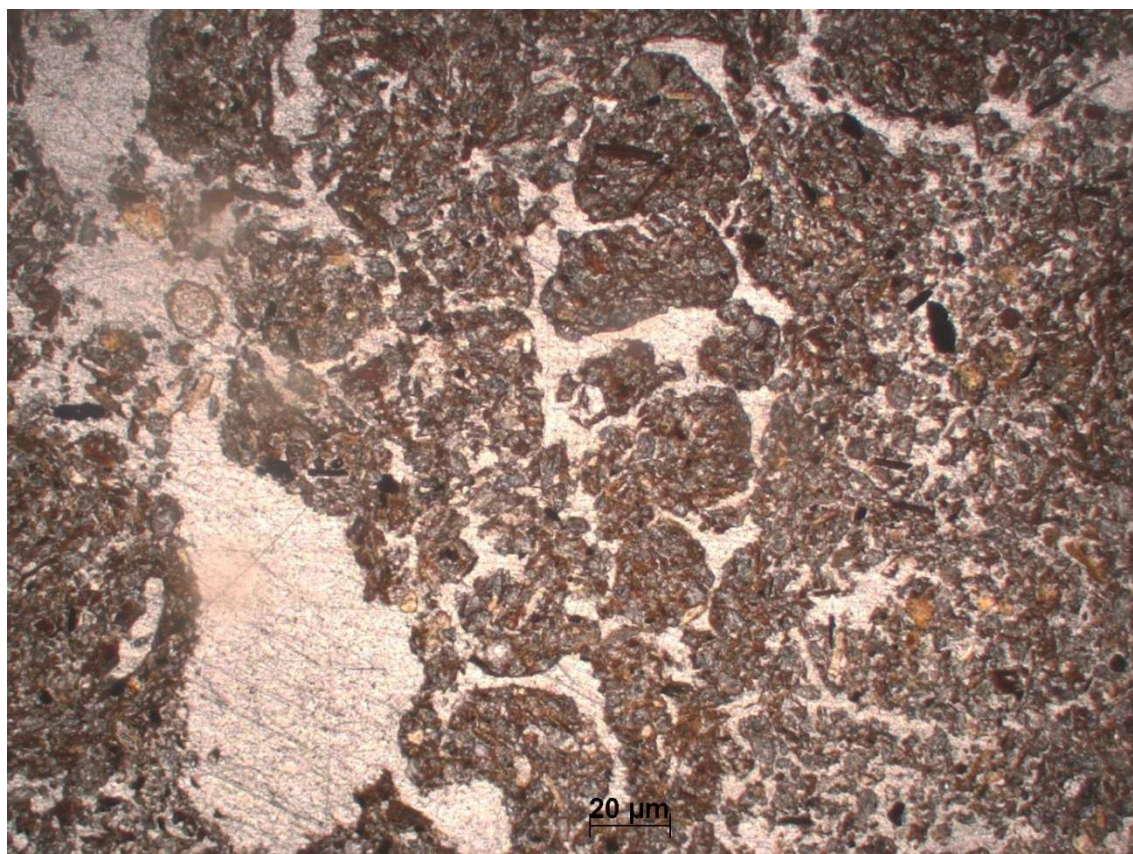


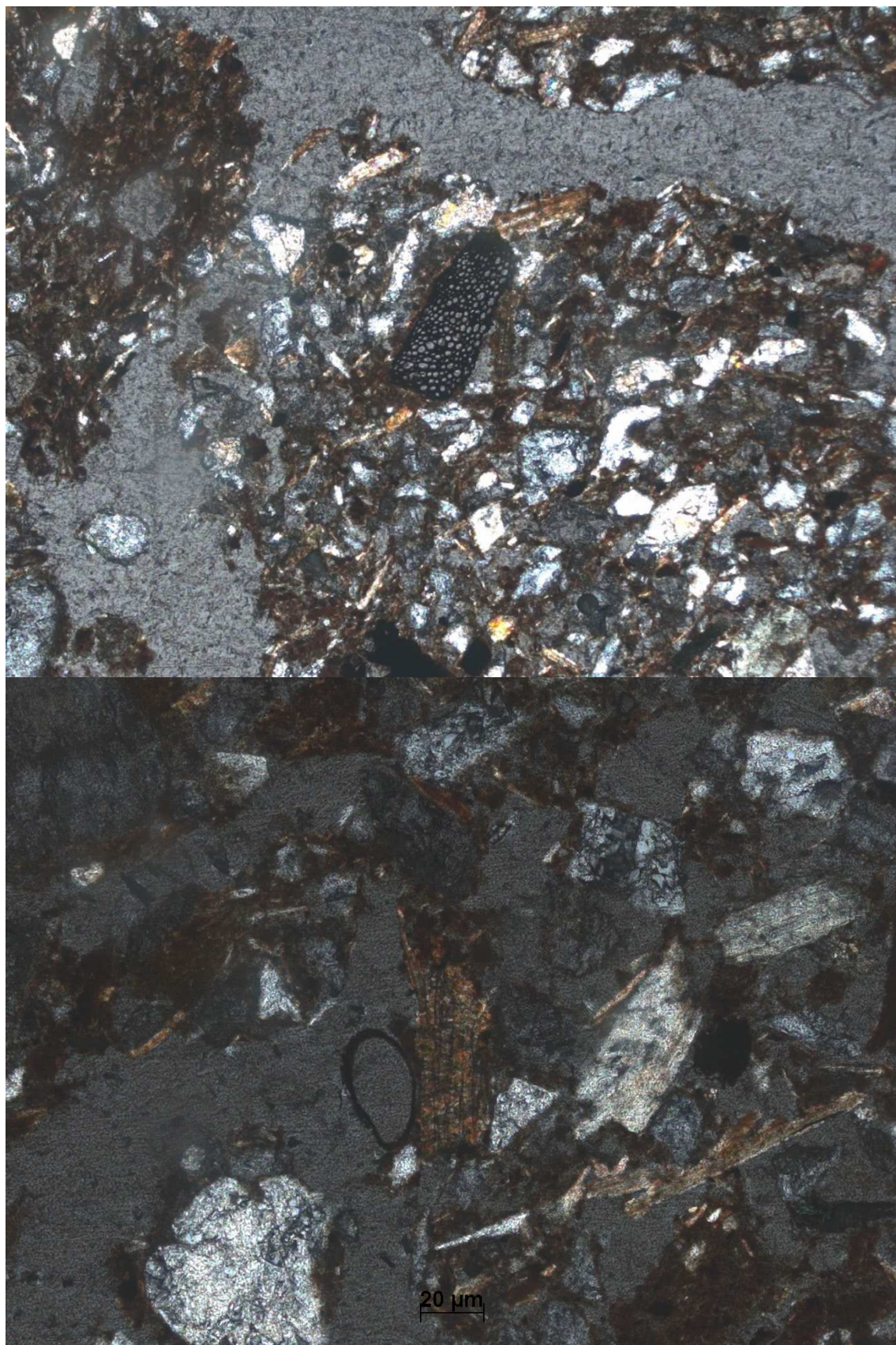


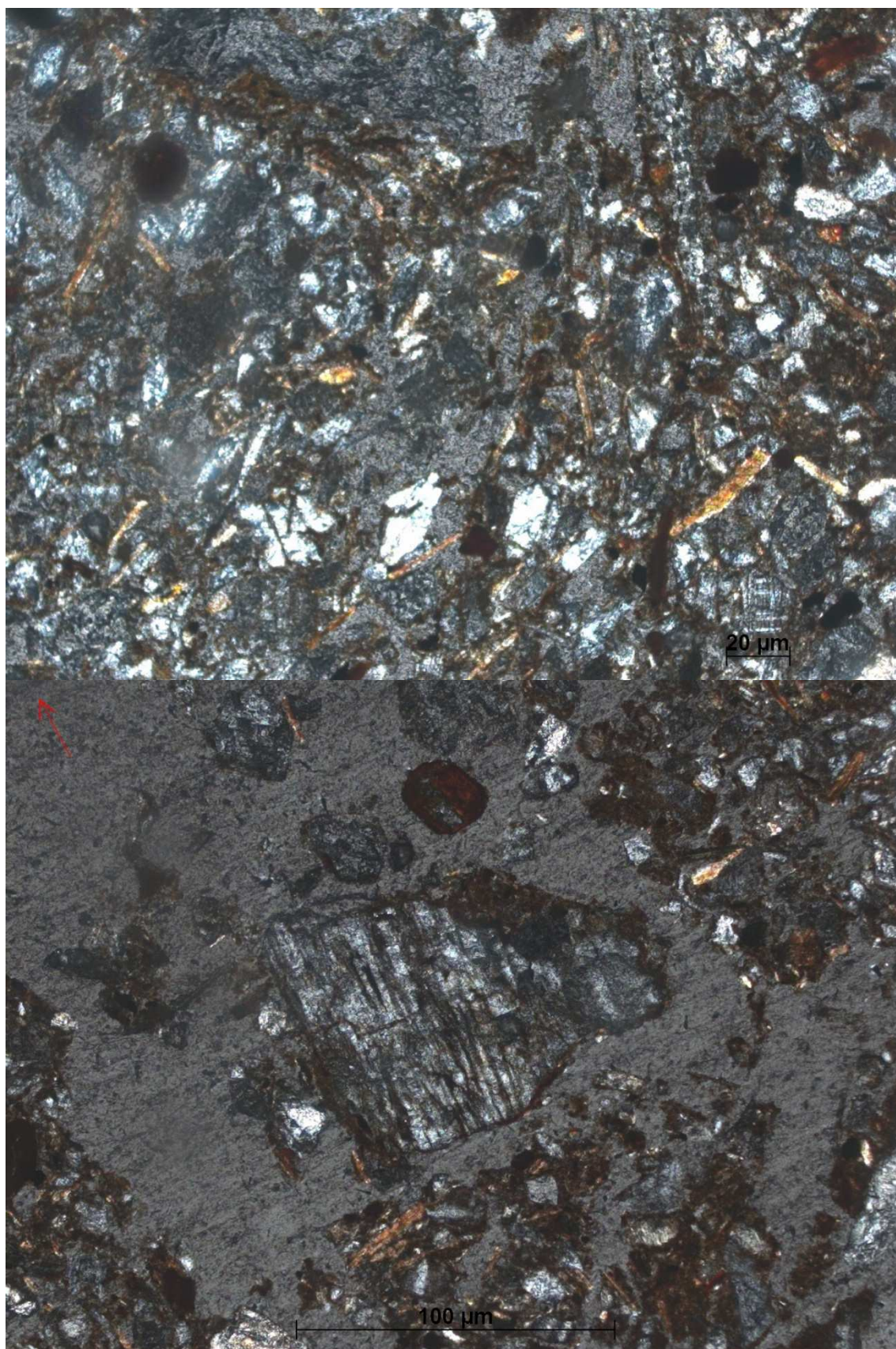


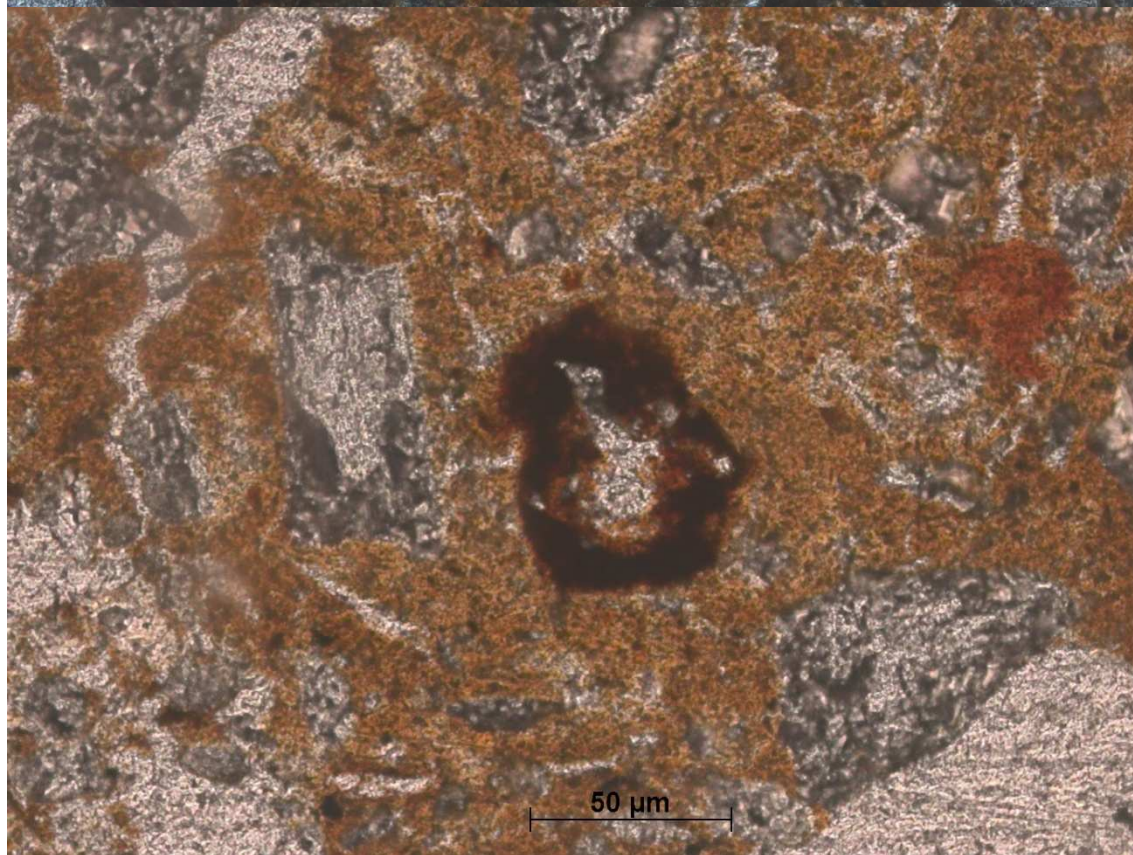
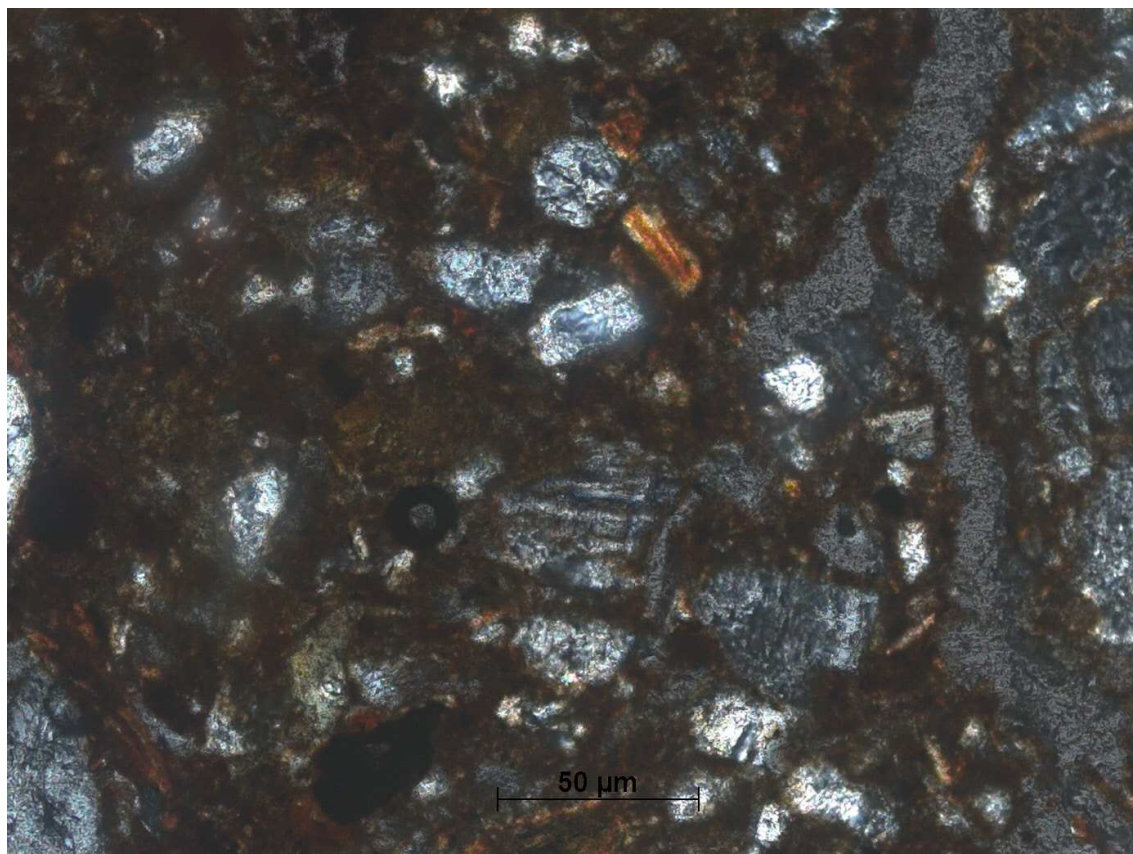


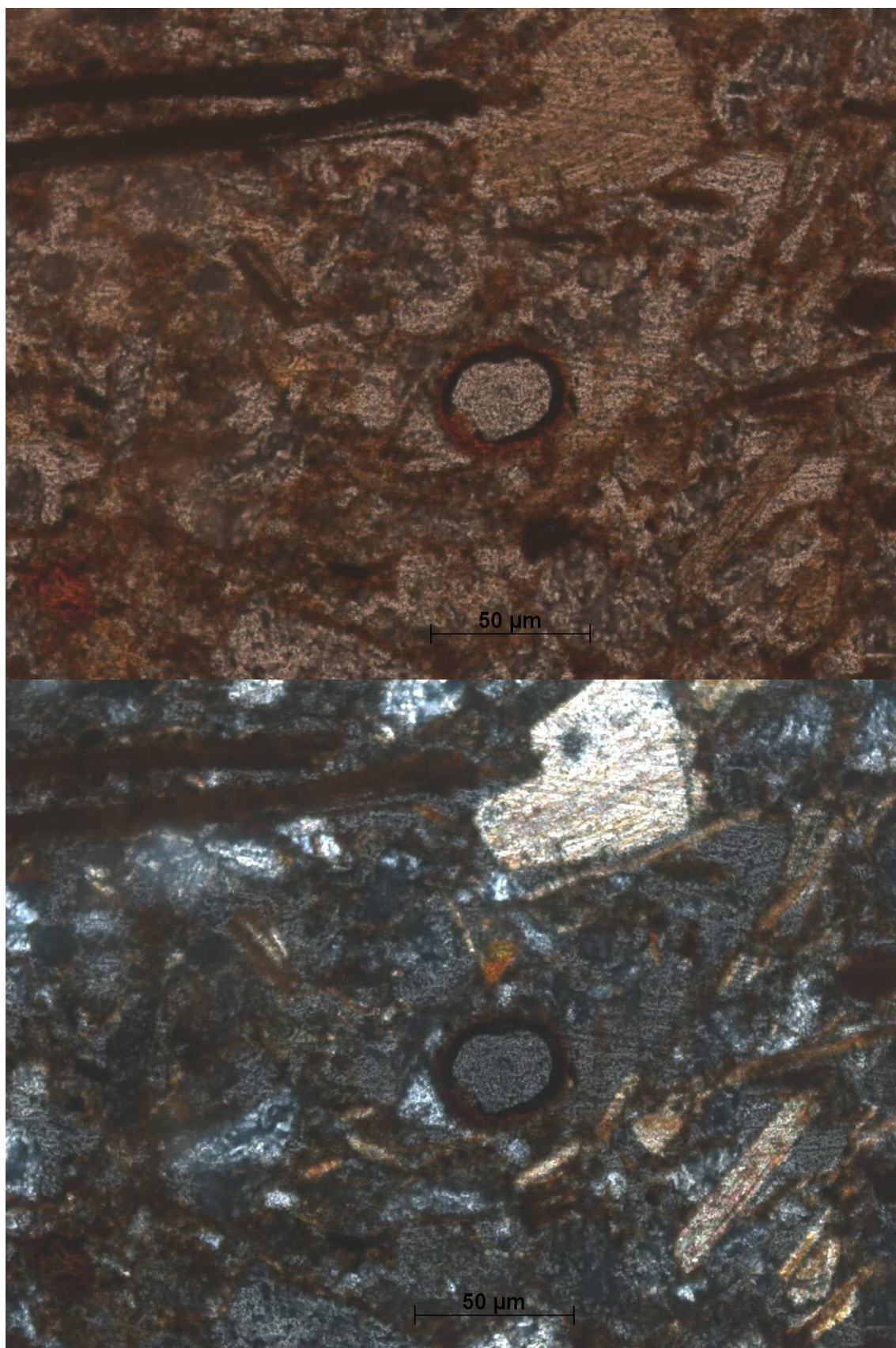
h) Lâmina
M8



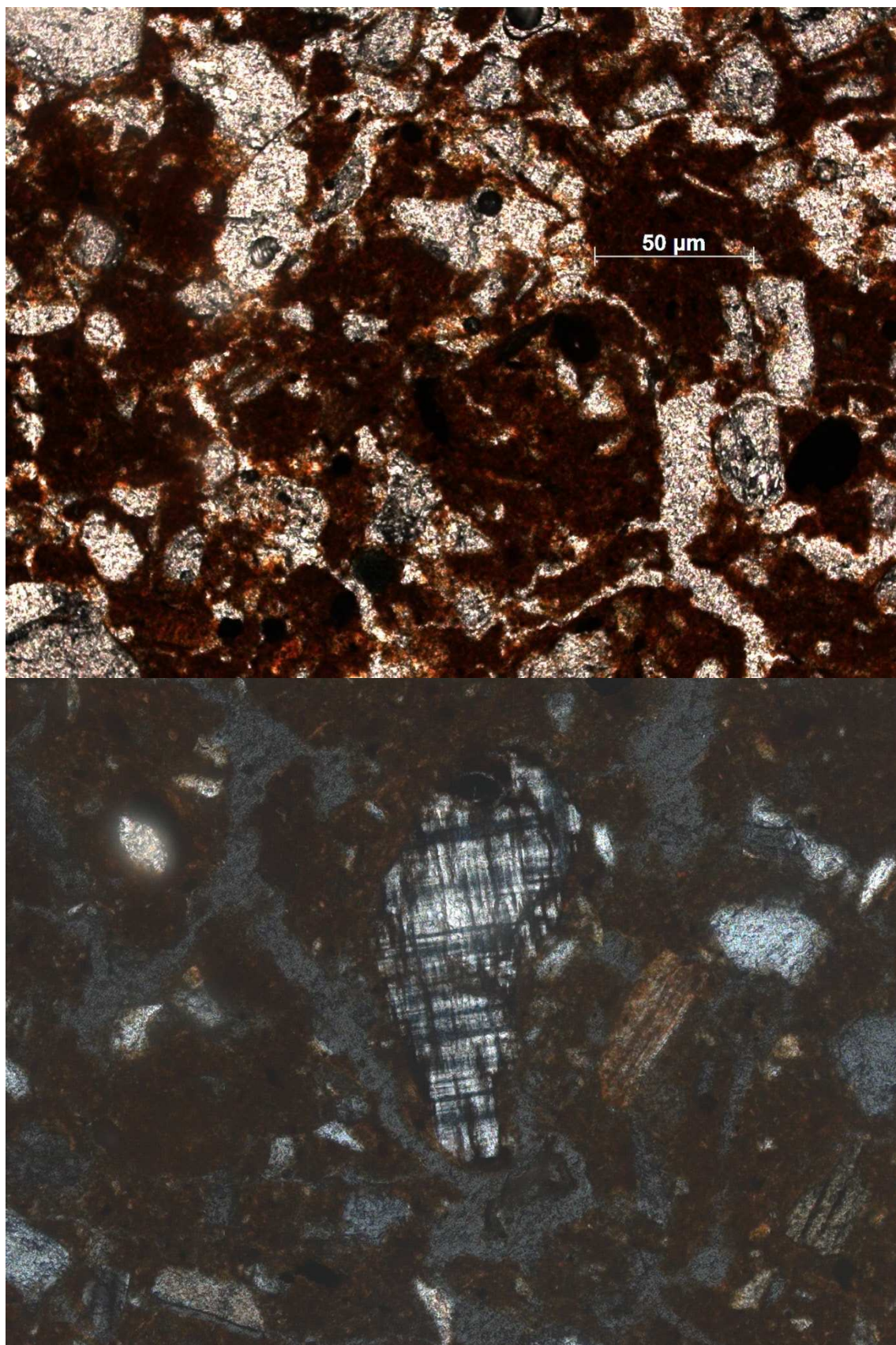


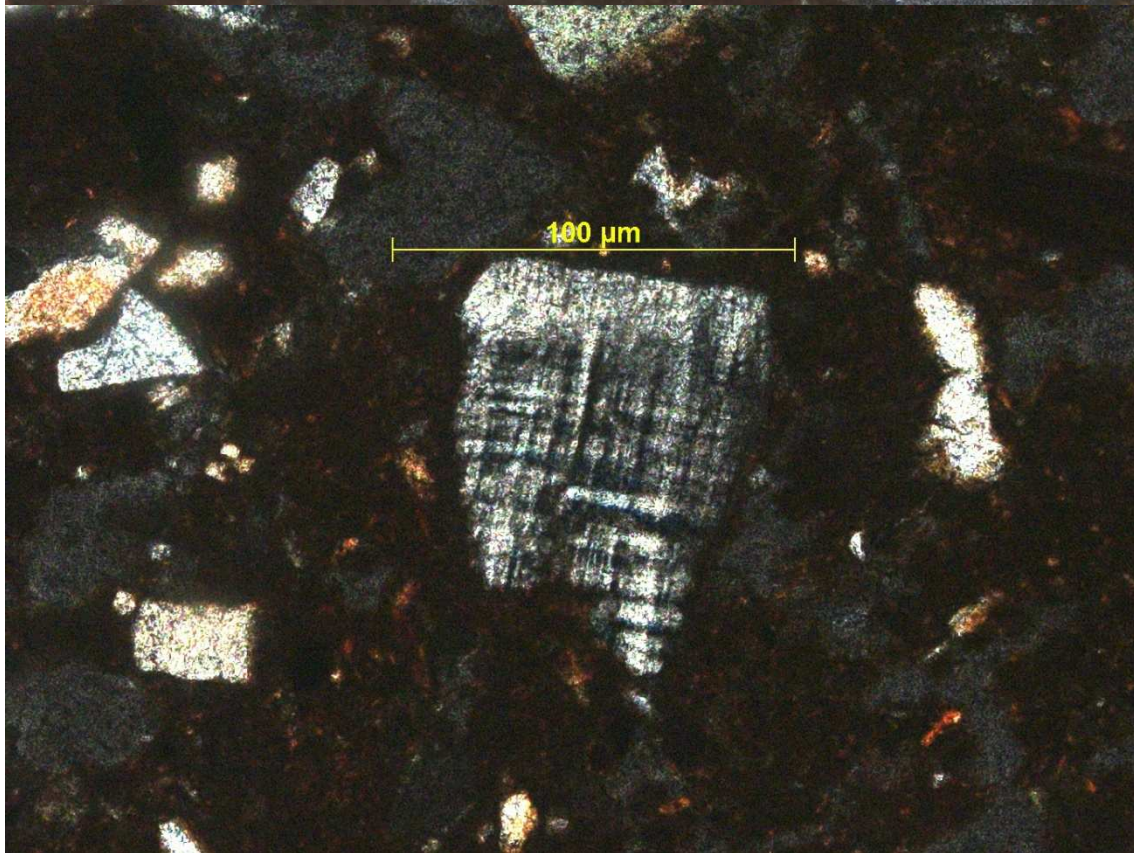
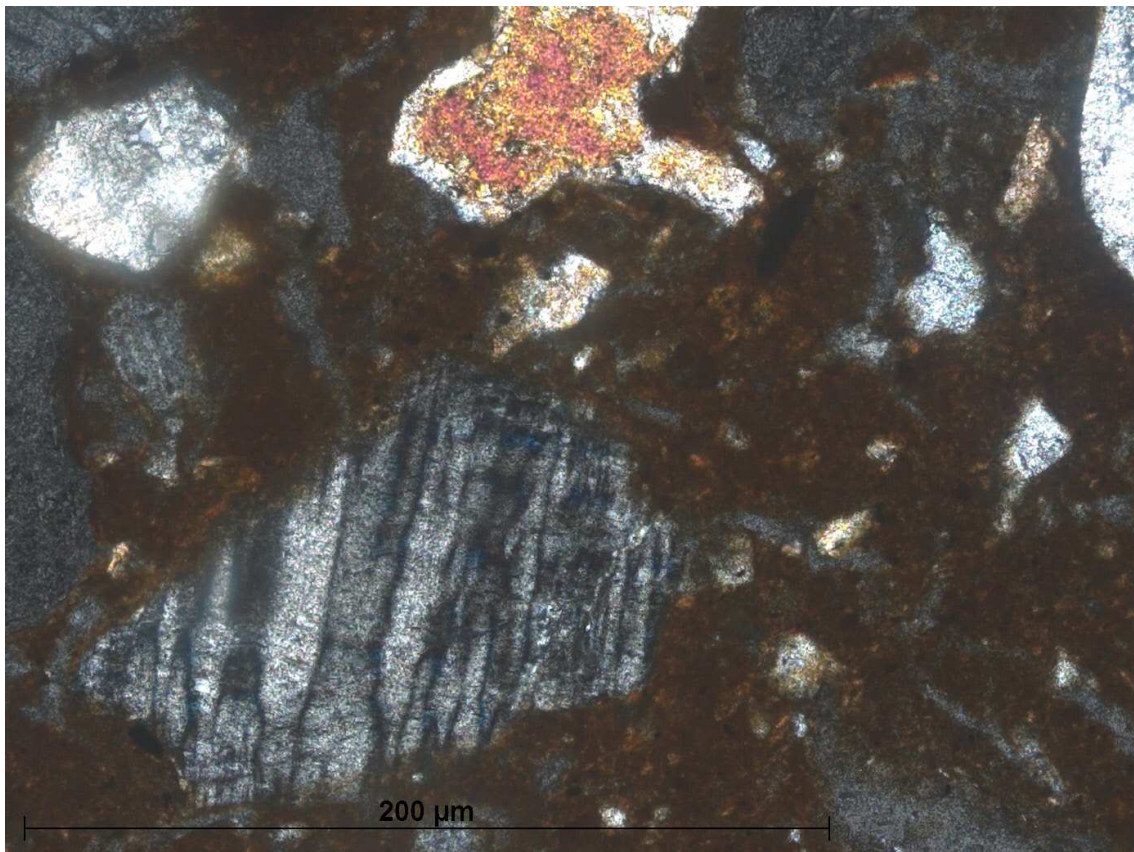


