

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

LUCAS ALBANESE VALORE

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DE CAMADAS INTERDERRAMES E
DEPÓSITOS VULCANOCLÁSTICOS MÁFICOS DA PROVÍNCIA MAGMÁTICA DO
PARANÁ, NORTE DO PARANÁ**

CURITIBA
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

LUCAS ALBANESE VALORE

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DE CAMADAS INTERDERRAMES E
DEPÓSITOS VULCANOCLÁSTICOS MÁFICOS DA PROVÍNCIA MAGMÁTICA DO
PARANÁ, NORTE DO PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso da disciplina
TCC-II (GC-132) do Departamento de
Geologia, Setor de Ciências da Terra,
Universidade Federal do Paraná, como
requisito para a conclusão do Curso de
Graduação em Geologia.

Orientadora: Prof. Dra. Eleonora Maria
Gouvea Vasconcellos

Coorientador: Prof. Dr. Otavio Augusto Boni
Licht

CURITIBA

2017

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao Instituto de Terras, Cartografia e Geologia – ITCG pela possibilidade do uso de dados referentes ao projeto de mapeamento em escala 1:650000 da Província Magmática do Paraná, no estado do Paraná.

Agradeço também ao Laboratório de Análise de Minerais e Rochas (LAMIR - UFPR) pelo apoio e pela possibilidade de realização da etapa de campo e de confecção de seções delgadas.

Agradeço à Universidade Federal do Paraná e ao Departamento de Geologia por todo o apoio durante estes cinco anos como estudante de graduação.

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Eleonora Vasconcellos pela oportunidade de desenvolvimento deste trabalho e por todas as discussões, sugestões e incentivos que fizeram esta investigação se tornar ainda mais estimulante. Agradeço também pela sua orientação durante minha pesquisa de iniciação científica, sem a qual eu dificilmente estaria estudando hoje este fascinante tema que é a geologia da Província Magmática do Paraná.

Agradeço ao meu coorientador Dr. Otavio Licht, não só por toda a bagagem científica compartilhada, mas também pela oportunidade de convivência e intensa aprendizagem durante os anos de estágio na Mineropar.

Aos meus pais, pelo incentivo desde o primeiro momento em que cogitei ingressar nesta carreira tão apaixonante.

Por fim, agradeço a todos os amigos estudantes de geologia, com quem pude partilhar momentos únicos, particulares àqueles que jamais se deixam perder para as inúmeras pedras no caminho.

RESUMO

Na Província Magmática do Paraná aflorante no norte do estado Paraná ocorrem diversas camadas de rochas interderrames e depósitos vulcanoclásticos máficos, que incluem litotipos muito diversos ricos em fragmentos basálticos. Utilizando-se um banco de dados de descrições de afloramentos do Serviço Geológico do Paraná – Mineropar (atual ITCG – Instituto de Terras, Cartografia e Geologia), objetivou-se a descrição e a classificação de algumas ocorrências selecionadas de rochas interderrames, incluindo os depósitos de Sertanópolis, Cornélio Procópio e Bandeirantes no Paraná. O estudo de afloramentos e a micropetrografia de 27 seções delgadas permitiram a distinção de 11 litofácies interderrames generalizadas. Destas, duas são brechas basálticas oligomíticas sustentadas por clastos que frequentemente gradam para rochas sedimentares interderrames. Estas fácies comumente apresentam domínios ígneos de geometria original preservada que sugerem correlação com derrames adjacentes, sendo interpretadas como peperitos e brechas autoclásticas. Foram descritas outras duas fácies de brechas basálticas clasto a matriz-sustentadas, com matriz laminada de cinza rica em cristaloclastos angulosos de quartzo e *shards* de sideromelano cuspidos, com quantidades de clastos cristalinos de augita subédricos a euédricos. Estas brechas foram interpretadas como produtos de processos hidrovulcânicos explosivos, depositados a partir de queda ou fluxo piroclásticos. Considerações semelhantes foram feitas a respeito de fácies de tufo-brecha e *lapilli*-tufo mal selecionados, ricos em *shards* e clastos líticos de basalto, bem como fácies de tufo de seleção moderada a boa, maciços ou laminados. Estes últimos comumente apresentam textura eutaxítica caracterizada pela orientação de *shards* alongados, cristaloclastos de feldspato e clastos líticos argilosos, sendo entendidos como depósitos de fluxo piroclástico. Por fim, foram descritas três fácies de rochas sedimentares com quantidades pouco expressivas de clastos líticos e vítreos basálticos, associados a interferência localizada de processos piroclásticos ou a transporte e erosão supergênicos de fragmentos vulcanoclásticos.

Palavras chave: depósitos vulcanoclásticos máficos, Província Magmática do Paraná, rochas piroclásticas.

ABSTRACT

In the northern Paraná state, many volcanoclastic and sedimentary beds intercalated with basaltic lava flows of the Paraná Magmatic Province are exposed. From a database of field geological descriptions from the Paraná Geological Survey, some occurrences of mafic volcanoclastic deposits (MVDs) - like the ones in Sertanópolis, Cornélio Procopio and Bandeirantes - were selected for further investigation, concerning their probable emplacement or deposition mechanisms. Following the field characterization of outcrops relative to these MVDs and description of twenty-seven petrographic thin sections, eleven facies of volcanoclastic and sedimentary rocks were defined. These include two facies of clast-supported oligomictic basaltic breccias that frequently grade into sedimentary facies. These breccias commonly have preserved igneous domains that relate them to adjacent lava flows, therefore being interpreted as peperites and autoclastic breccias. Two other facies of basaltic breccias include very poorly sorted clast to matrix supported rocks, with bedded ash matrix rich in angular quartz fragments and cusped sideromelane shards, with lesser quantities of euhedral to subhedral augite crystals. These breccias were in contrast interpreted as products of explosive hydrovolcanism, and subaqueous to subaerial deposition by pyroclastic falls or flows. Similar conclusions were drawn from tuff-breccia and *lapilli* tuff facies, which are also poorly sorted, rich in glass shards and basaltic lithics - as well as from moderately to well sorted massive or bedded tuffs. These, in turn, commonly feature eutaxitic texture characterized by the alignment of elongated shards, feldspar crystals and altered muddy lithics, being thus interpreted as products of pyroclastic flows. Lastly, three facies of sedimentary rocks were defined. Some of these may show lesser amounts of lithic and vitric basaltic fragments, derived from simultaneous and localized interference of pyroclastic deposition or epiclastic accumulations of weathered volcanic fragments.

Keywords: mafic volcanoclastic deposits, Paraná Magmatic Province, pyroclastic rocks.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT	v
SUMÁRIO.....	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos.....	2
1.2 Localização da área de estudo	3
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	4
2.1 Etapa de campo e coleta de amostras.....	4
2.2 Estudo de fácies e petrografia	4
3 GEOLOGIA REGIONAL	5
3.1 Camadas interderrames e depósitos vulcanoclásticos máficos (MVDs) na Província Magmática do Paraná.....	10
4 RESULTADOS	16
4.1 Estudo de fácies e petrografia de rochas interderrames.....	16
4.1.1 Bmm - Brecha oligomítica basáltica maciça.....	17
4.1.2 Bmm(t) – Brecha oligomítica de topo de derrame laminada	19
4.1.3 Blg - Brecha basáltica com matriz com laminação gradacional	20
4.1.4 Bs(f) - Brecha com estratificação plano-paralela e <i>fiammes</i>	25
4.1.5 Tbm - Tufo-brecha maciço	28
4.1.6 Ltm – <i>Lapilli</i> -tufo maciço.....	28
4.1.7 Tm – Tufo médio a fino maciço	30
4.1.8 Ts - Tufo fino bem selecionado	32
4.1.9 Atc - Arenito com níveis de tufo	34
4.1.10 Ac – Arenito fino com estratificações cruzadas.....	35
4.1.11 Rlg - Ritmito lamo-arenoso gradacional	36
4.2 Exemplos de campo de camadas interderrames e MVDs	37
5 DISCUSSÕES.....	48

5.1 Rochas piroclásticas	54
5.2 Outras rochas vulcanoclásticas primárias.....	61
5.3 Rochas sedimentares ou epiclásticas.....	62
6 CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS.....	65
APÊNDICES.....	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapa de localização das cidades de Sertãoópolis, Cornélio Procópio e Bandeirantes no Paraná, onde foram descritos alguns dos principais afloramentos relativos a este estudo.	4
Figura 3.1: Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná, com ênfase para conjuntos litológicos da PMP. Fonte: Licht (2016).	6
Figura 3.2: Perfil geológico da PMP, utilizando a quimioestratigrafia de Peate (1997), além de isócronas construídas a partir de uma série de dados geocronológicos, citados por Rosseti <i>et al.</i> (2017). Adaptado do mesmo artigo.	8
Figura 3.3: Esquema representativo dos critérios estatísticos que definem cada subpopulação e quantidade de amostras em cada tipo, traduzido de Licht (2016).	9
Figura 3.4: Perfil químico e cronoestratigráfico das subprovíncias Centro-Norte e Sul segundo Licht (2016).	10
Figura 3.5: Resumo de feições características de MVDs encontradas em várias LIPs no mundo (Ross <i>et al.</i> , 2005).	12
Figura 3.6: Principais formas de ocorrência de MVDs nas diversas LIPs basálticas do mundo segundo Ross <i>et al.</i> (2005).	14
Figura 4.1: Afloramento da fácies Bmm, superfície de topo de derrame <i>pahoehoe</i> fragmentada com arranjo original parcialmente preservado. Clastos cinza escuros com bordas alaranjadas são do derrame superior (DS). Afloramento OL 3169, pedreira em Bandeirantes.	18
Figura 4.2: <i>Lapilli</i> lítico basáltico (LBst) com sideromelano, <i>shards</i> finos de sideromelano (Sh) imersos em matriz siliciclástica maciça, que apresenta vesículas com zeólitas fibrorradiadas (Zlt), amostra OL 3169-B. Fotomicrografia em nicóis paralelos (A) e em nicóis cruzados (B).	19
Figura 4.3: Base de uma camada de brecha basáltica da fácies Bmm(t), com menos de 10% de matriz intersticial. Afloramento OL 3890/LV-7.	20
Figura 4.4: Domínios de cinza mal selecionados e imaturos da matriz da amostra LV-7G, ricos em quartzo anguloso (Qtz), <i>shards</i> (Sh), minerais micáceos (Bt e Msc) e augita (Aug). Notar ainda vesícula preenchida por zeólitas no canto direito da imagem (Zlt). Fotomicrografia em nicóis paralelos (A) e cruzados (B).	21
Figura 4.5: Matriz da amostra LV-7G, com litoclasto de argilito associado a sericita muito fina (LArg), além de cristais de biotita e mica branca (Bt e Msc) de granulação equivalente a areia fina imersos em domínio quartzoso. Fotomicrografia de nicóis cruzados.	22
Figura 4.6: Clastos líticos de basalto (LBst) em contraste granulométrico com restante dos domínios ricos em cinza mais fina, com <i>shards</i> de sideromelano (Sh), cristaloclastos de quartzo, augita (Aug) e micáceos. Matriz da amostra LV 18B. Fotomicrografia em nicóis paralelos (A) e cruzados (B).	23
Figura 4.7: Laminação gradacional normal da matriz da amostra LV-7A, com concentração de micas mais grossas na transição entre as frações equivalentes a areia e argila. Fotomicrografia em nicóis cruzados.	24
Figura 4.8: Matriz imatura de seleção moderada com laminação gradacional da amostra LV-18B, de arranjo interrompido e perturbado por litoclasto basáltico de granulação <i>lapilli</i> . Fotomicrografia em nicóis paralelos.	25
Figura 4.9: Cristaloclastos de granulação cinza fina, incluindo feldspato com borda de mica (Fdsp). Na borda superior da imagem, <i>shard</i> cloritizado (Sh). Fotomicrografias em nicóis paralelos (A) e cruzados (B).	26

Figura 4.10: Matriz rica em <i>shards</i> alongados alterados (Sh), feldspatos (Fdsp) e litoclastos argilosos (LArg) da amostra LV-15C. Fotomicrografias em nicóis paralelos (A) e cruzados (B).	27
Figura 4.11: <i>Shards</i> de vidro alaranjado translúcido alterados para sílica fina, imersos em matriz argilosa da amostra OL 4320-2. Fotomicrografias em nicóis paralelos (A) e cruzados (B).	28
Figura 4.12: <i>Shards</i> de sideromelano e taquilito em quantidades expressivas, próximas a 50% da matriz da amostra OL 3727-B. Fotomicrografia em nicóis paralelos.	29
Figura 4.13: Amostra de <i>lapilli</i> -tufo do afloramento LV-06, depósito de Mandaguari.	30
Figura 4.14: Tufo maciço avermelhado em camada decimétrica do afloramento LV-05.	31
Figura 4.15: A) Agregados ameboides de argila castanha escura da amostra LV-05. Fotomicrografia em nicóis paralelos. B) Veio preenchido por duas gerações de zeolitas cortando matriz da amostra LV-05, fotomicrografia de nicóis cruzados.	31
Figura 4.16: Estratificações cruzadas de baixo ângulo onduladas, afloramento LV-16.	32
Figura 4.17: Textura eutaxítica configurada pela orientação de clastos vítreos cuspidados (Sh) e <i>shards</i> argilizados, amostra LV 16D. Nicóis paralelos.	33
Figura 4.18: Base de uma lâmina gradacional normal com <i>shards</i> cloritizados ou de taquilito não orientados, mais esféricos. Amostra OL 4320-3b, fotomicrografia em nicóis paralelos.	34
Figura 4.19: Litoclasto alterado imerso em matriz de quartzo arenoso bem selecionado, amostra OL 3675-B.	35
Figura 4.20: Contatos poligonais entre grãos de quartzo do acabamento da amostra OL 3752, fácies Ac.	36
Figura 4.21: Laminação gradacional normal, com variação exponencial da granulação e da espessura, amostra OL 4314-3.	37
Figura 4.22: Brecha da fácies Bmm(t) sobre derrame <i>rubby pahoehoe</i> com interstícios preenchidos por matriz na base, gradando para brecha da fácies Bmm no topo. Arranjo passa de granodecrescente para granocrescente após o contato, marcado pela variação de cor, onde o martelo está posicionado.	39
Figura 4.23 : Visão em planta da brecha basáltica matriz-sustentada V2, afloramento OL 3890/LV-7. Matriz avermelhada siclioclástica com laminação plano-paralela. Fácies Blg.	40
Figura 4.24: Contato entre tufo (abaixo) e basalto (acima) do topo da sequência interderrame, ponto OL 3890 ou LV-7 (amostra LV-7I).	41
Figura 4.25: Imagem do <i>World Imagery</i> – ArcGIS, com localização dos 5 pontos de rochas vulcanoclásticas de Sertãoópolis. Em vermelho, quebra de relevo possivelmente associada ao afloramento do depósito interderrame.	42
Figura 4.26: Contato (linha tracejada branca) entre basalto e brecha da fácies Bmm(t) (abaixo) com brecha V2 da fácies Bs(f).	43
Figura 4.27: Matriz laminada em contato com blocos maciços a vesiculares de basalto da brecha V1, fácies Bs(f). Afloramento OL 3802/LV-15.	44
Figura 4.28: Contato mergulhante entre brechas V1 e V2 da fácies Bs(f) no afloramento OL 3802/LV-15.	45

Figura 4.29: Imagem do <i>World Imagery</i> – <i>ArcGis</i> com os 4 afloramentos de rochas vulcanoclásticas próximos a Cornélio Procópio.	46
Figura 4.30: Vista em planta da superfície cordada de topo do basalto da unidade inferior A, ponto OL 3169.....	47
Figura 4.31: Feições de interação entre lobos de basalto e material siliciclástico (sedimento) em brecha da fácies Bmm. Notar fraturamento hidráulico e bordas de reação alaranjadas nos domínios ígneos do derrame superior (cinza escuros, clastos fluidais) e inferior (castanhos e avermelhados, clastos angulosos) Ponto OL 3169.	48
Figura 5.1: Modelo simplificado e idealizado de formação de peperitos a partir de interação entre a base de um derrame e sedimentos inconsolidados.	56
Figura 5.2: Modelo de geração de peperitos a partir de interação entre derrames e sedimentos secos, envolvendo mistura complexa de <i>grain flows</i> e ressedimentação por gravidade de fragmentos autoclásticos. Fonte: Jerram e Stollhofen (2002).....	57

1 INTRODUÇÃO

Na porção setentrional da Plataforma Continental Sul-Americana (Almeida, 1986; Almeida *et al.*, 2000) com uma área de cerca de 1 milhão de km² distribuídos desde o sudeste brasileiro até o Uruguai e Paraguai, está situada a Província Magmática do Paraná (PMP), uma das maiores Grandes Províncias Ígneas ou LIPs basálticas (*sensu* Coffin e Eldholm, 1994) do planeta (Piccirillo e Melfi, 1988; Peate, 1989, 1997; Machado *et al.* 2007; entre outros). A Província Magmática do Paraná - que na África Ocidental encontra correlação com a Província Etendeka (Erlank *et al.*, 1984; Peate, 1997) - é um testemunho notável da abertura do Atlântico Sul durante a quebra do Pangea no Eocretáceo, e resultado de um dos maiores episódios vulcânicos continentais basálticos conhecidos no planeta. O arcabouço litológico e vulcanológico da PMP (que vem sendo informalmente denominada Grupo Serra Geral) vem intrigando geocientistas desde o final do século XIX e início do XX, época do advento do interesse pelo substrato dos planaltos interiores da Bacia do Paraná e, por consequência, pelo “*plateau* Triássico” que o recobria (Oliveira, 1916).

Desta época até os dias atuais, inúmeros autores ajudaram a estabelecer as fundações do conhecimento acerca da província, definindo alguns dos conceitos que possibilitaram o início do entendimento da sua geologia. No entanto, é certo que ainda existem muitas dúvidas sobre a província, o que se deve em especial à sua grande extensão (próxima a dos estados do Sudeste e do Sul brasileiros juntos), espessura (1722 metros no poço mais profundo, em Cuiabá Paulista) e à sua notável variedade litológica, comumente subestimada.

Nos estudos modernos mais importantes acerca da geologia regional da Província Magmática do Paraná, realizados à luz da teoria da tectônica de placas ou tectônica global, observa-se a predominância de assuntos que envolvem principalmente os aspectos físicos dos produtos vulcânicos extrusivos da PMP, a tipologia geoquímica da província e também seu posicionamento geocronológico, temas estes que têm se renovado continuamente, adaptando-se a uma miríade de novos dados, hipóteses e métodos cada vez mais refinados (Thiede e Vasconcellos, 2010; Lima *et al.* 2012; Rocha-Júnior *et al.*, 2013; Machado *et al.*, 2015; Barreto *et al.*, 2016; Licht, 2016; entre outros). Resultado da convergência destas vertentes de pesquisa, há um tema de grande complexidade resolutive, considerado um dos objetivos essenciais das futuras investigações geológicas na província. Trata-se da

organização litoestratigráfica e cartografia geológica da PMP - assuntos que, embora já tratados em alguma escala no passado, passaram a ser abordados de maneira sistemática e detalhada apenas nos tempos recentes.

Há um objeto de estudo em especial que pode auxiliar consideravelmente na caracterização estratigráfica da PMP, e que apenas recentemente passou a ser devidamente contemplado pelas investigações geológicas a seu respeito. É o caso das camadas ou níveis de rochas compreendidos entre os derrames vulcânicos – ou simplesmente camadas interderrames –, que incluem litofácies diversas, vulcanogênicas, piroclásticas e sedimentares. A existência destas camadas é mencionada já nos pioneiros trabalhos de autores como White (1908), Oliveira (1916) e Washburne (1930). Àquela época, foram apresentadas algumas hipóteses bastante avançadas quanto aos processos que poderiam ter produzido tais rochas, sendo sugeridos, por alguns autores, até processos piroclásticos (Guimarães, 1933; Azambuja Jr., 1943).

No entanto, desde a publicação desses trabalhos, assuntos relativos às ocorrências de rochas interderrames e à litoestratigrafia da PMP perderam espaço na literatura científica, tendo sido favorecida a pesquisa mais voltada ao entendimento da petrogênese vulcânica relacionada a esse grande evento magmático. Por mais que tais assuntos tenham sido retomados na última década por alguns pesquisadores (Waichel *et al.*, 2007; Luchetti *et al.*, 2014; Machado *et al.*, 2015; Riccomini *et al.*, 2016; Rossetti *et al.*, 2017; entre outros) faltam ainda propostas de caracterização e delimitação formal das camadas interderrames, cuja relevância em expressão física pode, inclusive, praticamente se equiparar à das camadas de derrames básicos. É importante reiterar também que a investigação dessas ocorrências certamente assistirá na compreensão dos processos magmáticos e sedimentares atuantes durante a evolução da PMP, sem a qual não pode ser elaborada uma proposta de divisão litoestratigráfica formal eficiente.

1.1 Objetivos

Para contribuir com a construção do conhecimento acerca do tema exposto, e tendo em vista a disponibilidade de um grande volume de dados de campo e amostras coletados durante a realização do projeto de mapeamento do Grupo Serra Geral pelo Serviço Geológico do Paraná - Mineropar (atual ITCG – Instituto de

Terras, Cartografia e Geologia do Paraná) almejou-se, durante este trabalho, a investigação e avaliação de características composicionais e faciológicas de rochas interderrames da PMP no norte do estado do Paraná, contemplando a integração de dados petrográficos de lâminas, amostras macroscópicas e afloramentos.

Assim, o objetivo principal desta pesquisa foi a caracterização detalhada de aspectos texturais, composicionais e estruturais de algumas ocorrências de rochas interderrames, bem como a discussão dos significados petrológicos de tais feições. Espera-se ainda que este estudo possa servir como um complemento em futuras propostas de organização litoestratigrafia das unidades que afloram na PMP na região de estudo, objetivo este que vai além da proposta deste trabalho.

Para se atingir o objetivo principal deste estudo foram utilizados, portanto, os dados obtidos em campanhas de mapeamento da PMP pela antiga Mineropar. Durante esta pesquisa, foram utilizados dados relativos à porção a norte do Arco de Ponta Grossa (Bloco Norte no sentido de Licht, 2016), que apresenta ocorrências interderrames ainda não tão bem caracterizadas quanto na porção sul, como o depósito vulcanoclástico máfico de Sertanópolis, o depósito de Cornélio Procópio, e o depósito de Mandaguari.

1.2 Localização da área de estudo

A região em que foi desenvolvido este estudo abrange o norte do estado do Paraná, no Terceiro Planalto Paranaense. Os principais depósitos estudados estão situados em um eixo entre as cidades de Bela Vista do Paraíso e Bandeirantes, trajeto que pode ser feito pelas estradas PR-090, PR-323 (atravessando o Rio Tibagi), PR-160 e BR-369 (Figura 1.1). Além disso, foram utilizados dados pertinentes a várias etapas de campo baseadas em outras cidades da região norte do estado.