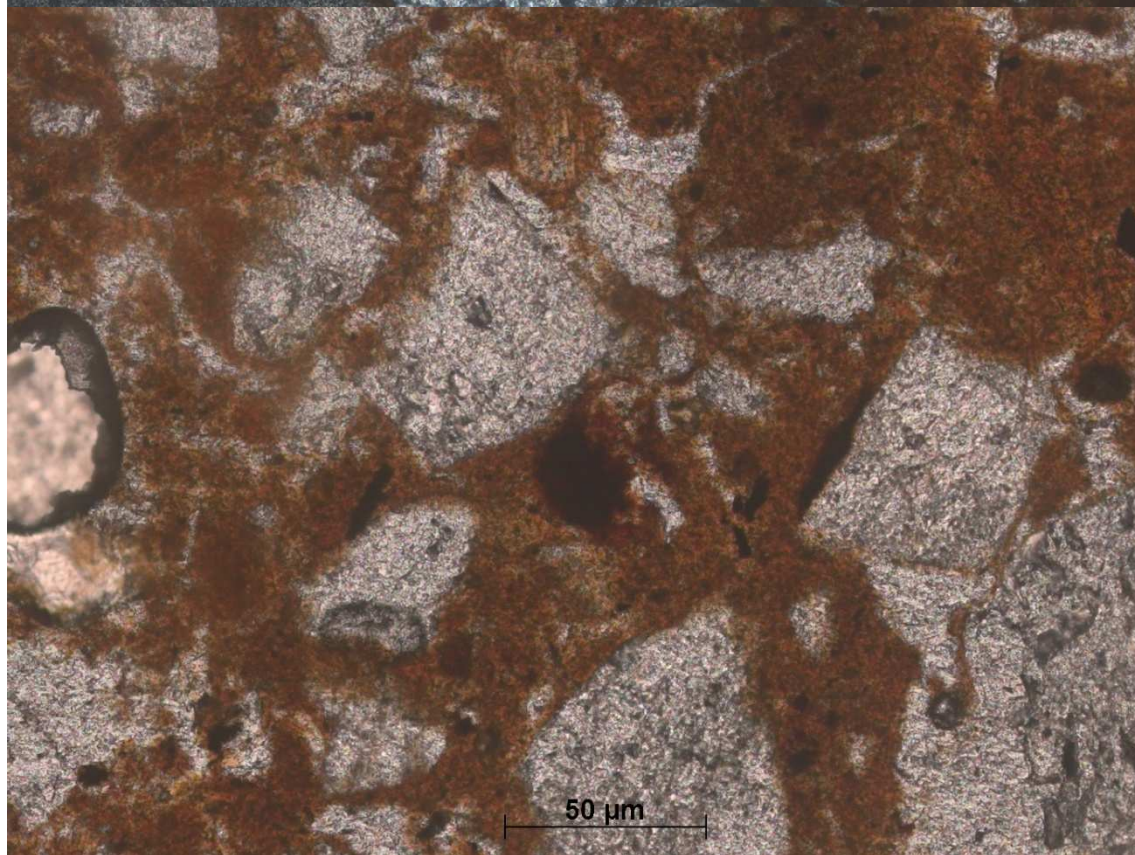
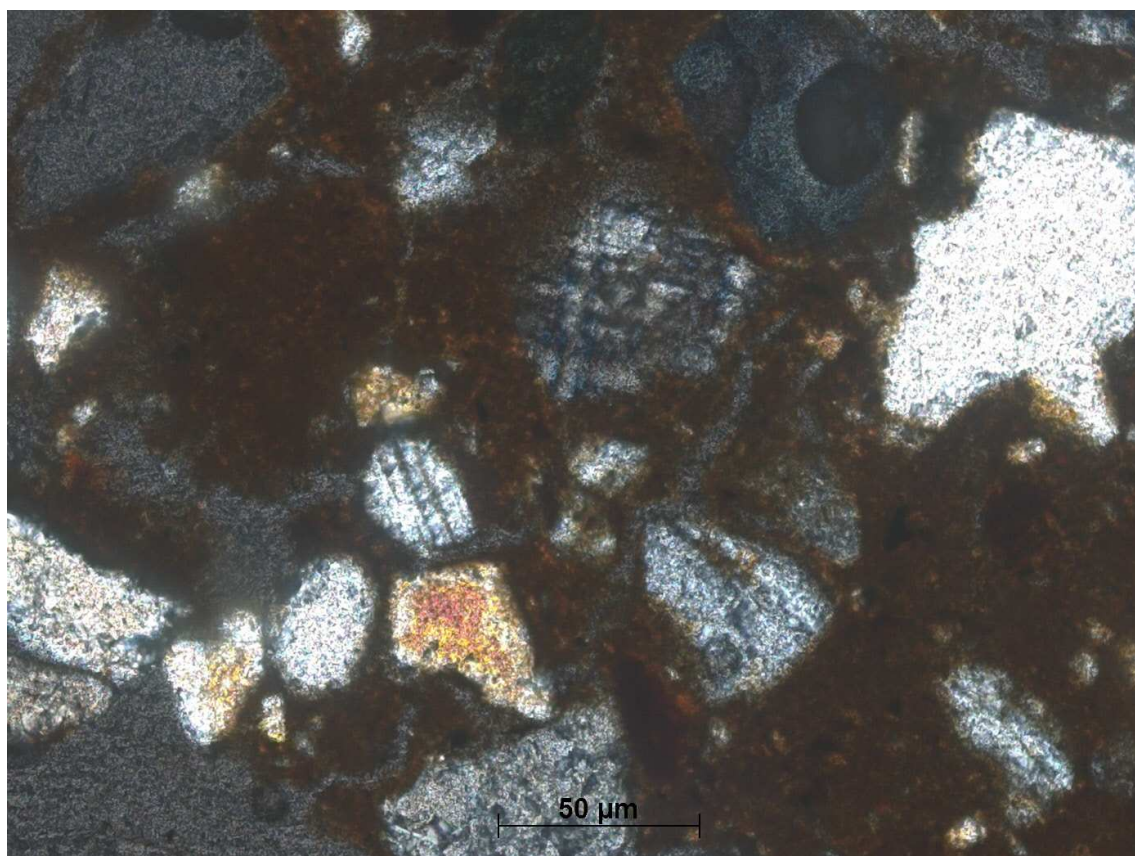


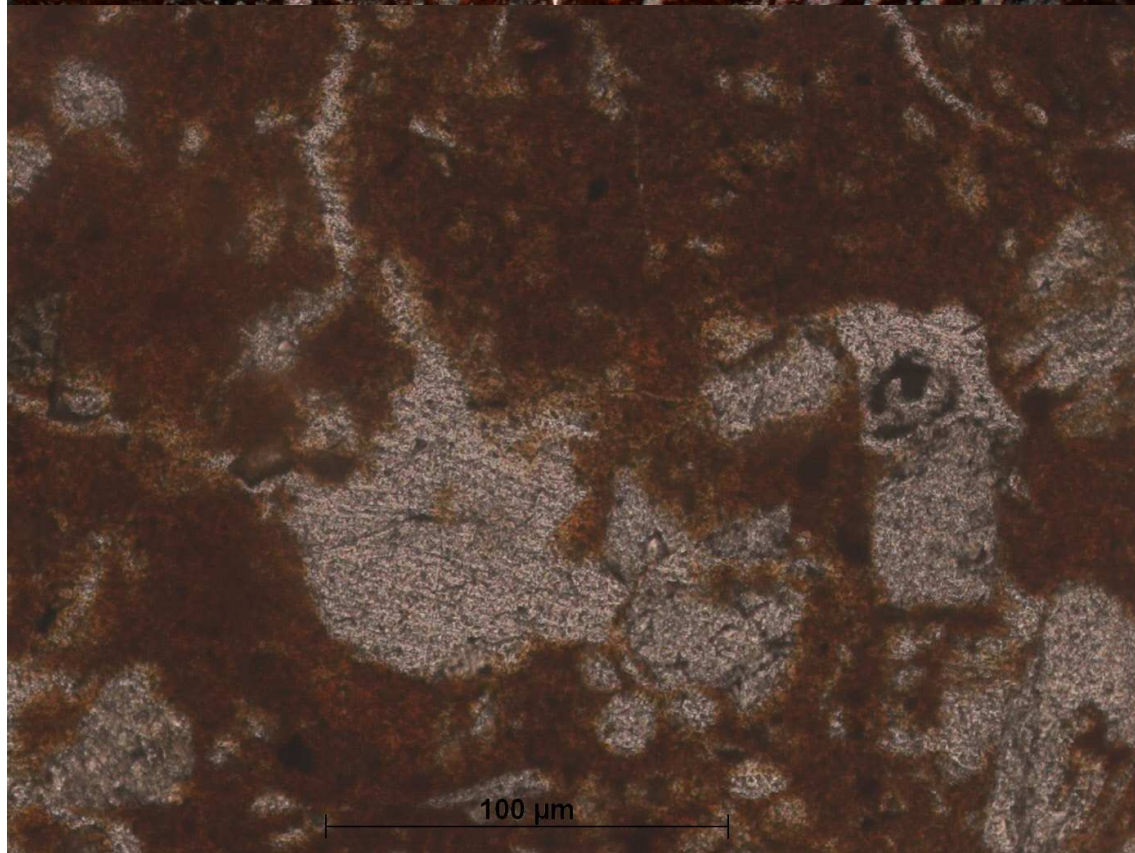
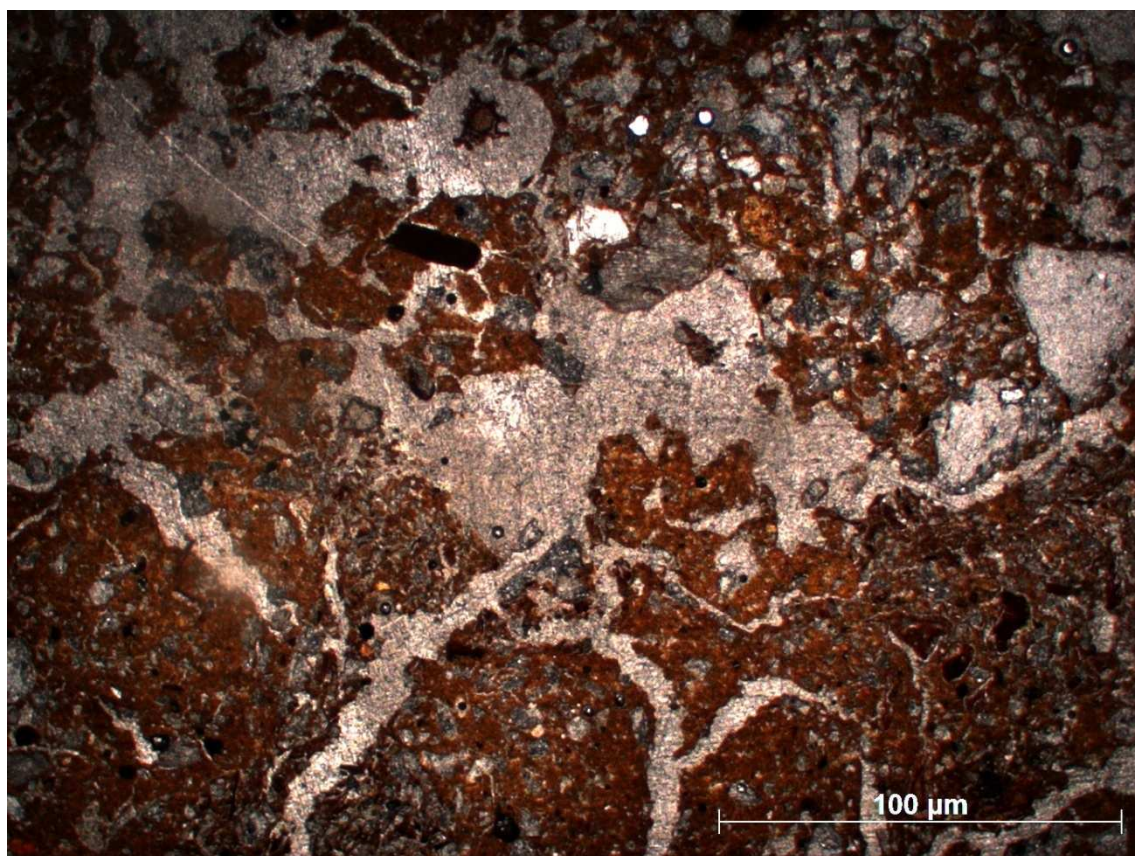


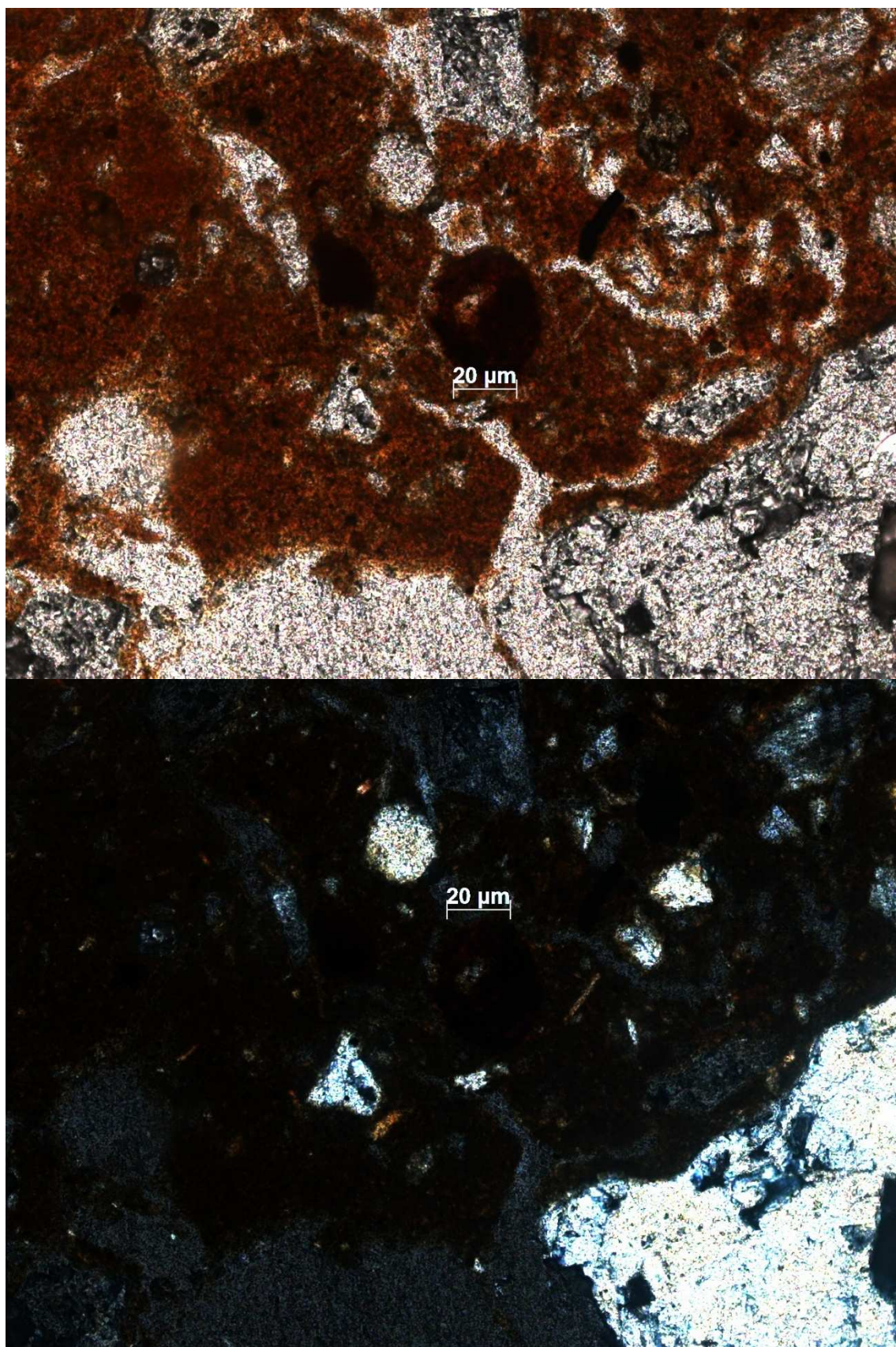
i) Lâmina M9



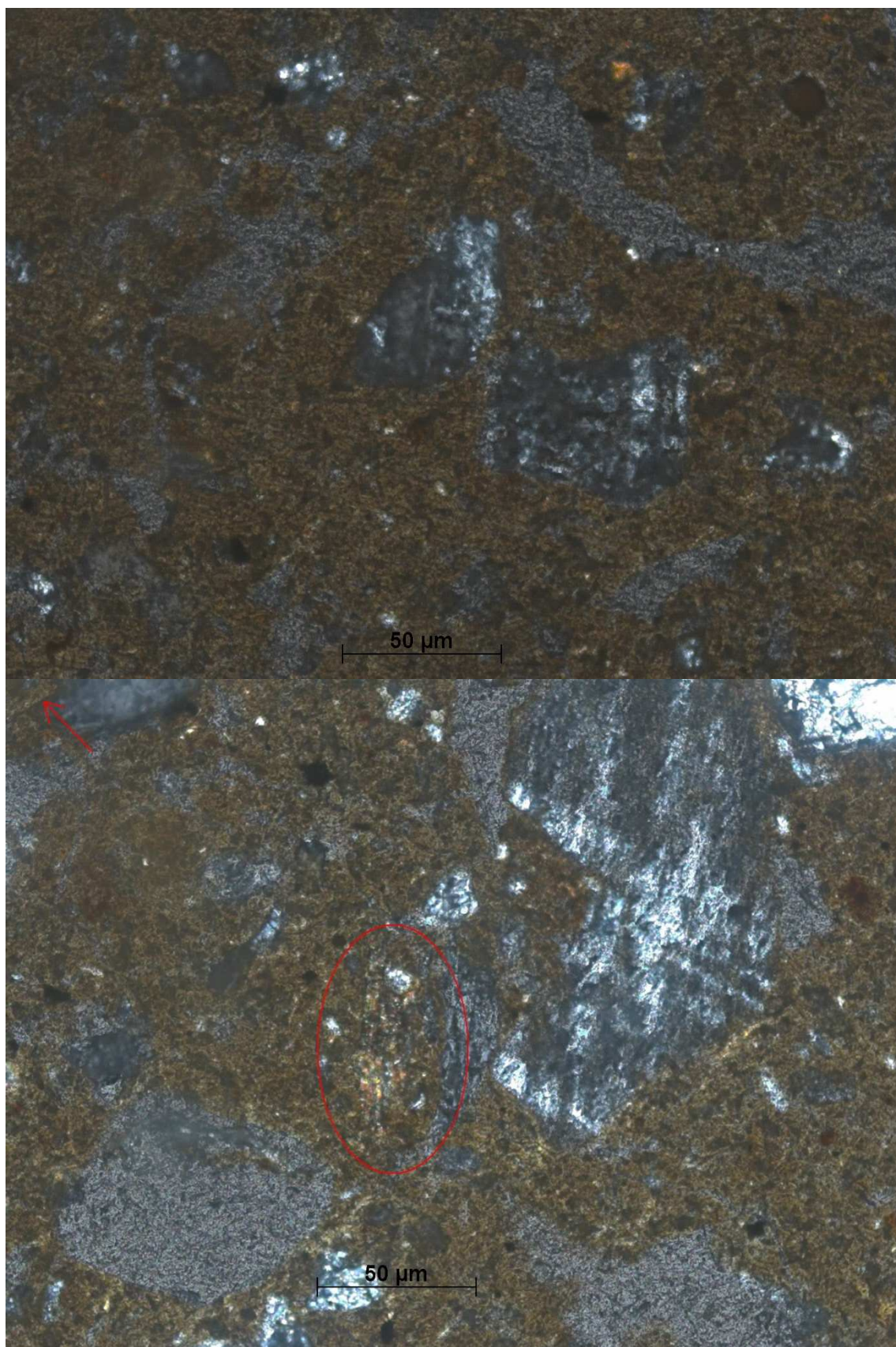


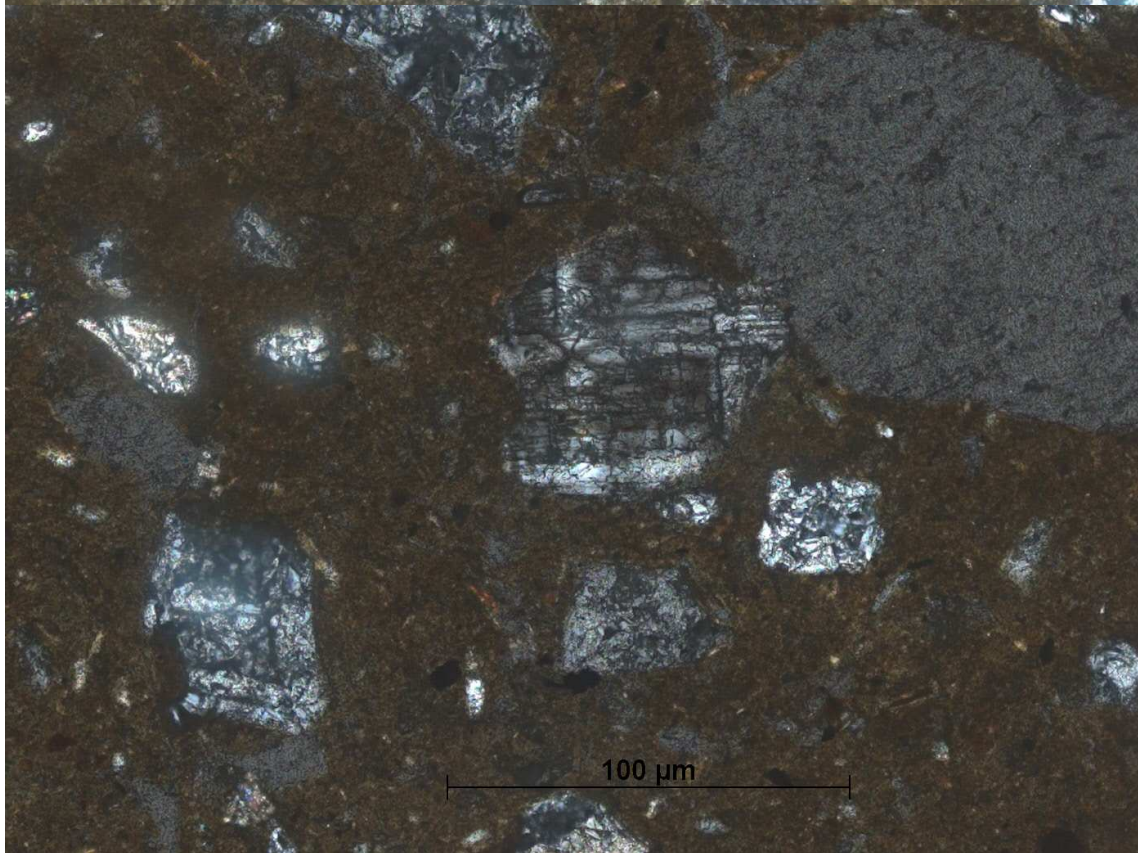
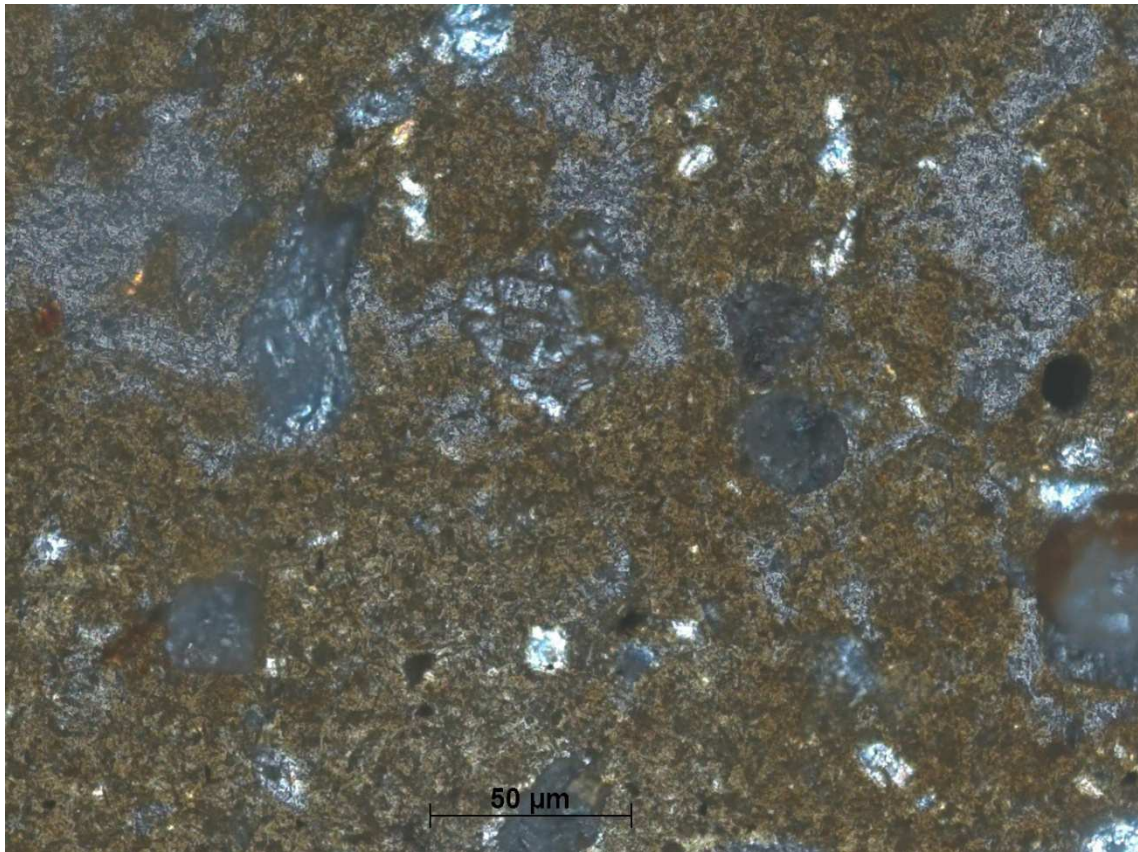