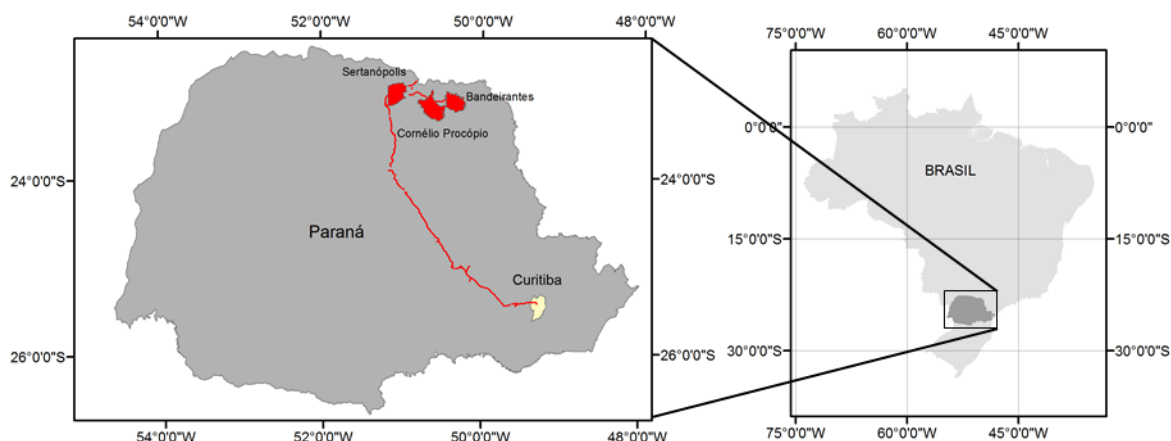


Figura 1.1: Mapa de localização das cidades de Sertãoópolis, Cornélio Procópio e Bandeirantes no Paraná, onde foram descritos alguns dos principais afloramentos relativos a este estudo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Etapa de campo e coleta de amostras

Foi realizada uma etapa de campo de cinco dias, durante a semana entre 7 e 11 de agosto de 2017, na qual foram descritos 17 afloramentos referentes aos depósitos interderrames de Mandaguari, Sertãoópolis, Cornélio Procópio e também a pedreira municipal de Bandeirantes. Nesta etapa, foram refinadas as descrições macroscópicas e a interpretação estratigráfica das camadas interderrames. O objetivo principal, porém, foi a coleta de amostras para confecção de lâminas petrográficas. Destas lâminas, 11 foram incluídas neste estudo, além de outras pré-existentes referentes a estes mesmos depósitos.

2.2 Estudo de fácies e petrografia

Para a integração de dados petrográficos, foi utilizado um banco de dados que inclui descrições de afloramentos no norte do Paraná, com cerca de 110 ocorrências de camadas interderrames - em sua maioria com amostras macroscópicas coletadas -, e 30 lâminas delgadas descritas. Destas, 16 foram incluídas neste estudo. Este material foi produzido ao longo do projeto de mapeamento do Grupo Serra Geral em escala 1:650000 realizado pela Mineropar (atual ITCG), que foi iniciado em 2004 e continua em atividade. Ademais, além deste banco de dados pré-existente, foram utilizadas 42 amostras e 11 lâminas inéditas, obtidas a partir da etapa de campo efetuada em agosto no norte do Paraná. As

lâminas relativas a esta atividade de campo foram confeccionadas no LAMIR- UFPR (Laboratório de Minerais e Rochas).

A análise petrográfica destes dados multiescalares foi feita com base em propostas consolidadas de caracterização e classificação faciológica e petrográfica de rochas vulcanoclásticas, sedimentares e vulcânicas, como as presentes em Fisher e Schminke (1984), Cas e Wright (1987), Walker (1992), Reading (1996), Tucker (2001) e outros, devido à necessidade de se diferenciar com clareza os produtos vulcanoclásticos primários (*sensu* White e Houghton, 2006), epiclásticos e sedimentares que podem eventualmente ser confundidos entre si.

Durante a etapa de descrição petrográfica ao microscópio de luz transmitida, foram utilizados os vários microscópios disponíveis nos laboratórios do Departamento de Geologia da UFPR, entre eles o LAPEM (Laboratório de Pesquisa em Microscopia) e o LAMIR. A obtenção de imagens fotomicrográficas também foi realizada no LAPEM, com o equipamento DinoCapture e câmera acoplada ao microscópio petrográfico Leica (modelo DFC-295).

3 GEOLOGIA REGIONAL

A Província Magmática do Paraná (PMP) é um extenso sistema de rochas vulcanogênicas extrusivas e intrusivas básicas, intermediárias e ácidas, colocadas sobre e entre rochas sedimentares da Bacia do Paraná durante o Eocretáceo. A bacia cobre parte considerável das porções sul e sudeste do Brasil, englobando ainda partes de países vizinhos como Argentina, Uruguai e Paraguai (Piccirillo e Melfi, 1988; Peate, 1997; Marques e Ernesto, 2004; Machado *et al.*, 2007; Machado, 2009, entre outros).

Os litotipos extrusivos básicos que constituem a maior parte da PMP ocupam uma área de cerca de 1 milhão de km² e um volume aproximado de 600000 km³ (Frank *et al.*, 2009), recobrando parte considerável das unidades da Bacia do Paraná, em especial as de idade mesozoica, agrupadas na supersequência Gondwana III de Milani (1997) e Milani *et al.* (2007), como a formação Botucatu (Figura 3.1).

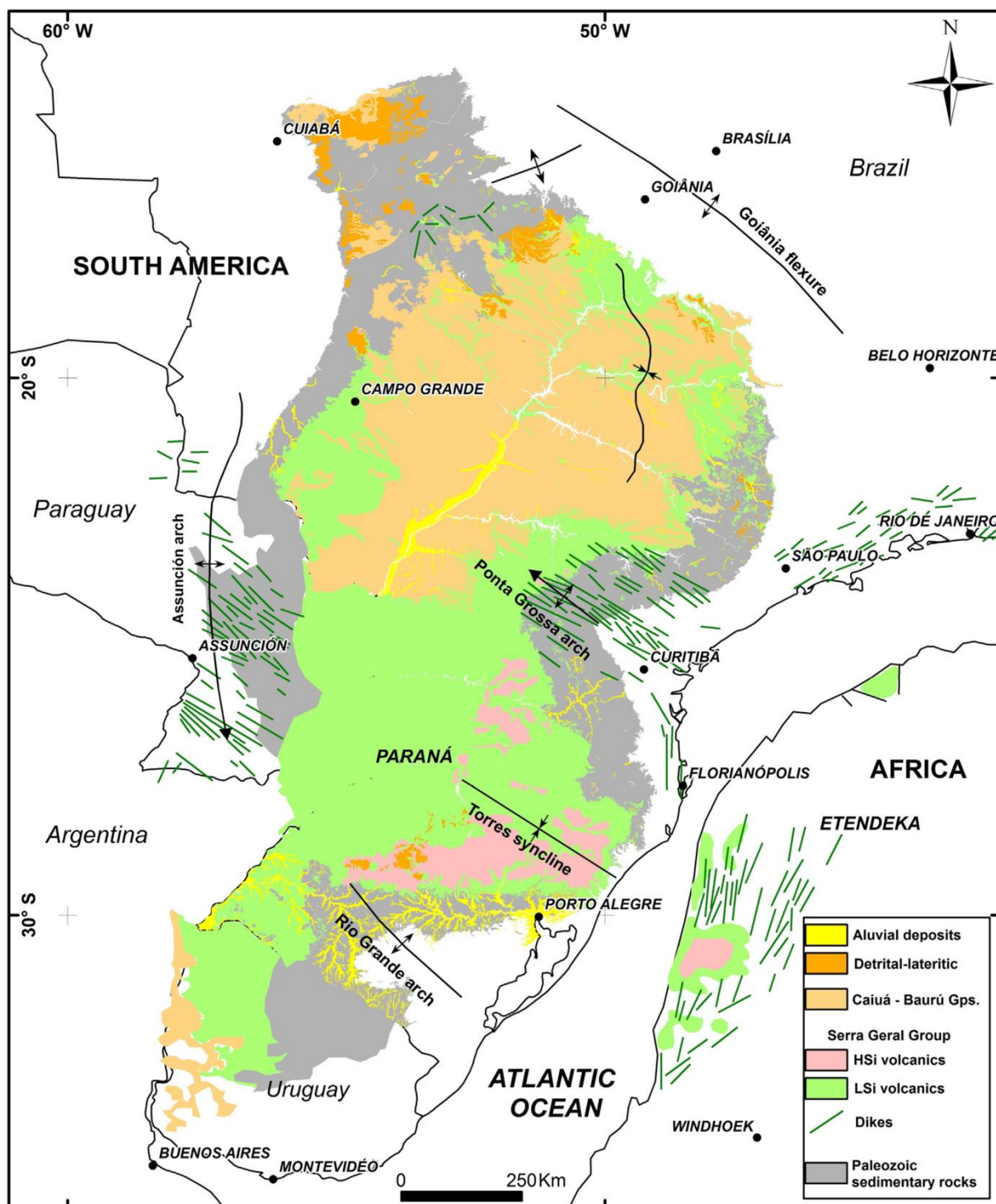


Figura 3.1: Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná, com ênfase para conjuntos litológicos da PMP. Fonte: Licht (2016).

A cronoestratigrafia da província é uma questão que, assim como sua tipologia geoquímica, vem passando por importantes revisões e inovações. De maneira geral, resultados obtidos por métodos distintos em épocas distintas indicam que os derrames básicos podem ter se formado entre 140 e 130 Ma (Stewart *et al.*, 1994; Mantovani *et al.*, 1995; Turner *et al.*, 1996) ou até tão rapidamente quanto em

1 a 2 Ma, com paroxismo próximo de 135 Ma (Renne *et al.*, 1992; Thiede & Vasconcellos, 2010), enquanto que dados recentes sugerem que algumas dessas idades podem apresentar alguns problemas analíticos que reforçam os valores obtidos por Renne *et al.* (1992) conforme sugerido por Baksi (2017). Apesar disto, deve-se ressaltar que quaisquer idades obtidas são controladas por limites cronoestratigráficos e isócronas cujas disposições estão sujeitas ainda a discussões.

No que concerne à quimioestratigrafia e à evolução magmática da província, algumas propostas importantes devem ser citadas. Conforme mencionado no parágrafo anterior, o modelo tradicional mais utilizado envolve os oito magmas tipo definidos a partir limites relativamente arbitrários nos teores de SiO₂, TiO₂, P₂O₅, Zr, Y e Sr, propostos por Peate (1989, 1997) e Peate *et al.* (1992), em continuidade com a proposta de trabalhos como Mantovani *et al.* (1988) e Piccirillo *et al.* (1988). Na proposta de Peate *et al.* (1992), que é utilizada até hoje, há dois grandes grupos de rochas ácidas (com dois magmas-tipo) e básicas (com seis magmas-tipo). As rochas básicas, que eram previamente divididas em dois grandes grupos de teores altos (>2%) e baixos (<2%) de TiO₂, passaram a ser divididas em três magmas tipo dentro de cada grupo, separados com base em intervalos nos teores de SiO₂, TiO₂, P₂O₅, Zr, Sr, Y, e Ba que apresentam certas sobreposições nos seus valores e que vão além da divisão anterior com base no limite de 2% para TiO₂ (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Resumo dos critérios de classificação dos magmas-tipo básicos de Peate *et al.* (1992).

	"Baixo" TiO ₂			"Alto" TiO ₂		
	Gramado	Esmeralda	Ribeira	Paranapanema	Pitanga	Urubici
SiO ₂	49 - 60	48 - 55	49 - 52	48 - 53	> 47	> 49
TiO ₂	0,7 - 2	1,1 - 2,3	1,5 - 2,3	1,7 - 3,2	> 2,8	> 3,3
P ₂ O ₅	0,05 - 0,4	0,1 - 0,35	0,15 - 0,50	0,2 - 0,8	> 0,35	> 0,45
Sr (ppm)	140 - 400	< 250	200 - 375	200 - 450	> 350	> 550
Ba (ppm)	100 - 700	90 - 400	200 - 600	200 - 650	> 200	> 500
Zr (ppm)	65 - 275	65 - 210	100 - 200	120 - 250	> 200	> 250
Ti/Zr	< 70	> 60	> 65	> 65	> 60	> 57
Ti/Y	< 330	< 330	> 300	> 350	> 350	> 500
Zr/Y	3,5 - 6,5	2,0 - 5,0	3,5 - 7	4,0 - 7,0	> 5,5	> 6,5
Sr/Y	< 13	< 9	5,0 - 17	4,5 - 15	> 8	> 14
Ba/Y	< 19	< 12	6,0 - 19	5,0 - 19	> 9	> 14

Em trabalhos recentes, interpretações da evolução do magmatismo da PMP têm se baseado na união da proposta quimioestratigráfica de Peate (1989) e Peate *et al.* (1992) com as idades obtidas por autores como Renne *et al.* (1992), Thiede e Vasconcellos (2010) e Baksi (2017), que sugerem rápido extravasamento do material vulcânico e migração do magmatismo de sul para norte, com uma tendência de enriquecimento em Ti relacionado aos basaltos dos magmas tipo Ribeira, Pitanga e Paranapanema, que recobrem os tipos de baixo Ti aflorantes a sul (Figura 3.2). Esta organização é, em grande parte, possibilitada pela ideia de que os limites entre os magmas tipo devem se aproximar consideravelmente aos limites estratigráficos físicos entre episódios ou sequências vulcânicas da PMP (Peate *et al.* 1992).

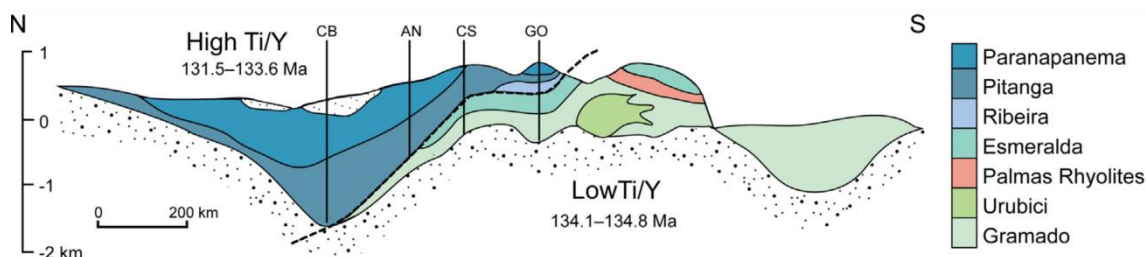


Figura 3.2: Perfil geológico da PMP, utilizando a quimioestratigrafia de Peate (1997), além de isócronas construídas a partir de uma série de dados geocronológicos, citados por Rosseti *et al.* (2017). Adaptado do mesmo artigo.

Em um segundo momento, ao efetuar uma tentativa de classificação de um número considerável de amostras (4895) de basaltos da PMP a partir da proposta supracitada, Licht (2016) relatam uma taxa de sucesso de apenas 53%, devido a problemas como as sobreposições entre os critérios para a classificação por etapas estabelecidos por Peate *et al.* (1992), definidos a partir de um número menor de amostras. Neste contexto, Licht e Arioli (2012), Licht e Lima (2014), Licht (2016) e Gomes *et al.* (2016) propõem uma análise geoquímica a partir da estatística de diversos elementos e suas combinações, entre os quais mantém-se a importância dos teores de SiO_2 , TiO_2 , P_2O_5 e Zr. A principal diferença, no entanto, é que as subpopulações (modas) definidas pelas amostras foram separadas por *gaps* naturais e não por limites arbitrários. Estes limites naturais foram então utilizados para separar 16 combinações de subpopulações associadas a baixos e altos valores dos quatro elementos, como pode ser observado na figura a seguir.

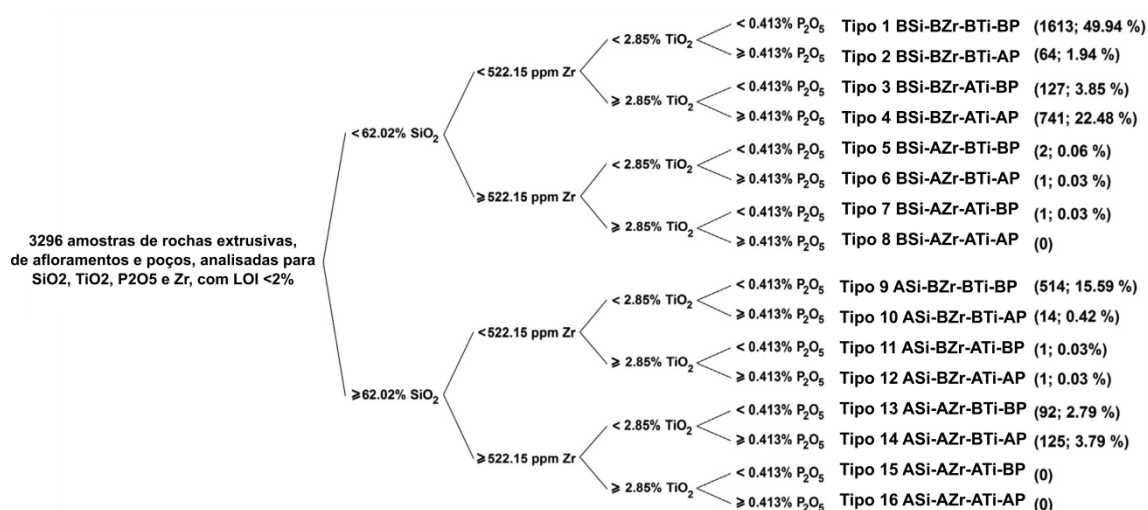


Figura 3.3: Esquema representativo dos critérios estatísticos que definem cada subpopulação e quantidade de amostras em cada tipo, traduzido de Licht (2016).

Das 16 associações, apenas 7 são consideradas representativas de tipos geoquímicos reais de rochas, enquanto que as restantes são apenas estatísticas e geoquimicamente impossíveis (como o tipo 8, com BSi-AZr-ATi-AP), tipos extremamente raros ou mesmo erros analíticos. As 4 associações de baixa sílica (SiO₂ <62,02%) principais são os tipos 1, 2, 3 e 4, enquanto que as rochas de alta sílica são classificadas nos tipos 9, 13 e 14 (Figura 3.3).

A partir desta análise estatística, Licht (2016) e Gomes *et al.* (2016) propõem um modelo quimioestratigráfico consideravelmente distinto daquele apresentado anteriormente para a Província Magmática do Paraná. Este modelo considera a existência de duas subprovíncias, resultado de dois focos de magmatismo atuantes em momentos e posições inicialmente distintos, hipótese semelhante às ideias tratadas em Rüegg (1970) e Bellieni *et al.* (1984). Com a eventual sobreposição das lavas, gerou-se o padrão de empilhamento das lavas de baixo Ti (tipo 1 CN, *sensu* Licht, 2016) na província centro-norte sobre as de alto Ti (tipo 4), que por sua vez recobriram as lavas de baixo Ti da subprovíncia sul (Figura 3.4). Cabe reiterar que no modelo de Licht (2016) e Gomes *et al.* (2016), é possível que as idades que sugerem que a maior parte do vulcanismo ocorreu próximo a 135 Ma e num intervalo de 1 Ma (como em Thiede e Vasconcellos, 2010) tenham sido obtidas em posições/horizontes estratigráficos próximos, o que difere da interpretação

favorecida pela análise à luz do modelo tradicional de Mantovani *et al.* (1988), Peate (1989) e Peate *et al.* (1992).

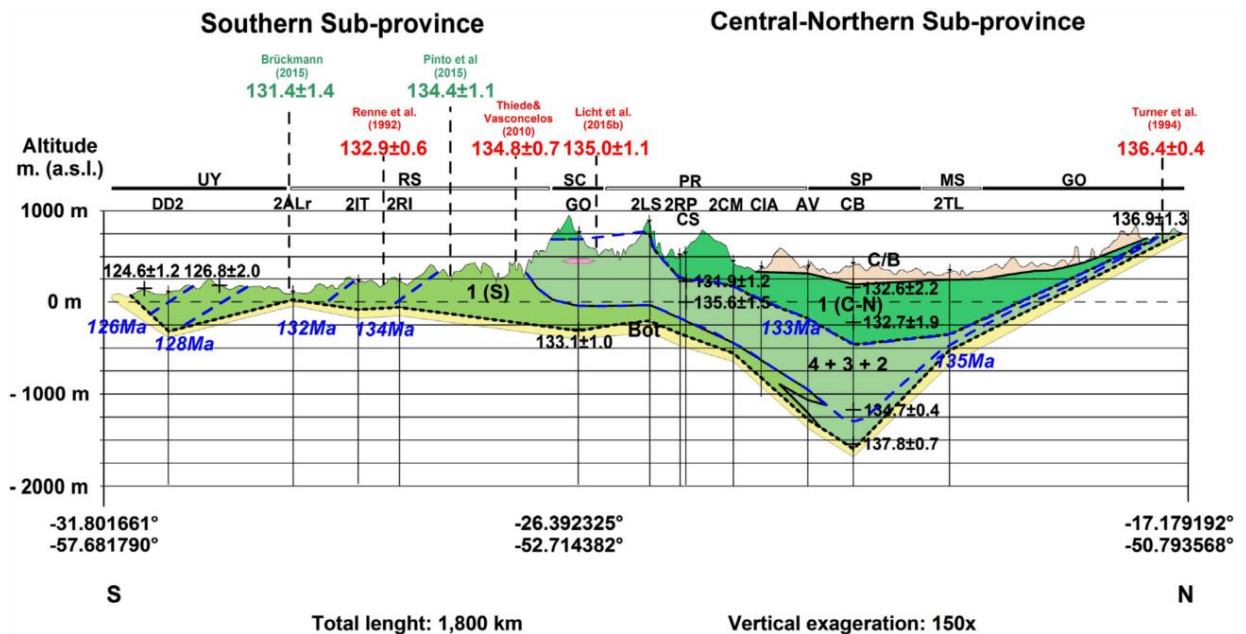


Figura 3.4: Perfil químico e cronoestratigráfico das subprovíncias Centro-Norte e Sul segundo Licht (2016).

A origem do magmatismo também não é tema de consenso na literatura. Enquanto que a correlação com o evento de rifteamento e distensão que deu fim ao Gondwana e abriu o Atlântico Sul é clara, a possibilidade de associação das lavas à ação de uma pluma mantélica (Fodor, 1987) – hipótese interessante para explicar o grande volume de material extravasado – vem sendo revisada nos anos recentes, tendo sido descartada por autores como Marques e Ernesto (2004). Estes autores argumentam que a distância de mais de 1.000 km entre Tristão da Cunha (pluma anteriormente associada ao magmatismo) e a PMP estabelecida em reconstruções paleomagnéticas descartaria tal possibilidade, favorecendo a hipótese de que a região da litosfera continental onde o magmatismo se desenvolveu teria estado quase estacionada sobre uma grande anomalia térmica do manto profundo (ainda remanescente, no oeste da África) entre 180 e 133 Ma.

3.1 Camadas interderrames e depósitos vulcanoclásticos máficos (MVDs) na Província Magmática do Paraná

Pesquisas que citam a existência de camadas interderrames na Província Magmática do Paraná existem na literatura desde o início do século XX (conforme relatado por Licht, 2014). Nas últimas décadas, no entanto, maior ênfase tem sido

dada à tipologia geoquímica e vulcanologia física das lavas produzidas durante este grande evento de magmatismo, de maneira que as muitas ocorrências interderrames comumente são generalizadas como associações de “arenitos eólicos *intertrapps*” da base da sequência vulcânica (Leinz, 1949; Scherer, 2002, Assine *et al.*, 2004), ou ainda a camadas de sedimentos autoclásticos, geneticamente relacionadas exclusivamente à própria efusão de derrames *slabby pahoehoe*, *rubby pahoehoe* e lavas *‘a’ā* (Waichel *et al.*, 2007; Petry *et al.*, 2007; Lima *et al.*, 2012). Explicação semelhante tem sido utilizada também para algumas camadas mais expressivas e espessas de rochas interderrames, que ocorrem principalmente no estado do Paraná e que frequentemente são compostas por brechas basálticas sustentadas por matriz siliciclástica, contando com feições gradacionais, laminadas ou maciças (Licht *et al.*, 2015, Valore *et al.*, 2017). Para classificar litofácies semelhantes a estas, diversos autores vêm fazendo uso do termo *peperito*, em referência a uma rocha formada pela mistura *in situ* produzida pelo fluxo de um derrame sobre sedimentos inconsolidados, úmidos (Waichel *et al.*, 2007) ou até mesmo secos (Jerram e Stollhofen, 2002). A despeito das controvérsias que sobre o termo *peperito* (Cas e Wright, 1987; Göer de Herve, 2000), esta classificação têm sido considerada insuficiente para explicar parte significativa das ocorrências descritas durante o mapeamento da PMP no estado do Paraná (Licht, 2012; Licht e Arioli, 2013).

Buscando entender a conexão existente entre grandes episódios de vulcanismo máfico (LIPs) e extinções em massa durante o Paleozoico, Ross *et al.* (2005) sugeriram que episódios de vulcanismo basáltico explosivo - capazes de afetar consideravelmente os ecossistemas globais (Ukstins Peate *et al.*, 2003) - devem ter sido mais frequentes do que o suposto até então. Ross *et al.* (2005) compilaram dados de várias LIPs de diferentes contextos no mundo, mostrando que depósitos vulcanoclásticos máficos oriundos de eventos explosivos (*mafic volcaniclastic deposits*, ou simplesmente *MVDs*) seriam descritos em todas elas, com exceção da Província Magmática Paraná – Etendeka (Figura 3.5).

	Columbia River	Afro- Arabia	E Greenl.	Ireland+ Skye	North Sea	Deccan	Ontong- Java	Ferrar	Karoo	Siberian	Emeishan	E Pilbara
<i>Observations</i>												
Cumulative MVD thickness locally >100 m	x	x		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Structureless deposits			✓	✓				✓	✓	✓		
Layered deposits	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tuff-breccias and lapilli-tuffs (including 'agglomerates')	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Tuffs	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Non-to poorly-vesicular blocky sideromelane (or former basaltic glass) clasts	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
Vesicular basaltic clasts	✓		✓			✓	✓	✓	✓			rare
Abundant country rock fragments	✓		✓			✓		✓	✓	✓	✓	✓
Quartz grains (ash fraction)			✓					✓	✓			
Presence of accretionary lapilli		✓	✓			✓	✓	✓	✓			✓
<i>Interpretations</i>												
Primary volcanoclastic deposits	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
Reworking syn- or post-volcanism	✓		✓		✓	✓		✓	✓			✓
Vent-filling deposits	✓ ¹			✓		✓		✓	✓			
Phreatomagmatic fragmentation	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
'Magmatic' fragmentation	✓								✓			
Subaerial eruptions	✓		✓	✓			✓	✓	✓			✓
Subaqueous eruptions	✓		✓									
Subaerial deposition	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓		
Subaqueous deposition	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓		✓

✓=present; x=probably absent; left blank=insufficient information available; 1=Asotin craters only; 2=Gronau alkaline tuff.

Figura 3.5: Resumo de feições características de MVDs encontradas em várias LIPs no mundo (Ross *et al.*, 2005).

Segundo os autores, a origem destes fenômenos estaria vinculada principalmente à interação entre o vulcanismo em si e os ambientes afetados por ele, em especial no que se refere à presença de água externa (não magmática) ao sistema vulcânico – isto é, água meteórica, freática ou marinha. Tendo em vista que o vulcanismo basáltico geralmente apresenta pouca explosividade por si só (Fisher e Schminke, 1984), tem sido possível correlacionar satisfatoriamente boa parte dos MVDs primários com atividades explosivas freatomagmáticas com contribuições magmáticas (Ross *et al.*, 2005; White *et al.*, 2009) que teriam produzido diversos tipos de rochas piroclásticas (no sentido de White e Houghton, 2006), que podem ter sido posteriormente retrabalhadas por processos sedimentares (dando origem a rochas epiclásticas). Cabe dizer que, neste caso, o termo *freatomagmatismo* foi utilizado com a intenção de descrever “fenômenos explosivos derivados de *hidrovulcanismo*” de acordo com a definição de Cas e Wright (1987), termo este que

tem a intenção de descrever genericamente a interação entre magma e água externa, subterrânea ou em superfície. Ou seja, dentre as inúmeras possibilidades da interação hidrovulcânica, o freatomagmatismo ou o hidrovulcanismo explosivo seriam então responsáveis por parte considerável da fragmentação de material juvenil e regional que compõem os MVDs nas diversas LIPs basálticas do mundo.

A hipótese mais comumente aceita para explicar explosões originadas pelo hidrovulcanismo é a da interação combustível – refrigerante, ou *fuel – coolant interaction* (FCI, ou ainda *molten fuel-coolant interaction* - MFCI), derivada da engenharia metalúrgica e da ciência dos materiais. A hipótese se baseia no comportamento termodinâmico de um fluido superaquecido, que é uma condição metaestável na qual um fluido como a água permanece líquido mesmo acima do seu ponto de ebulição (Fisher e Schmincke, 1984; Wohletz, 1983, 1986; Cas e Wright, 1987; Zimanowski *et al.*, 2015). Nessa condição, a água pode abruptamente transformar-se em vapor após atingir temperatura superior a da nucleação espontânea de bolhas de vapor (cerca de 590 ° K em pressão atmosférica normal) ou por influência de uma onda de choque como a promovida por um evento sísmico. Essa transição abrupta é responsável por uma rápida expansão do sistema, que está subordinada à pressão confinante, e pode ocorrer em uma taxa explosiva (Wohletz, 1983, 1986; Zimanowski *et al.*, 2015).

No que tange a interação explosiva derivada do hidrovulcanismo, Wohletz (1983, 1986) sugere, a partir de uma série de experimentos e cálculos, que esta é controlada pela razão entre magma e água no sistema e pelo consequente grau de superaquecimento da água. Estas variáveis estão, portanto, diretamente relacionadas à eficiência do sistema explosivo, bem como ao tamanho e ao tipo dos fragmentos e dos depósitos vulcanoclásticos gerados. Para o autor, há um ponto crítico relativo à eficiência de transferência de calor no sistema, em função de uma razão entre massa de água/magma próxima a 0,3.

Para Cas e Wright (1987), as explosões hidrovulcânicas podem ser enquadradas em dois tipos principais, designadas explosões freatomagmáticas e freáticas. Para uma razão água/magma menor que 0,2, considera-se que a quantidade de água seja muito baixa para efetivamente manter ciclos de superaquecimento, de modo que o sistema favorecerá uma explosão magmática comum (caso haja predisposição para tal) ou uma explosão freática. Segundo os

autores, esta explosão freática consiste na ejeção de vapor acompanhado de fragmentos da rocha encaixante, com pouco ou nenhum material lítico juvenil.

No entanto, a eficiência explosiva do sistema é máxima quando a razão é igual ou ligeiramente superior a 0,3, o que possibilita a ocorrência de uma explosão freatomagmática. Essa explosão é caracterizada pela ejeção de material juvenil intensamente fragmentado, podendo eventualmente dar origem a grandes plumas e nuvens piroclásticas, como as descritas em sistemas freatoplinianos, por exemplo (Cas e Wright, 1987; Houghton *et al.*, 2015). Em MVDs, interpreta-se que tanto explosões freáticas quanto freatomagmáticas (além de magmáticas *stricto sensu*), bem como processos autoclásticos e interações não explosivas entre magma, sedimento e água sejam responsáveis pela geração de complexos arranjos estratigráficos dos depósitos vulcanoclásticos (Ross *et al.* 2005; White e Houghton, 2006; White *et al.*, 2009; Houghton *et al.*, 2015) (Figura 3.6).

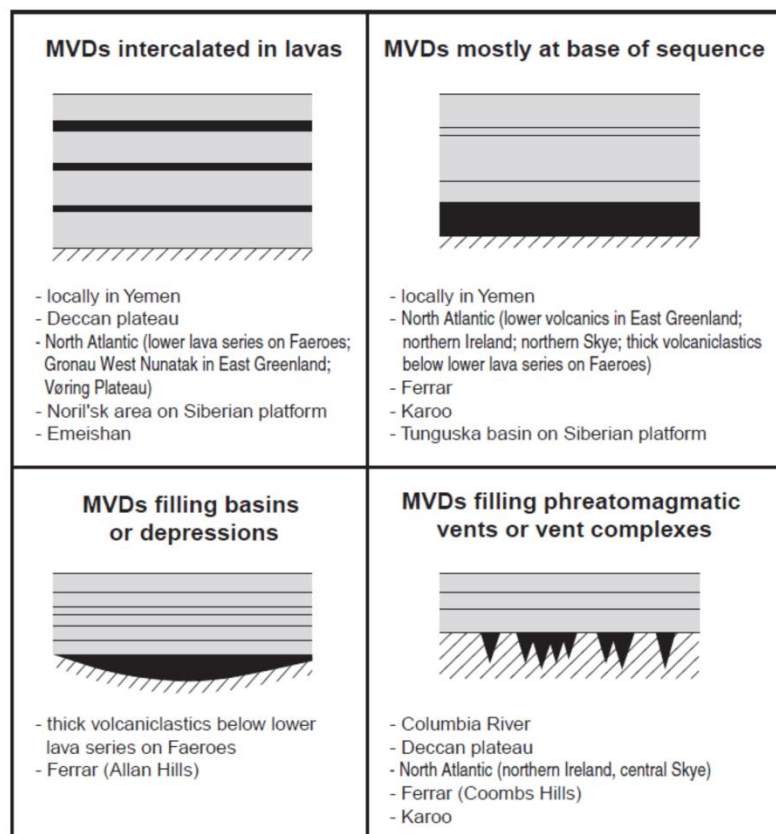


Figura 3.6: Principais formas de ocorrência de MVDs nas diversas LIPs basálticas do mundo segundo Ross *et al.* (2005).

De acordo com autores como Fisher e Schmincke (1984), Cas e Wright (1987), Ross *et al.* (2005), White *et al.* (2009) e Zimanowski *et al.* (2015),

subprodutos e características esperadas em depósitos gerados por hidrovulcanismo explosivo podem incluir, entre outros, a predominância da granulação fina dos clastos juvenis (essencialmente vidro) e dos depósitos em geral (depósitos de cinza), com clastos líticos associados mais grossos (dependendo da granulação e consolidação das encaixantes regionais); deformações penecontemporâneas para transporte em sistemas saturados em vapor; inclusões de clastos acessórios (não juvenis) com pouco metamorfismo termal em *lapilli* e bombas; formação de vários tipos de *lapilli* acrescionário; presença de *shards* angulosos vítreos pouco vesiculados; associação com quantidades expressivas de acessórios líticos ou cristalinos derivados das encaixantes; revestimento interno de vesículas em tufos formado por filmes de clastos finos e revestimento de argila (*mud coating*) em cinza vítrea.

Embora tradicionalmente a PMP tenha sido entendida como uma exceção no tangente à presença *MVDs* (Ross *et al.*, 2005), estudos recentes de diversas camadas interderrames parecem indicar que depósitos vulcanoclásticos máficos derivados de fenômenos freatomagmáticos e hidrovulcânicos (*lato sensu*) são tão possíveis na PMP quanto em outras províncias no mundo (Licht, 2012, Licht *et al.*, 2015, Valore *et al.* 2017).

Além disto, não pode ser negligenciada a presença de litofácies sugestivas de alternância e coexistência entre sistemas de vulcanismo extrusivo do tipo *continental flood* e ambientes deposicionais sedimentares variados, que podem diferir consideravelmente dos tradicionais arenitos eólicos associados tanto à Formação Botucatu em si quanto às camadas interderrames da PMP. Tais litofácies, que incluem camadas de siltitos, arenitos, conglomerados e brechas com estruturas muito diversas podem evidenciar paleoambientes “inusitados” durante fases variadas do magmatismo, associados ao aumento na frequência relativa de processos de deposição subaquosa (Waichel *et al.*, 2007; Luchetti *et al.* 2014; Rosseti *et al.*, 2017) ou mesmo a heterogeneidades do próprio sistema Botucatu à época do início do magmatismo (Machado *et al.* 2015) – de maneira semelhante ao que já havia sido pioneiramente apontado por Guimarães (1933). Como resultado destes controles, é provável que sejam encontrados produtos da interação íntima desses sistemas com as litofácies vulcânicas extrusivas (semelhante ao relatado em

Rosa *et al.*, 2016) – interação que pode ter envolvido complexos processos de retrabalhamento e ressedimentação (Riccomini *et al.*, 2016; Moraes e Seer, 2017).

Em vista disso, a semelhança entre certos aspectos faciológicos e composicionais de MVDs derivados de hidrovulcanismo explosivo e de rochas formadas por outras interações de magma + sedimento $\pm$ água é um fator que dificulta a estimativa da real proporção entre as contribuições dos processos efusivos, explosivos e sedimentares que devem ter atuado durante a construção da PMP. É a partir desta problemática, portanto, que surge a necessidade de trabalhos de caracterização que se ocupem dessas distinções e evitem a simplificação e generalização demasiada das classificações propostas.

4 RESULTADOS

4.1 Estudo de fácies e petrografia de rochas interderrames

A partir da integração das descrições de afloramentos (obtidas no banco de dados do ITCG, ou realizadas durante a etapa de campo em agosto de 2017) com as descrições petrográficas, o conjunto litológico foi organizado em litofácies, baseando-se em aspectos relativos à composição, estruturas internas e externas, arranjo e relações de contato dos litotipos, principalmente.

No total, foram definidas 11 fácies, que serão descritas nos tópicos a seguir. Devido à sobreposição entre alguns critérios diagnósticos de processos distintos de colocação (discussões detalhadas na seção 5), foi necessária uma divisão de detalhe entre algumas litofácies aparentemente semelhantes – em especial no que tange às relações de contato e ao arranjo das camadas.

Sobre a descrição e classificação dos litotipos, algumas observações devem ser feitas. Em primeiro lugar, foi adotada a nomenclatura para classes granulométricas de piroclastos proposta por White e Houghton (2006), que faz equivalência (para grãos mais grossos que o silte) com a clássica proposta de Wentworth (1922) para rochas sedimentares. No entanto, para constituintes de granulação equivalente às classes silte e argila (comumente cristaloclastos acessórios ou material de origem sedimentar comum nas rochas deste estudo), foi utilizada a nomenclatura de Wentworth (1922), uma vez que a proposta de White e Houghton (2006) não diferencia classes granulométricas para piroclastos mais finos que a areia muito fina (menores que 0,0625 mm), que recebe apenas a designação

de “cinza extremamente fina”. Assim, ao se tratar de constituintes menores que 0,0625 mm, serão utilizados os termos “equivalente a silte” e “equivalente a argila”. Isto se deve também à dificuldade de se determinar, mesmo para fácies interpretadas como piroclásticas (ver seção 5), se o material desta granulação possui origem piroclástica (efetivamente envolvido em processos explosivos, mesmo que como constituintes acessórios) ou origem sedimentar (Cas e Wright, 1987).

Em relação à classificação de tipos de piroclastos, optou-se por manter a nomenclatura proposta por Cas e Wright (1987), que inclui piroclastos juvenis (formados diretamente por magma fragmentado), piroclastos cognatos (fragmentos de rochas vulcânicas co-magmáticas previamente formadas), piroclastos acessórios (derivados de rochas encaixantes e ejetados explosivamente) e piroclastos acidentais (incluídos aleatoriamente durante o transporte). Por fim, o termo “lâmina” foi utilizado apenas com o significado de estrutura, ou seja, como o componente mais delgado de uma camada. Para se referir a “lâmina delgada” com significado de amostra para exame ao microscópio petrográfico, foi utilizado, neste relatório, o termo “seção delgada”.

4.1.1 Bmm - Brecha oligomítica basáltica maciça

Brecha basáltica oligomítica ou monomítica geralmente encontrada na base de um derrame (eventualmente envolve fragmentos do derrame inferior) com poucos metros de espessura e frequentemente descontínua lateralmente. Apresenta arcabouço de blocos e bombas vesiculares subarredondados e fluidais, além de blocos e *lapilli* grosso maciços mais angulosos. Por vezes, os fragmentos do arcabouço mais angulosos exibem texturas em mosaico (*jigsaw fit*). Além disso, o arranjo e a geometria não fragmentados do arcabouço ígneo podem estar localmente preservados, sugerindo correlação com o derrame (

Figura 4.1).

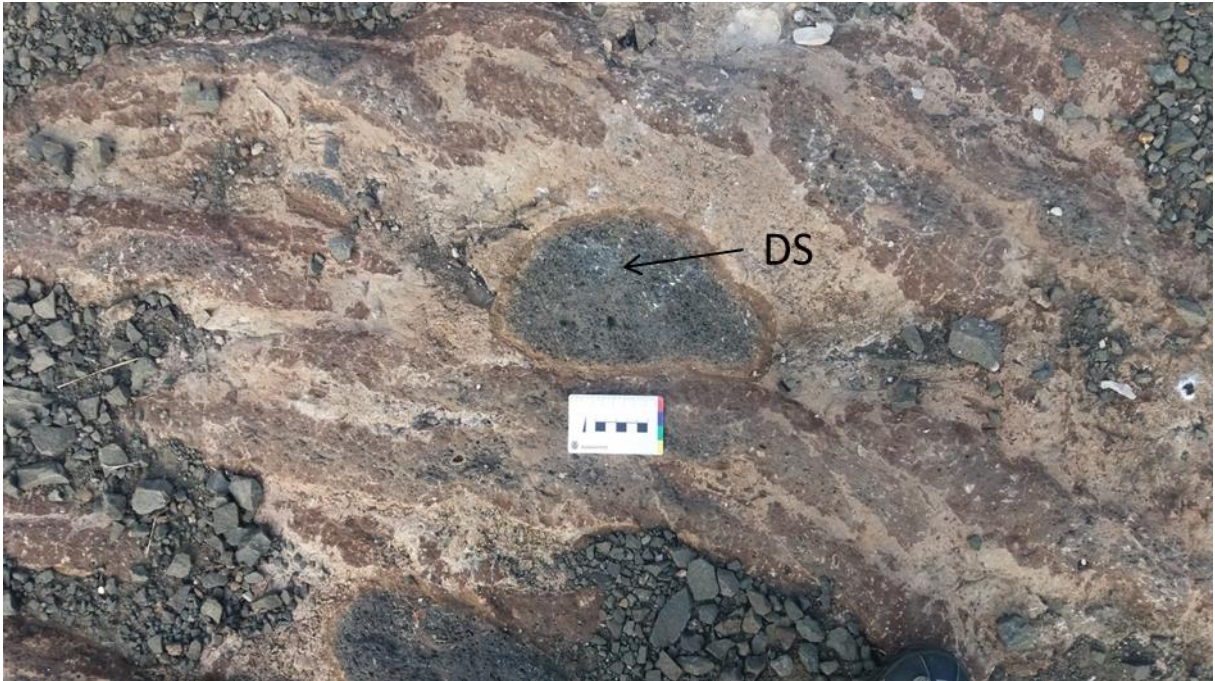


Figura 4.1: Afloramento da fácies Bmm, superfície de topo de derrame *pahoehoe* fragmentada com arranjo original parcialmente preservado. Clastos cinza escuros com bordas alaranjadas são do derrame superior (DS). Afloramento OL 3169, pedreira em Bandeirantes.

A matriz lamo-arenosa siliciclástica é, em geral, mal selecionada, maciça e frequentemente está intensamente hidrotermalizada, com diversas gerações de zeólitas cristalizadas *in situ* (Figura 4.2). Por vezes, observam-se *shards* de sideromelano de granulação cinza fina na matriz. Além disso, clastos líticos com sideromelano (granulação *lapilli*) são observados no arcabouço da amostra OL 3691-B (Figura 4.2). Estas brechas variam entre clasto-sustentadas e matriz-sustentadas, predominando os termos clasto-sustentados. Amostras e seções delgadas associadas a esta fácies incluem os números OL 3169-B e OL LV-71 (arcabouço).

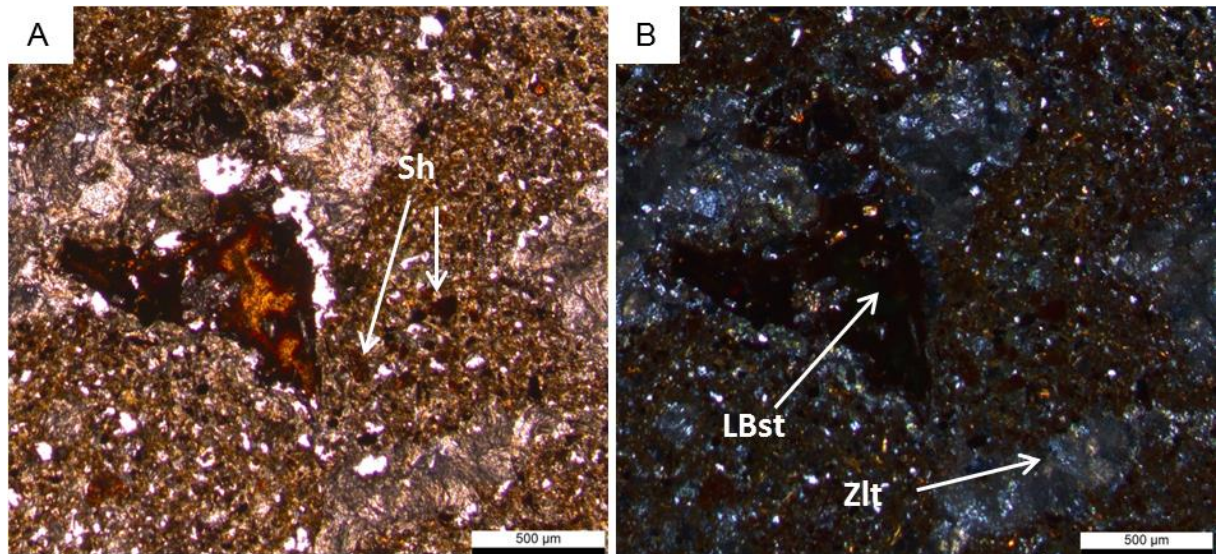


Figura 4.2: *Lapilli* lítico basáltico (LBst) com sideromelano, *shards* finos de sideromelano (Sh) imersos em matriz siliciclástica maciça, que apresenta vesículas com zeólitas fibrorradiadas (Zlt), amostra OL 3169-B. Fotomicrografia em nicóis paralelos (A) e em nicóis cruzados (B).

4.1.2 Bmm(t) – Brecha oligomítica de topo de derrame laminada

Fácies de ocorrência relativamente frequente em campo, inclui brecha oligomítica ou monomítica basáltica, geralmente sustentada por clastos e em camadas de espessura menor que 2 metros. Clastos do arcabouço possuem formatos variados, fluidais, irregulares e angulosos (Figura 4.3). Estes fragmentos líticos apresentam granulações geralmente semelhantes entre si (blocos e *lapilli* grosso) e dificilmente são muito maiores que 50 cm. Eventualmente, brechas desta fácies possuem menos que 10% de matriz, sendo que a quantidade desta pode aumentar para o topo da camada. Os espaços intergranulares desta fácies podem estar preenchidos por matriz siliciclástica semelhante à fácies Rlg ou à fácies Tm, como no caso da amostra LV-7A, o que dificulta sua distinção das fácies Blg e Bs(f). Neste caso, deve-se atentar para a relação entre arcabouço e matriz e para indicadores de derivação alóctone do arcabouço (característico das fácies Blg e Bs(f) – ver seção 5). Grada a partir do topo de um derrame para outras fácies, incluindo outras brechas (Blg, Bmm), tufos (Ts) e arenitos (Ac e Atc). Desta maneira, podem contar com um arranjo localmente gradacional normal. Seções delgadas que contemplam esta fácies incluem essencialmente a amostra LV-7A (arcabouço).