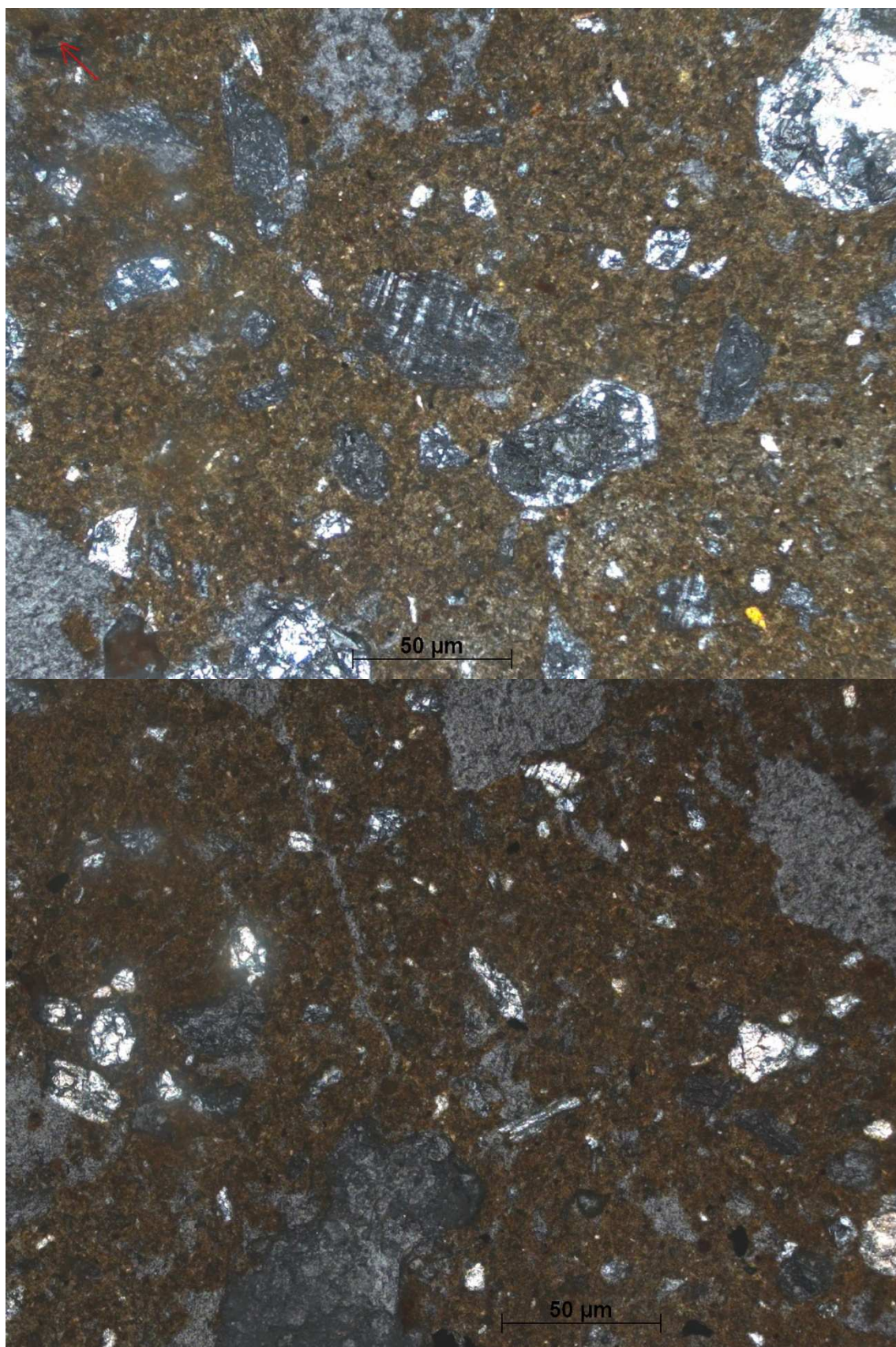




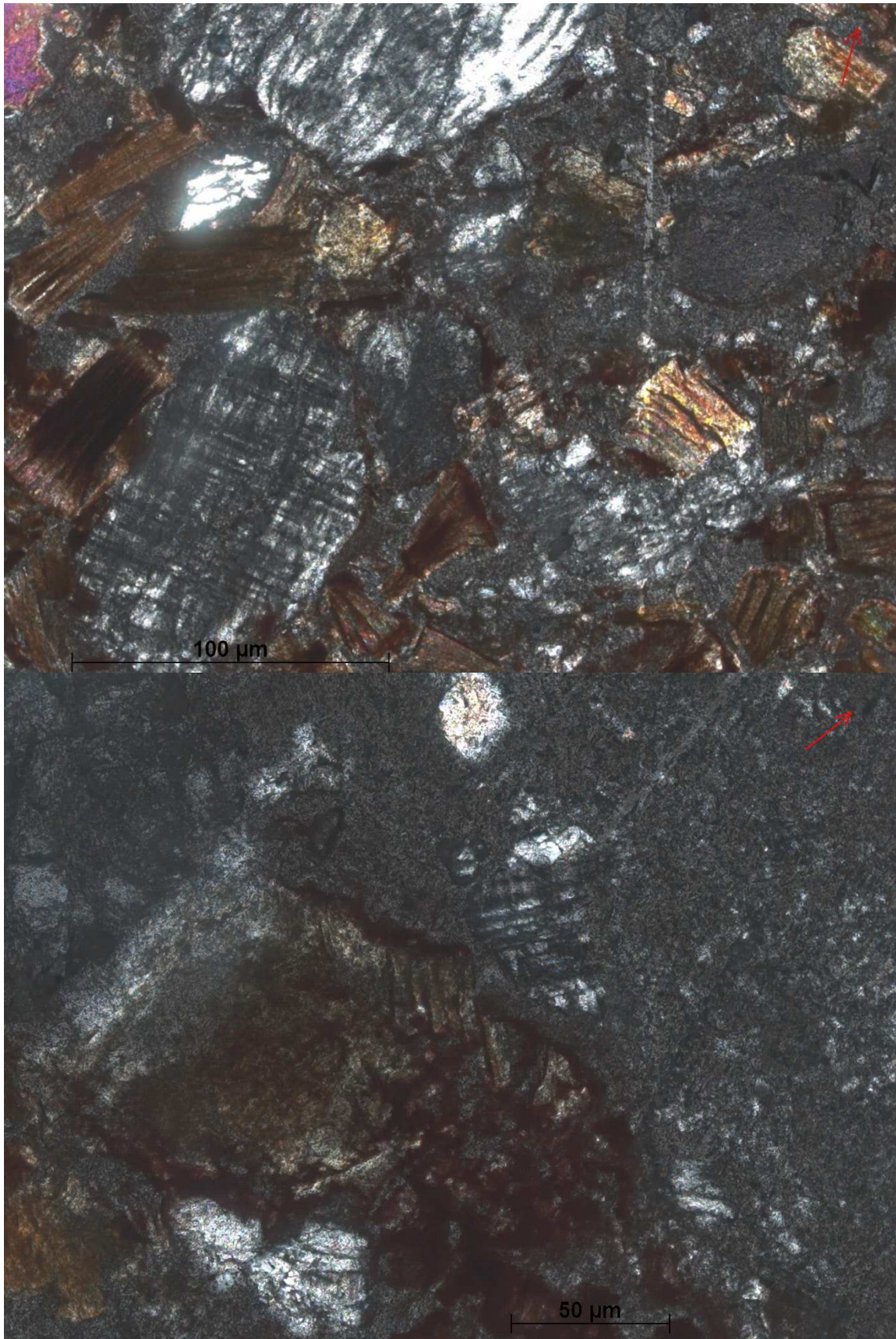
j) Lâmina M10

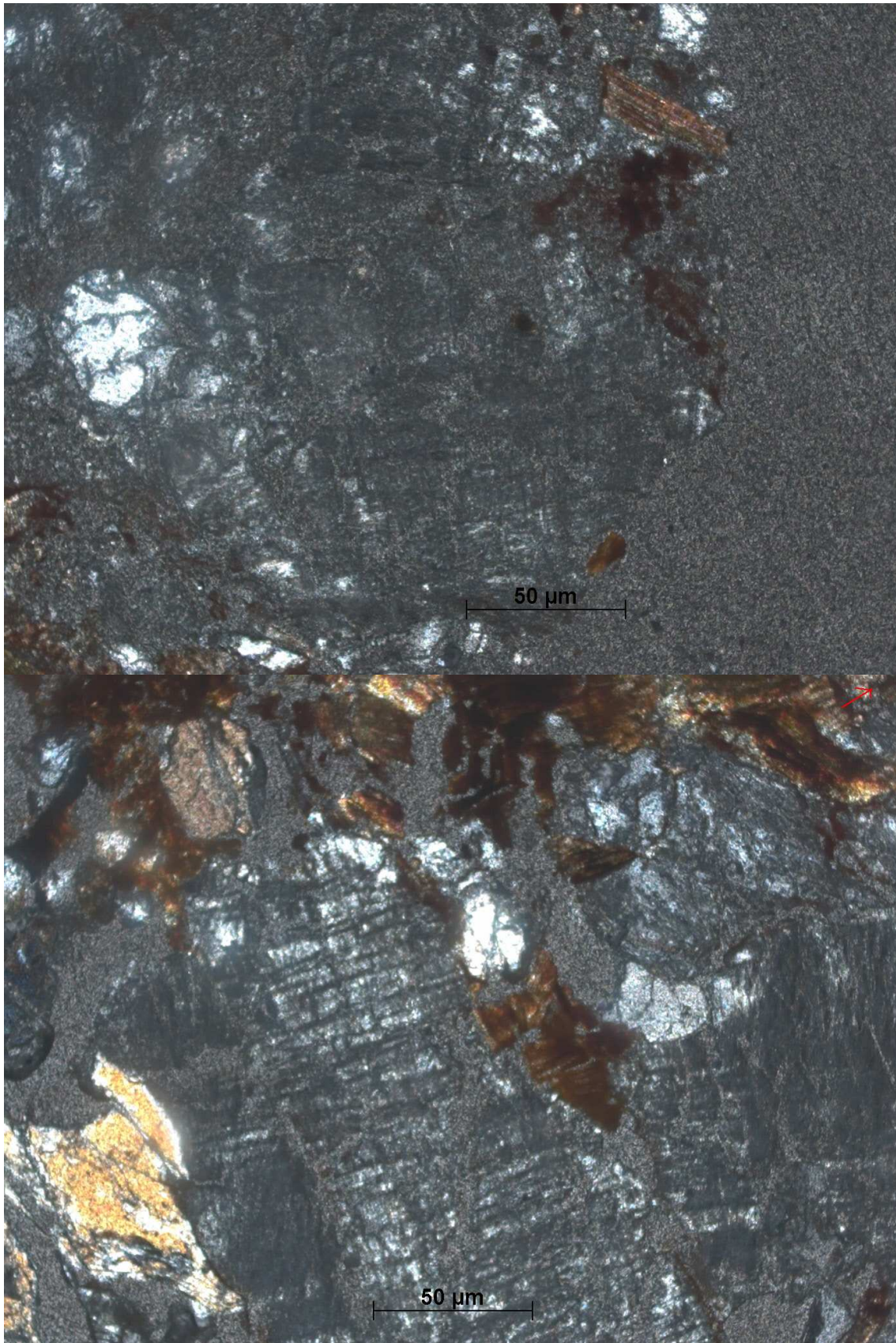


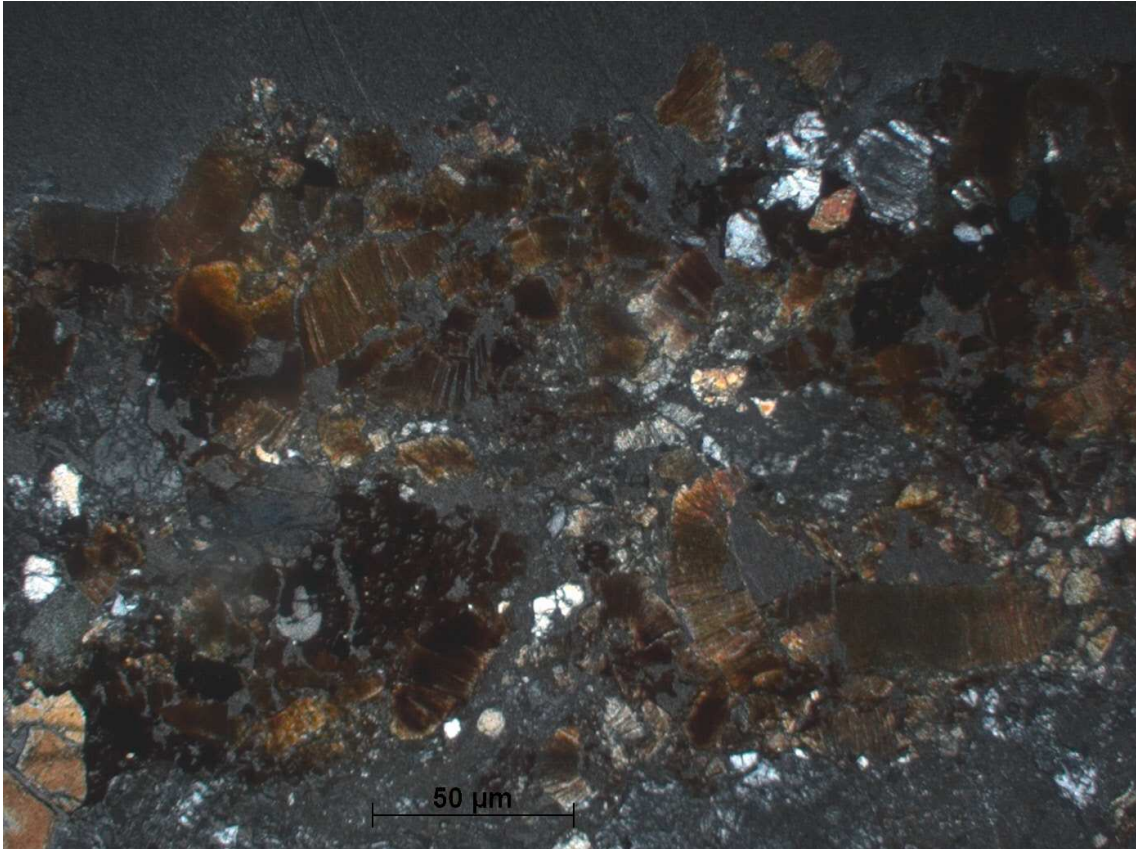


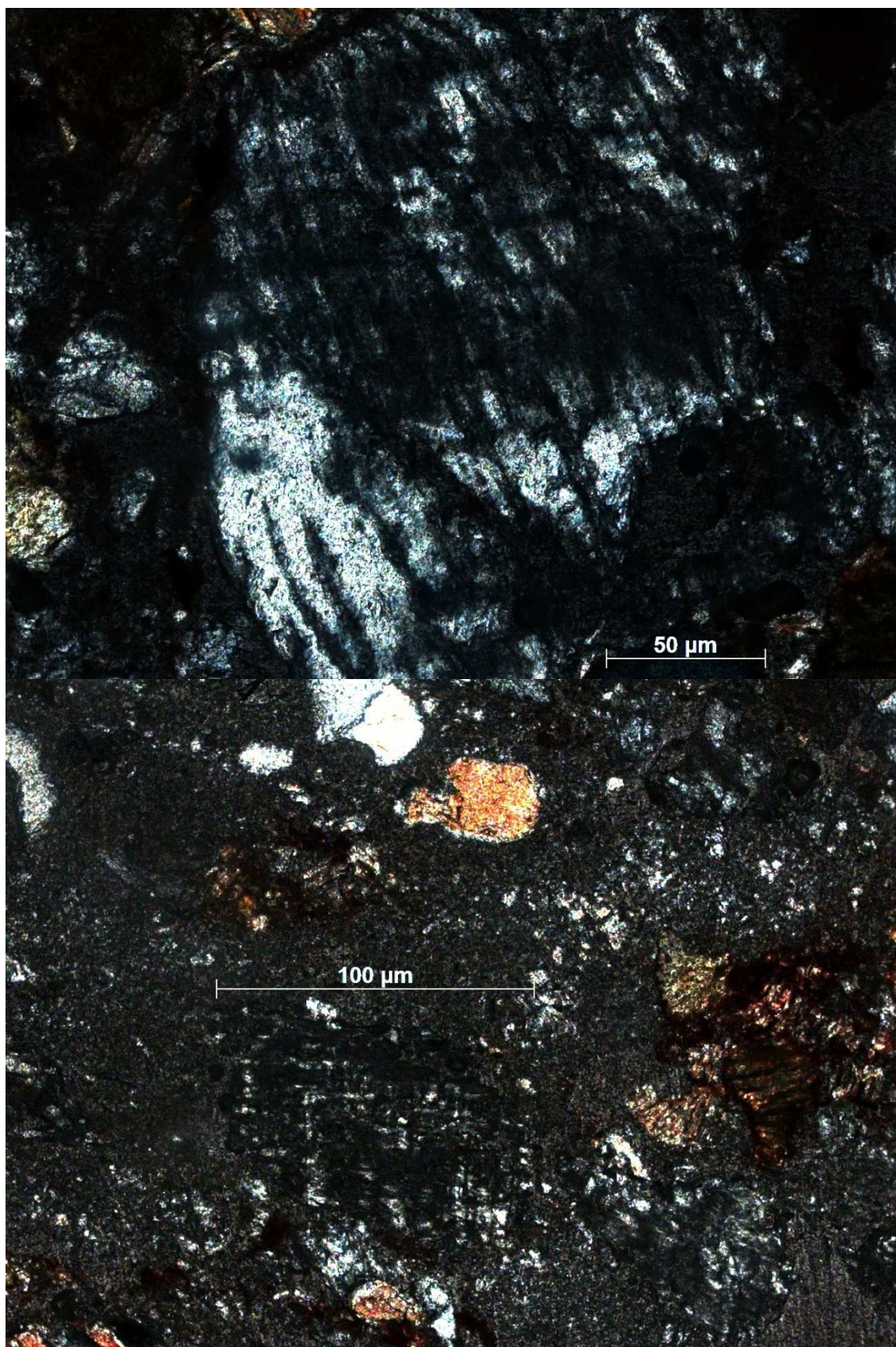


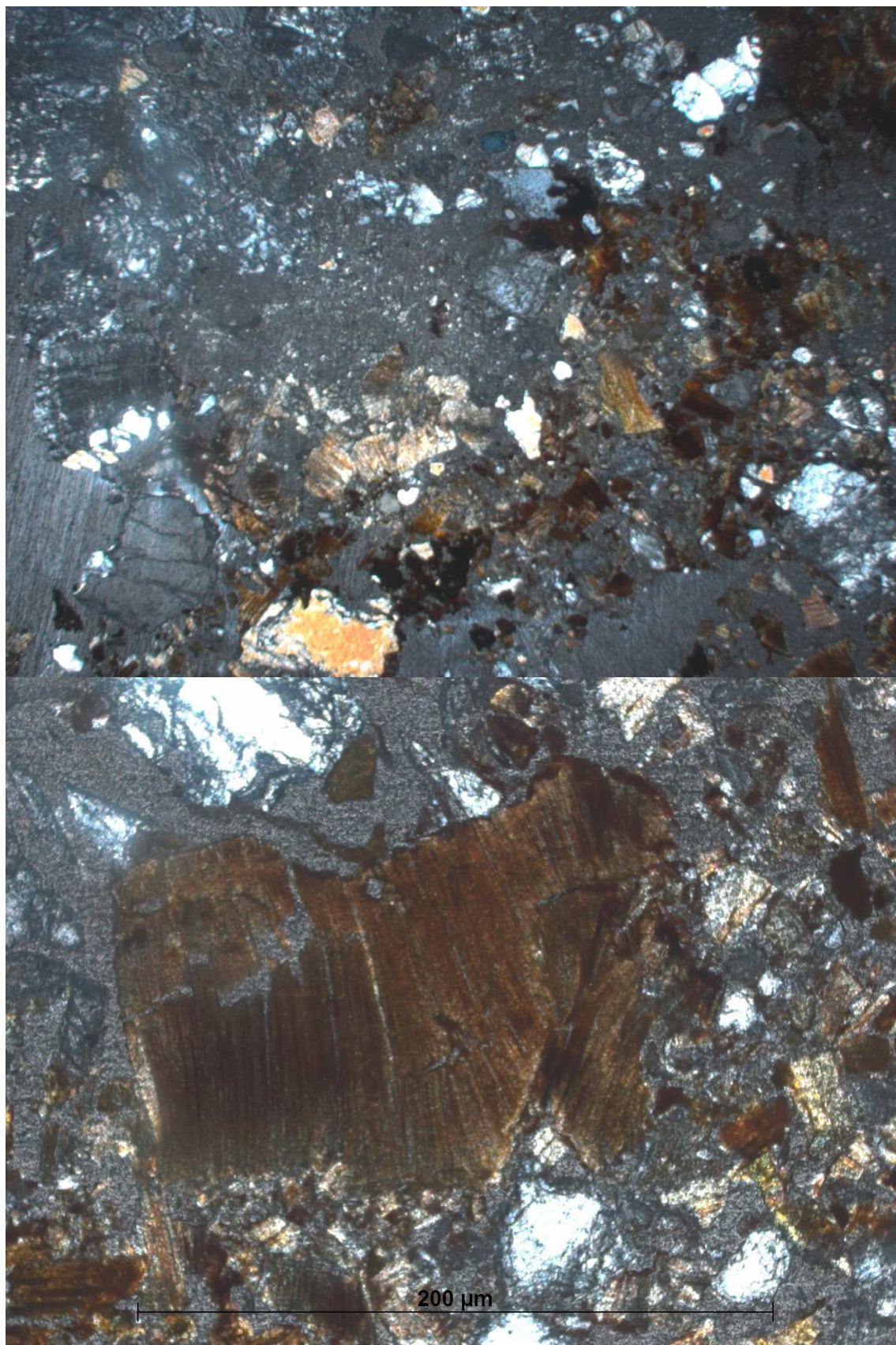
k) Lâmina M11

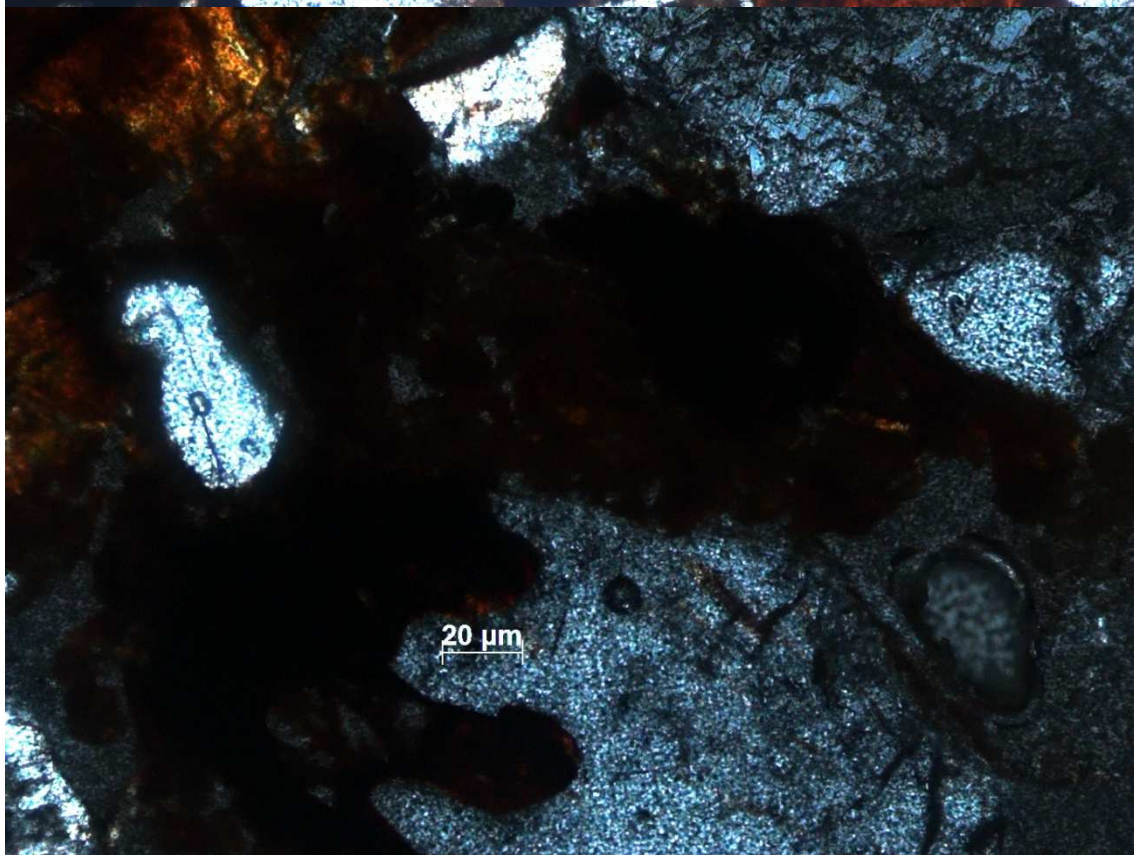
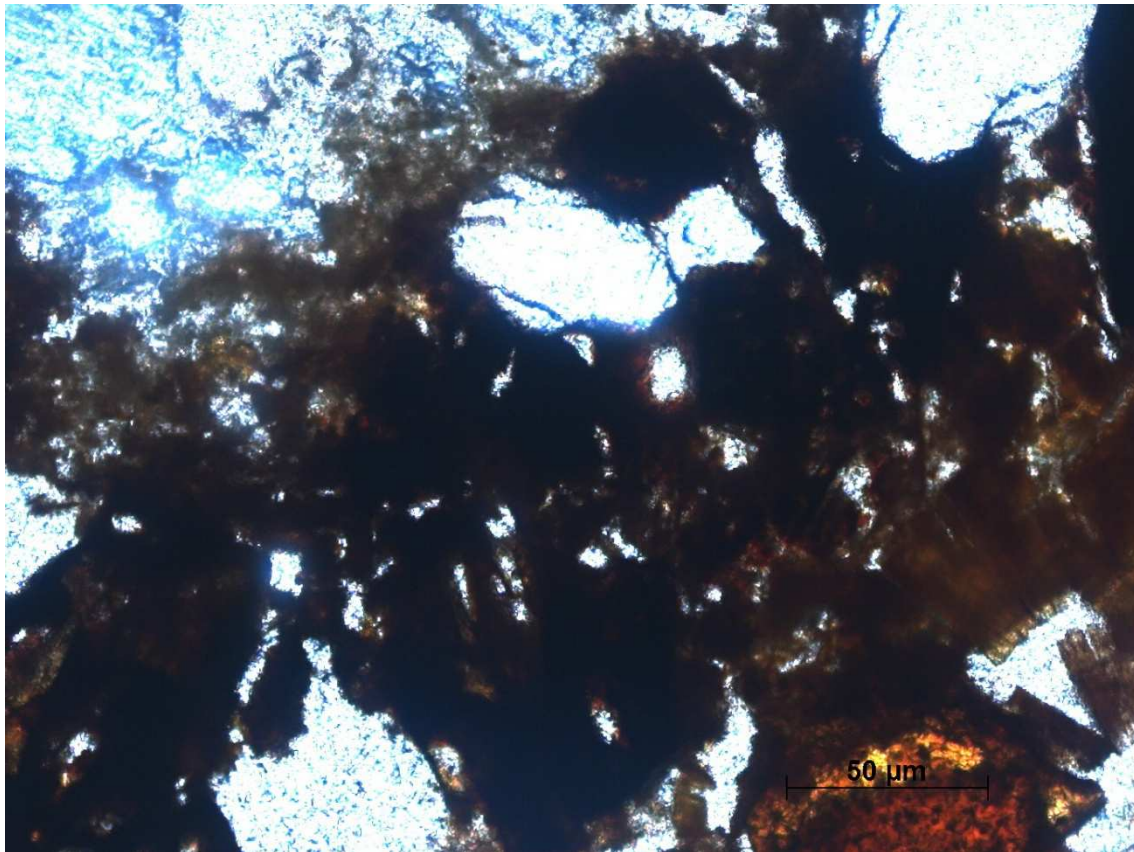