Figura 4.3: Base de uma camada de brecha basáltica da fácies Bmm(t), com menos de 10% de matriz intersticial. Afloramento OL 3890/LV-7.

4.1.3 Blg - Brecha basáltica com matriz com laminação gradacional

Estão incluídas nesta fácies brechas de camadas métricas de arcabouço formado por blocos líticos de basalto com diâmetro de 10 a > 100 cm, envolvidos por matriz siliciclástica de laminação delgada aproximadamente subhorizontal e plano-paralela, perceptível tanto em campo quanto ao microscópio. Os blocos líticos são formados por basalto de graus variados de vesiculação, ou ainda por basalto maciço. Geralmente, há menores quantidades de blocos maciços do que de clastos vesiculares.

Estas brechas são clasto-sustentadas a matriz-sustentadas, e possuem arcabouço de arranjo geral granodecrescente ou maciça. Ao microscópio, no entanto, a matriz exhibe laminação gradacional e rítmica caracterizada pela alternância de dois tipos de domínios em cada lâmina ou estrato.

Os domínios geralmente mais espessos (milimétricos) e de maior granulação (cinza fina a *lapilli* fino) são formados por cristaloclastos diversos, incluindo quartzo, augita, plagioclásio, opacos, biotita, mica branca, microclínio, turmalina, zircão e rutilo, contando com baixa a baixíssima maturidade mineralógica (Figura 4.4). De maneira geral, estes cristaloclastos têm seleção boa a moderada, concentrando-se

na fração equivalente a areia média até silte, sendo que variações na granulação e na seleção podem estar consideravelmente vinculadas à laminação.

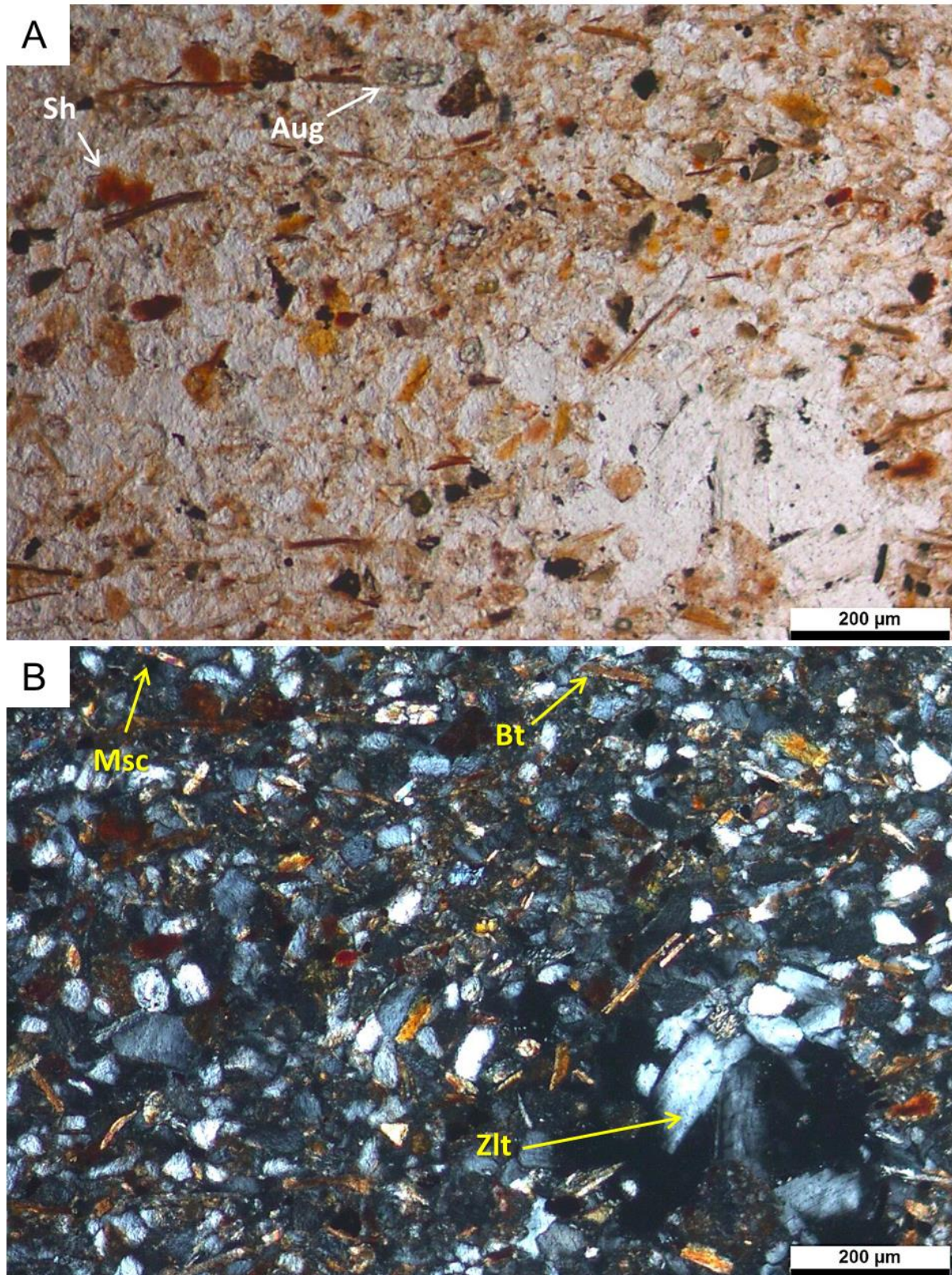


Figura 4.4: Domínios de cinza mal selecionados e imaturos da matriz da amostra LV-7G, ricos em quartzo anguloso (Qtz), *shards* (Sh), minerais micáceos (Bt e Msc) e augita (Aug). Notar ainda

vesícula preenchida por zeólitas no canto direito da imagem (Zlt). Fotomicrografia em nicóis paralelos (A) e cruzados (B).

Estes domínios hospedam vitroclastos de taquilito ou sideromelano, que se apresentam como *shards* de material interpretado como juvenil ou como clastos de formatos mais difusos e irregulares. Ocorrem ainda fragmentos líticos basálticos (clastos acessórios ou cognatos) e clastos líticos de argilito, que podem ser basalto alterado ou argilito acessório/acidental (Figura 4.5). Estes clastos líticos e vítreos (cinza fina até *lapilli*) muitas vezes apresentam granulações um tanto contrastantes em relação aos domínios que os hospedam, sendo pouco ou muito mais grossos que os cristaloclastos em seu entorno (Figura 4.6). Embora a densidade absoluta destes clastos não seja conhecida, infere-se que, para clastos líticos basálticos não muito vesiculares, seja maior do que a do quartzo.

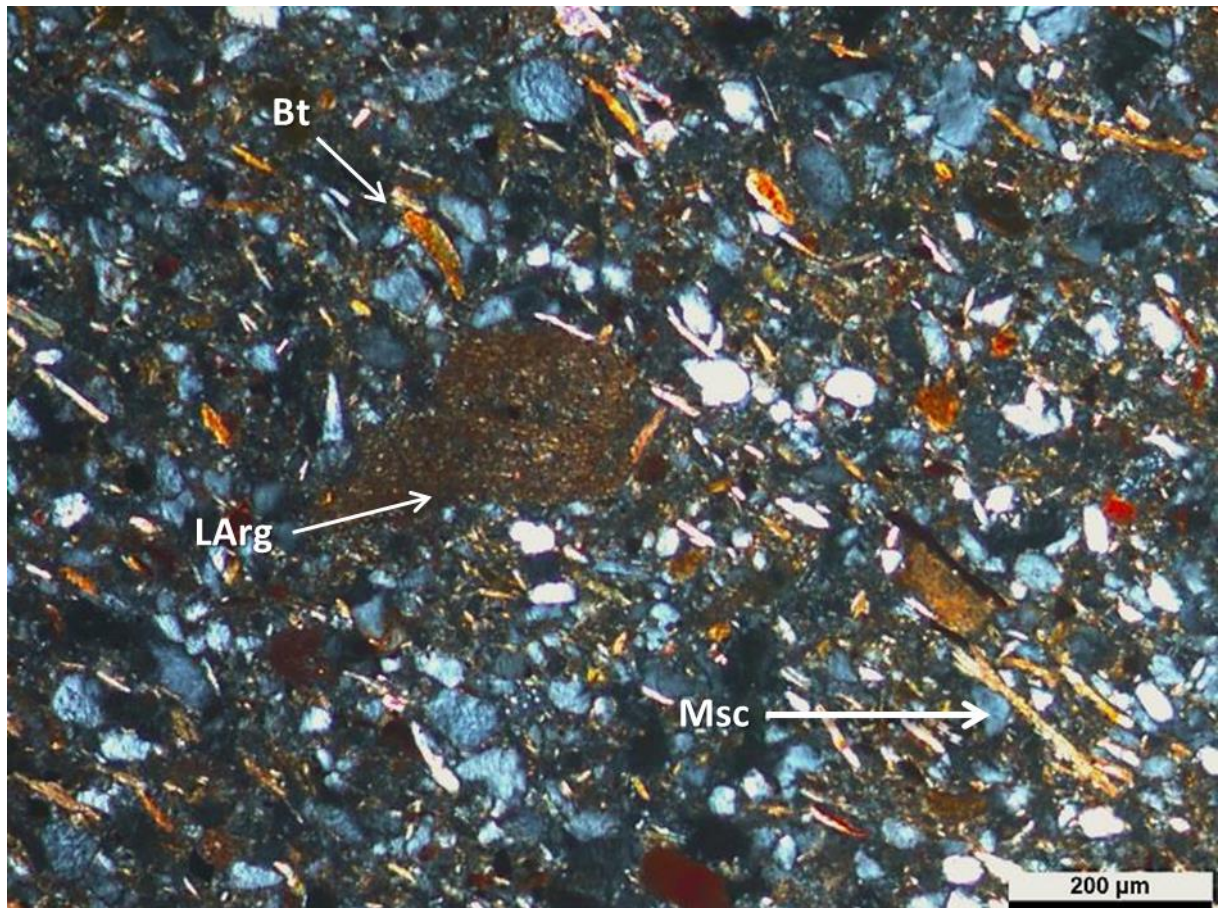


Figura 4.5: Matriz da amostra LV-7G, com litoclasto de argilito associado a sericita muito fina (LArg), além de cristais de biotita e mica branca (Bt e Msc) de granulação equivalente a areia fina imersos em domínio quartzoso. Fotomicrografia de nicóis cruzados.

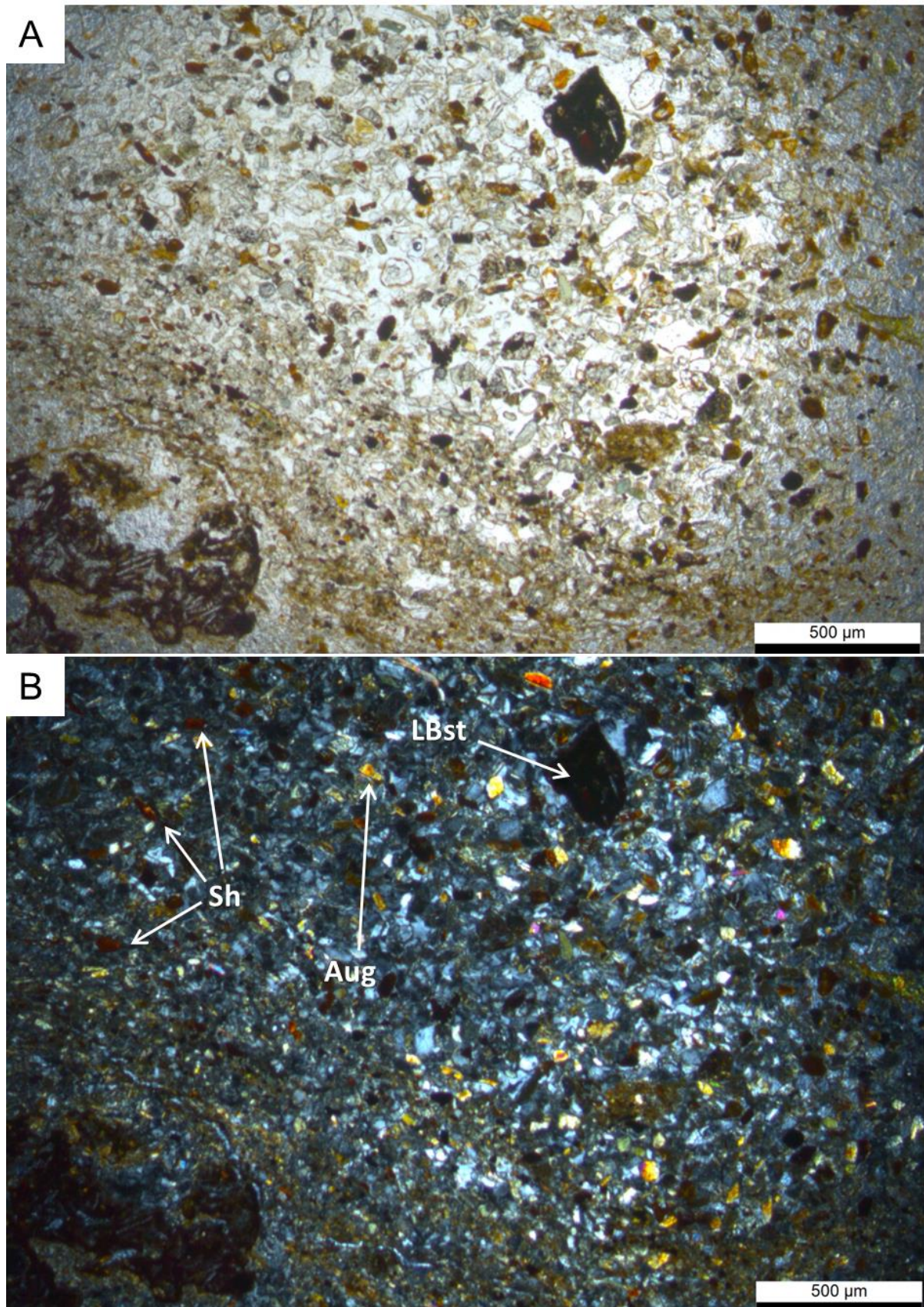


Figura 4.6: Clastos líticos de basalto (LBst) em contraste granulométrico com restante dos domínios ricos em cinza mais fina, com *shards* de sideromelano (Sh), cristaloclastos de quartzo, augita (Aug) e micáceos. Matriz da amostra LV 18B. Fotomicrografia em nicóis paralelos (A) e cruzados (B).

Ou seja, a seleção destes domínios aparentemente “arenosos” da matriz é frequentemente perturbada pela presença desses clastos vulcanogênicos mais grossos, sendo na realidade considerada moderada a ruim.

Os outros domínios, mais delgados (submilimétricos em geral), são compostos por argila castanha possivelmente ferruginosa, além de quantidades variadas de cristais silteosos micáceos, relacionados talvez à alteração (hidrotermal) da matriz argilosa (seção 5.1). A transição entre esses dois tipos de domínios pode ser abrupta ou gradacional, tanto de níveis de clastos grossos para finos quanto o contrário – situação que configura alternância de gradação normal e inversa. Quando há somente gradação normal, a transição superior entre os domínios de clastos finos para os níveis mais grossos também é abrupta (Figura 4.7).

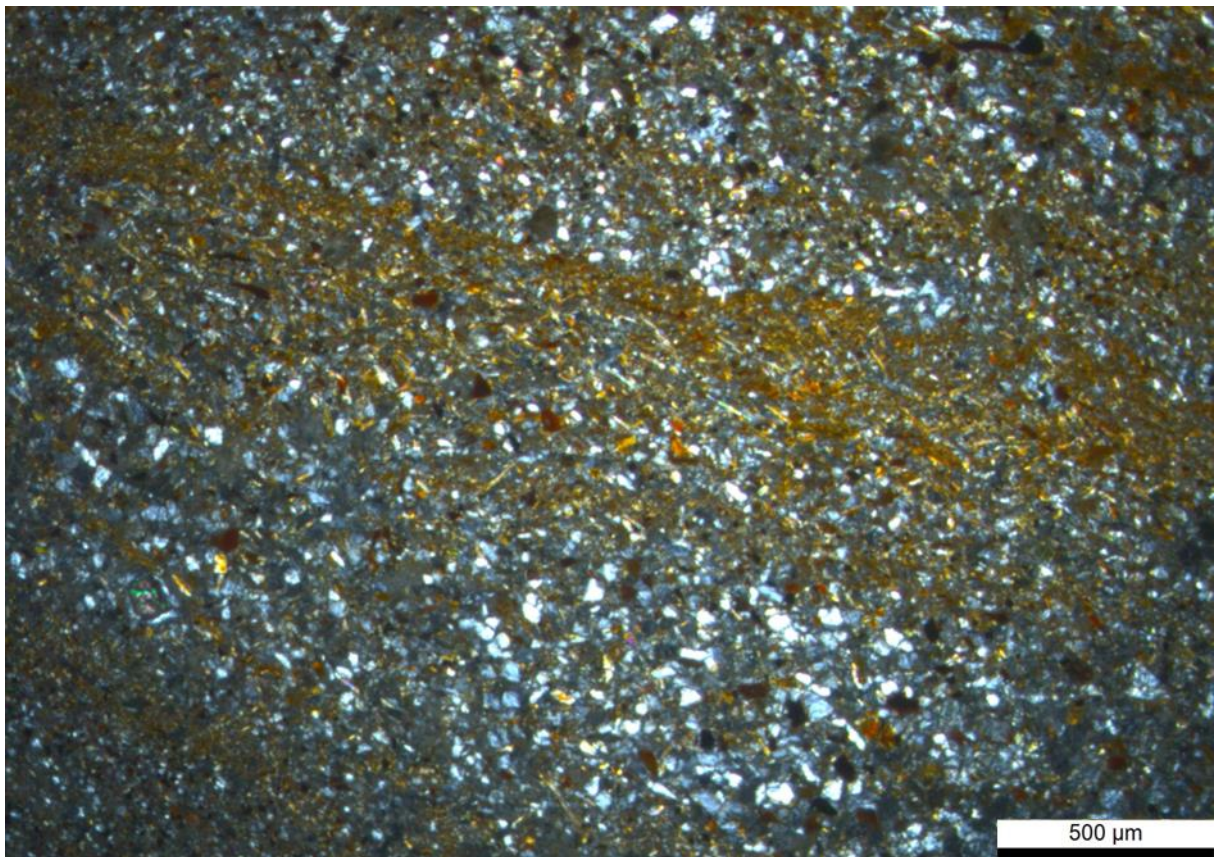


Figura 4.7: Laminação gradacional normal da matriz da amostra LV-7A, com concentração de micas mais grossas na transição entre as frações equivalentes a areia e argila. Fotomicrografia em nicóis cruzados.

São encontrados ainda níveis muito ricos em minerais micáceos, provavelmente mica branca e biotita avermelhada, com até 200 μm de comprimento. Embora frequentemente estejam orientados paralelamente à laminação, ocasionalmente possuem arranjo mais aleatório. Podem estar associados aos níveis

argilosos, ou ocorrer próximos a eles, nas transições entre as frações equivalentes a areia e argila (Figura 4.7). Observam-se também vesículas (ou *vugs*) na matriz, com preenchimento de zeólitas (presentes também em clastos do arcabouço).

A laminação pode ser convoluta e consideravelmente perturbada, eventualmente exibindo feições que se assemelham a *drapes* de argila e *sags*. Além disso, o arranjo da matriz parece ser interrompido pelo arcabouço lítico mais grosso, que também configura uma seleção geral muito ruim (Figura 4.8). Brechas desta fácies apresentam contatos com derrames, brechas autoclásticas, tufos e outras camadas de brecha da mesma fácies. Amostras associadas à fácies Blg incluem as seções LV-7A (matriz), LV-7I (matriz), LV-7G, LV-18b e LV-12.

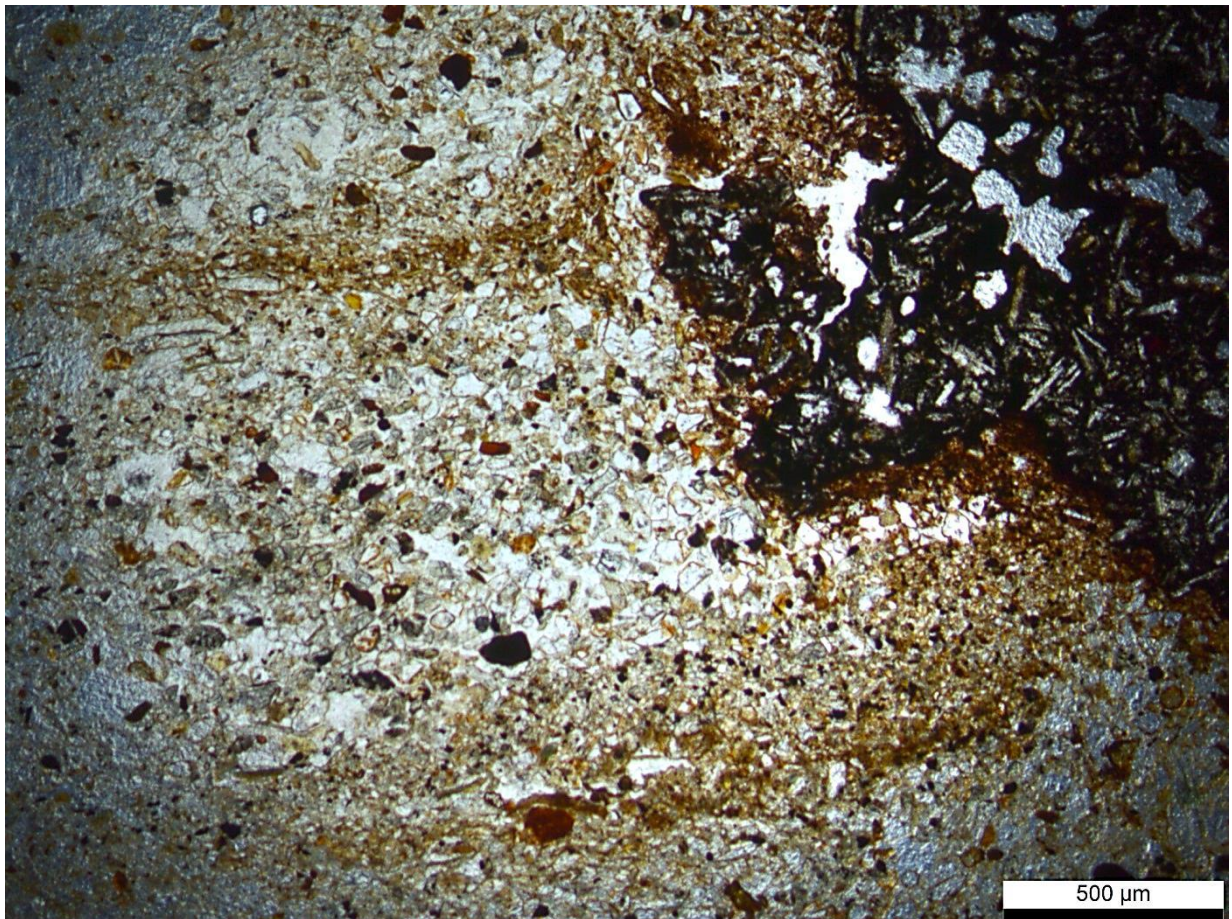


Figura 4.8: Matriz imatura de seleção moderada com laminação gradacional da amostra LV-18B, de arranjo interrompido e perturbado por litoclasto basáltico de granulação *lapilli*. Fotomicrografia em nicóis paralelos.

4.1.4 Bs(f) - Brecha com estratificação plano-paralela e *fiammes*

Esta fácies inclui brechas basálticas clasto-sustentadas a matriz-sustentadas de arcabouço semelhante ao da fácies Blg, porém com variações menores de

granulação e maior porcentagem de blocos inferiores a 20 cm. A matriz possui granulação equivalente a areia (cinza) e estratificação ou laminação plano-paralela definida pela presença de níveis submilimétricos de silte e argila, ou pela orientação de clastos vítreos argilizados e de cristaloclastos, incluindo minerais micáceos e feldspatos (Figura 4.9). Os feldspatos são diagnosticados pelo hábito alongado e pelo que parecem ser bordas de reação com minerais micáceos, uma vez que não exibem geminações. Os clastos vítreos (geralmente *shards* de taquilito, muitas vezes cloritizados) de granulação cinza na matriz apresentam aspecto compactado (possíveis *fiammes*), caracterizando textura eutaxítica (Figura 4.10). Comumente há grandes quantidades de minerais micáceos orientados (cerca de 20% da matriz), associados aos níveis quartzosos, ou delimitando lâminas de predomínio de micas (biotita e mica branca). Algumas amostras desta fácies apresentam cimento formado por cristais de zeólitas de cerca de 250 μm em mosaicos (Figura 4.9). Amostras que contemplam esta fácies incluem as siglas 15B, 15C e 15D (todas de Cornélio Procópio).

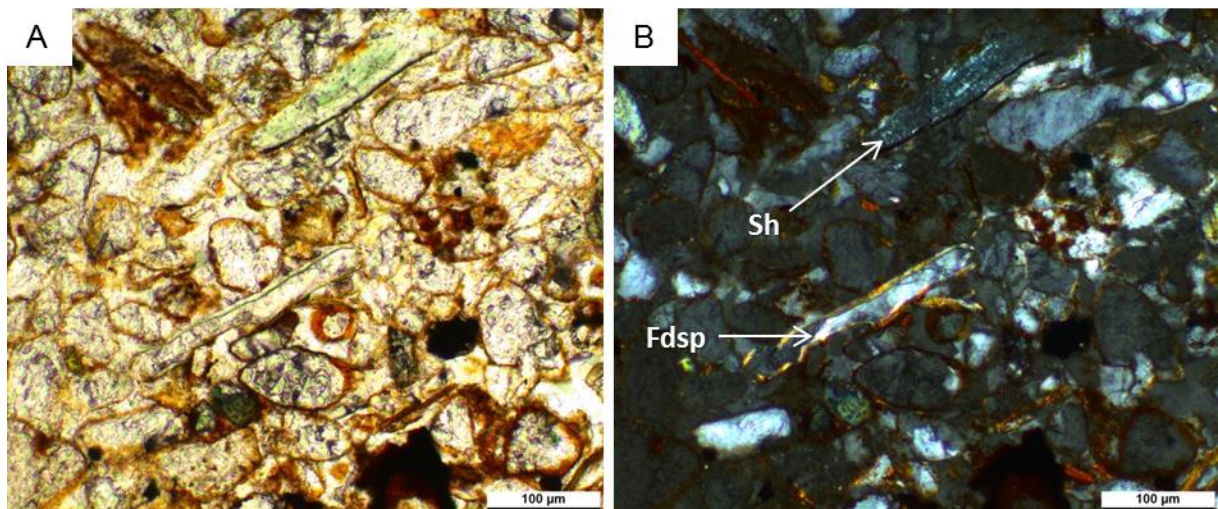


Figura 4.9: Cristaloclastos de granulação cinza fina, incluindo feldspato com borda de mica (Fdsp). Na borda superior da imagem, *shard* cloritizado (Sh). Fotomicrografias em nicóis paralelos (A) e cruzados (B).

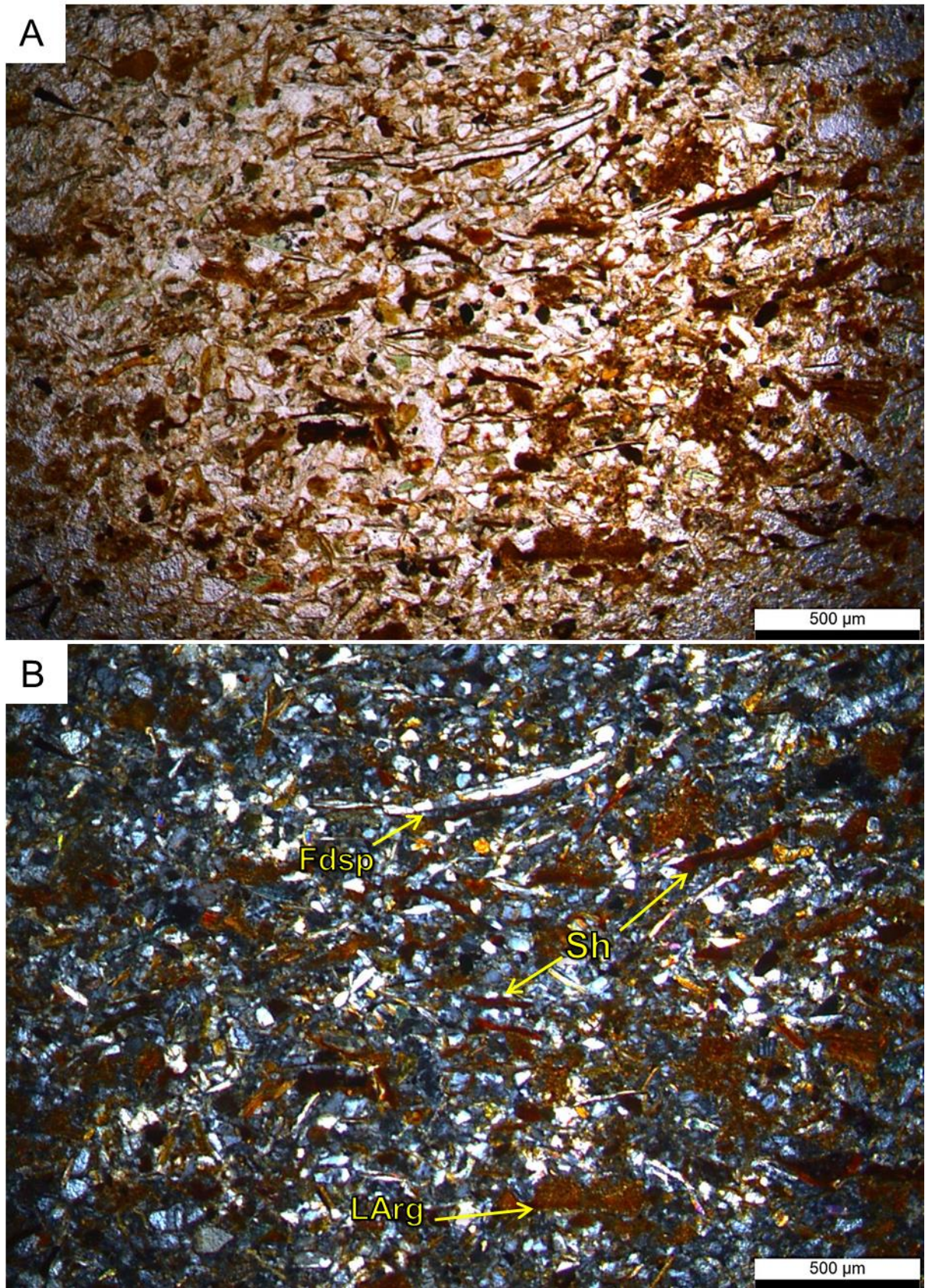


Figura 4.10: Matriz rica em *shards* alongados alterados (Sh), feldspatos (Fdsp) e litoclastos argilosos (LArg) da amostra LV-15C. Fotomicrografias em nicóis paralelos (A) e cruzados (B).

4.1.5 Tbm - Tufo-brecha maciço

Esta fácies inclui tufo-brechas em camadas métricas com arcabouço de blocos e *lapilli* grosso de basalto vesicular. São, em geral, sustentados por matriz rica em argila castanha, com quantidades menos expressivas de cristaloclastos de granulação equivalente a areia fina a média, como micas euédricas lamelares (mica branca e biotita) e quartzo anguloso a subanguloso, este de granulação equivalente a silte e areia fina. Geralmente, são tufo-brechas mal selecionados e com matriz caótica e maciça, que podem gradar para fácies de tufo laminado (Ts).

Na matriz de um tufo-brecha enquadrado nesta fácies (afloramento OL 4320), foram encontrados *shards* vítreos cuspados, submilimétricos, translúcidos e levemente alaranjados em luz natural. Estes estão alterados para calcedônia ou sílica fina (Figura 4.11), o que contrasta com os clastos de taquilito e sideromelano mais diretamente associados a basaltos observados no arcabouço da mesma seção delgada. Esta fácies é representada por apenas uma seção delgada neste estudo (OL 4320-2).

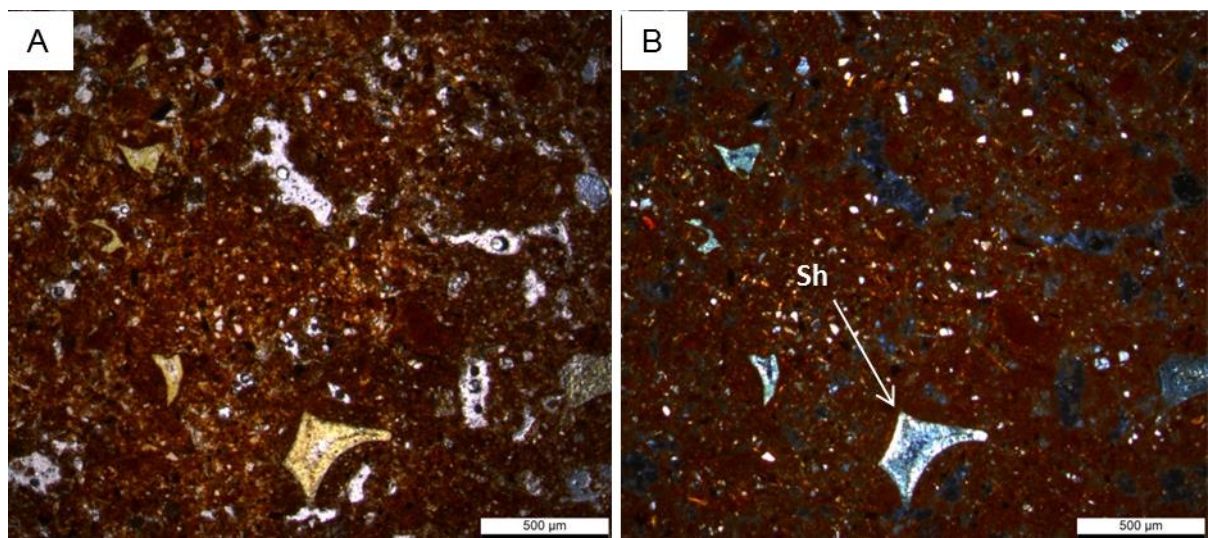


Figura 4.11: *Shards* de vidro alaranjado translúcido alterados para sílica fina, imersos em matriz argilosa da amostra OL 4320-2. Fotomicrografias em nicóis paralelos (A) e cruzados (B).

4.1.6 Ltm – *Lapilli*-tufo maciço

Nesta fácies, ocorrem *lapilli*-tufo matriz-sustentados e ricos em constituintes de granulação cinza, em camadas de poucos metros de espessura. Como acessórios líticos, ocorrem fragmentos basálticos vesiculares ou maciços de granulação cinza fina a *lapilli*, dispersos em uma matriz de cinza com proporções

variadas de clastos cristalinos diversos. Esta matriz apresenta vitroclastos (*shards*) e cristais de augita euédrica como prováveis constituintes juvenis (Figura 4.12). Os cristaloclastos, de maneira geral, incluem quartzo, augita, mica branca, opacos, biotita, clorita, plagioclásio, feldspato alcalino, zircão, rutilo, turmalina e epidoto, em ordem decrescente de frequência e proporção modal.

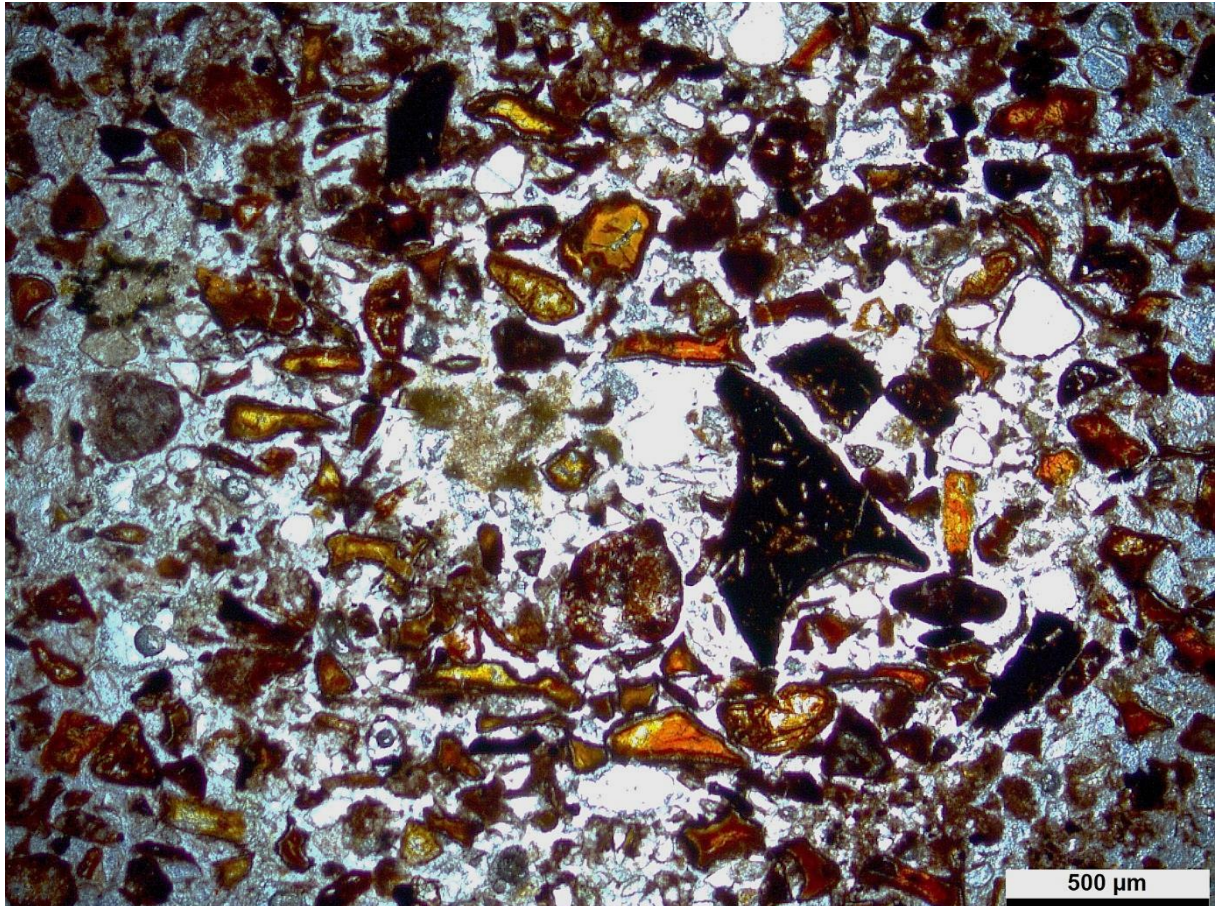


Figura 4.12: *Shards* de sideromelano e taquilite em quantidades expressivas, próximas a 50% da matriz da amostra OL 3727-B. Fotomicrografia em nicóis paralelos.

Em geral, a matriz apresenta ligeiro predomínio de constituintes vítreos e cristalinos juvenis, com quantidades menores de clastos cristalinos acessórios. Possui ainda baixa maturidade mineralógica e seleção moderada para ruim.

São geralmente *lapilli*-tufo maciços, mas podem possuir laminação convoluta, difusa e mal desenvolvida, que representa perturbação penecontemporânea de um arranjo estratificado original ou ainda deposição já nessa condição (Figura 4.13). Por vezes estão associados a tufos sobrejacentes, que gradam a partir desta fácies. Amostras associadas a esta fácies: OL 3694-B2, OL 3722, OL 3725, OL 3727 e OL 4321.



Figura 4.13: Amostra de *lapilli*-tufo do afloramento LV-06, depósito de Mandaguari.

4.1.7 Tm – Tufo médio a fino maciço

Fácies de tufo geralmente médio a fino, em camadas de espessura comumente decimétrica (Figura 4.14). Composto por até 40% de cinza vítrea provavelmente de origem basáltica, com *shards* de taquilito e sideromelano cuspidos, irregulares ou arredondados. Ocorrem também clastos acessórios cristalinos como quartzo, augita, plagioclásio, biotita, mica branca e clorita, além de fragmentos líticos de basalto, argilito e arenito também de granulação cinza, num arranjo geralmente maciço, ou com estratificação mal desenvolvida. A seleção é moderada e a maturidade mineralógica é baixa.



Figura 4.14: Tufo maciço avermelhado em camada decimétrica do afloramento LV-05.

Por vezes, são ricos em argila castanha, que pode ser material acessório ou mesmo oriundo da alteração do vidro. Esta argila forma níveis descontínuos e irregulares ou não possui arranjo definido. Em algumas amostras, ocorrem também agregados ameboides de argila (*pods*), que podem ser estruturas sin-deposicionais (Figura 4.15). Alguns tufos estão consideravelmente afetados pelo crescimento de zeólitas em veios, vesículas (*vugs*) e como cimento intergranular fino. Amostras referentes a esta fácies incluem os números OL 3793-B1, LV-05, OL 3890 “V2 topo” e LV-8D.

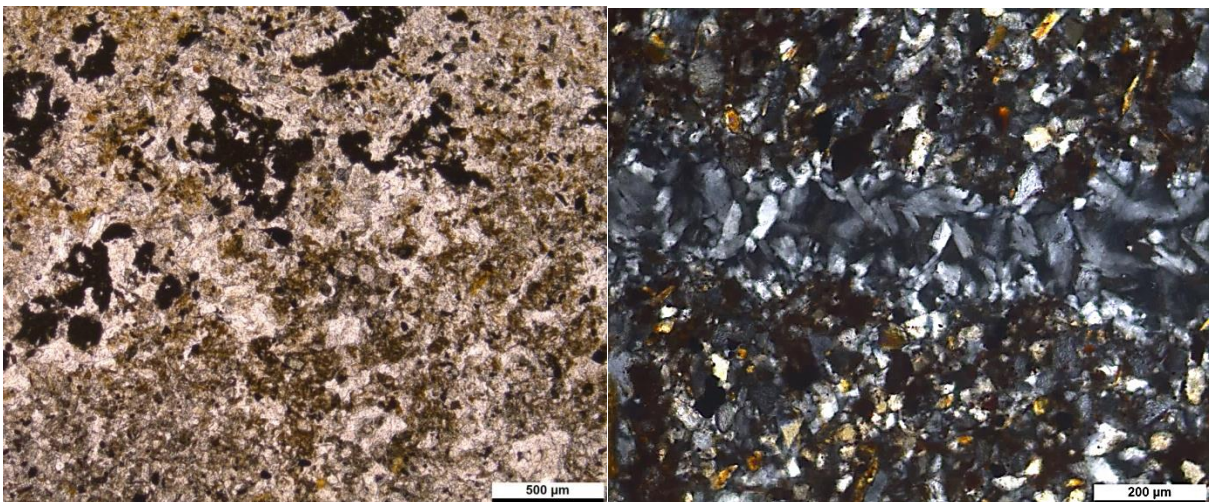


Figura 4.15: A) Agregados ameboides de argila castanha escura da amostra LV-05. Fotomicrografia em cicóis paralelos. B) Veio preenchido por duas gerações de zeólitas cortando matriz da amostra LV-05, fotomicrografia de nicóis cruzados.

4.1.8 Ts - Tufo fino bem selecionado

Tufo fino geralmente bem selecionado, composto por cinza vítrea juvenil (*shards* argilizados ou sideromelano) e material acessório lítico e cristalino em proporções variadas. Em alguns afloramentos, observa-se laminação/estratificação cruzada de pequeno a médio porte de baixo ângulo moderadamente definida (Figura 4.16).



Figura 4.16: Estratificações cruzadas de baixo ângulo onduladas, afloramento LV-16.

Ao microscópio, estas rochas possuem textura eutaxítica, caracterizada pela orientação de clastos vítreos argilizados lamelares e delgados, indicando possível soldagem (Figura 4.17). Os clastos vítreos lamelares (compactados) são encontrados imersos em lâminas comumente gradacionais normais ricas em constituintes da fração cinza média a muito fina. Essas porções são ricas em clastos cristalinos de quartzo anguloso, apresentando ainda quantidades subordinadas de opacos muito finos (granulação equivalente a silte), micáceos euédricos (biotita e mica branca) e eventualmente augita euédrica.

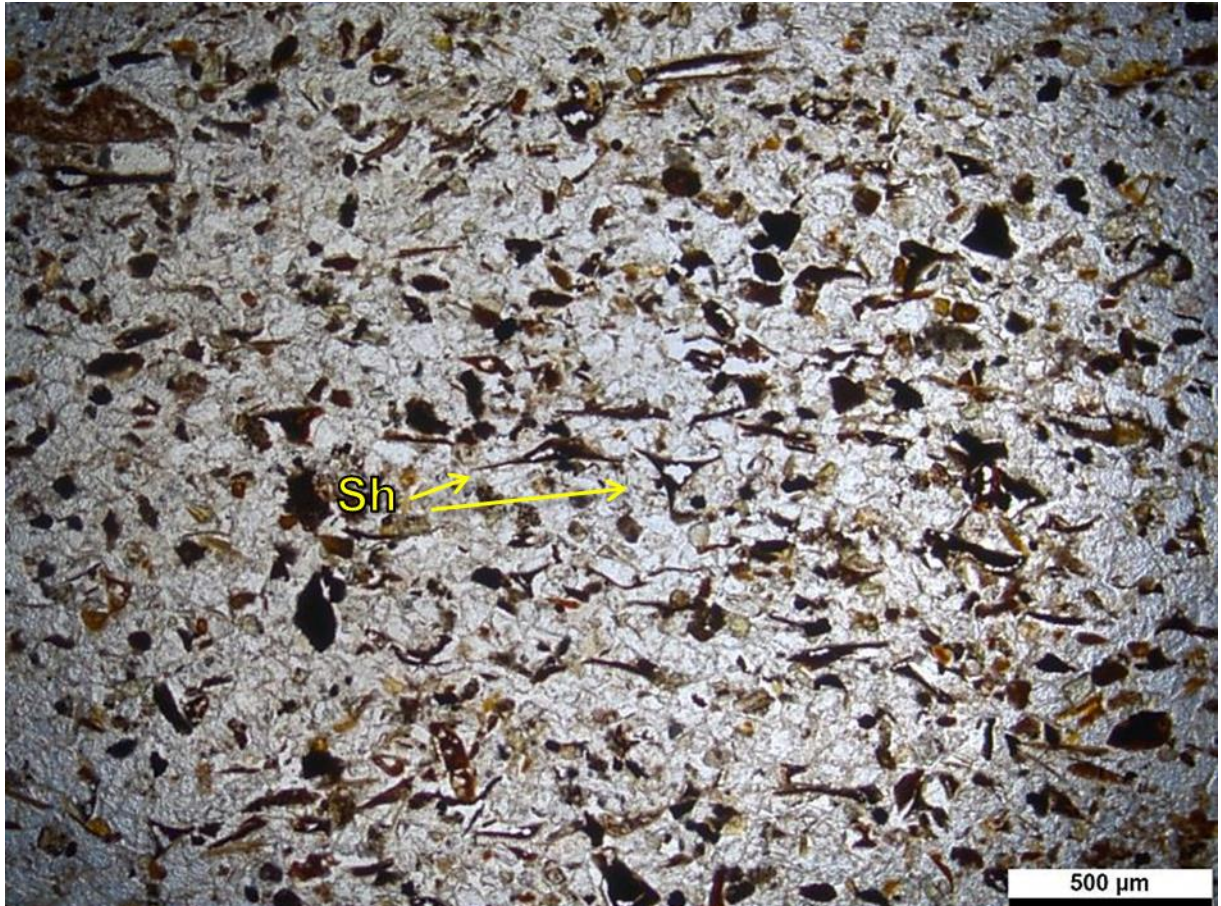


Figura 4.17: Textura eutaxítica configurada pela orientação de clastos vítreos cuspadados (Sh) e shards argilizados, amostra LV 16D. Nicóis paralelos.