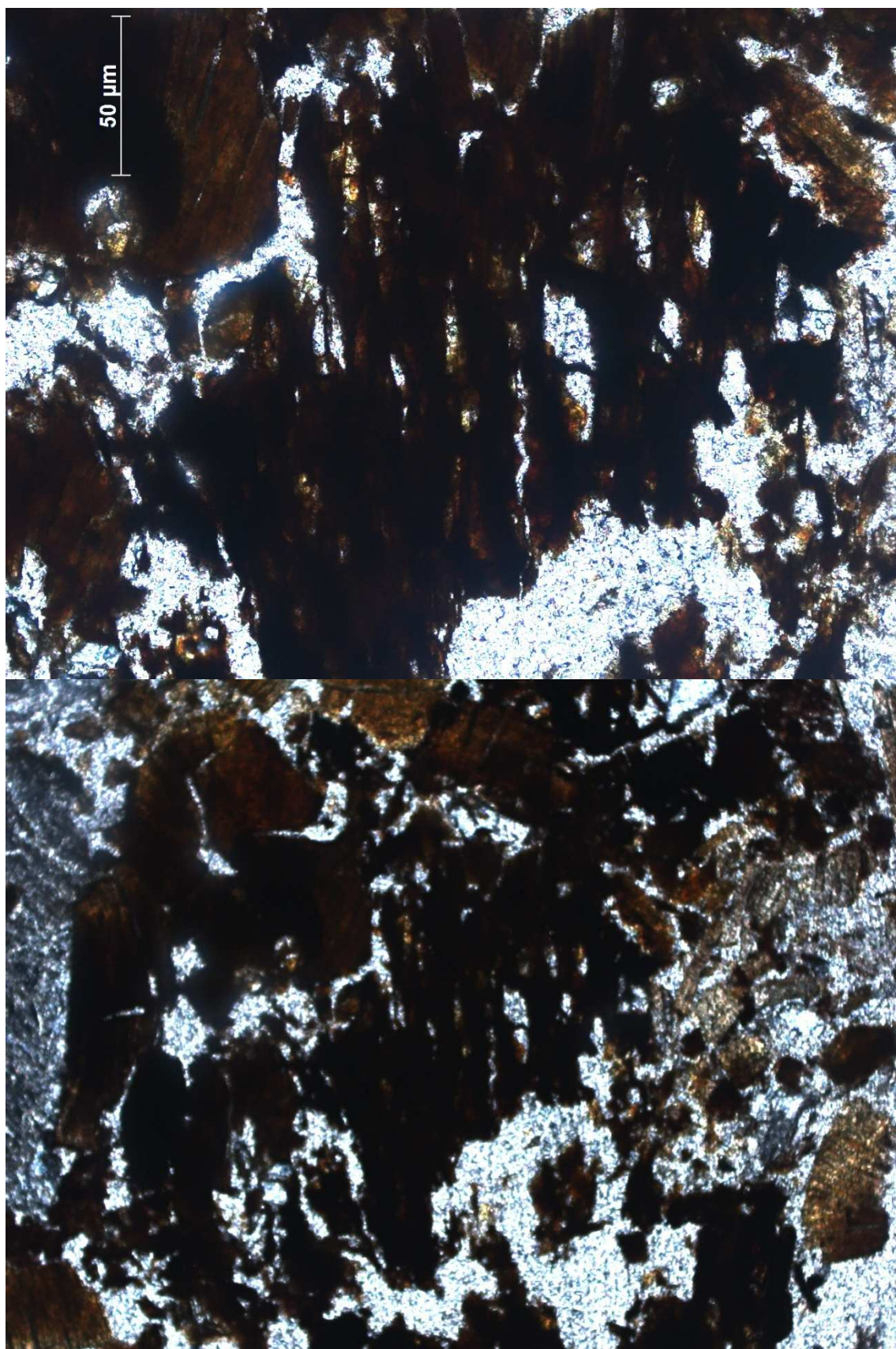


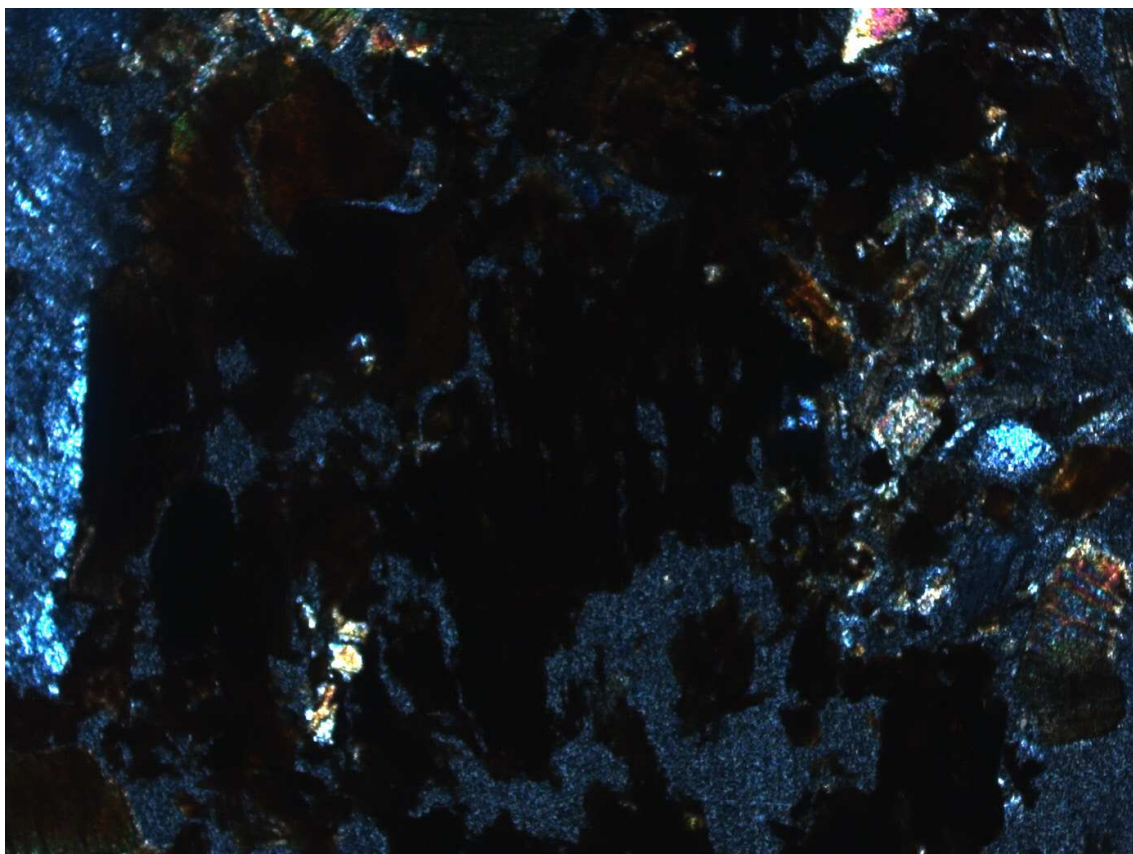




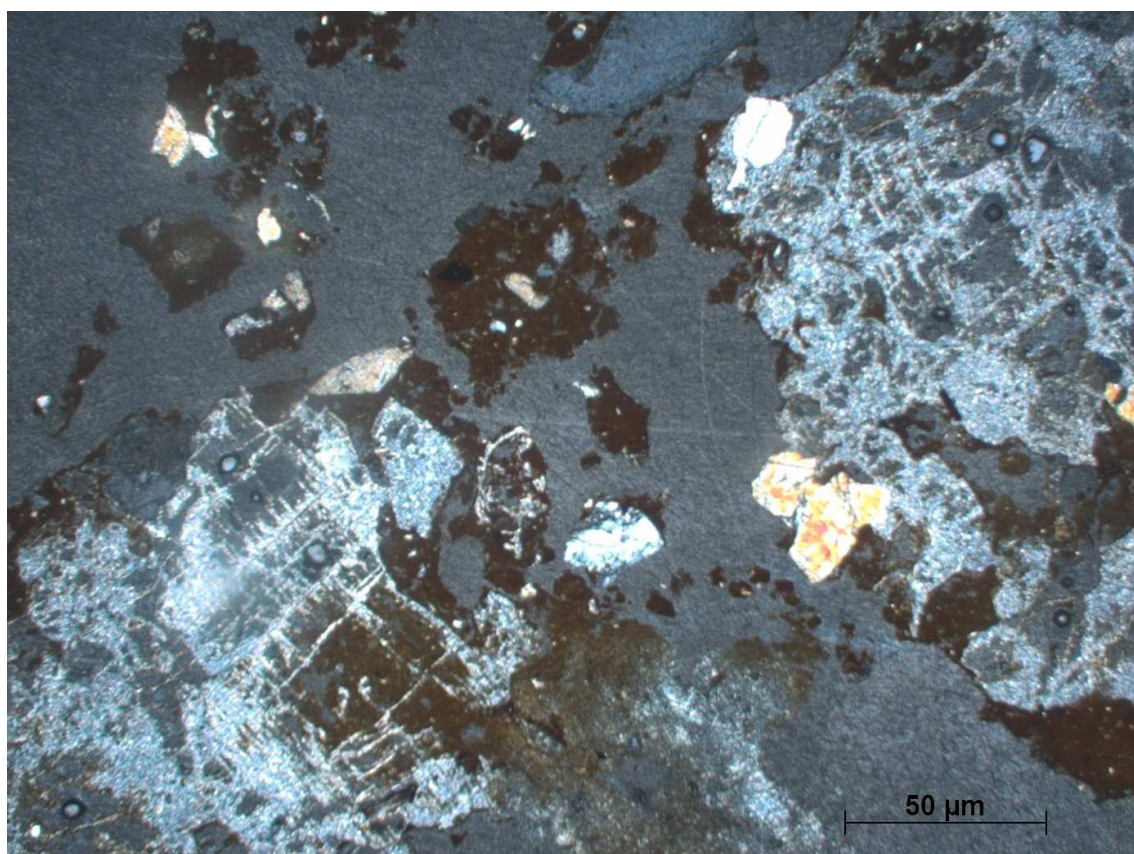


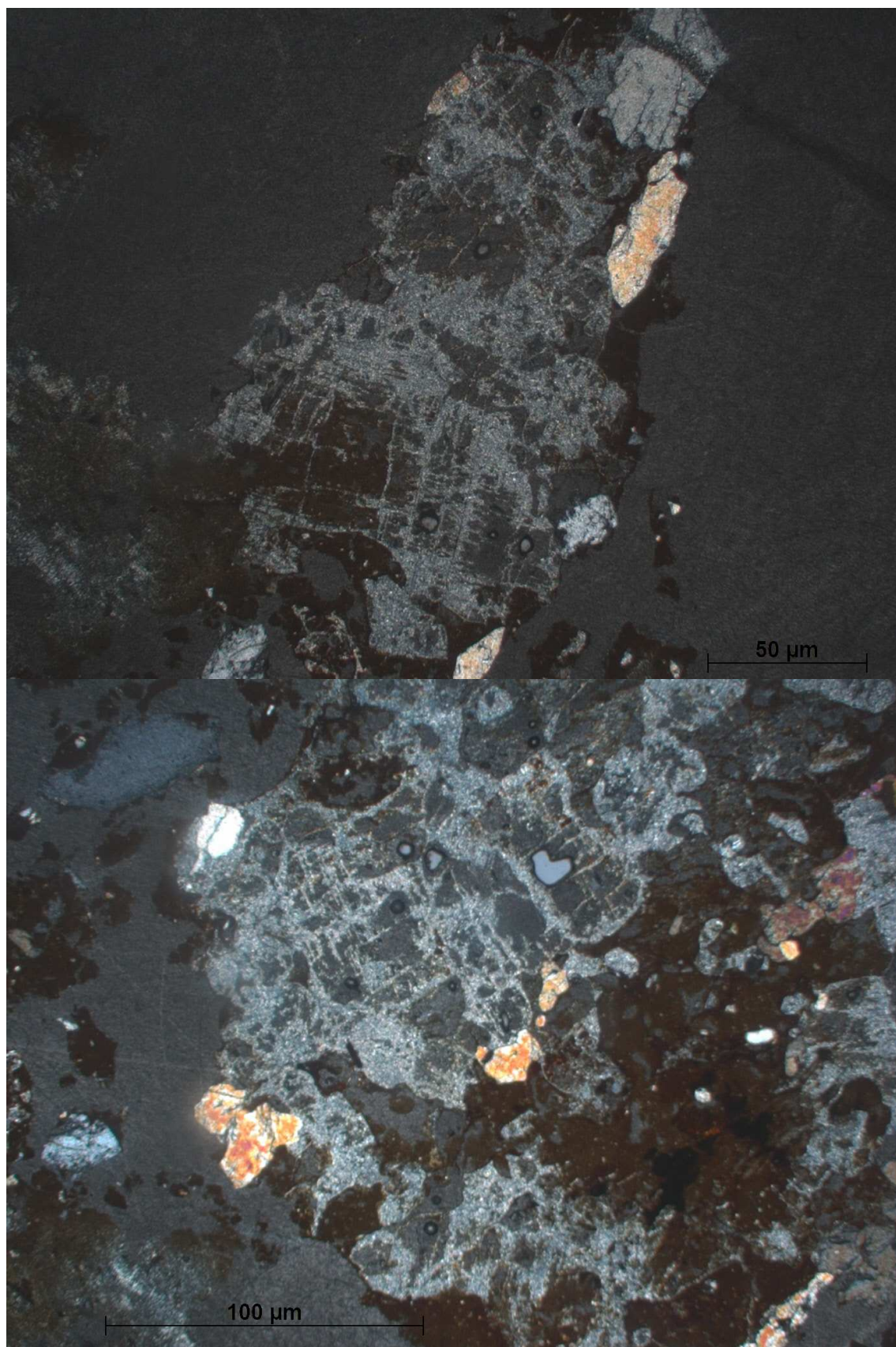


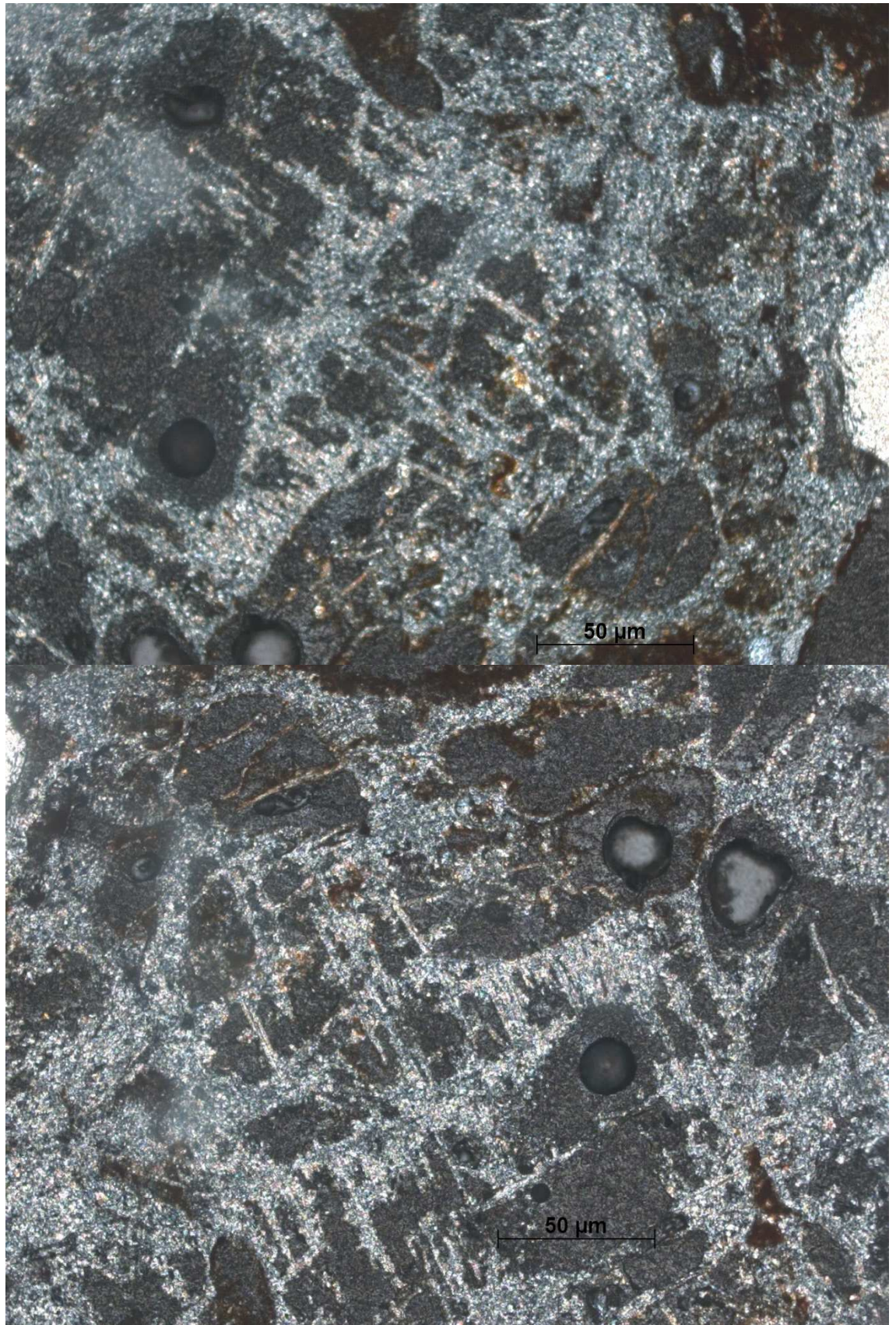


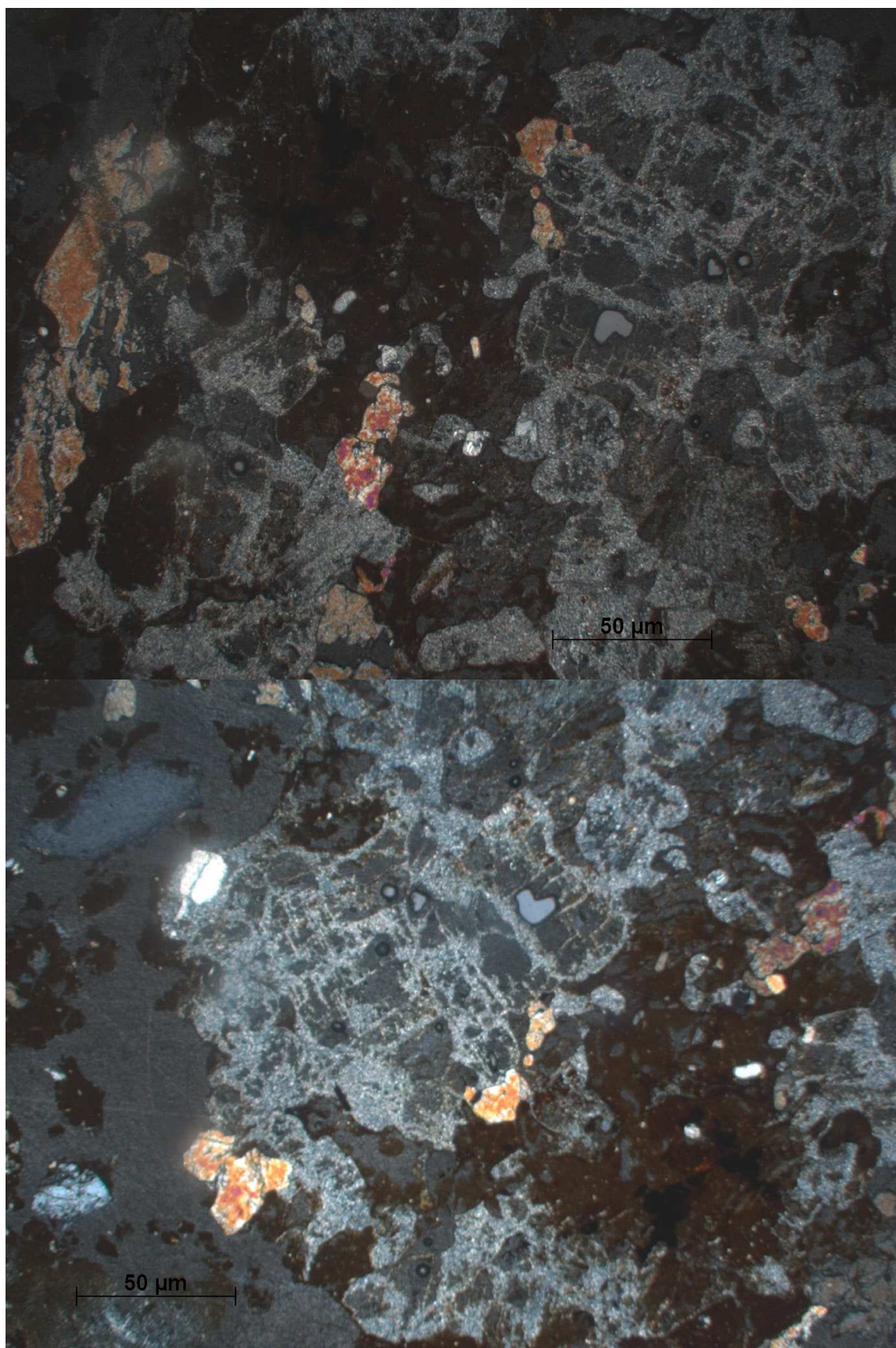


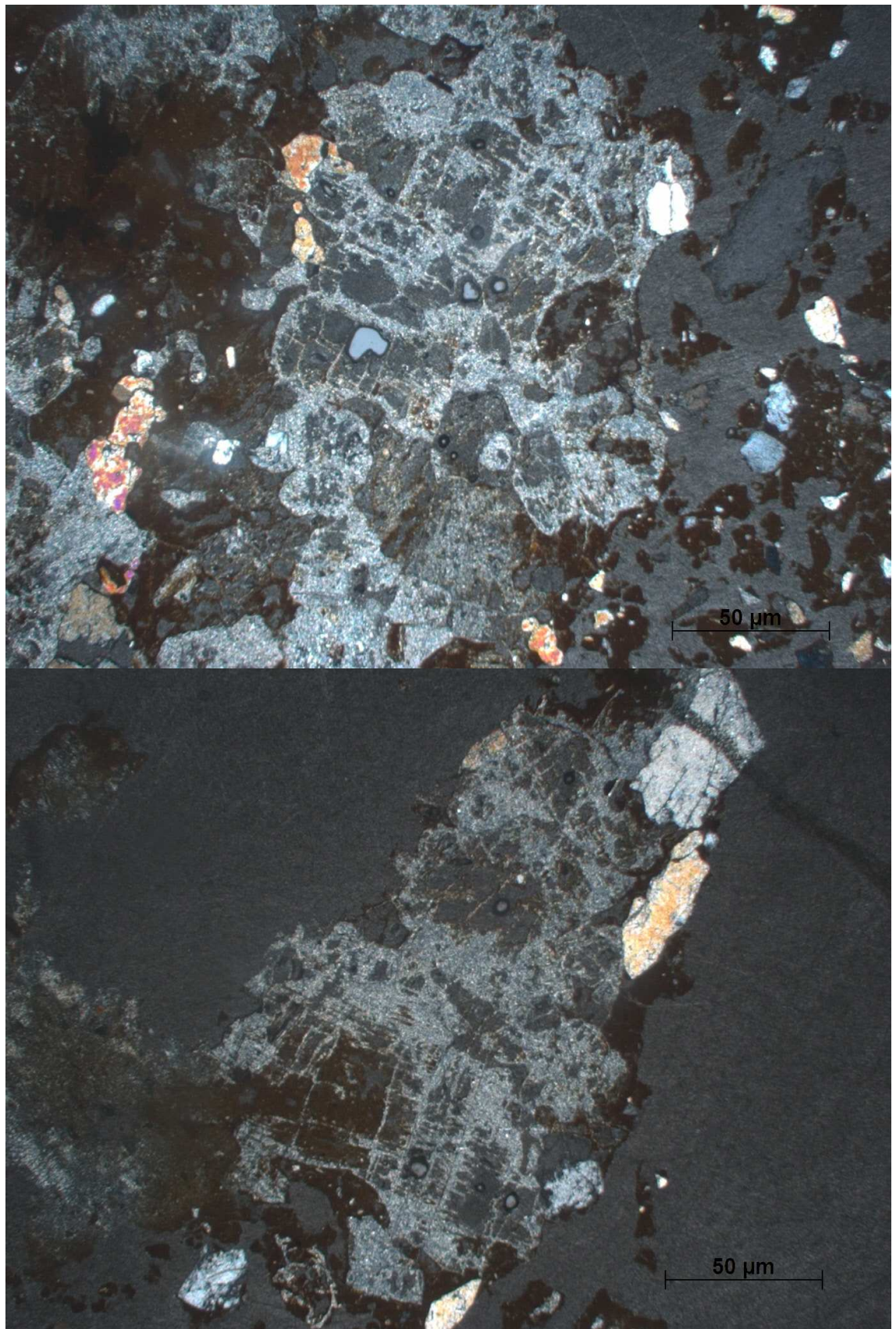
l) Lâmina
M12

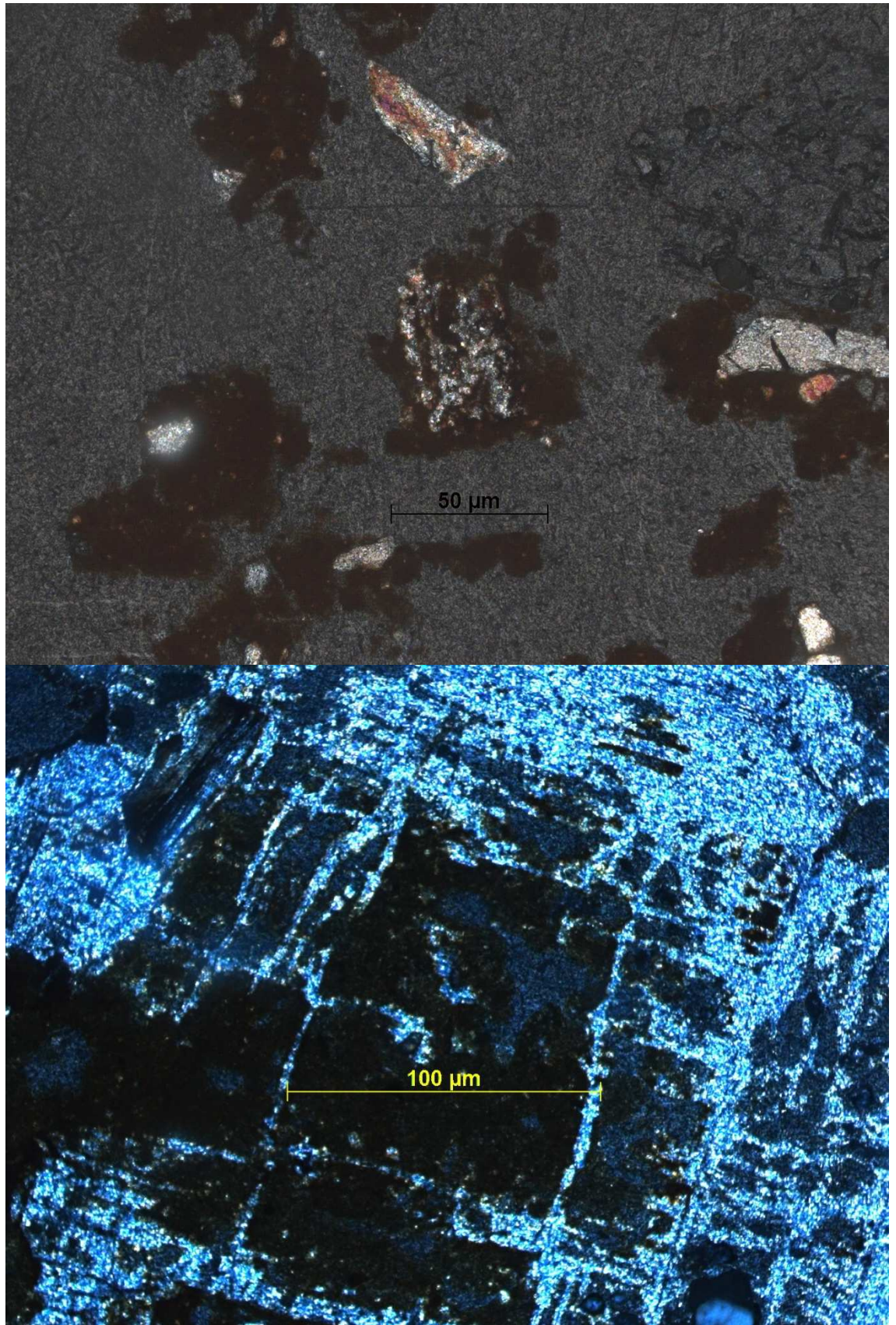




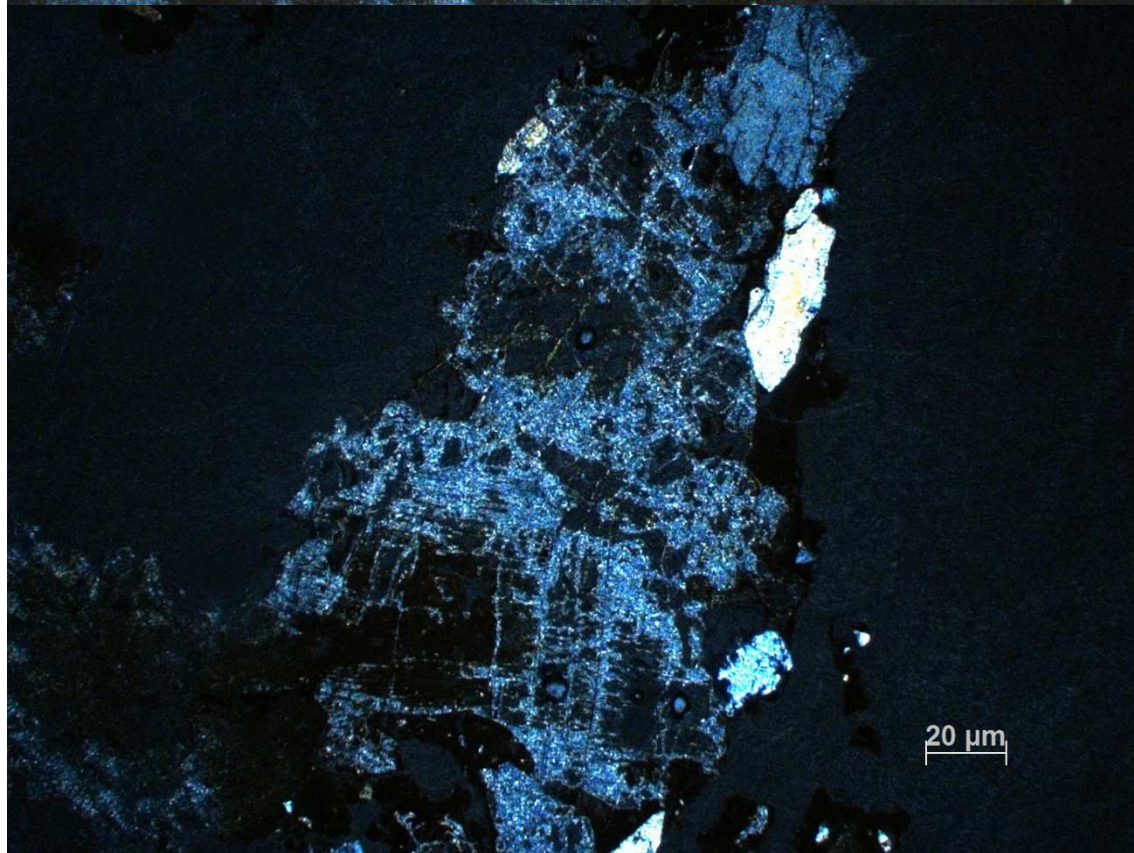
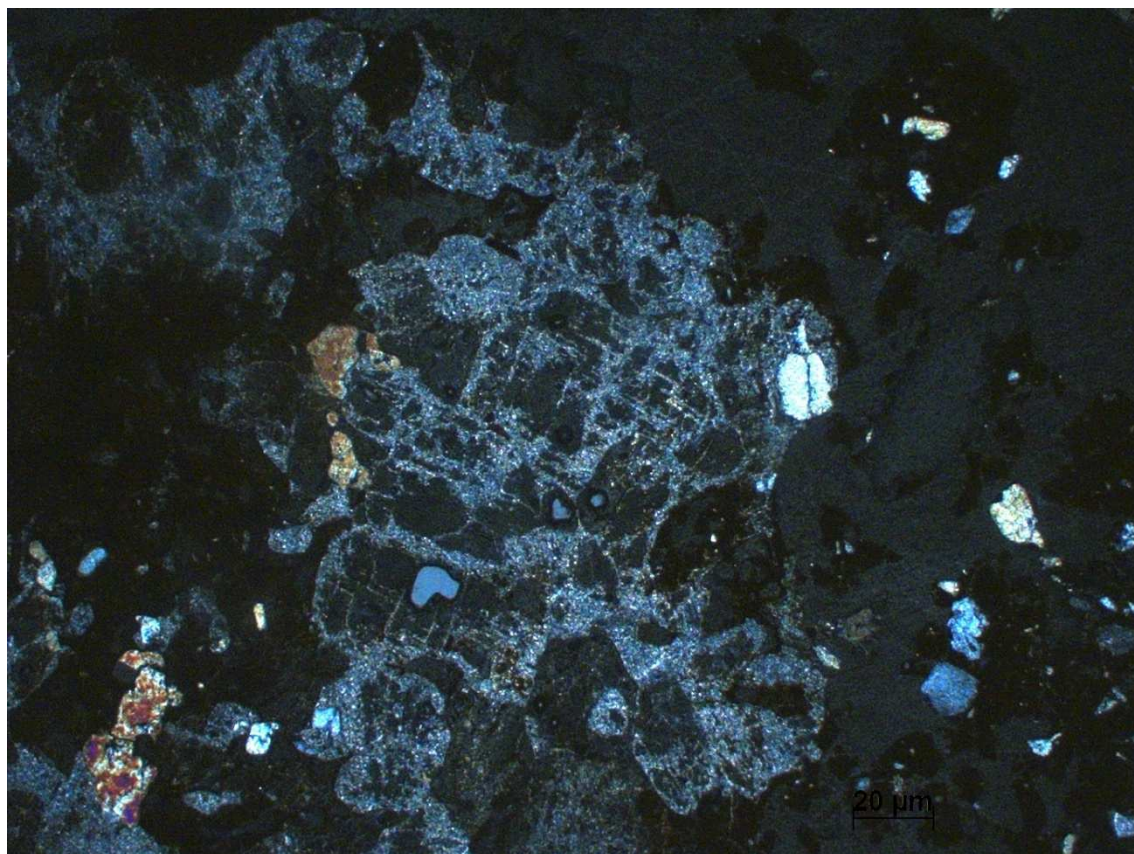




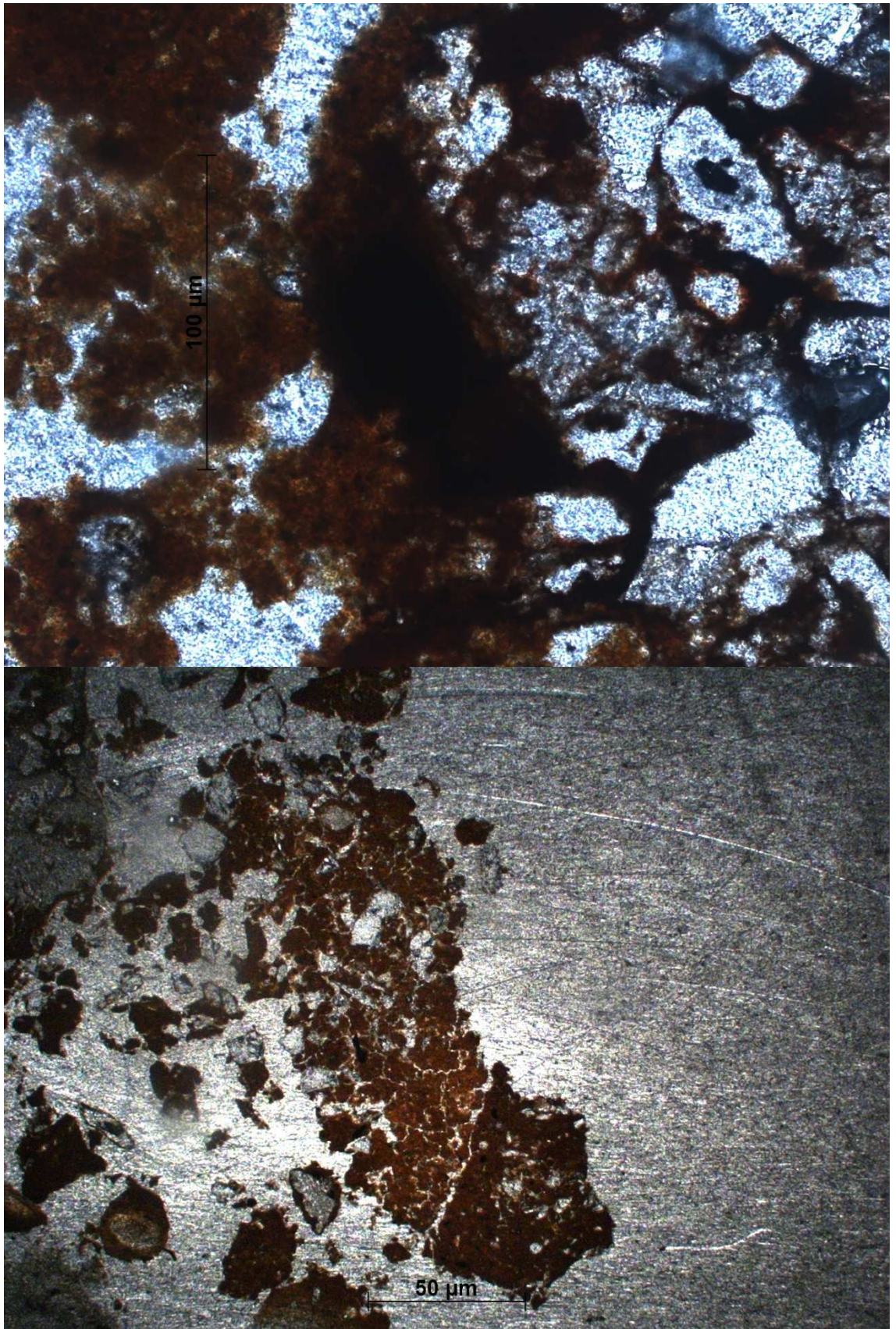


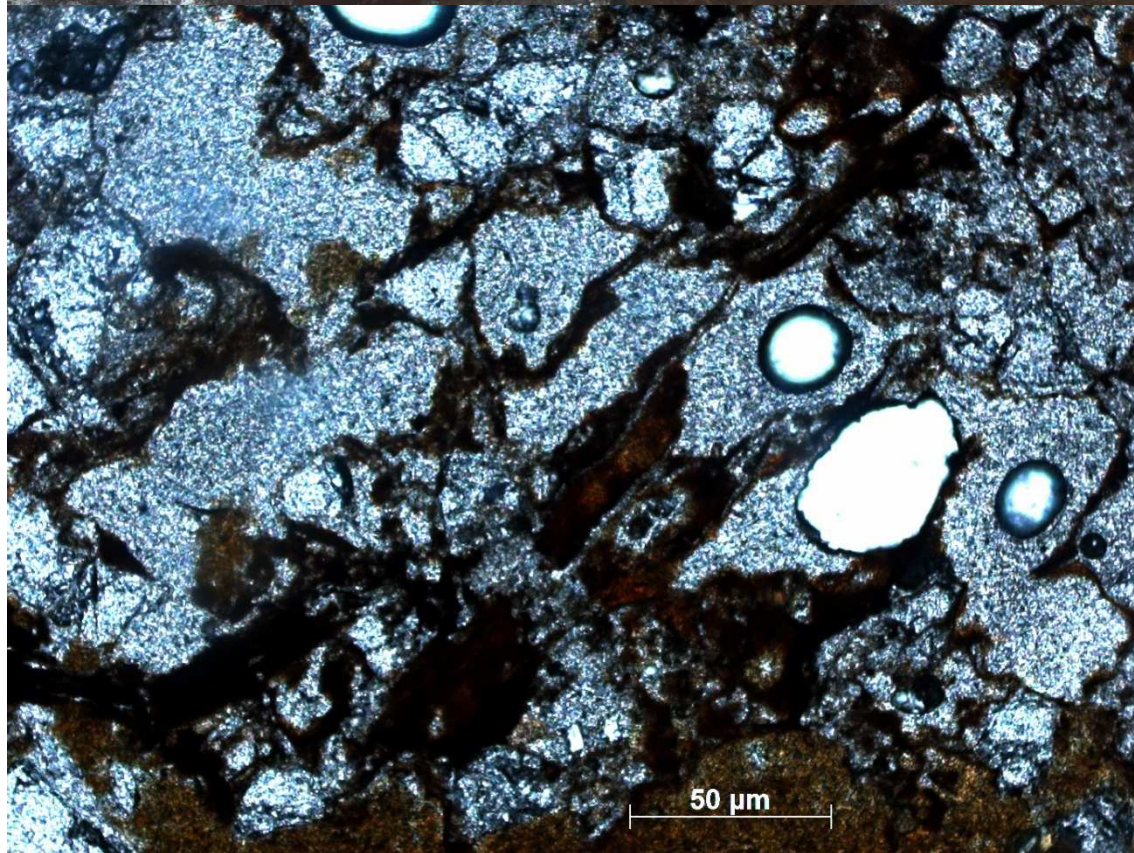
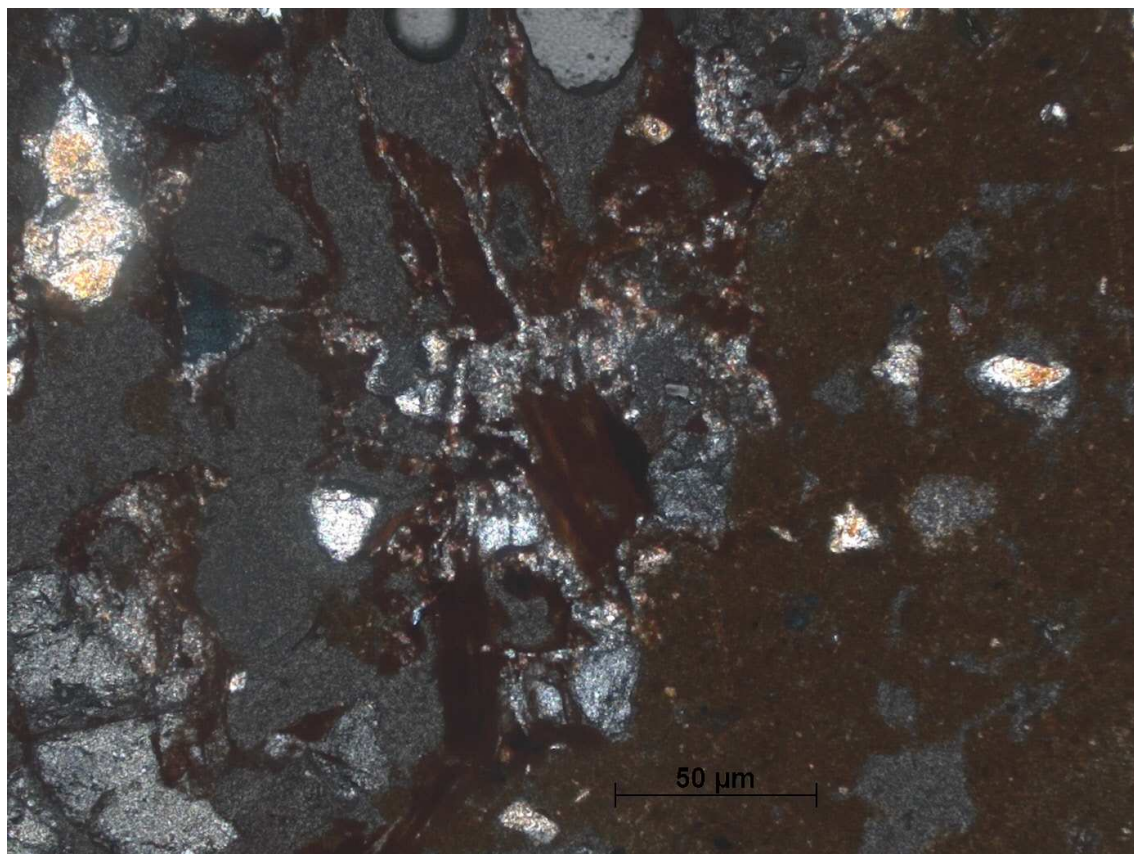


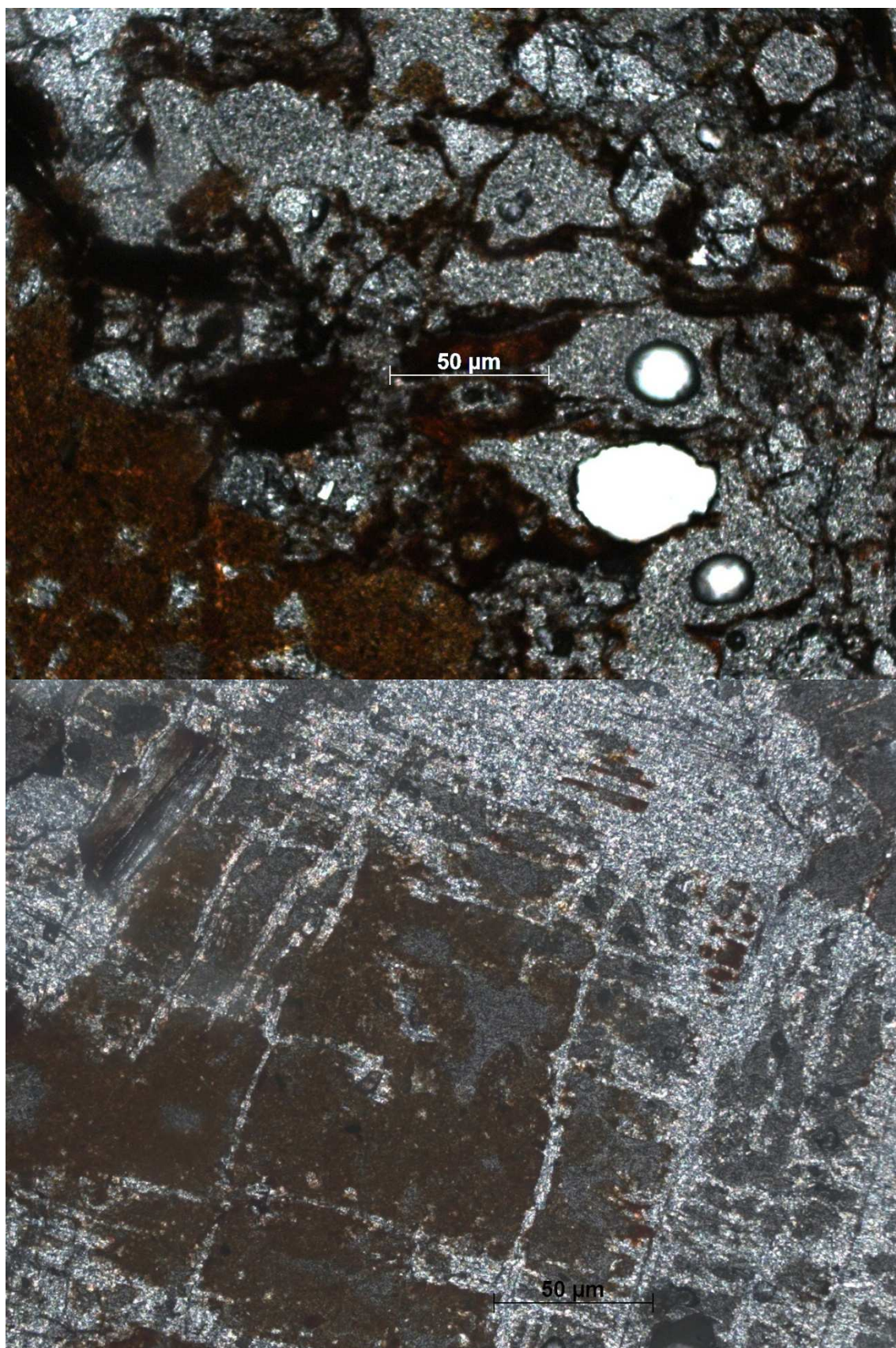




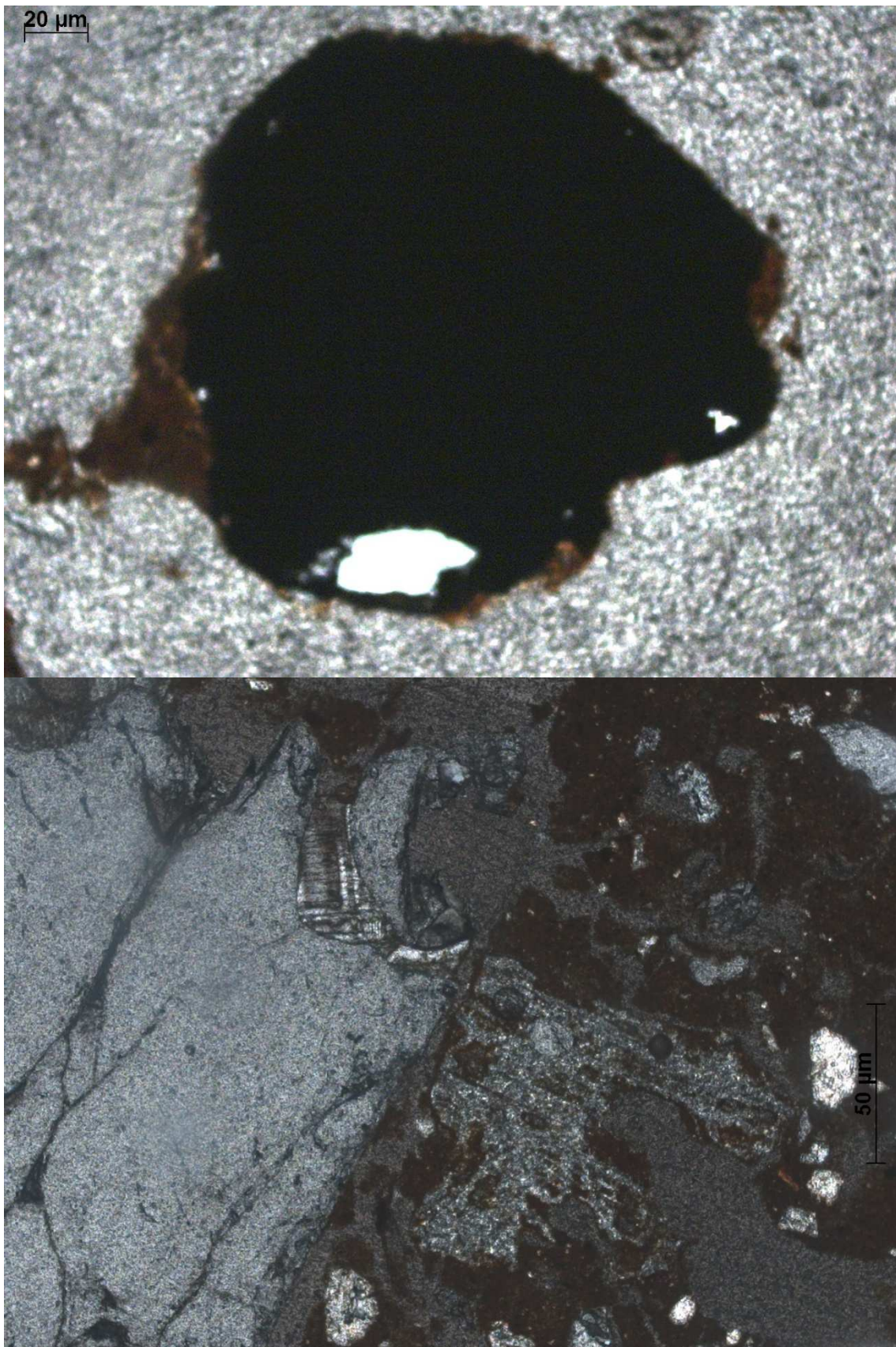


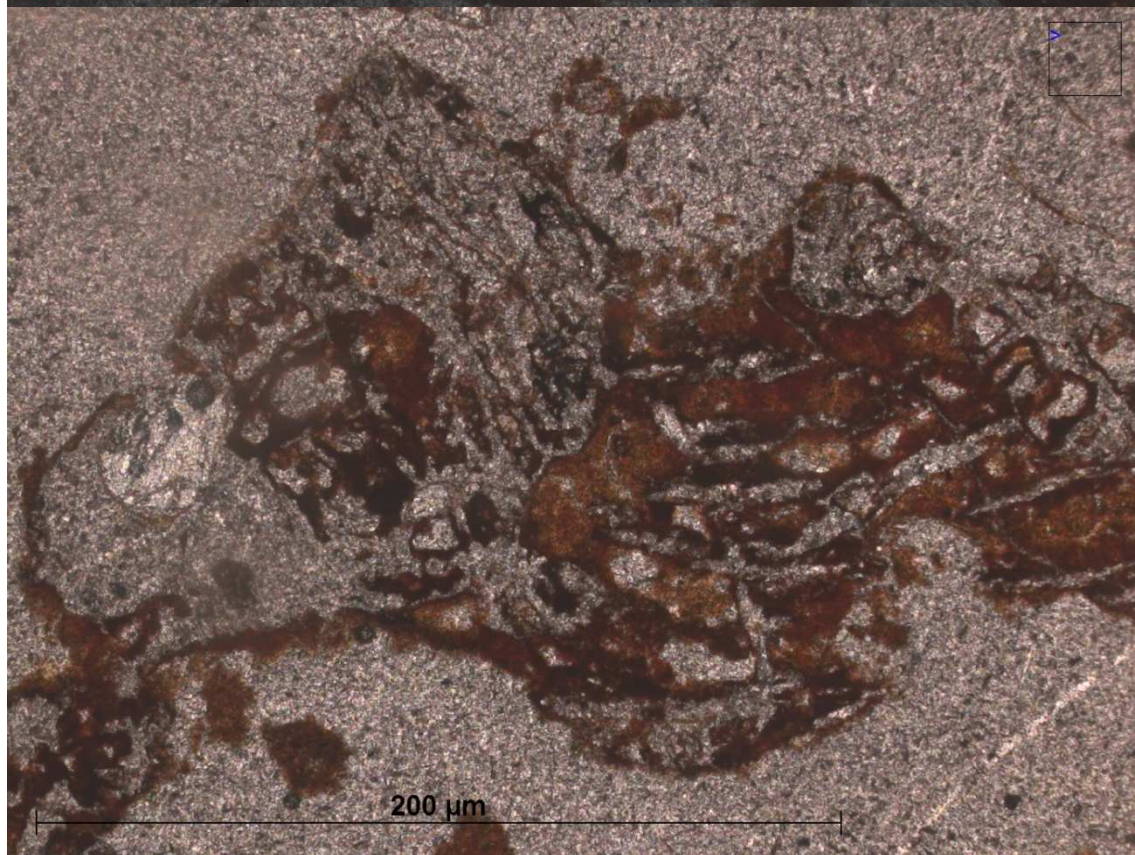
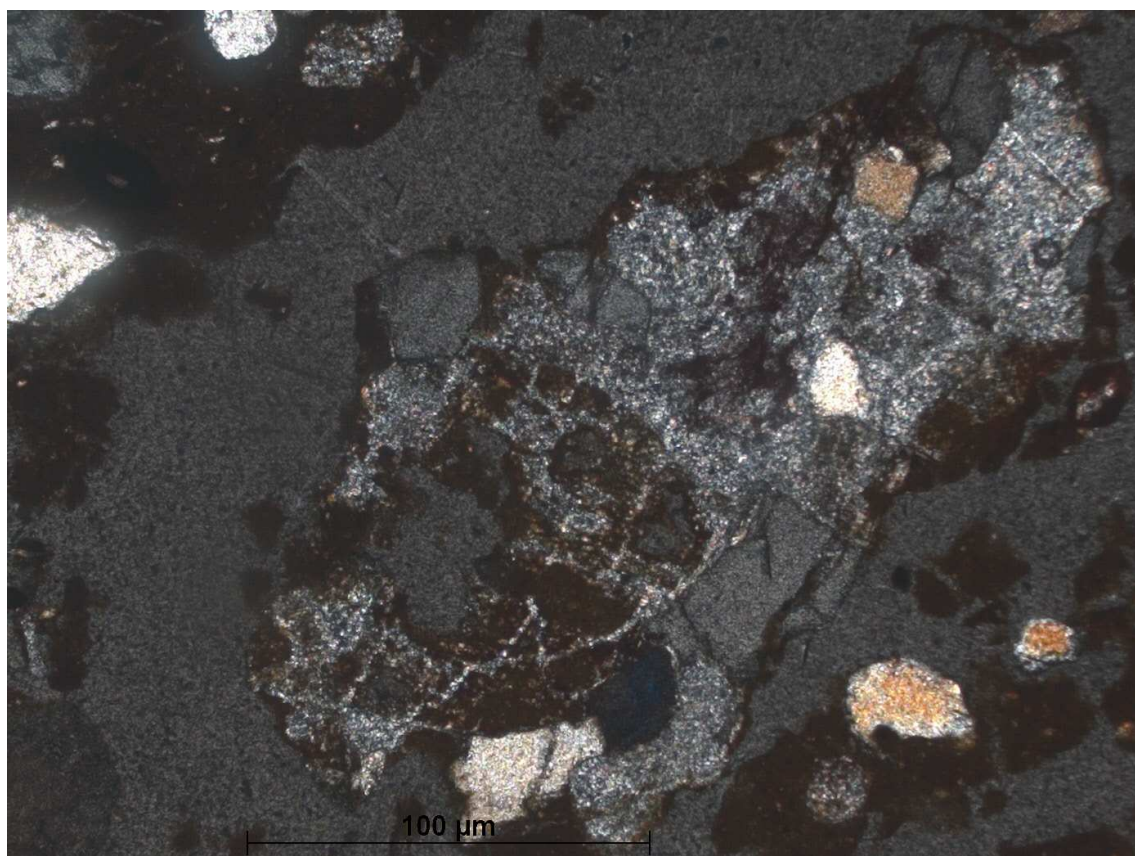


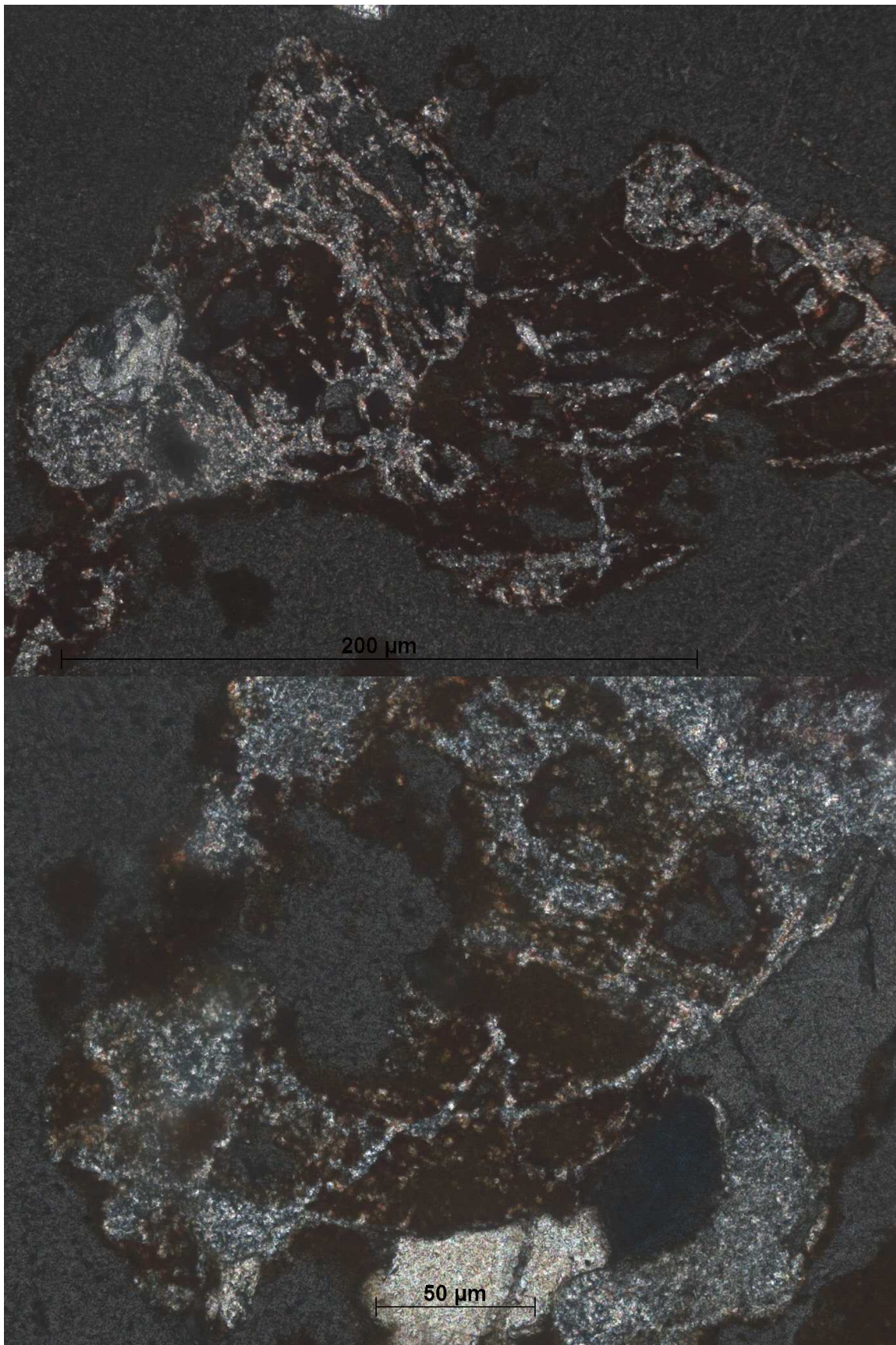


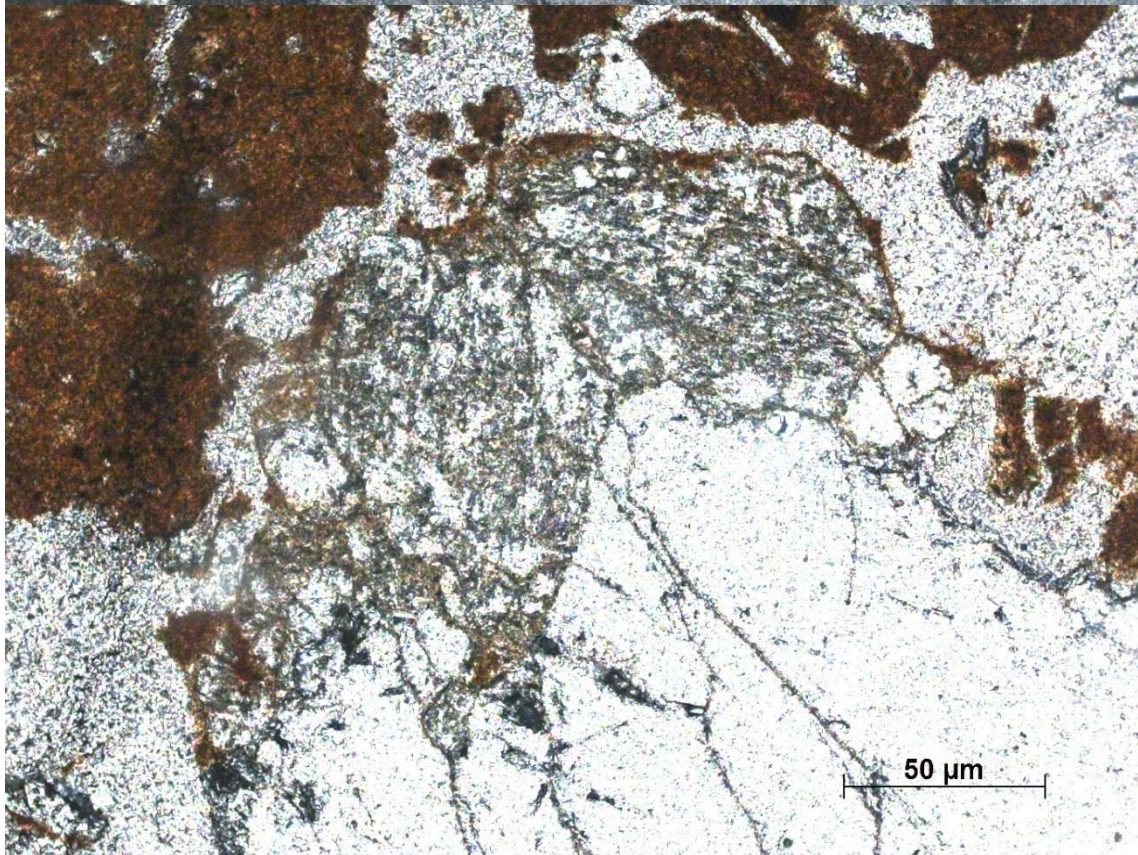
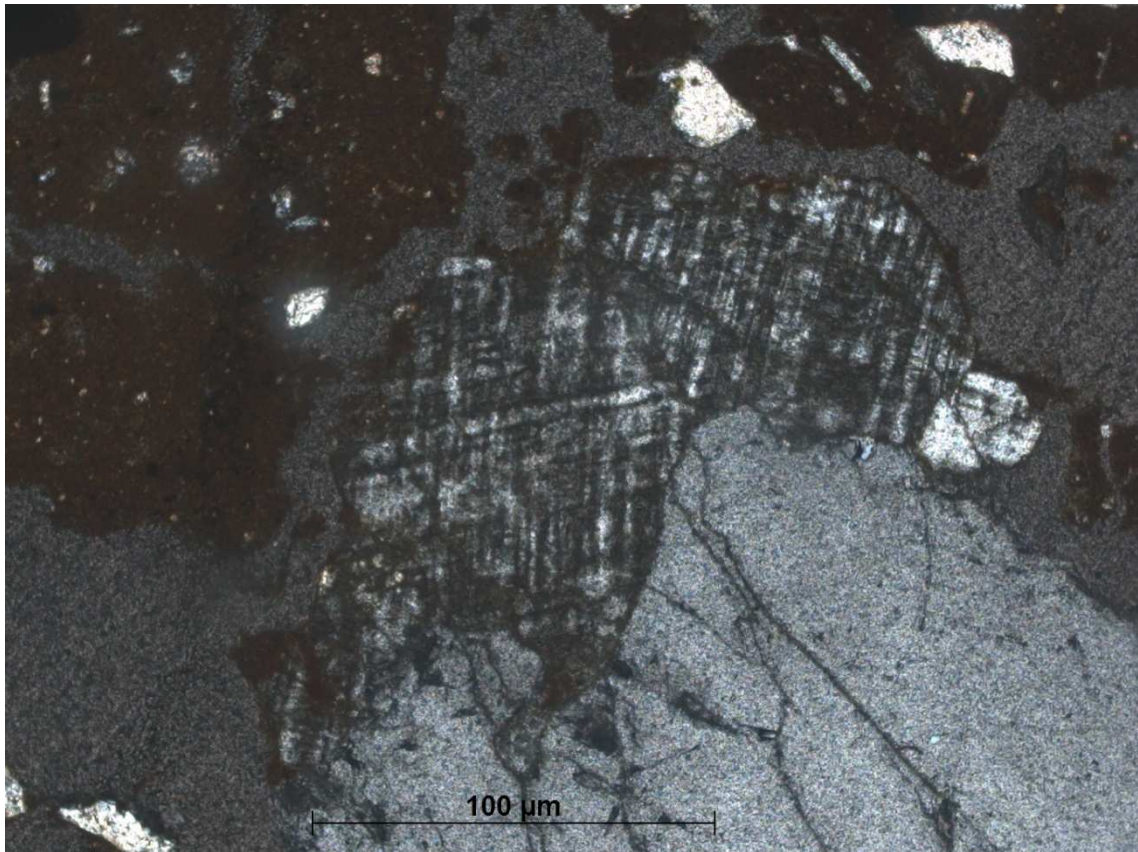