Na base dessas lâminas, no limite abrupto com porções silto-argilosas, são encontrados frequentemente muitos *shards* cuspadados cloritizados e litoclastos arredondados com maiores esfericidades e não orientados, que sugerem grau local de soldagem ou compactação (Figura 4.18). Este arranjo configura laminações milimétricas a centimétricas, que podem ser gradacionais normais, com níveis argilosos mais delgados por vezes vesiculados, apresentando cristais de zeólitas de granulação média. As vesículas eventualmente estão orientadas segundo o arranjo estratificado. Seções delgadas que contemplam esta fácies: OL 3816, LV 16D, OL 4320-3b.

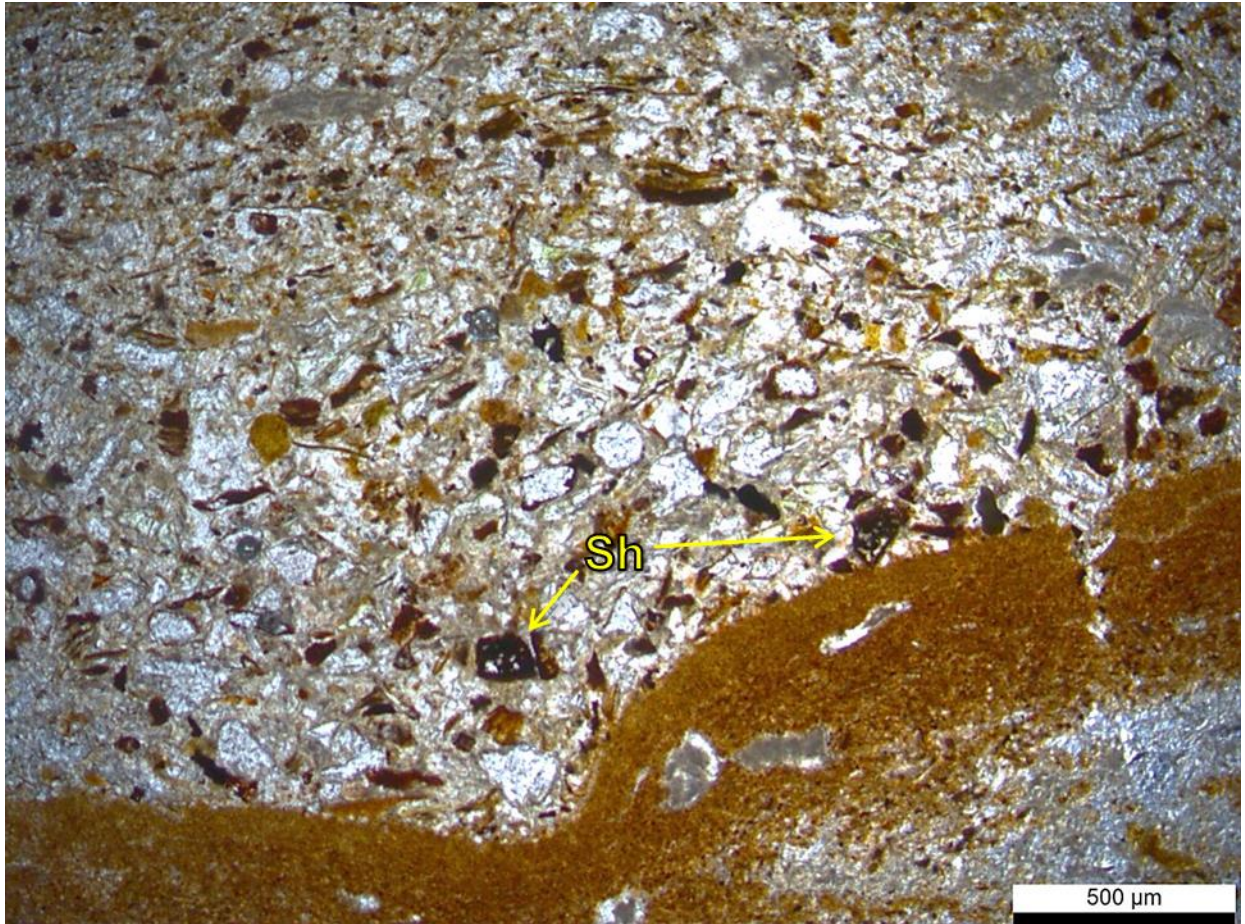


Figura 4.18: Base de uma lâmina gradacional normal com *shards* cloritizados ou de taquilito não orientados, mais esféricos. Amostra OL 4320-3b, fotomicrografia em nicóis paralelos.

4.1.9 Atc - Arenito com níveis de tufo

Fácies de arenito fino a médio bem selecionado, composto essencialmente por arcabouço de quartzo subarredondado (areia fina e média) com níveis de *lapilli* fino ou cinza de composição vítrea ou lítica basáltica, em quantidades que podem chegar a 25% da seção delgada. Estes apresentam forte contraste de seleção e de maturidade com o restante do material do arcabouço, com sinais de pouco transporte e alteração. Os clastos líticos e vítreos podem estar dispersos no arcabouço ou, mais comumente, concentrados em níveis específicos (Figura 4.19). A única seção delgada correspondente a esta fácies neste estudo corresponde à amostra OL 3675-B.

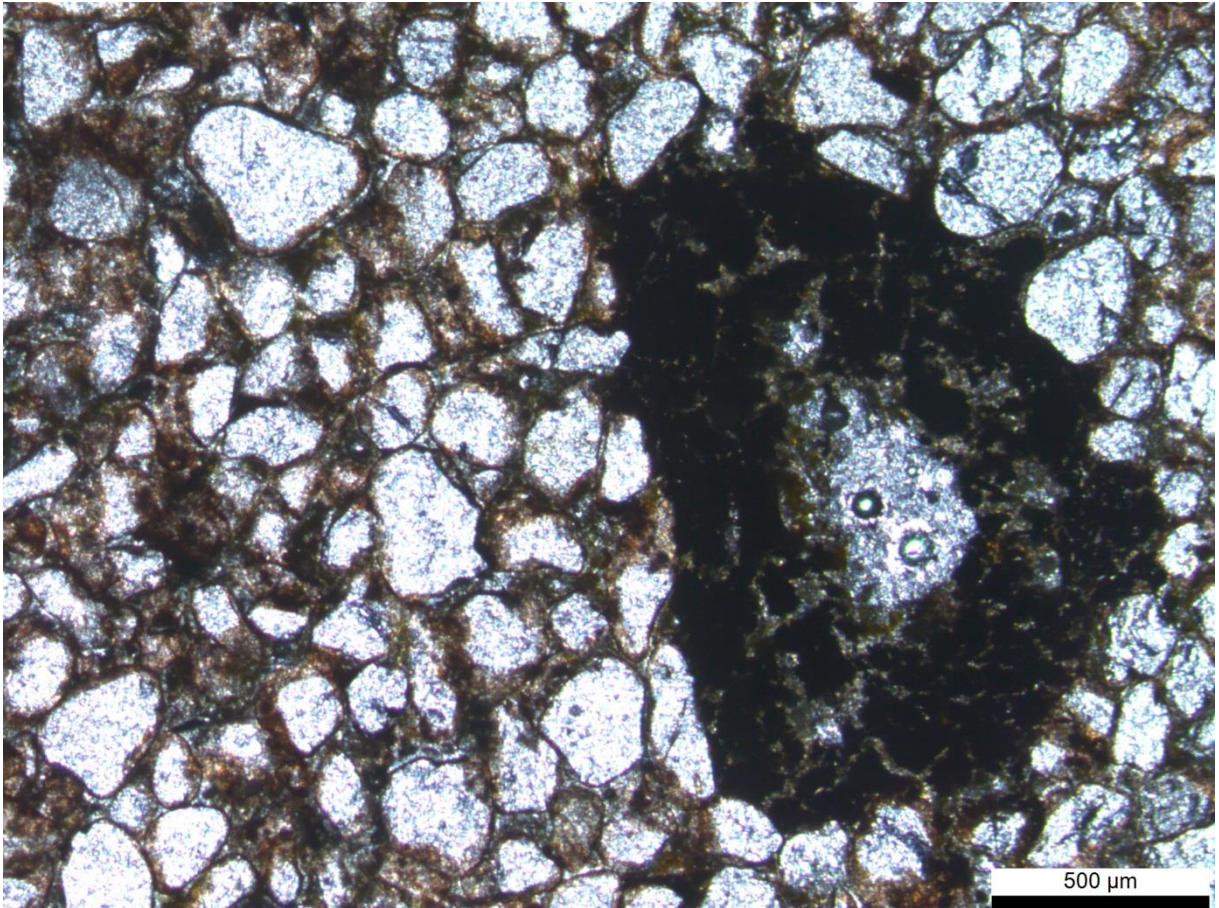


Figura 4.19: Litoclasto alterado imerso em matriz de quartzo arenoso bem selecionado, amostra OL 3675-B.

4.1.10 Ac – Arenito fino com estratificações cruzadas

Arenito fino a médio bem selecionado, com arcabouço de grãos de quartzo subarredondados e esférico. Pode apresentar cimento silicático fino. Por vezes, grãos do arcabouço exibem contatos planos em ângulos próximos a 120°, feição indicativa de recristalização estática incipiente, com redução da área limite de grãos devido a metamorfismo termal local (Figura 4.20, OL 3752).

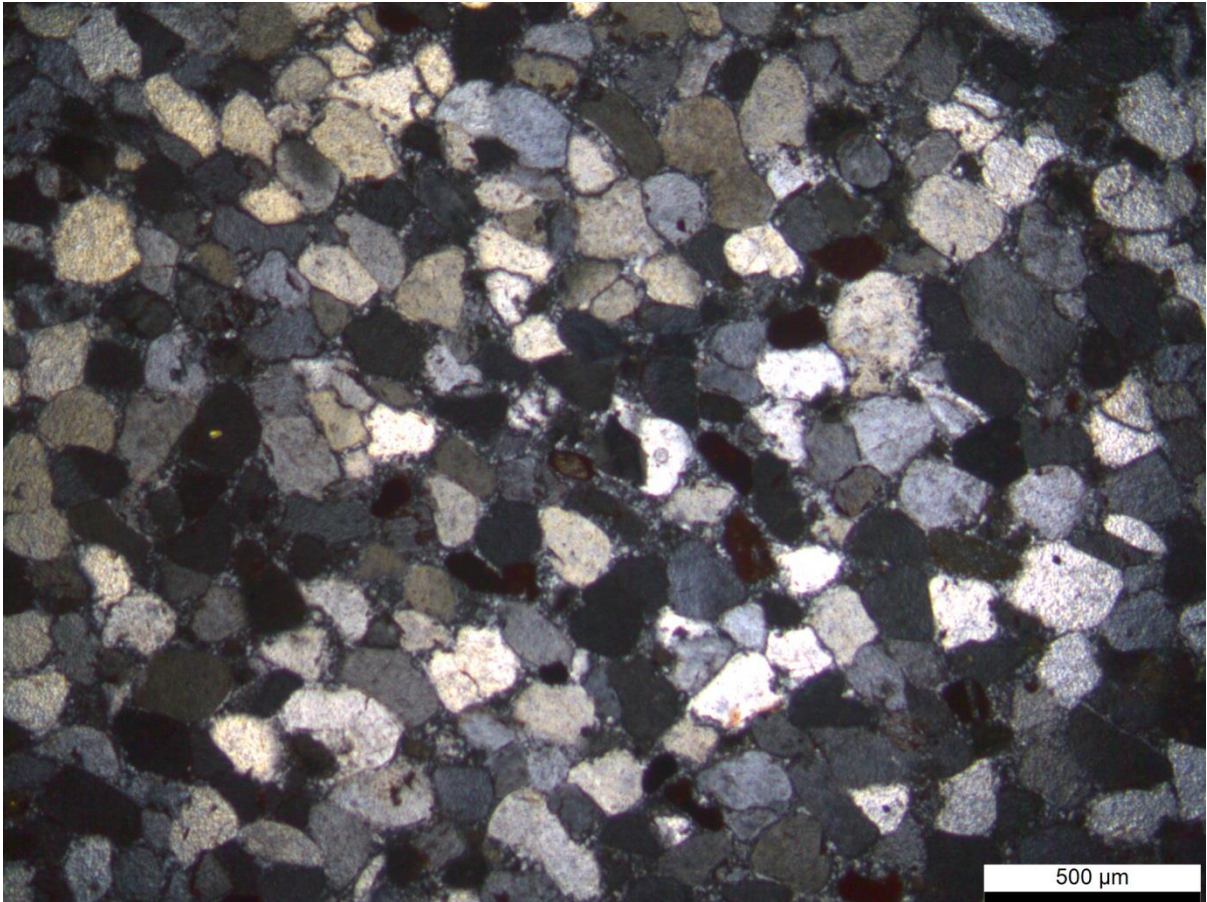


Figura 4.20: Contatos poligonais entre grãos de quartzo do acabamento da amostra OL 3752, fácies Ac.

Esta fácies geralmente é caracterizada por estratificações cruzadas de médio porte, observadas mais facilmente em afloramento - em seção delgada, o arranjo pode aparentar ser maciço, devido à ausência de laminações delgadas bem definidas. Pode apresentar quantidades pequenas (<5%) de clastos vítreos (taquilito) ou líticos basálticos dispersos, geralmente com granulação semelhante à do quartzo. Estes clastos vítreos e líticos possuem bordas subarredondadas – não são observados formatos cuspidos característicos de *shards* juvenis. Amostras referentes a esta fácies incluem os arenitos dos pontos OL 3752, OL 4075.

4.1.11 RIg - Ritmito lamo-arenoso gradacional

Inclui rocha heterolítica de areia e lama em camadas em geral decimétricas, caracterizada pela alternância rítmica de lâminas milimétricas de arranjo gradacional normal, com domínios semelhantes à matriz da fácies Blg, porém com seleção boa. É constituído essencialmente por quartzo, micas e opacos nas frações areia fina a silte, além de argila castanha em níveis mais delgados (Figura 4.21). Os níveis

argilosos eventualmente exibem associação com sericita fina, oriunda talvez da alteração hidrotermal de argilominerais.

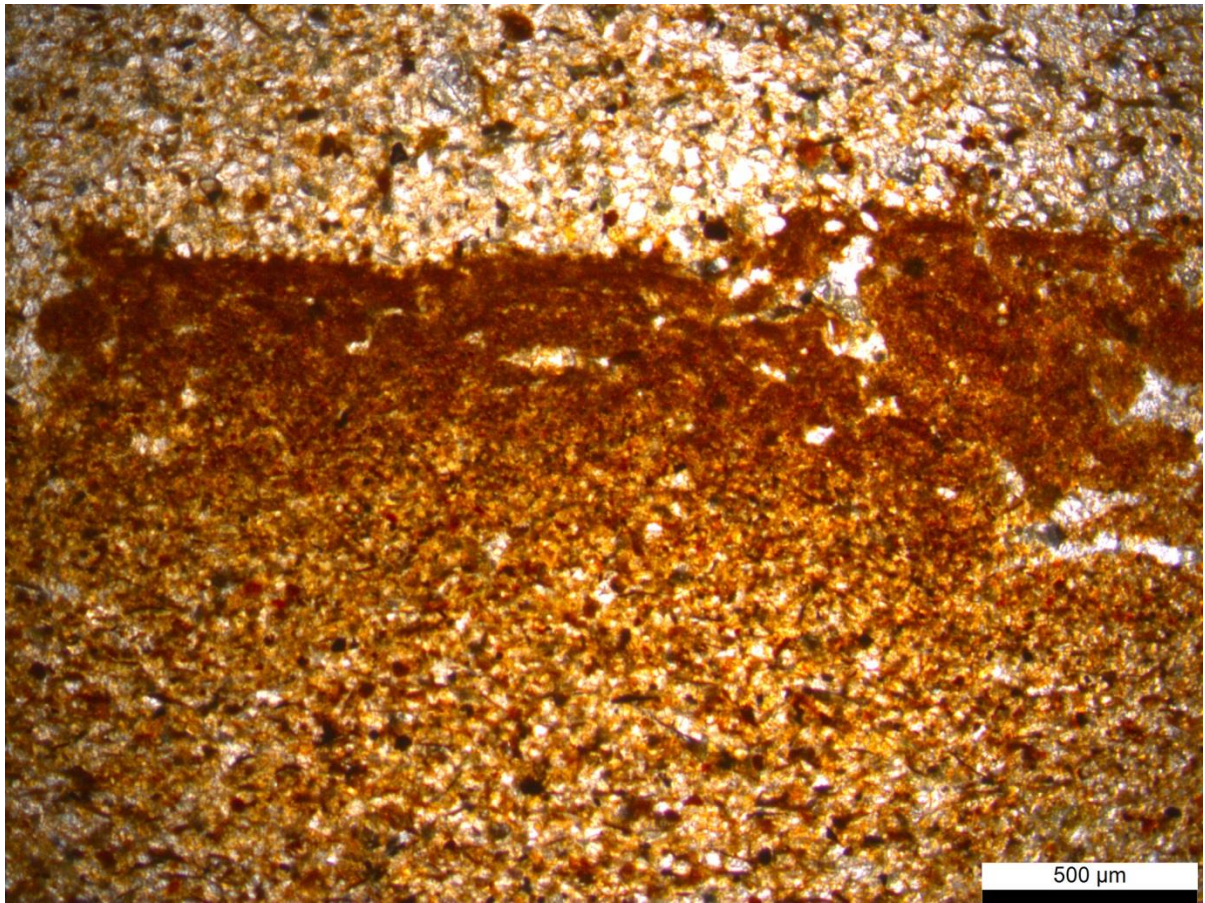


Figura 4.21: Laminação gradacional normal, com variação exponencial da granulação e da espessura, amostra OL 4314-3.

Estes ritmitos, de maturidade mineralógica moderada e seleção boa, podem apresentar ainda quantidades traço de fragmentos vítreos ou líticos com bordas arredondas e de granulação condizente com o material que os hospeda (Figura 4.21). Além disso, podem gradar a partir de brechas da fácies Bmm(t), estando por vezes endurecidos. A única amostra desta fácies incluída neste estudo corresponde à seção OL 4314-3.

4.2 Exemplos de campo de camadas interderrames e MVDs

A seguir, serão comentados os aspectos estratigráficos de alguns depósitos selecionados do norte do Paraná, estudados durante a campanha de agosto de 2017, tendo sido elaboradas e descritas até o momento 11 seções referentes a estes mesmos afloramentos.

Em Sertanópolis – PR há uma complexa sequência de derrames do tipo *pahoehoe* (*sensu lato*) intercalados com brechas e tufo que caracterizam um depósito vulcanoclástico máfico espesso e extenso, descrito num perfil de 35 m de espessura e coordenadas 22°59'30.41"S/ 51°5'21.19"W (OL 3890/LV-7) e pesquisado ao longo de uma quebra de relevo que abrange cerca de 70 km². Nesta região, foram descritos outros 4 afloramentos (LV-8, LV-9, LV-10 e LV-12) correlacionados ao mesmo depósito do perfil principal. A sequência descrita inicia, no ponto OL 3890/LV-7, aos 485 m de altitude, com um derrame de basalto *rubbly pahoehoe* (B1) de núcleo afanítico (hipohialino) e cinza, cuja zona vesicular de topo culmina, aos 491 m, numa brecha de topo (B1a) com 0,5 m de espessura, com arcabouço de blocos, bombas e *lapilli* grosso em mosaicos e com rara matriz intersticial, argilosa, amarelada. Esta brecha é maciça e possui arranjo geral granodecrescente, relativo ao decréscimo da quantidade arcabouço para o topo, sendo associada à fácies Bmm(t) (Figura 4.3 e Figura 4.22). A brecha de fácies Bmm(t) apresenta um contato abrupto uma camada avermelhada de brecha de 0,8 m (V1) granocrescente matriz a clasto-sustentada (no topo da camada) endurecida, com arcabouço de *lapilli* a blocos escoriáceos. A fração *lapilli* é constituída por clastos centimétricos, cuspidos, de basalto avermelhado, vesiculares a escoriáceos, e também por *lapilli* fino (milimétrico) maciço. Esta brecha pertence à fácies Bmm, e está em contato gradacional com um derrame subjacente semelhante a B1, aos 492 m.



Figura 4.22: Brecha da fácies Bmm(t) sobre derrame *rubbly pahoehoe* com interstícios preenchidos por matriz na base, gradando para brecha da fácies Bmm no topo. Arranjo passa de granodecrescente para granocrescente após o contato, marcado pela variação de cor, onde o martelo está posicionado.

Na base deste derrame (B2), observam-se diversas famílias de fraturas subverticais, geralmente preenchidas por um material siliciclástico rosado endurecido semelhante à matriz da brecha subjacente (“diques clásticos”). O derrame B2 de cerca de 7 m de espessura, faz contato difuso, aos 508 m, com uma brecha vulcanoclástica V2 polimítica, relativamente granodecrescente e muito mal selecionada. O estudo petrográfico detalhado permitiu a distinção da fácies Bmm(t) próxima a este contato, na base da brecha V2 (amostra LV-7A), que parece gradar rapidamente para uma fácies de brecha Blg (LV-7G). Esta fácies, por sua vez, compõe a maior parte do conjunto de rocha vulcanoclástica. A brecha V2 apresenta arcabouço de clastos de basalto cinza esverdeado e ocre e de basalto avermelhado

a castanho escuro, maciços a vesiculares, arredondados a cuspados, com granulação bloco até subordinadamente *lapilli* fino. É notável, na porção central do afloramento, a predominância de blocos decimétricos a métricos, em arranjo clasto a matriz-sustentado. A matriz em si é avermelhada, argilosa, laminada sub-horizontal a localmente maciça, perturbada e convoluta (Figura 4.4, Figura 4.5, e Figura 4.23).



Figura 4.23 : Visão em planta da brecha basáltica matriz-sustentada V2, afloramento OL 3890/LV-7. Matriz avermelhada siciclástica com laminação plano-paralela. Fácies Blg.

Aos 520 m, o conjunto de brecha grada para uma lente de tufo de cerca de 5 ou 6 metros de comprimento com porções de brechas de base referentes à fácies Bmm muito localizadas (LV-7I) (Figura 4.7 e Figura 4.24). A sequência vulcanoclástica é capeada por um terceiro derrame de basalto B3, em um contato escalonado com falhas verticais normais.



Figura 4.24: Contato entre tufo (abaixo) e basalto (acima) do topo da sequência interderrame, ponto OL 3890 ou LV-7 (amostra LV-7I).