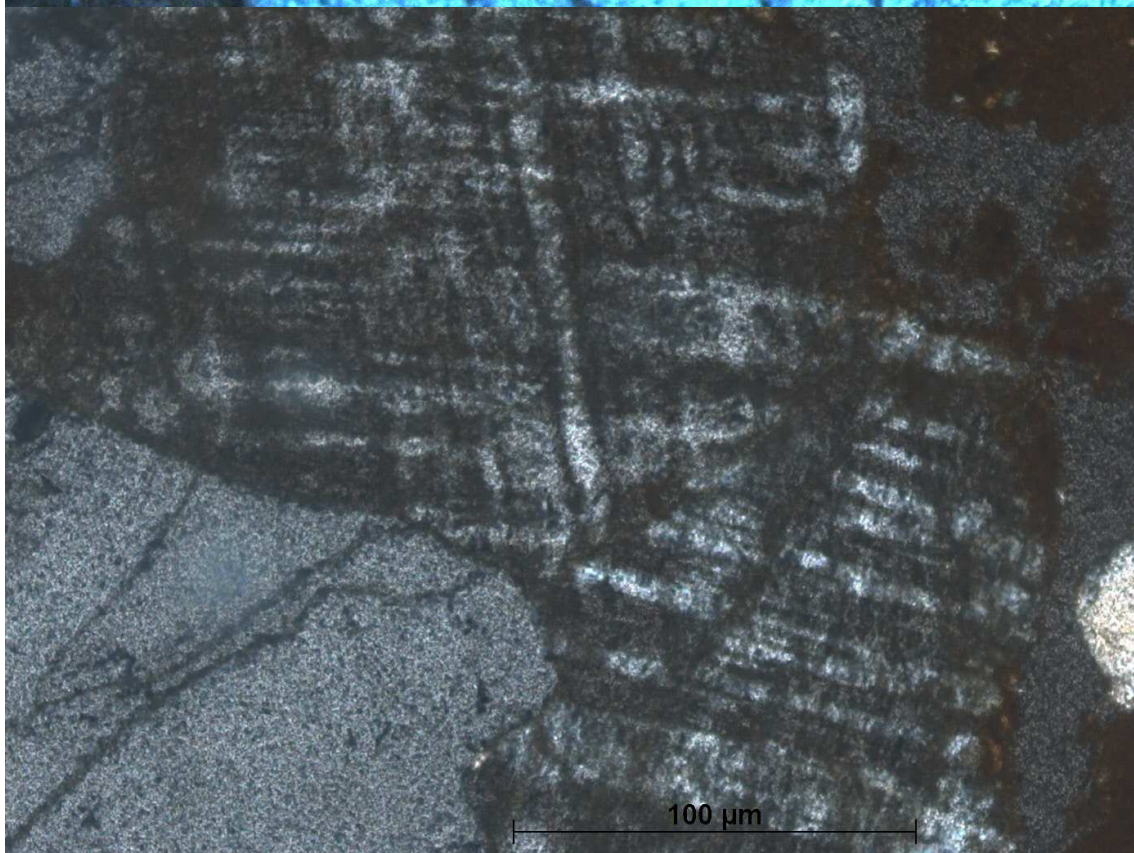
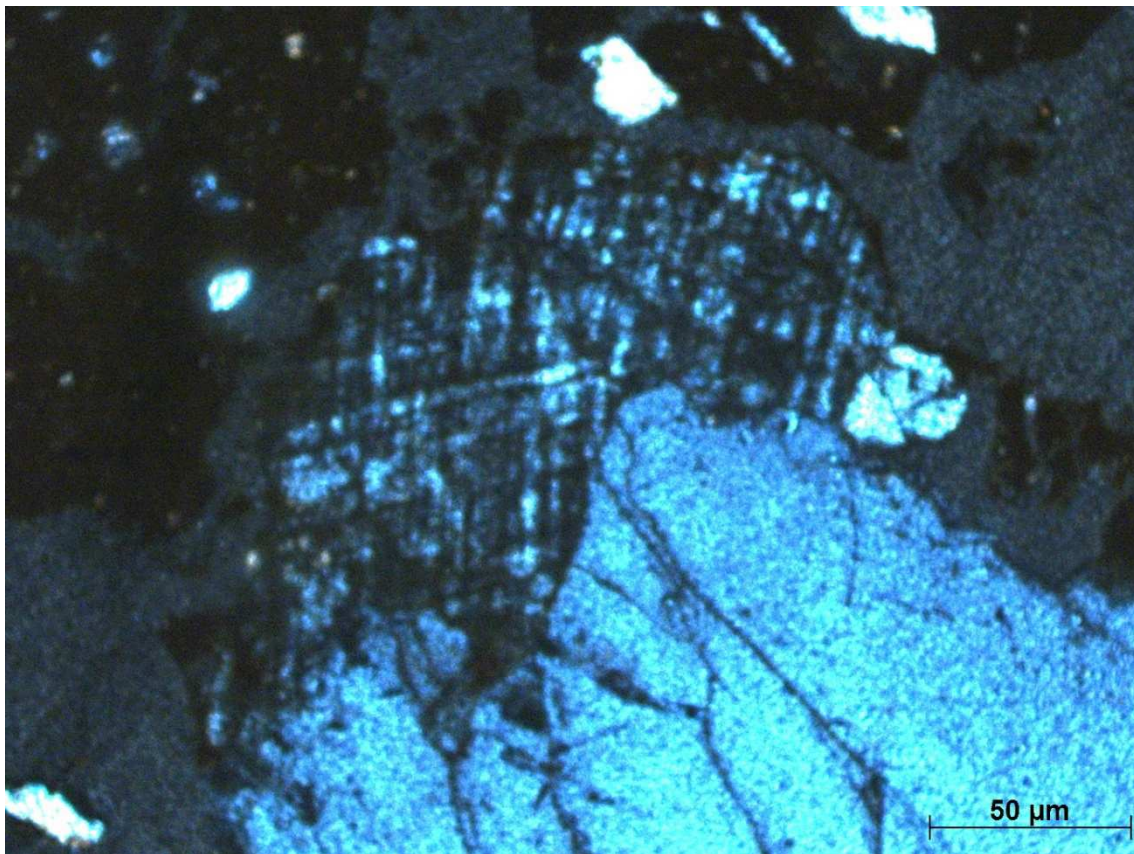
m) Lâmina M13

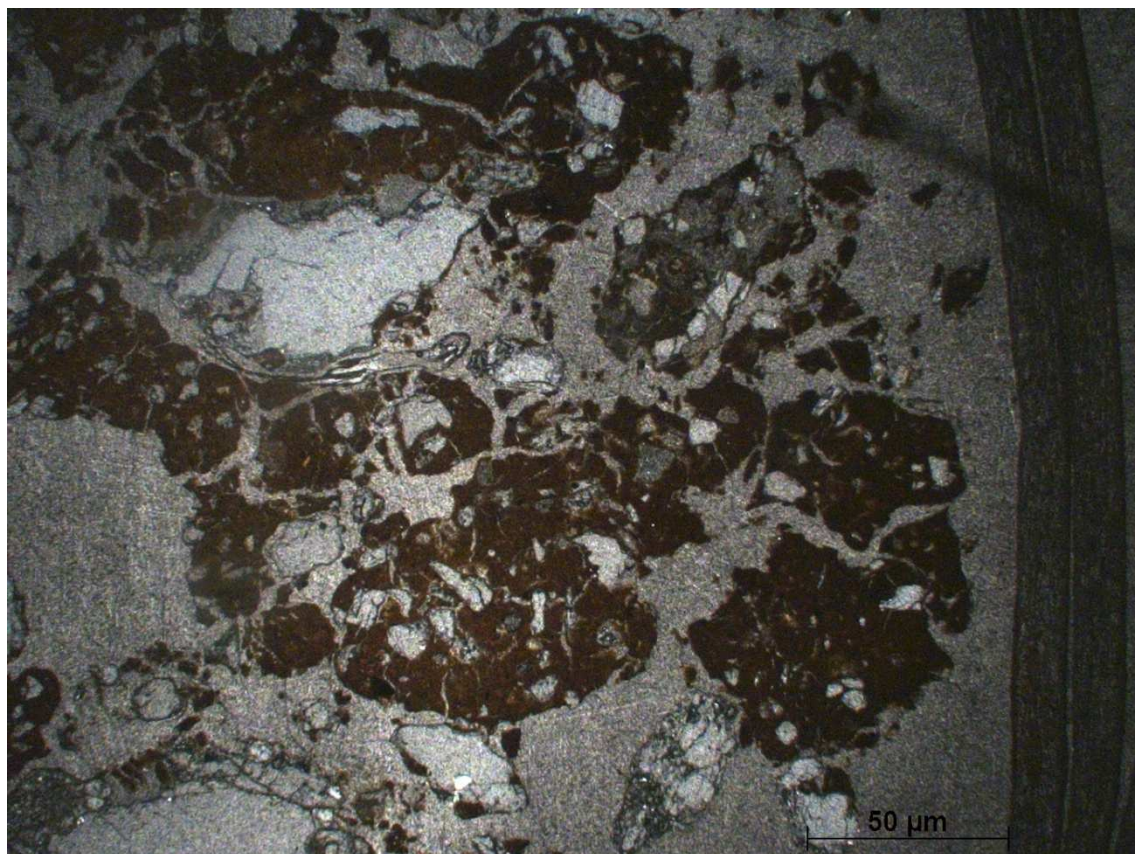


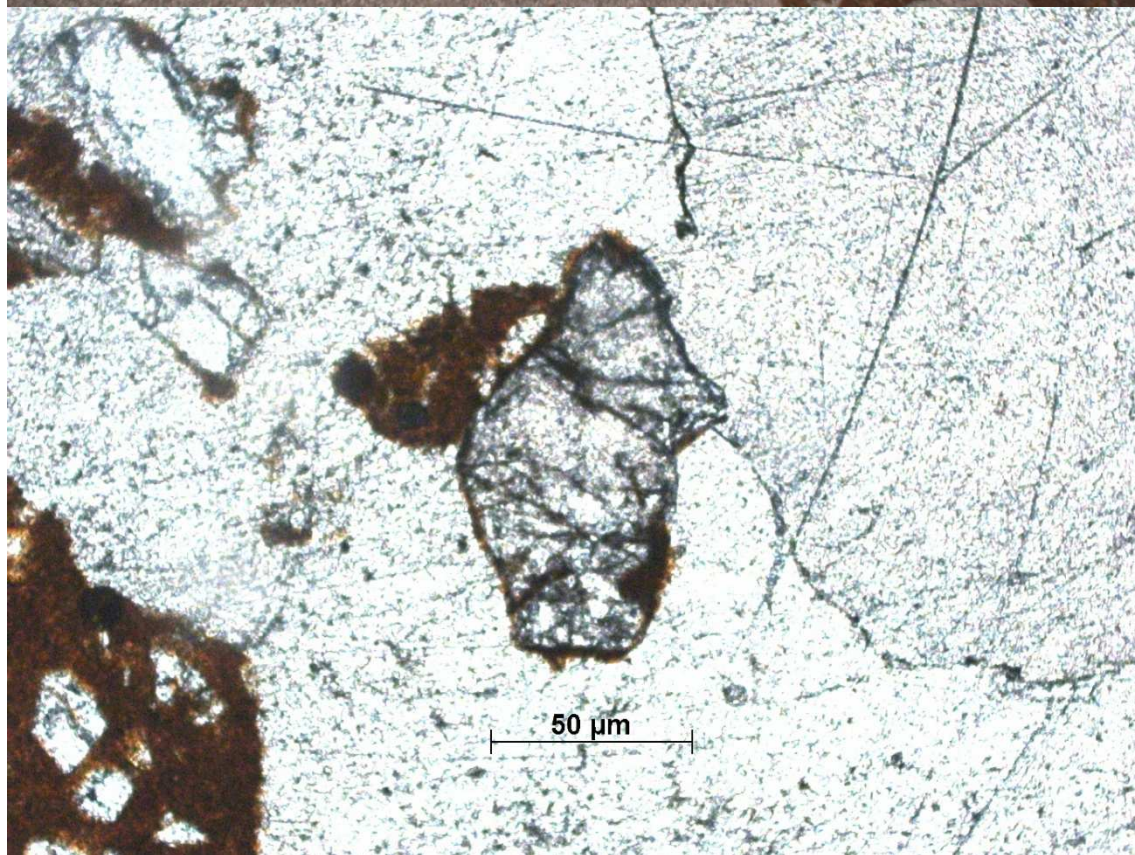
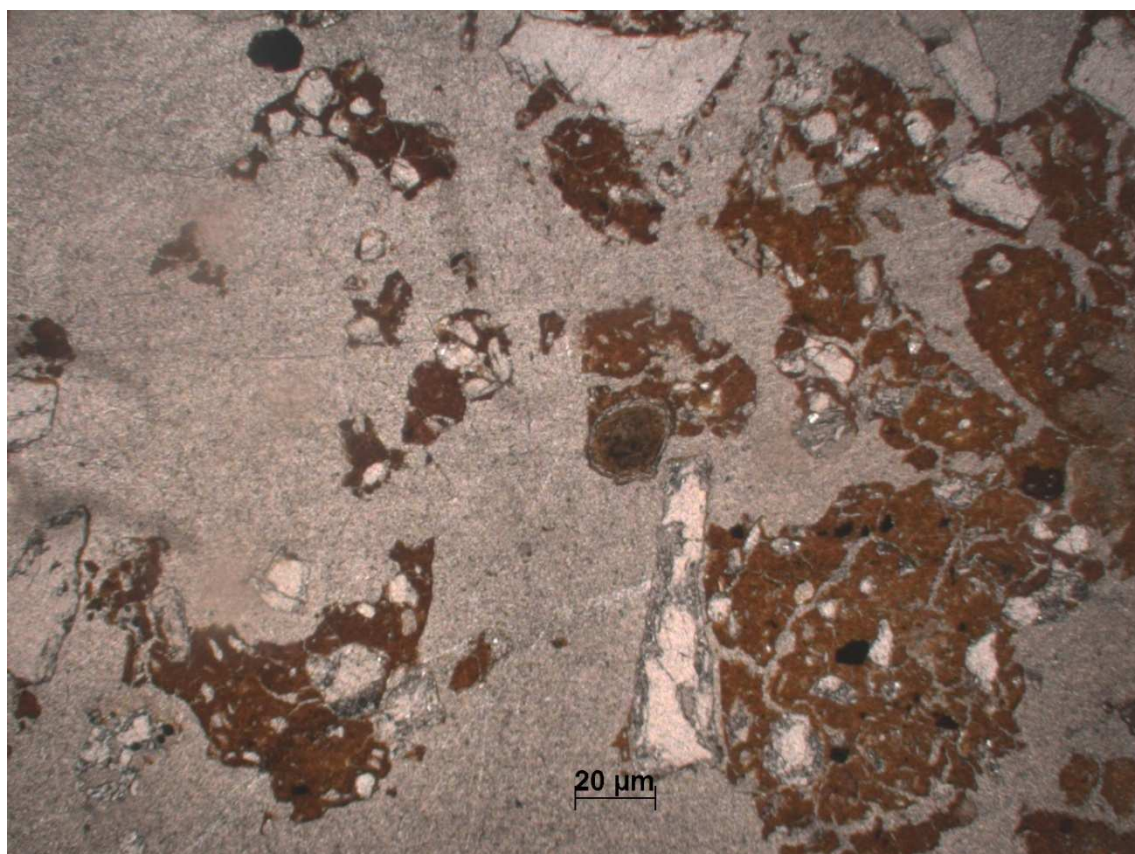




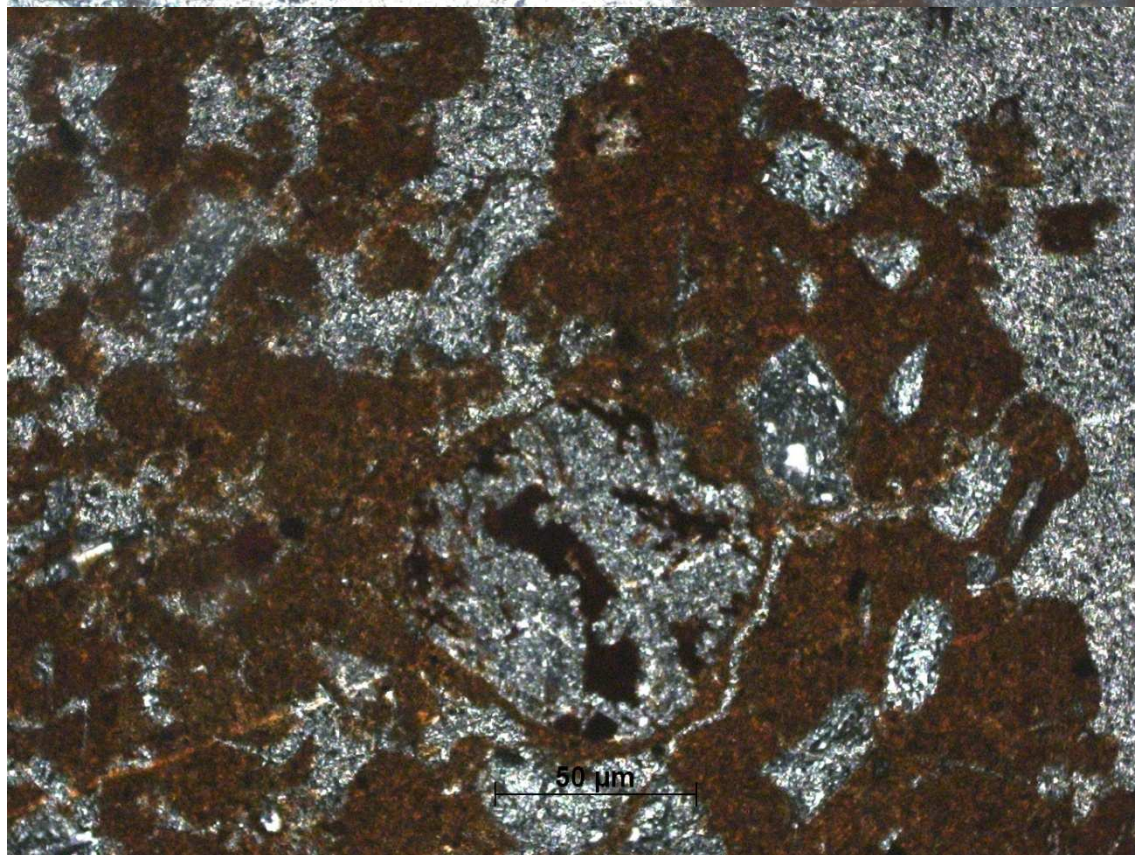
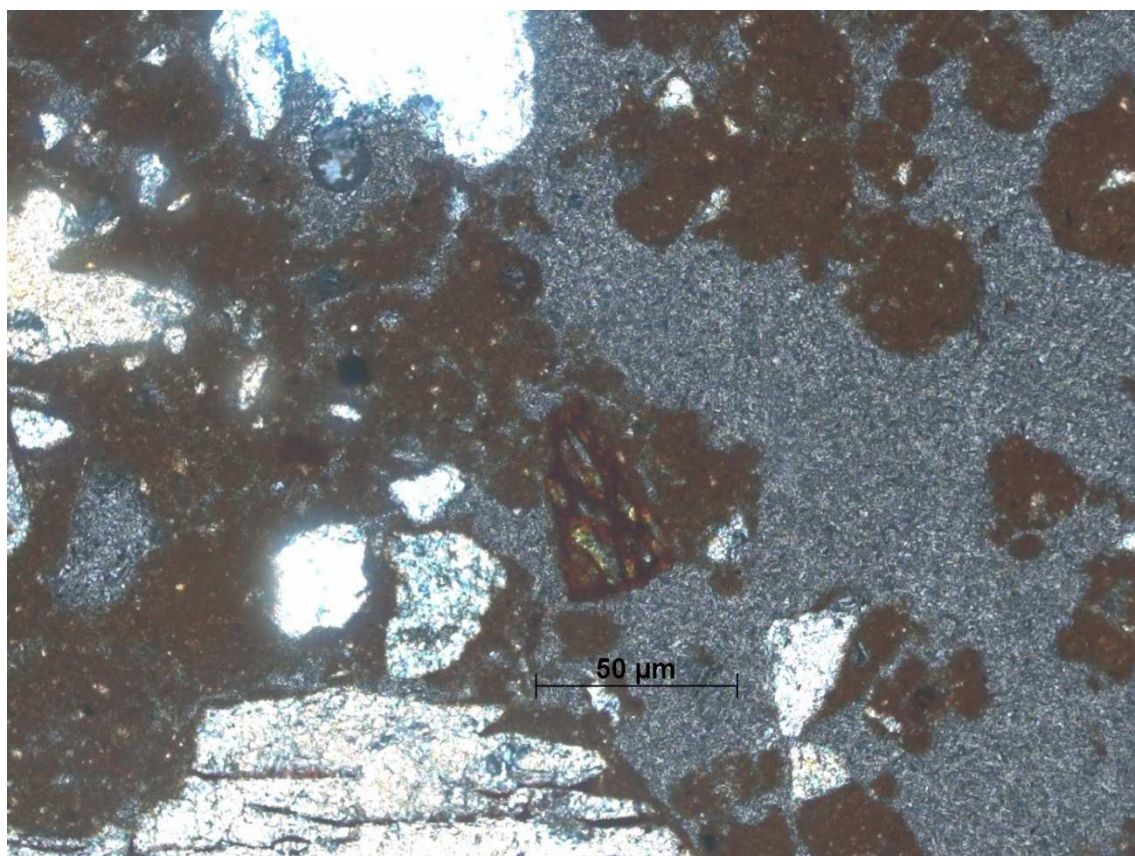