Em outros 4 pontos (LV-8, LV-9, LV-10 e LV-12) é possível observar, em altitudes que variam entre 520 e 480 m, afloramentos de camadas interderrames correlacionáveis ao afloramento da seção completa (LV-7) do depósito de Sertanópolis. O afloramento LV-8 exibe um nível de tufo (Tm) que pode ser estratigraficamente superior ao depósito (550 m de altitude). Nos afloramentos 9, 10 e 12, porém, são observadas ocorrências de brechas semelhantes à camada descrita no ponto 7. Ao menos nos afloramento 9 e 12, a observação *in situ* de brecha polimítica basáltica (clastos variolíticos com carbonato e quartzo ou maciços) com matriz laminada da fácies Blg em altitudes de 518 e 522 m permite correlação com o depósito de Sertanópolis.

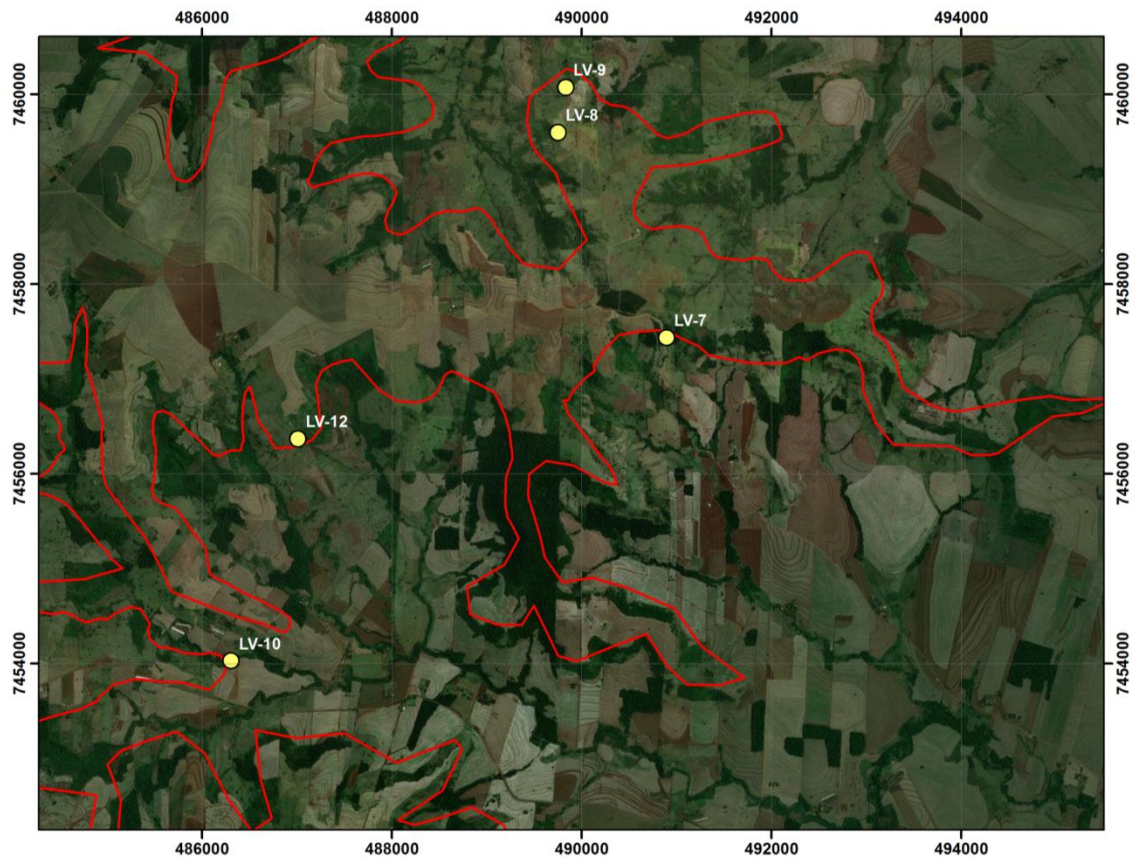


Figura 4.25: Imagem do *World Imagery* – ArcGIS, com localização dos 5 pontos de rochas vulcanoclásticas de Sertãoópolis. Em vermelho, quebra de relevo possivelmente associada ao afloramento do depósito interderrame.

Em Cornélio Procópio, outro depósito de geometria interna complexa foi buscado em diversas pedreiras da região, a partir de um corte de estrada já conhecido na BR-369, com 225 m de extensão e coordenadas centrais 23°10'25,75"S/50°37'02,38"W, e altitude de 615 m (OL 3802 ou LV-15).

Resumidamente, o perfil do afloramento OL 3802/LV-15 é caracterizado por um conjunto de derrames na base, que dá lugar a um conjunto de brechas na porção média e no topo. Na base, os derrames e brechas de topo da fácies Bmm(t) associadas apresentam contatos muito difusos e caóticos, que sugerem uma mistura complexa durante o avanço das lavas e fragmentação autoclástica. Acima desse primeiro conjunto, aflora um conjunto litológico mais coeso, constituído por duas camadas de brechas (V1 e V2) das fácies Bs(f) em contato praticamente inciso mais nítido. Estas brechas piroclásticas apresentam na base clastos com forma de lobos e contatos gradativos com basaltos pouco aflorantes, que incluem porções de brechas de topo da fácies Bmm(t) (Figura 4.26).

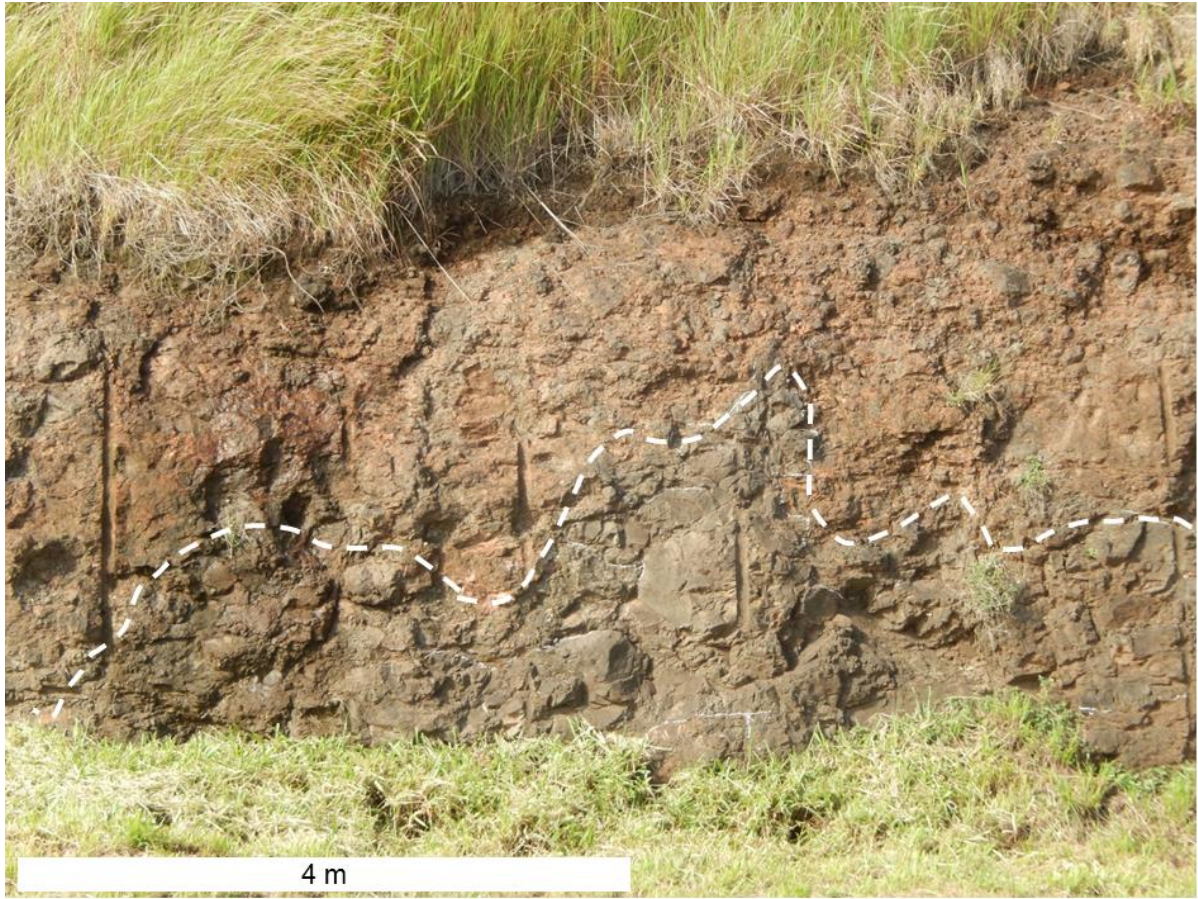


Figura 4.26: Contato (linha tracejada branca) entre basalto e brecha da fácies Bmm(t) (abaixo) com brecha V2 da fácies Bs(f).

A primeira camada de brecha, com cerca de 4 metros de espessura (V1, amostra LV-15C) é basáltica polimítica (clastos vesiculares, variolíticos e maciços), matriz sustentada a localmente clasto sustentada, com mais de 60% de arcabouço e matriz areno-silto-argilosa avermelhada, siliciclástica e laminada subhorizontalmente.

Possui arranjo interno granocrescente, é mal selecionada, com arcabouço de blocos e bombas em geral entre 10 e 45 cm e quantidades menores de *lapilli*, geralmente em contatos pontuais a planos (Figura 4.27). Embora esta camada V1 tenha sido relacionada em grande parte à fácies Bs(f) - especialmente a partir da descrição petrográfica da seção delgada LV-15C – há níveis provavelmente relacionados à fácies Blg.



Figura 4.27: Matriz laminada em contato com blocos maciços a vesiculares de basalto da brecha V1, fácies Bs(f). Afloramento OL 3802/LV-15.

O contato entre as camadas V1 e V2 é nítido e moderadamente inclinado, ondulado. A estratificação de V2 na base, definida pela orientação de clastos e pela laminação da matriz, parece se conformar à atitude do contato, lembrando uma feição de *mantle bedding*, ou um contato inciso (Figura 4.28). V2 é uma brecha basáltica que se diferencia da subjacente pelo arcabouço com variação menor de diâmetros (>5 e <20 cm) e maior proporção de matriz, mantendo o arranjo interno granocrescente (gradacional inverso), também sendo em grande parte relacionada à fácies Bs(f) (seção delgada LV-15D). A sequência é completada por um derrame com lobos bem definidos, com veios-camada sub-horizontais centimétricos preenchidos por várias espécies de zeólitas, feição que não é incomum em depósitos deste tipo.

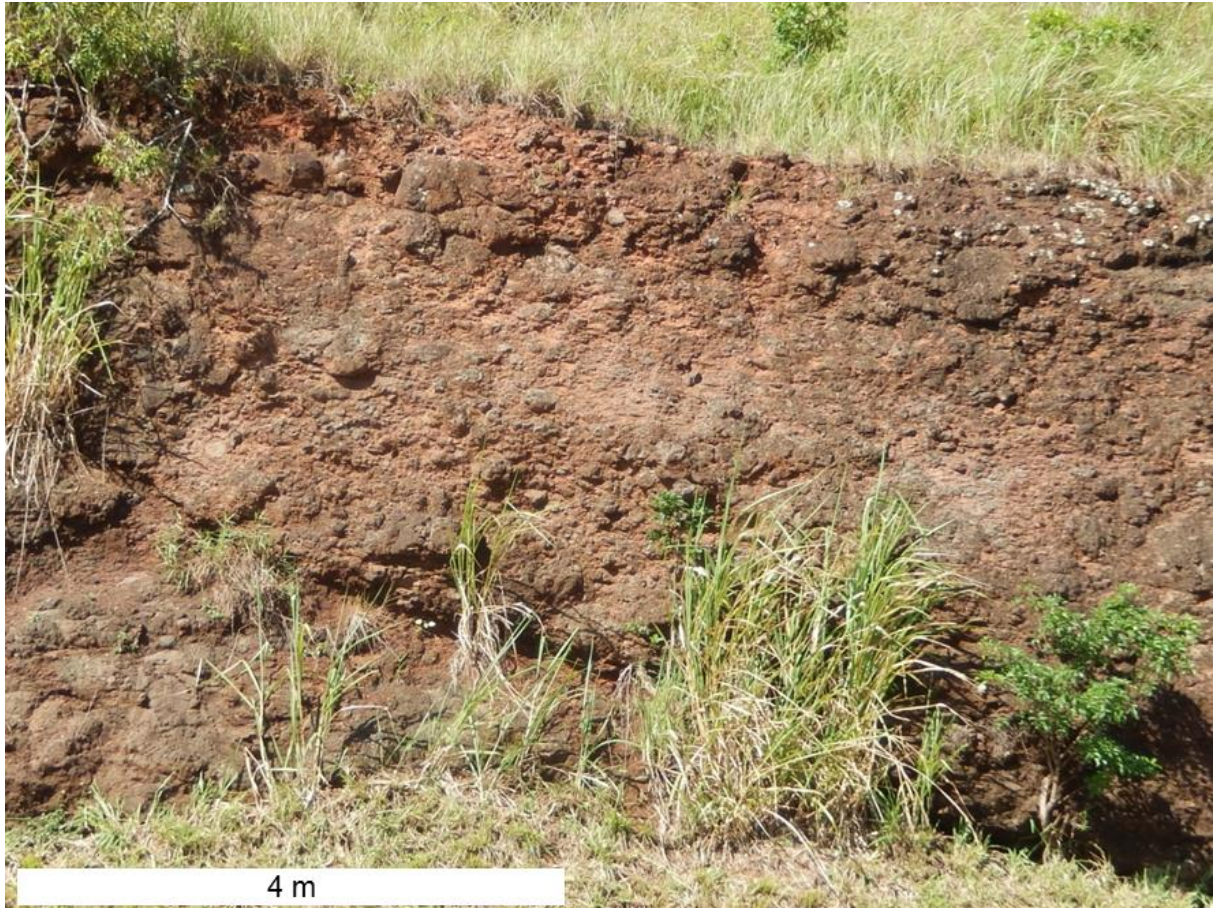


Figura 4.28: Contato mergulhante entre brechas V1 e V2 da fácies Bs(f) no afloramento OL 3802/LV-15.

Em três pedreiras no entorno de Cornélio Procópio, numa distância média de 6 km do afloramento LV-15, são encontrados blocos soltos ou afloramentos *in situ* de brechas e tufo que possivelmente estão relacionados à camada do afloramento principal. No ponto LV-16 (Pedreira Pedra Norte, altitude 600 m), foi descrita uma sucessão complexa de cerca de 2,5 m de brecha interclada com injeções ou lobos sub-horizontais de basalto que grada para um tufo da fácies Ts (amostra LV-16D) com estratificações cruzadas de baixo ângulo levemente acanaladas (Figura 4.16). Nos pontos 17 e 18, de altitudes 600 e 617 m respectivamente, foram encontrados blocos soltos de tufo endurecido (LV-17) e brecha classificada na fácies Blg (LV-18B), que podem ser correlacionados ao depósito principal. É necessário, no entanto, mapeamento de detalhe para que esta correlação seja devidamente sustentada.

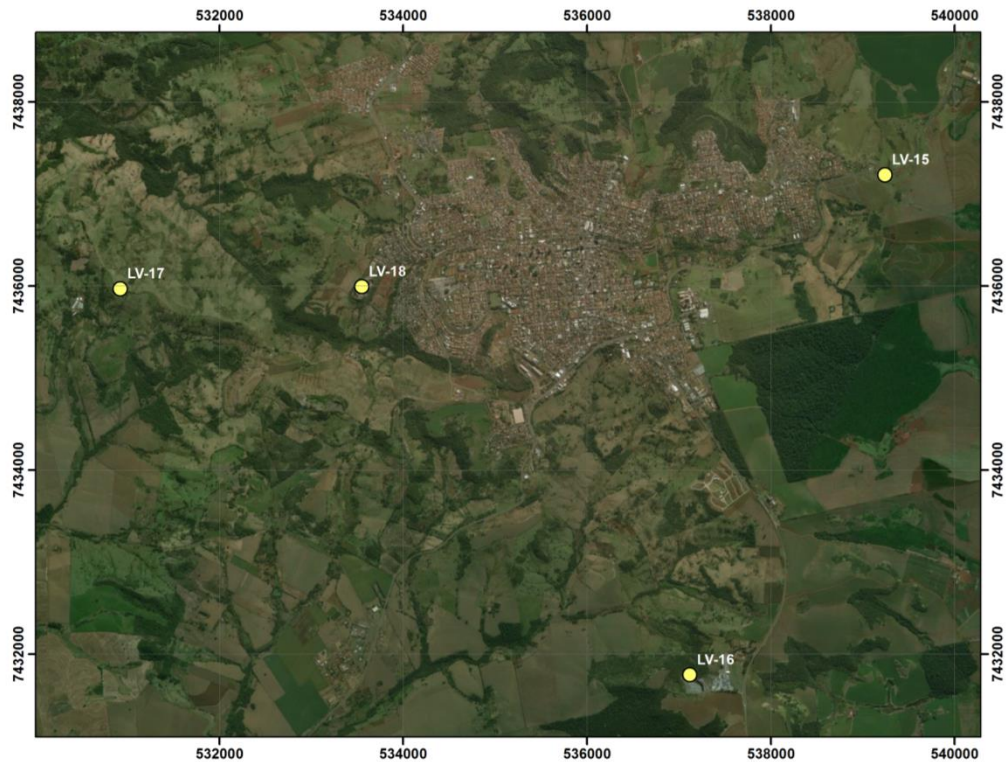


Figura 4.29: Imagem do *World Imagery – ArcGis* com os 4 afloramentos de rochas vulcanoclásticas próximos a Cornélio Procópio.

Outra área visitada durante a etapa de campo para coleta de amostras foi a pedreira municipal de Bandeirantes – PR (OL 3169 ou LV-13), onde estão expostos topos de derrames de morfologia *pahoehoe* com feições de contato nítido e interação com sedimentos. O conjunto de rochas vulcânicas compreende três derrames A, B e C, sendo que o topo do derrame A é o que aflora no piso da pedreira. A espessura do derrame B foi estimada em 9 metros, com base em outra pedreira situada 480 m a SE, a 495 m de altitude, onde o derrame B está superposto por outro derrame C. A base da unidade A (que foi subdivida em unidades A1 e A2) não foi observada, e, portanto, não se conhece sua espessura.

A atividade de lavra dirigida à porção maciça do derrame médio (unidade B) expôs a superfície de topo *pahoehoe* com superfícies cordadas preservadas das subunidades inferiores (A1 e A2), especialmente nas regiões norte e sudoeste da pedreira, cuja zona vesicular exhibe vesículas vazias ou com pouca sílica (no norte, Figura 4.30) ou ainda amígdalas bem desenvolvidas (no sul da cava).



Figura 4.30: Vista em planta da superfície cordada de topo do basalto da unidade inferior A, ponto OL 3169.

No extremo sudoeste, há lobos da subunidade A1 brechados e cortados por veios e massas irregulares de zeólitas (apofilita verde, estilbita e chabasita brancas), quartzo e carbonatos, com feições características de fraturamento hidráulico *in situ* como quebras em mosaicos (*jigsaw fit*) com preservação parcial da geometria original dos domínios ígneos, característicos da fácies Bmm. Observam-se também bordas alaranjadas em clastos arredondados derivados do derrame superior, que sugerem reações associadas ao contato arcabouço/matriz (Figura 4.1 e Figura 4.31). A matriz da brecha é areno-siltosa maciça e sustenta clastos angulosos a subangulosos de basalto amigdalóide do próprio derrame. Em lâmina delgada, a matriz apresenta mica branca, argilominerais, opacos (óxidos de ferro?) e quartzo, além de *shards* (cinza fina) de sideromelano com bordas cuspidas e superfícies vesiculares (Figura 4.2). Por todas essas características é possível interpretar que o conjunto foi formado pela interação de lava básica com sedimentos úmidos (ver seção 5).

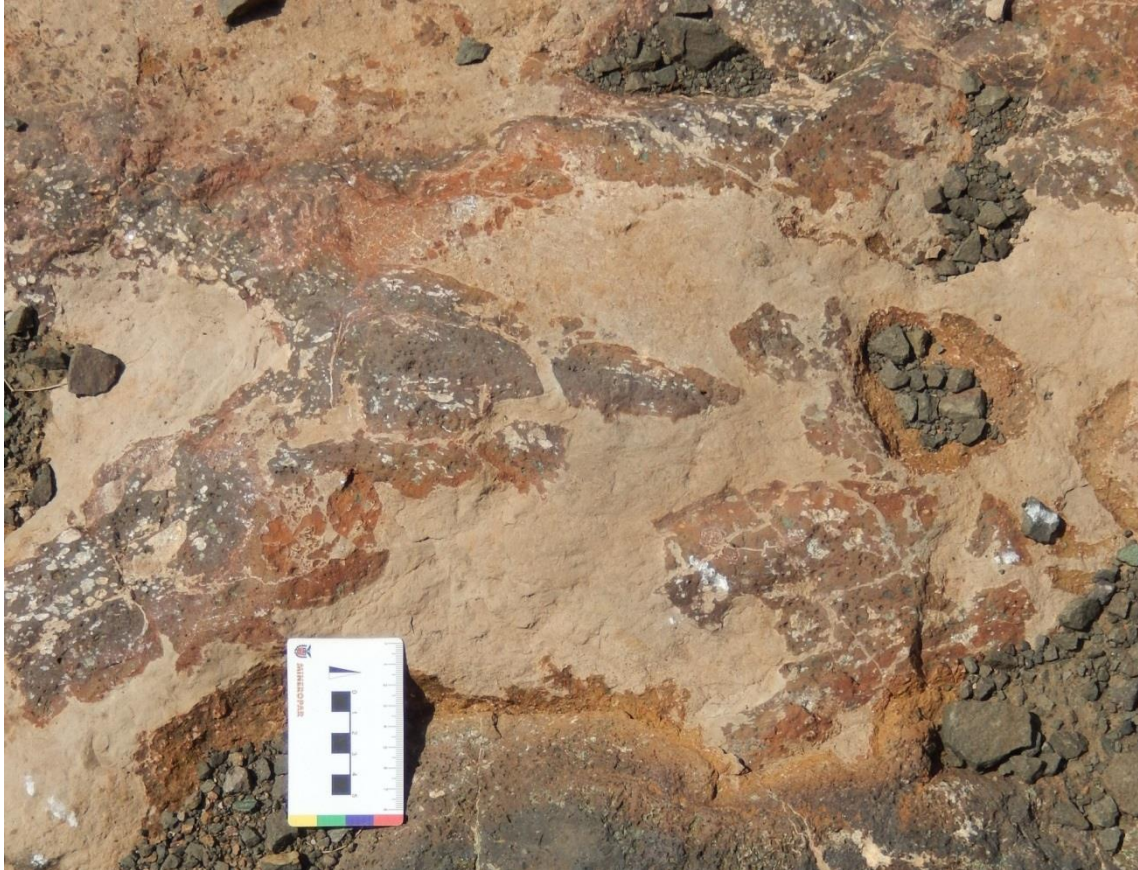


Figura 4.31: Feições de interação entre lobos de basalto e material siliciclástico (sedimento) em brecha da fácies Bmm. Notar fraturamento hidráulico e bordas de reação alaranjadas nos domínios ígneos do derrame superior (cinza escuros, clastos fluidais) e inferior (castanhos e avermelhados, clastos angulosos) Ponto OL 3169.

5 DISCUSSÕES

Nos próximos tópicos, serão discutidas as principais hipóteses relativas aos processos de deposição e modos de colocação das 11 fácies descritas no item 4.1, classificadas segundo a proposta de White e Houghton (2006). O resumo das interpretações favorecidas pode ser encontrado na tabela a seguir (Tabela 5.1).