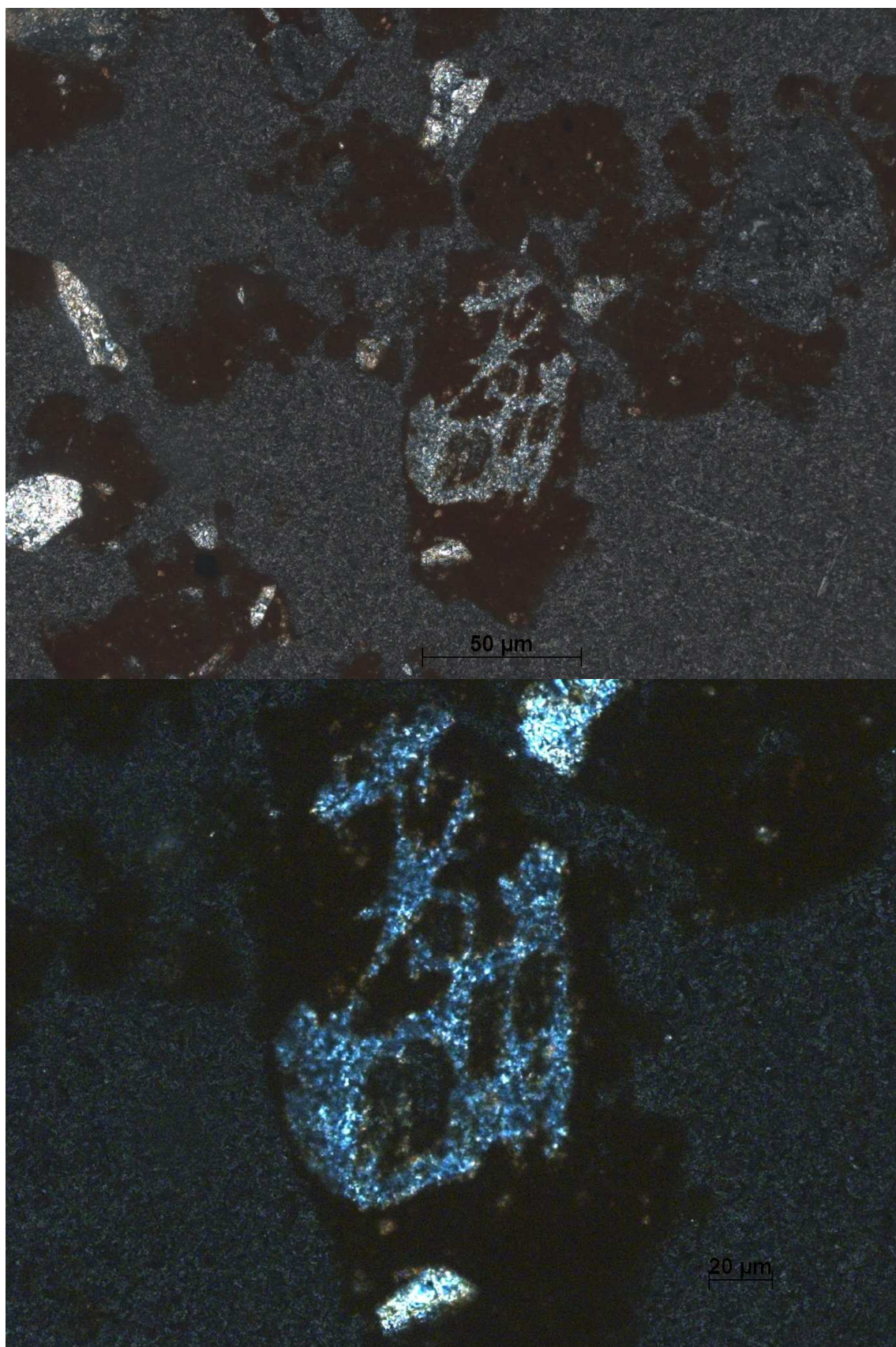


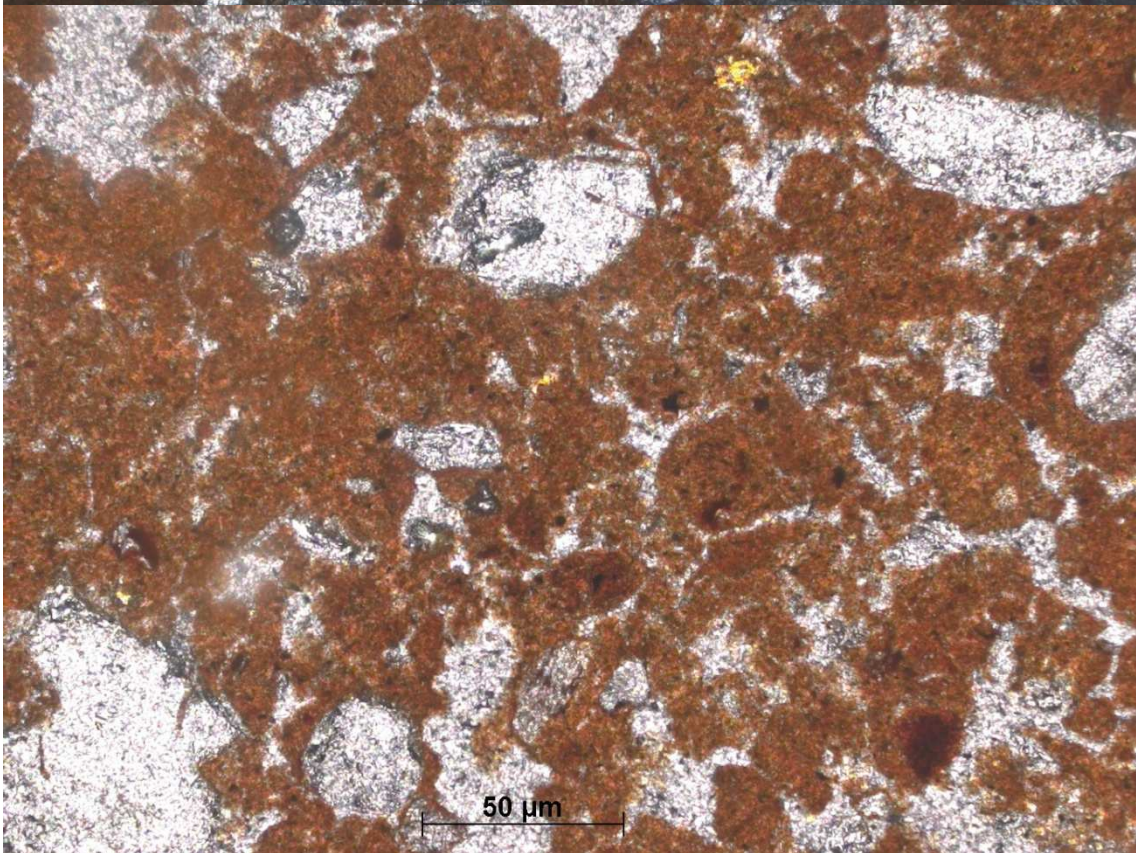
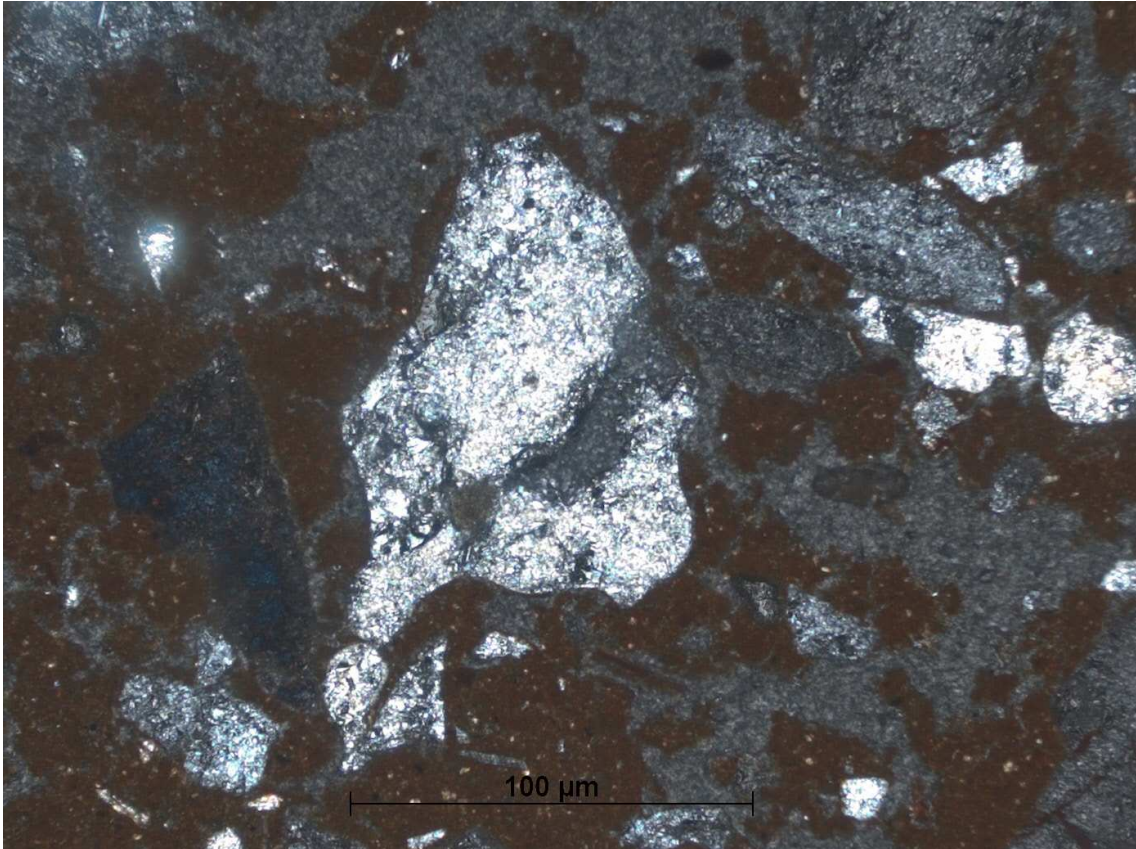


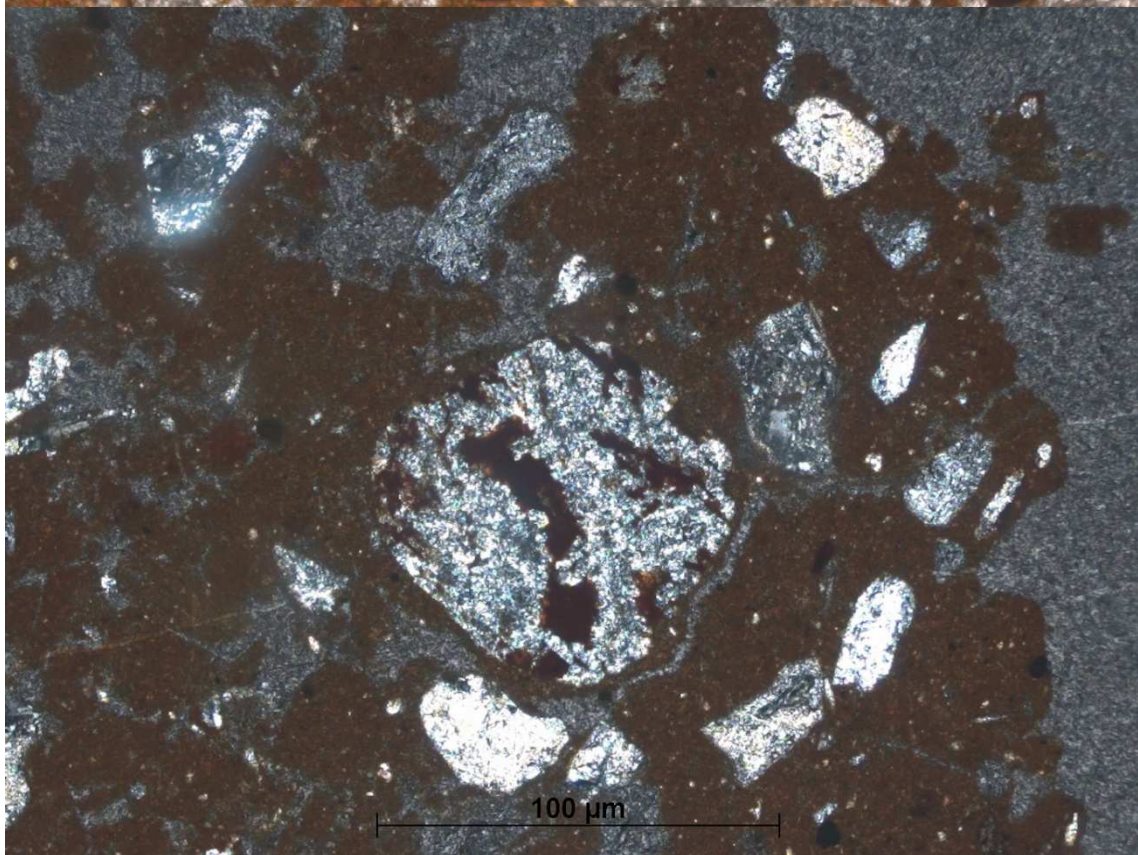


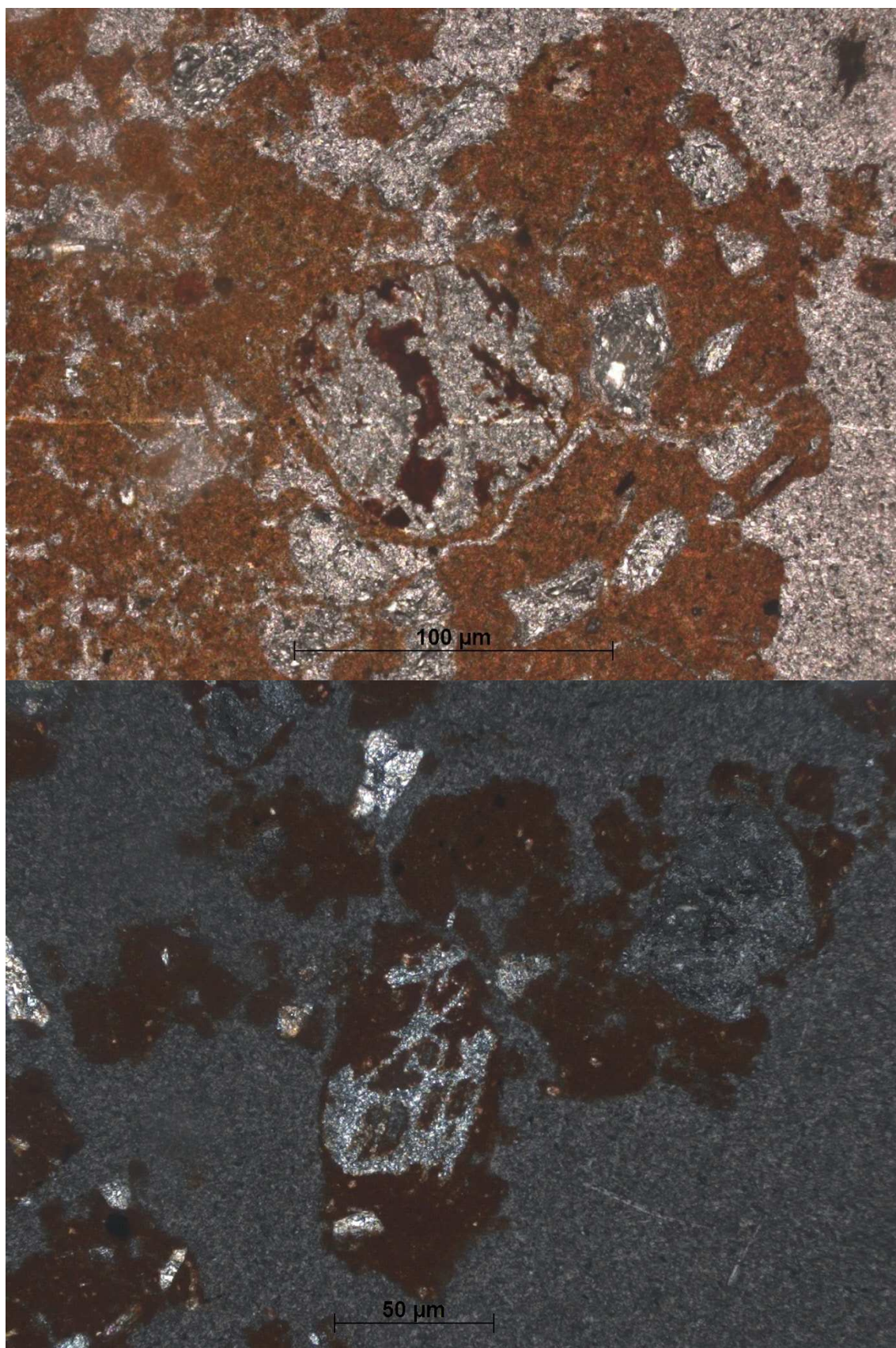
n) Lâmina M14



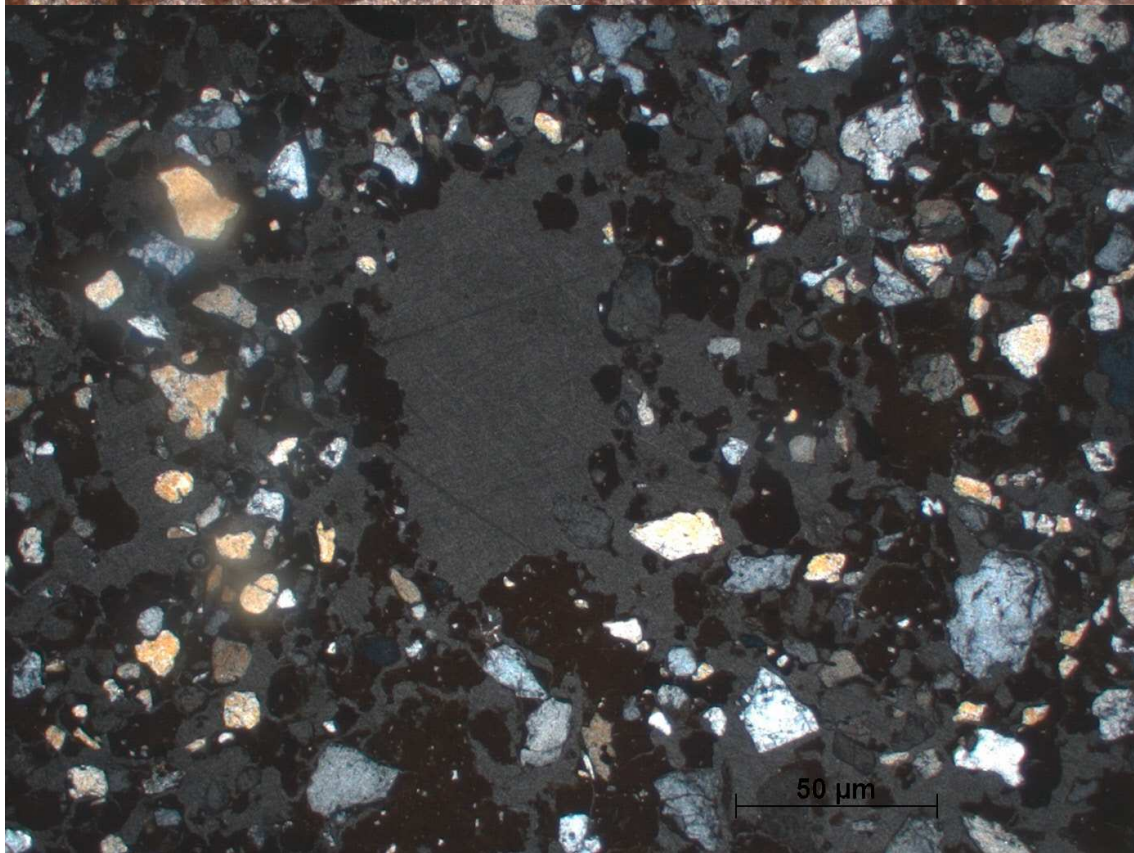
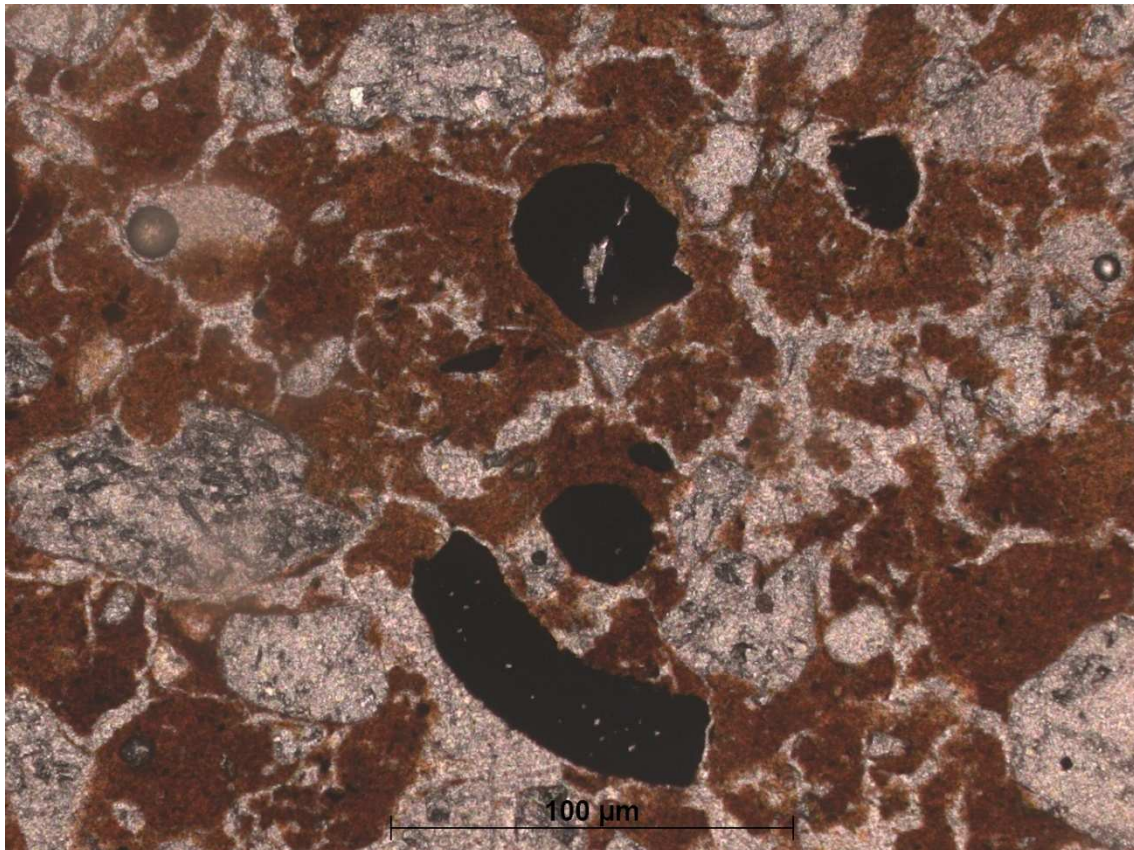


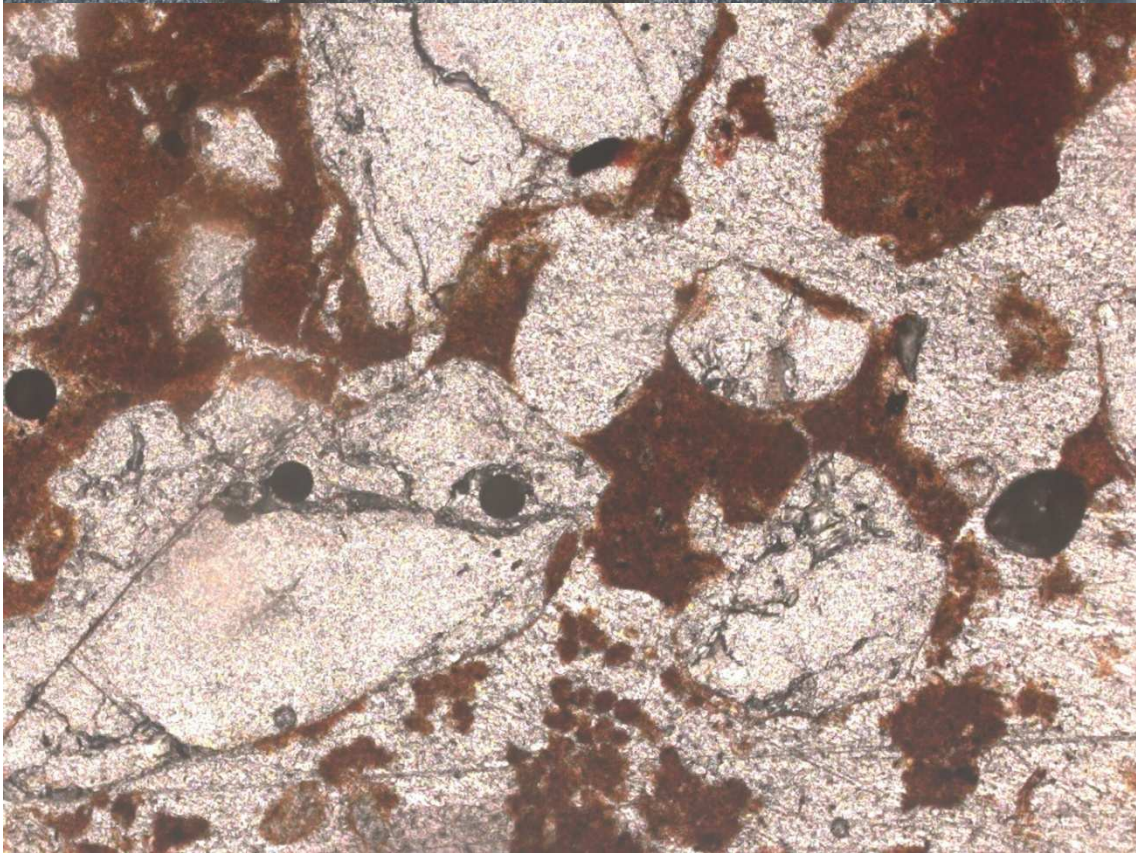
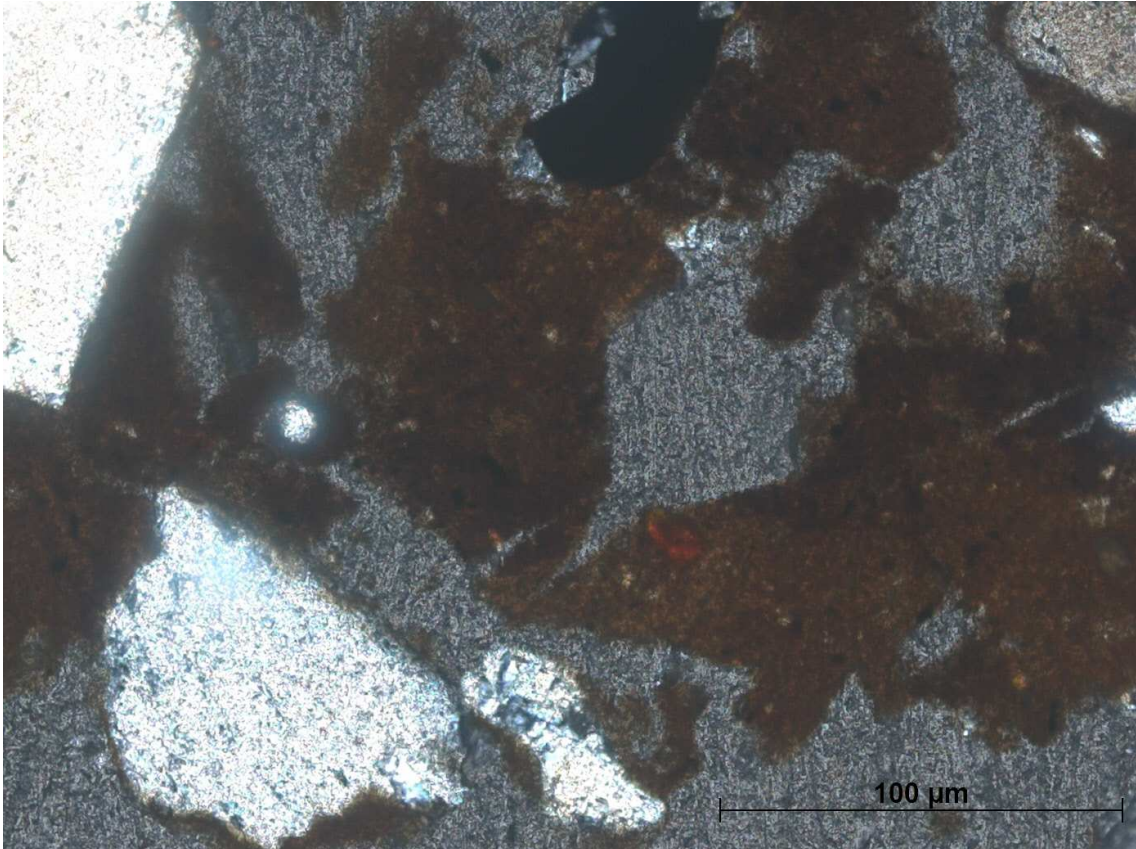


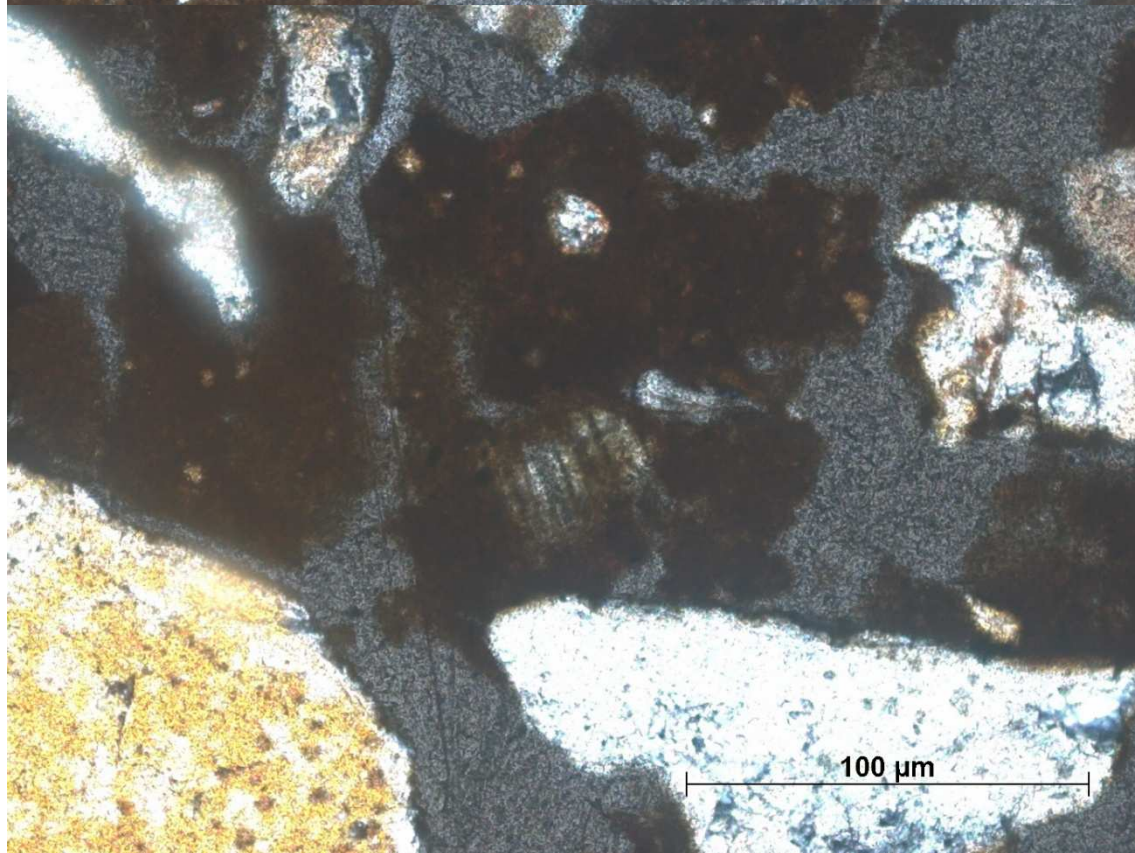
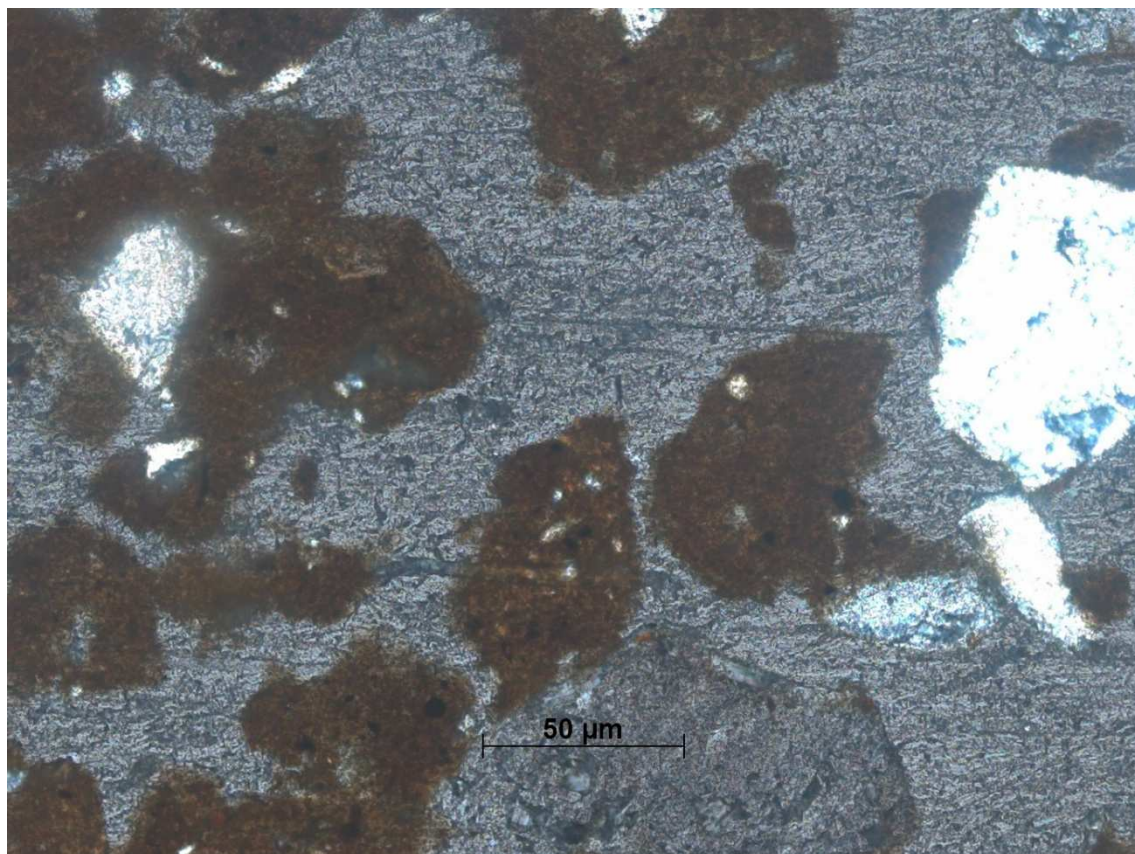


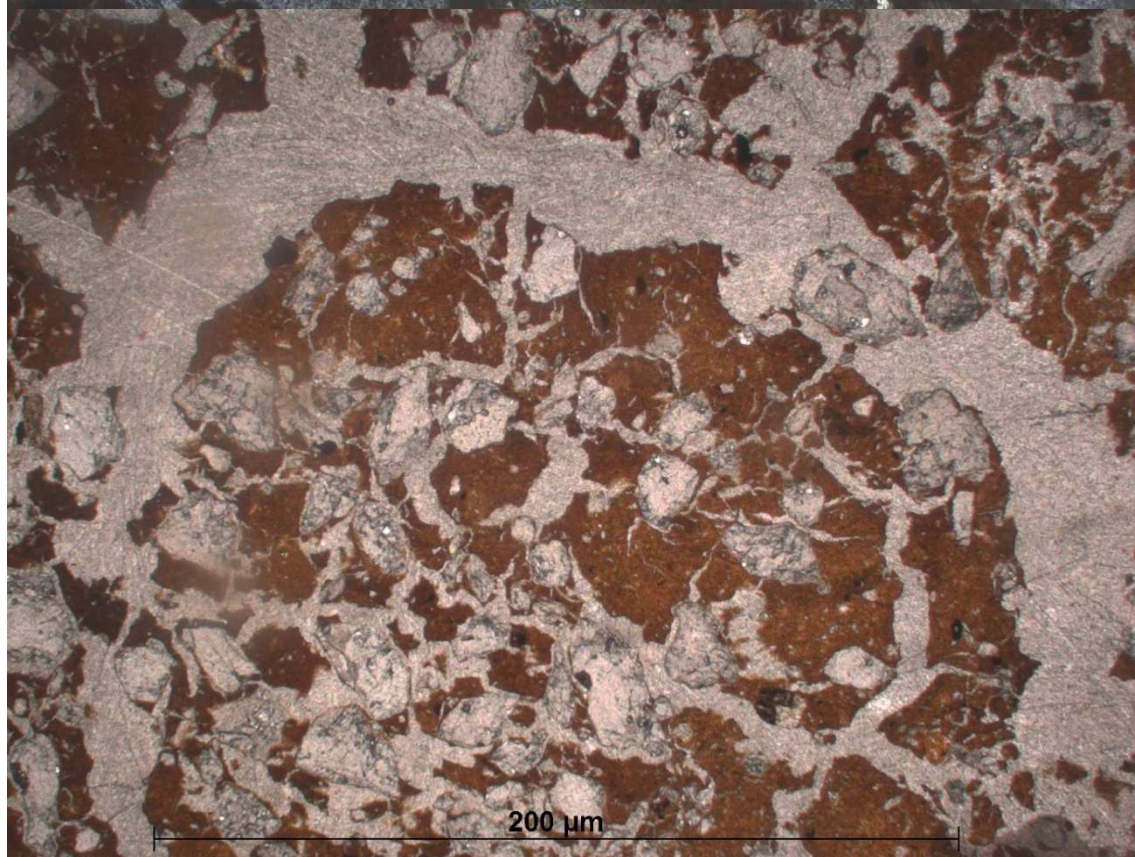
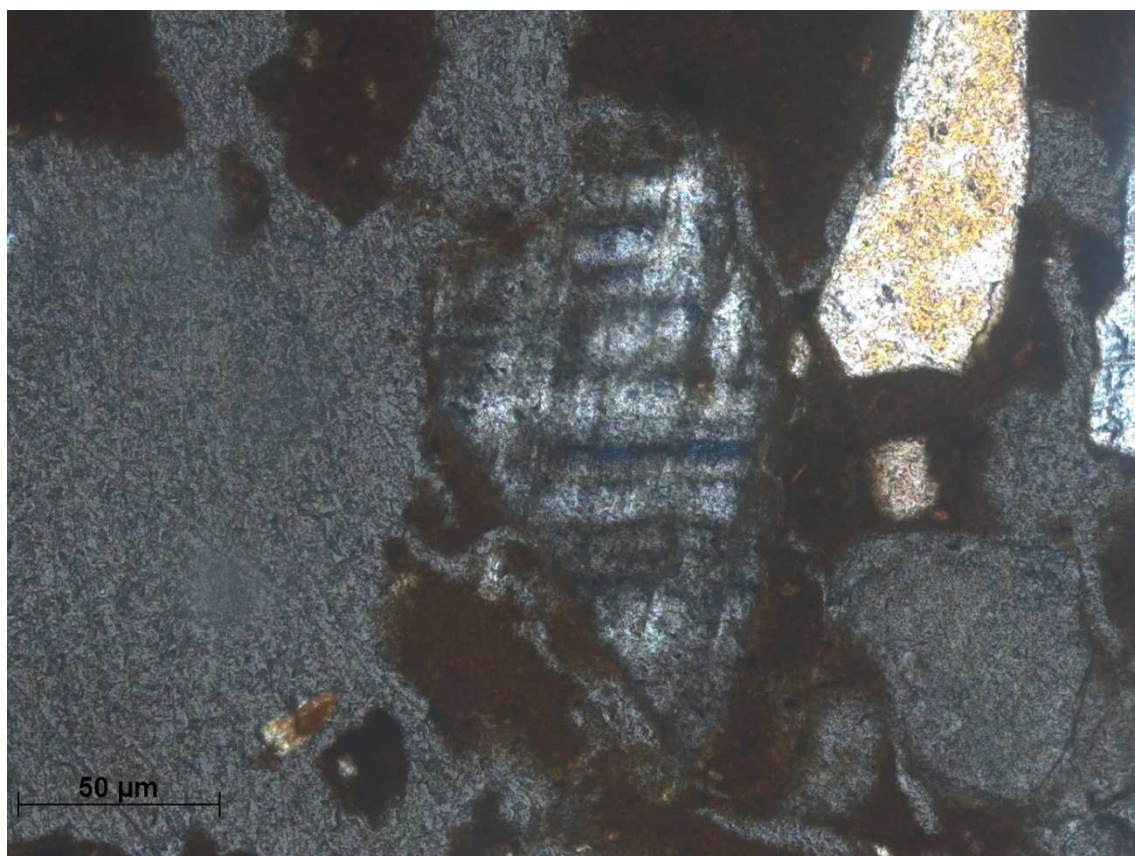


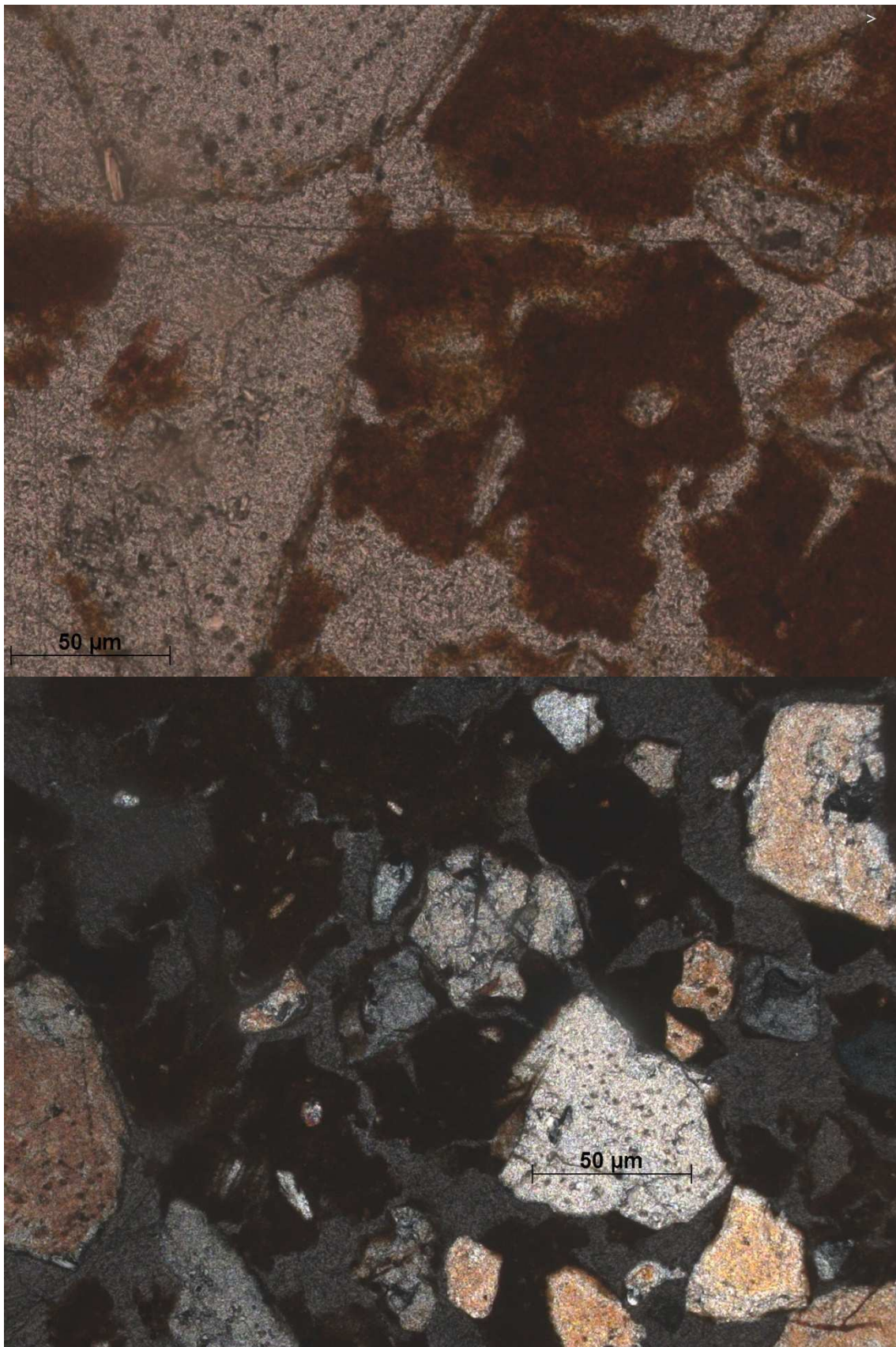
o) Lâmina M15

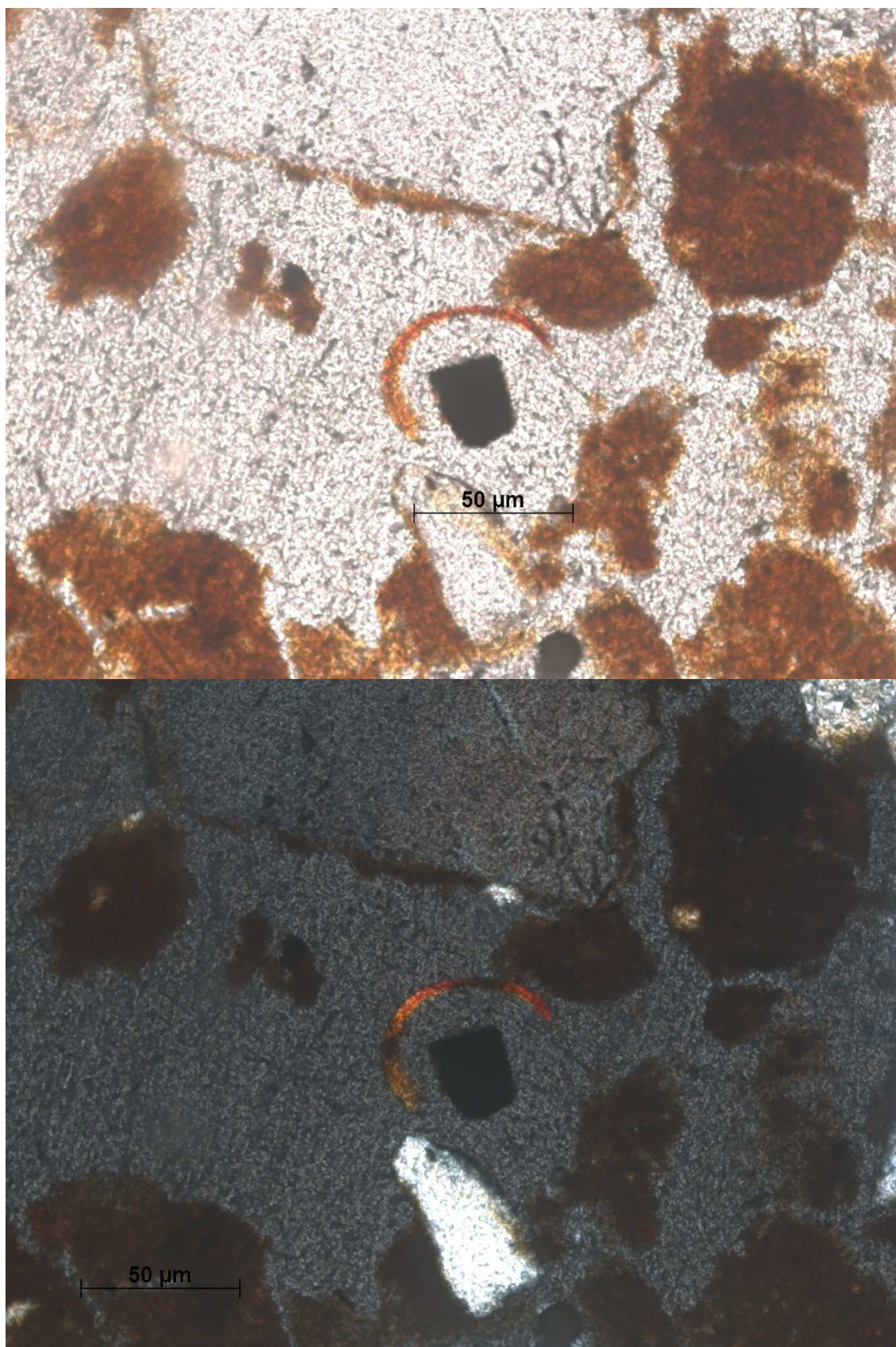




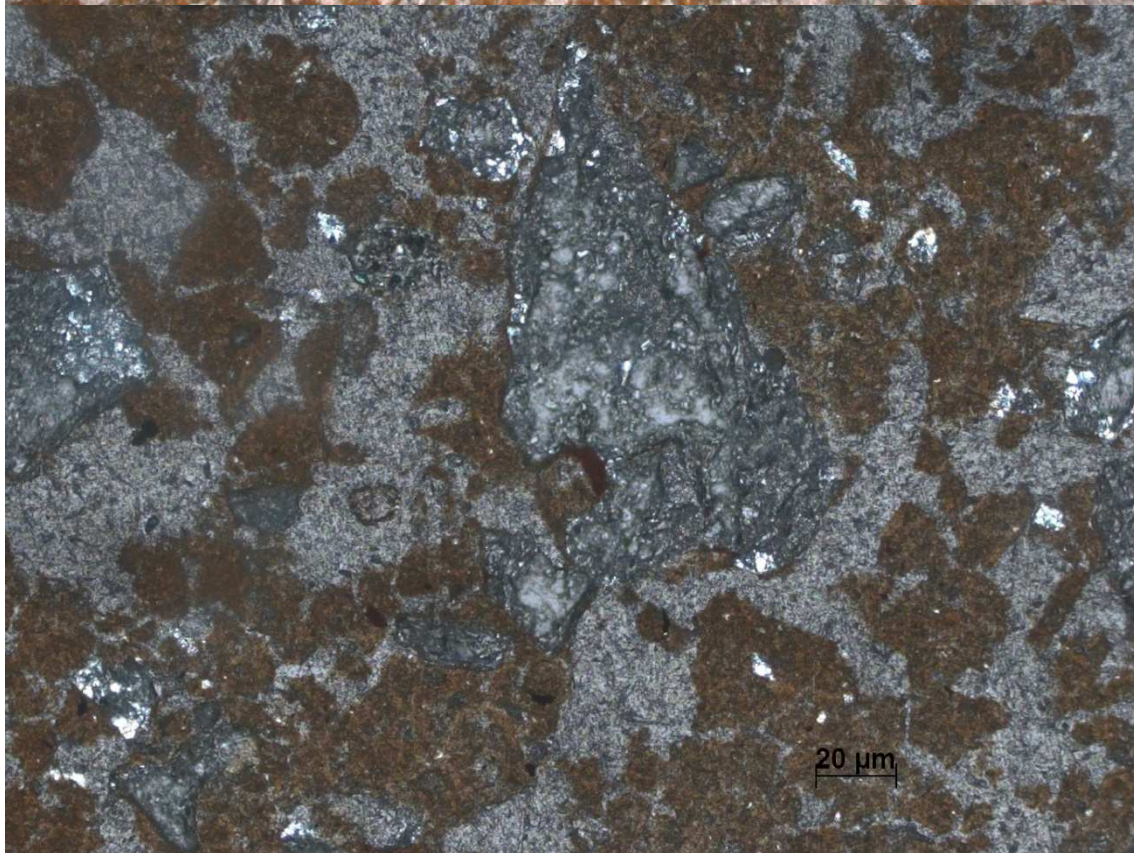
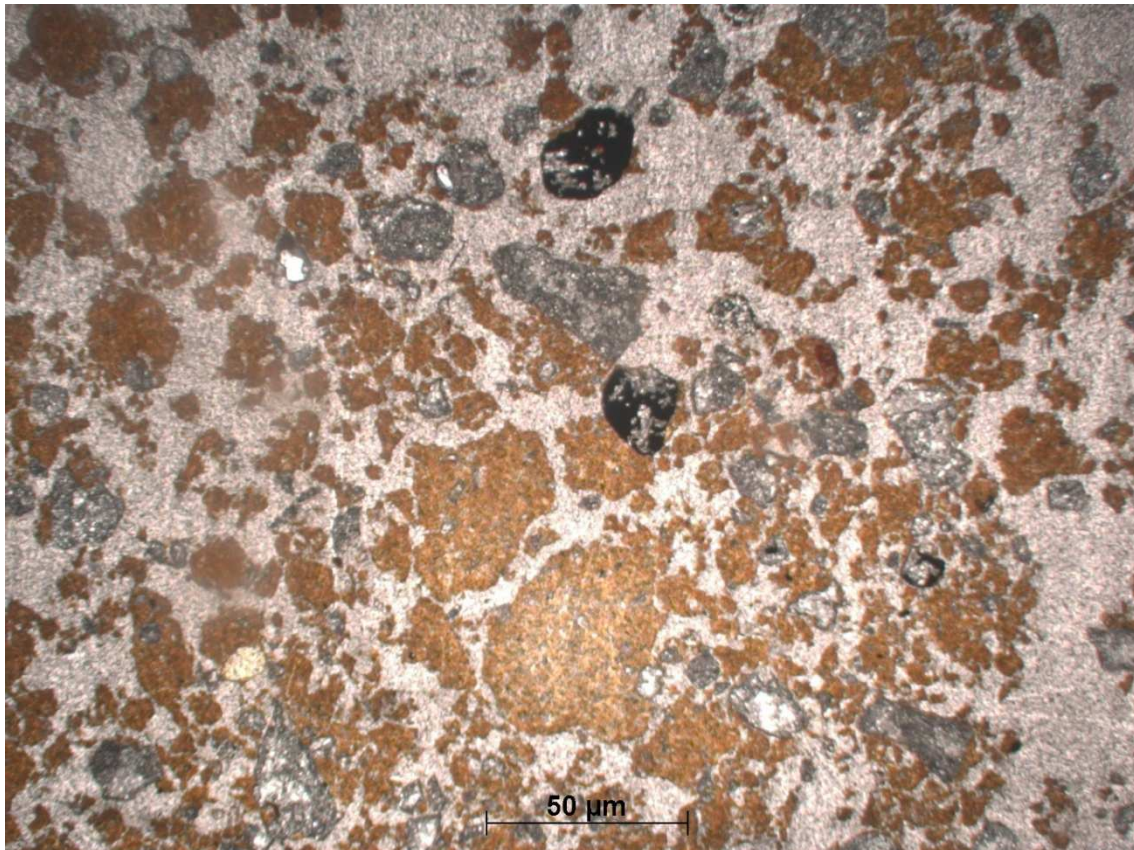


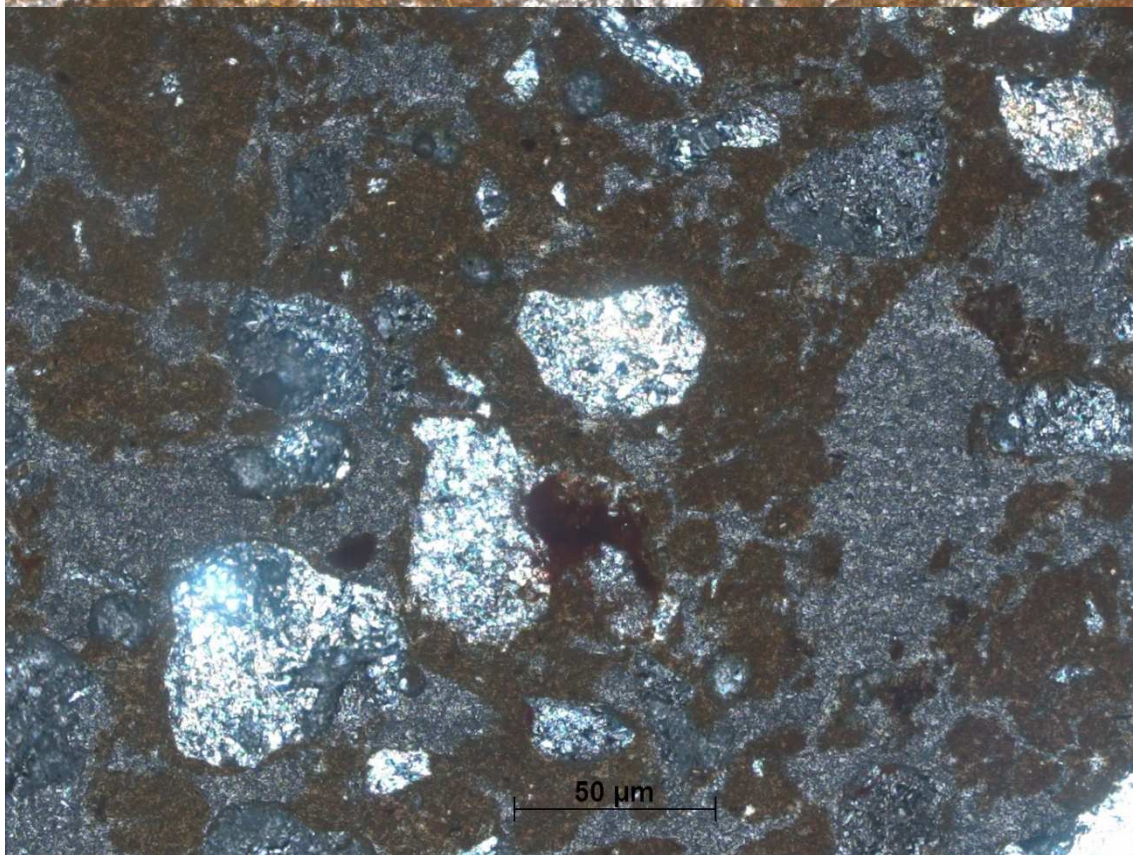
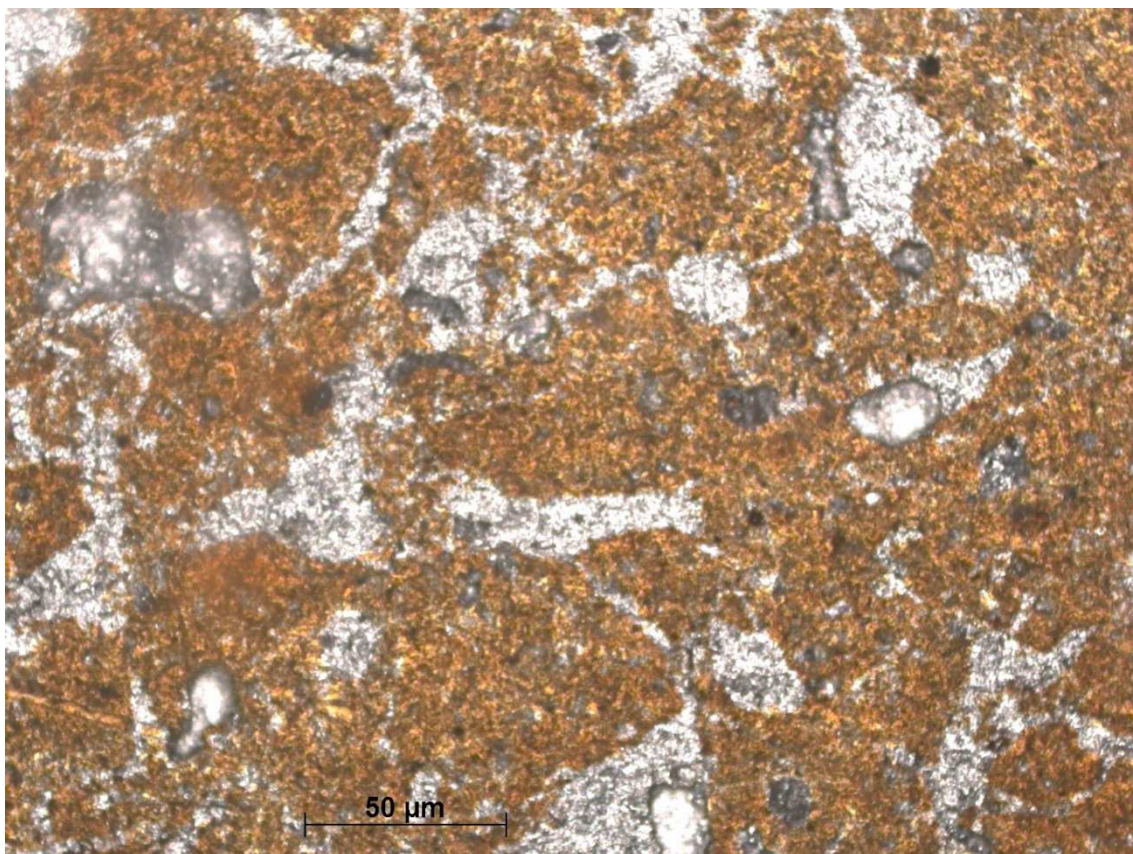


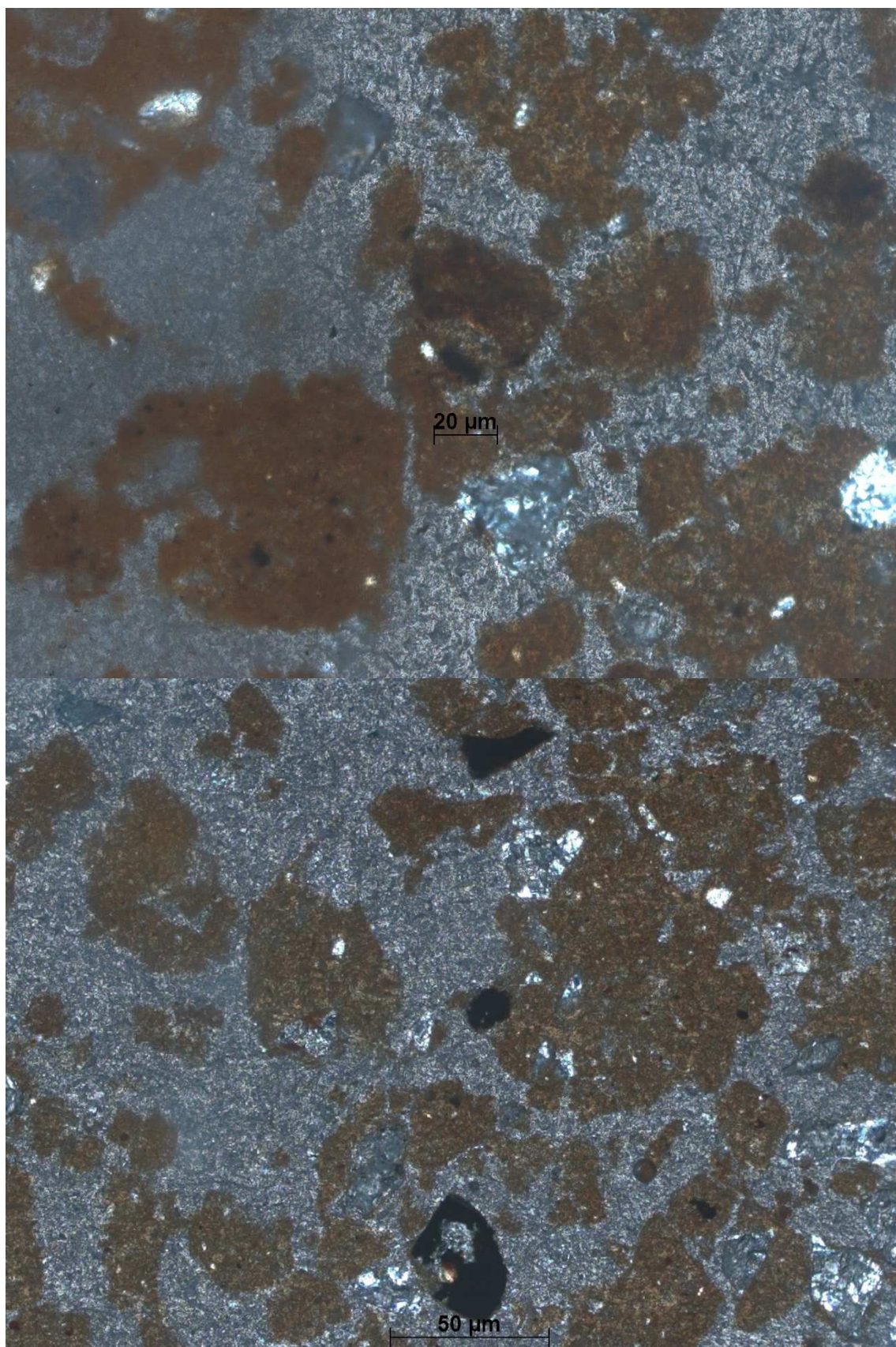




p) Lâmina M16







q) Lâmina M17