De modo geral, oito fácies foram interpretadas como rochas vulcanoclásticas primárias. Dessas, seis fácies foram interpretadas como produtos de processos piroclásticos, enquanto as outras duas foram associadas a processos de fragmentação autoclástica ou interação não explosiva entre derrames e sedimentos. Além disso, duas fácies foram entendidas como produtos estritamente sedimentares, com possibilidade de incorporação de material epiclástico vulcanogênico. Por fim, a fácies Atc foi classificada como uma fácies de caráter misto, uma vez que exibe feições sugestivas de processos sedimentares com interferência subordinada de fenômenos piroclásticos.

Tabela 5.1 - Fácies definidas a partir de feições em afloramentos e análise petrográfica de seções delgadas de camadas interderrames. Classificação conforme dados de Fisher (1961), Cas e Wright (1987) e White e Houghton (2006). Código de siglas baseado em Miall (1978) e Branney e Kokelaar (2002).

Litotipo	Sigla	Descrição	Interpretação	Classificação
Brecha basáltica	Bmm	Brecha basáltica oligomítica, geralmente, de base de derrame, com alguns clastos líticos (granulação <i>lapilli</i>) com sideromelano no arcabouço. A matriz lamo-arenosa siliciclástica é mal selecionada, maciça e hidrotermalizada, por vezes apresenta <i>shards</i> vítreos de sideromelano de granulação cinza fina. Varia entre clasto-sustentada e matriz-sustentada. Arranjo e geometria não fragmentados do arcabouço ígneo podem estar localmente preservados.	Deposição em corpo de água raso interderrames. Brechação e <i>mingling</i> grosso <i>in situ</i> de porção basal de um derrame com o sedimento úmido, com pouco ou nenhum transporte após a fragmentação. Adicionalmente, <i>shards</i> vítreos finos podem remeter a interação FCI eficiente (talvez explosiva) desenvolvida <i>in situ</i> ou durante outro fenômeno hidrovulcânico.	Peperito basáltico
	Bmm(t)	Brecha oligomítica basáltica, geralmente sustentada por clastos, com arcabouço de blocos e <i>lapilli</i> grosso de contornos fluidais ou formatos irregulares e angulosos, comumente com menos que 10% de matriz, ou quantidades maiores de matriz siliciclástica areno-siltosa, que por vezes está laminada. Geralmente, há um decréscimo na quantidade de arcabouço para o topo da camada.	Fragmentação de topo de derrame em contato com ar dando origem ao arcabouço ígneo, relativamente concomitante à formação de matriz, a partir do preenchimento do espaço intergranular por sedimento subaéreo ou subaquoso (ou ainda por material piroclástico).	Brecha basáltica autoclástica

	Blg	Brecha clasto-sustentada a matriz-sustentada, com arcabouço de blocos e <i>lapilli</i> líticos basálticos e matriz siliciclástica laminada. A matriz, de granulação cinza muito fina a <i>lapilli</i> fino, exhibe constituintes juvenis como sideromelano, taquilito e piroxênio euédrico. A laminação, que é interrompida pelo arcabouço, é caracterizada pela presença de concentrações de argila intersticial em níveis arenosos, ou pela alternância gradacional de domínios arenosos com níveis argilosos delgados.	Queda piroclástica subaquosa de blocos e cinza, com fracionamento de parte do material por decantação. Fragmentos mais grossos podem ser clastos balísticos.	Brecha piroclástica basáltica
	Bs(f)	Brecha clasto-sustentada a matriz-sustentada de arcabouço de blocos e <i>lapilli</i> grosso de basalto variolítico ou maciço, com 5 a 20 cm de diâmetro. Matriz de granulação cinza com estratificação ou laminação plano-paralela definida pela presença de níveis submilimétricos de silte e argila, ou pela orientação de clastos vítreos argilizados e de cristaloclastos, como mica branca, biotita e feldspatos.	Deposição rápida a partir de zonas de limite de fluxos de alta concentração em fluxos piroclásticos (Brown e Andrews, 2015), ou queda piroclástica subaérea/subaquosa de blocos e cinza sem fracionamento do material por decantação.	Brecha piroclástica basáltica

Tufo-brecha	Tbm	Tufo-brecha com matriz de argila castanha e cristaloclastos (micas e quartzo) de granulação areia/cinza média, mal selecionado e matriz sustentado, maciço. Clastos juvenis são vítreos basálticos finos (<i>shards</i>) de sideromelano e taquilito.	Queda piroclástica de cinza e <i>lapilli</i> subaérea ou subaquosa em corpos de água muito rasos ou efêmeros, com pouco ou nenhum fracionamento por decantação do material. Alternativamente, deposição rápida a partir de zonas de limite de fluxos de alta concentração em fluxos piroclásticos (Brown e Andrews, 2015).	Tufo-brecha piroclástico basáltico
<i>Lapilli</i> -tufo	Ltm	<i>Lapilli</i> -tufo imaturo e mal selecionado com acessórios líticos basálticos de granulação cinza fina a <i>lapilli</i> , dispersos em matriz de cinza com predomínio de vitroclastos e quantidades subordinadas de clastos cristalinos diversos. Comumente matriz-sustentado. Maciço ou com laminação convoluta e difusa e não soldado.	Queda piroclástica de cinza e <i>lapilli</i> subaérea ou subaquosa em corpos de água muito rasos ou efêmeros, com pouco ou nenhum fracionamento por decantação do material (no caso de existir laminação), ou deposição a partir de zonas de limite de fluxos de alta concentração em fluxos piroclásticos (Brown e Andrews, 2015).	<i>Lapilli</i> -tufo piroclástico basáltico

Tufo	Tm	Tufo médio a fino, composto por cinza vítrea basáltica (taquilito e sideromelano) juvenil e acessórios cristalinos e líticos (basalto, argilito e arenito), também de granulação cinza. Seleção moderada a ruim, maciços ou com estratificação mal desenvolvida.	Depósito de queda piroclástica de distância mediana a distal. Estratificações podem ser devidas a retrabalhamento penecontemporâneo subaquoso ou próprias do processo de queda piroclástica.	Tufo piroclástico
	Ts	Tufo fino bem selecionado com cinza vítrea juvenil (<i>shards</i> argilizados ou sideromelano) com textura eutaxítica, além de cristaloclastos de quartzo e micas. Laminações/estratificações delgadas (mm – cm) definidas gradacionais ou cruzadas de baixo ângulo, com níveis argilosos comumente vesiculados.	Depósito de fluxo piroclástico com soldagem.	Tufo piroclástico
Arenito	Atc	Arenito fino a médio bem selecionado com níveis de <i>lapilli</i> fino/cinza vítrea ou lítica basáltica, em forte contraste de seleção e de maturidade.	Queda piroclástica de cinza e <i>lapilli</i> subaérea em sedimento inconsolidado, transportado pelo vento.	Arenito sedimentar com níveis de rocha piroclástica.

	Ac	Arenito fino a médio bem selecionado com estratificações cruzadas de médio porte, pode apresentar quantidades pequenas de clastos vítreos (taquilito) ou líticos basálticos dispersos retrabalhados e sem contraste granulométrico com o resto da rocha. Grãos de quartzo em geral subarredondados.	Transporte e deposição pelo vento, envolvendo remobilização e abrasão de material vulcanoclástico.	Arenito epiclástico/sedimentar
Ritmito	Rlg	Ritmito areno-lamoso, caracterizado por laminação milimétrica gradacional normal rítmica. Constituído essencialmente por quartzo e micas nas frações areia fina a silte, além de argila castanha. Pode apresentar pequenas quantidades de piroclastos retrabalhados, sem contraste granulométrico.	Decantação subaquosa em águas calmas e rasas, com entrada periódica de material areno-siltoso siliciclástico podendo ser controlada por água ou vento.	Ritmito epiclástico/sedimentar

5.1 Rochas piroclásticas

A presença de quantidades mais expressivas de clastos vítreos (taquilito e *shards* de sideromelano), cristaloclastos como augita e plagioclásio subédricos a euédricos, além de litoclastos basálticos nas frações cinza fina até blocos são alguns dos primeiros indicadores de uma origem vulcanogênica – no mínimo epiclástica - para uma determinada litofácies interderrame (Fisher e Schminke, 1984; Cas e Wright, 1987; Tucker, 2001; Ross *et al.*, 2005; White e Houghton, 2006; entre outros). Este dado descritivo, em conjunto com aspectos relativos às estruturas e relações de contato das ocorrências interderrames, pode auxiliar a interpretar se um determinado litotipo pode ter sido produto de queda piroclástica subaquosa, por exemplo, ou se todo o material vulcanoclástico foi retrabalhado por processos sedimentares, de modo que é improvável recuperar certas características originais da rocha vulcanoclástica.

De maneira geral, algumas rochas interderrames descritas neste trabalho - que inicialmente se enquadrariam em ambos os casos - exibem constituintes com sinais de pouco transporte e erosão supergênicos, como alta angulosidade e baixa maturidade mineralógica. A variação destas características em relação ao controle de estruturas deposicionais é, no entanto, uma feição extremamente relevante para a construção de diagnósticos mais precisos, que tem sido mais facilmente percebida em escala microscópica.

A gradação na matriz entre os domínios de granulação grossa e baixa seleção, ricos em clastos líticos e vitroclastos para os domínios argilo-siltosos bem selecionados da fácies Blg pode indicar processos de decantação em condições de deposição subaquosa, com suspensão e fracionamento do material em um regime controlado pela lei de Stokes. Nesse contexto, o material vulcanogênico imaturo e mal selecionado - especialmente os fragmentos mais friáveis como os *shards* de taquilito e sideromelano – pode ser interpretado como cinza piroclástica depositada por queda, concomitantemente ao arcabouço ígneo rico em clastos balísticos. A alternância rítmica entre os referidos domínios na matriz sugere que os corpos de água teriam variações intermitentes de energia, responsáveis pela decantação das diferentes frações granulométricas de maneira rítmica, interpretação semelhante ao que é exposto em DiMarco e Lowe (1989) e Loughlin (2002), para fácies de rochas piroclásticas de deposição subaquosa. Isso significa que a queda de material teria

de ocorrer em vários pulsos, que, de maneira conjunta, corresponderiam a uma quantidade de tempo suficiente para que houvesse decantação de argila em dezenas de níveis diferentes, o que pode significar um intervalo de tempo de dias, semanas ou mesmo anos . Esta observação favorece a hipótese de que a referida litofácies de brecha tenha se depositado próximo ao conduto. Esta interpretação é favorecida para as brechas da fácies Blg em Sertanópolis.

Alternativamente, Rosa *et al.* (2016) interpretam que determinadas brechas vulcanoclásticas clasto-sustentadas são formadas por deposição/colocação assincrônica e subaquosa do arcabouço ígneo (por processos variados, por exemplo, autoclásticos) e da matriz siliciclástica de derivação estritamente sedimentar, designada pelos autores como fácies de “brecha vulcanoclástica com preenchimento sedimentar”. Neste caso, a matriz conta com estruturas de geometrias semelhantes às observadas em regiões onde o arcabouço ígneo é ausente, como em um topo de *rubbly pahoehoe* (ou hialoclastito/*pillow-lava*) preenchido por matriz de lama com laminações plano-paralelas, que grada para um lamito *sensu stricto* sobrejacente, por exemplo, semelhante ao que é descrito para a fácies Bmm(t). Neste caso (brecha de topo), cabe reiterar que o arranjo é oposto ao de um peperito originado na base de um derrame em contato com uma camada de sedimentos (fácies Bmm), o que pode servir para distinguir estas duas fácies (Figura 5.1). No entanto, é questionável se uma fácies de brecha matriz sustentada de espessura métrica, como a descrita em partes do afloramento LV-07 em Sertanópolis (Blg), por exemplo, poderia ser formada por este processo, considerando-se as relações de contato observadas em campo (contato entre duas camadas de brecha, que sugere remobilização concomitante do arcabouço e da matriz). O mesmo vale para a fácies Bs(f) e para a ocorrência de Cornélio Procópio (LV-15).

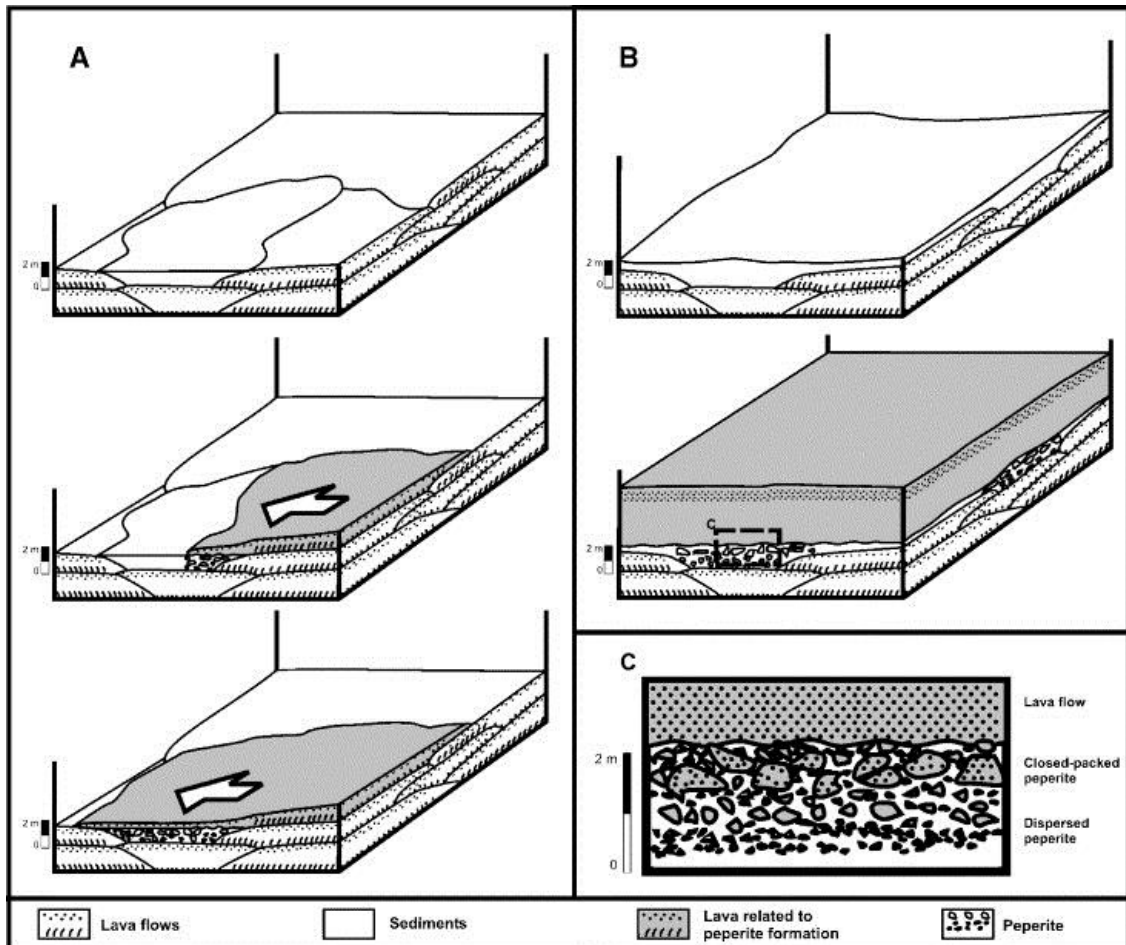


Figura 5.1: Modelo simplificado e idealizado de formação de peperitos a partir de interação entre a base de um derrame e sedimentos inconsolidados. Fonte: Waichel *et al.* (2007).

Frequentemente, nota-se ainda que o material que preenche a matriz dessas brechas apresenta algumas das feições associadas a fenômenos de queda subaquosa, como variação grande da seleção e da maturidade mineralógica vinculadas à laminação gradacional e grande contribuição de fragmentos líticos, vítreos e de cristais provavelmente vulcanogênicos, como parece ocorrer na transição entre as fácies Bmm(t) e Blg em Sertanópolis. Ou seja, mesmo que o arcabouço e parte da matriz não tenham uma origem piroclástica explosiva, ainda é possível interpretar essa origem para os clastos vítreos e líticos finos nos domínios imaturos da matriz alóctone de uma brecha autoclástica. Desta maneira, estaria configurada uma fácies de brecha autoclástica com preenchimento de matriz de origem piroclástica explosiva e sedimentar mista, talvez de maneira semelhante ao que ocorre em Bandeirantes, na fácies Bmm (seção 5.2).

Em uma terceira alternativa, poderia ser interpretado que uma fácies de brecha basáltica matriz a clasto-sustentada se depositaria a partir de um modelo

semelhante ao de Jerram e Stollhofen (2002), que contasse com brechação autoclástica da base de um derrame nas faces de uma duna e mobilização do material por gravidade concomitante à fragmentação, que atuaria como um fluxo de detritos ou escorregamento (Figura 5.2).

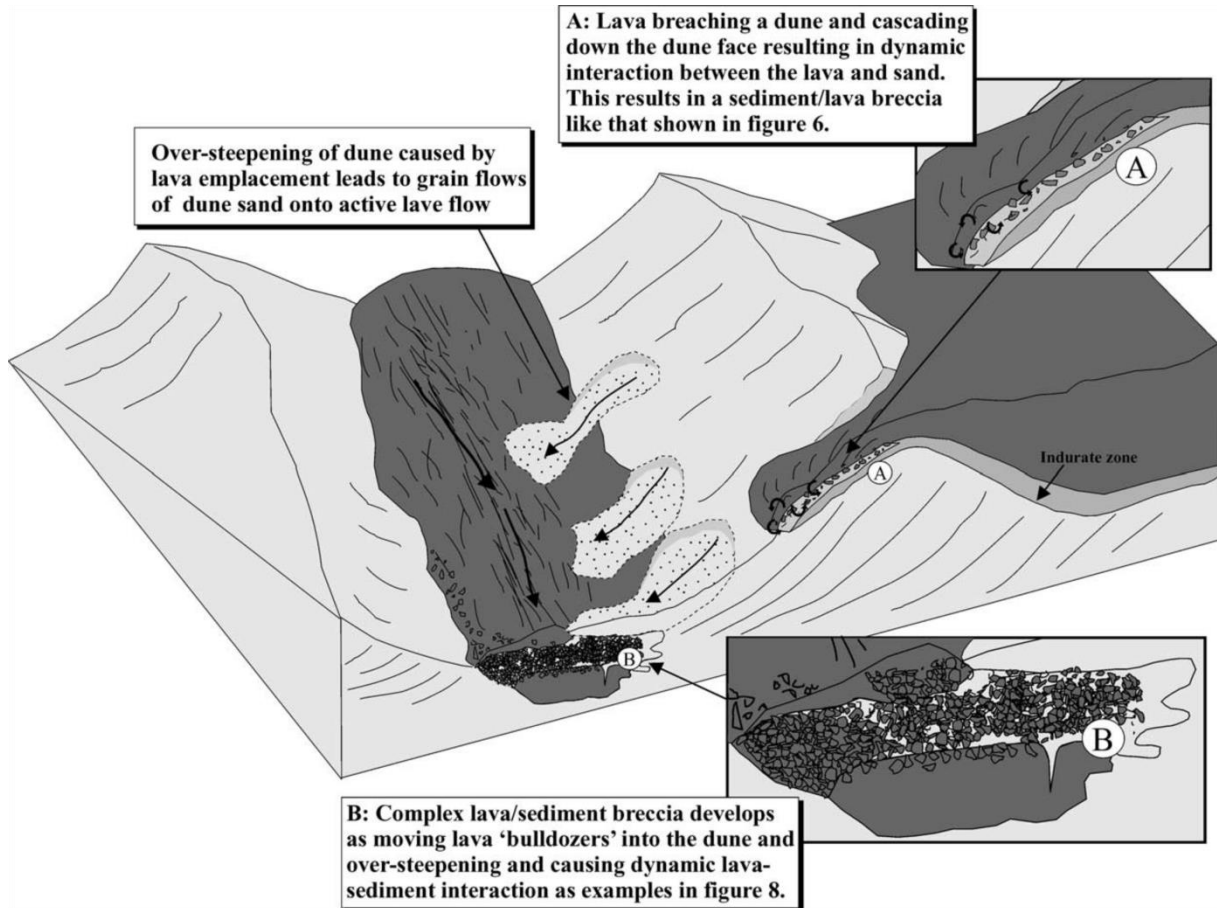


Figura 5.2: Modelo de geração de peperitos a partir de interação entre derrames e sedimentos secos, envolvendo mistura complexa de *grain flows* e ressedimentação por gravidade de fragmentos autoclásticos. Fonte: Jerram e Stollhofen (2002).

Embora fluxos hiperconcentrados (principalmente *lahares*) possam dar origem a fácies estratificadas de brechas vulcanoclásticas (Branney e Kokelaar, 2002; Vallance e Iverson, 2015) é questionável se as fácies com matriz com laminações gradacionais bem formadas de arranjo “independente” do arcabouço (fácies Blg) poderiam ser geradas por remobilização gravitacional mais localizada e concomitante do arcabouço e da matriz. Neste caso o material teria que se depositar em um ambiente interdunas (com um corpo de água minimamente raso), que então daria origem aos domínios bem selecionados de argila a partir de processos de decantação.

Para que este processo gerasse camadas expressivas de brecha com laminações/estratificações gradacionais, teria que se manter ativo por um tempo considerável, tal como exposto anteriormente. Ainda, esta hipótese não explica tão bem a grande quantidade de clastos líticos e vítreos de granulação mais fina (*lapilli* fino a cinza fina) em meio aos domínios mal selecionados, nem estruturas de *sags* e de impacto desenvolvidas na matriz de brechas da fácies Blg.

Nesta hipótese, o material brechado teria que se “desprender” do derrame parental e se mobilizar como um material coeso por si só, uma vez que o contato com o derrame superior só é encontrado após a sucessão de vários estratos gradacionais, que poderiam corresponder a vários “pulsos” de introdução de material brechado fracionados por decantação. Ainda, embora não seja improvável que brechas autoclásticas e epiclásticas remobilizadas por gravidade se comportem dessa maneira (Hon *et al.* 1994; Loughlin, 2002) é menos provável que isso aconteça várias vezes seguidas dentro de um mesmo conjunto deposicional deste contexto, em especial sem que o derrame parental de uma brecha autoclástica eventualmente viesse a se depositar sobre o material interdunas.

Outras interpretações relevantes podem ser feitas a partir da litofácies Bs(f), que neste estudo está relacionada principalmente à ocorrência de Cornélio Procópio. Esta litofácies é definida por brechas basálticas relativamente semelhantes ao tipo Blg, diferindo desta pela presença de textura eutaxítica na matriz, caracterizada por *shards* submilimétricos compactados de vidro basáltico e ausência de estruturas gradacionais na matriz. Laminações na matriz desta fácies podem ser definidas por níveis arenosos com matriz intersticial (talvez epigenética, relacionada à alteração de componentes basálticos), por variações de granulação dos componentes da fração cinza ou pela própria orientação de micáceos e vitroclastos (Figura 4.10). Esta fácies pode ser interpretada como produto de correntes de densidade piroclástica, mais especificamente a partir de zonas de limite de fluxo dominadas por tração, responsáveis pela deposição proximal de fluxos piroclásticos (Branney e Kokelaar, 2002; Brown e Andrews, 2015).

As fácies de tufo-brecha (Tbm) e *lapilli*-tufo (Ltm) são encontradas em camadas menos espessas (< 2 m), frequentemente gradando para tufos das fácies Tm e Ts ou para rochas sedimentares (Ac e Rlg). Ambas possuem interpretações semelhantes e ainda demasiadamente vagas, devido à dificuldade natural de se

diferenciar entre alguns processos piroclásticos, em especial quando o registro estratigráfico é incompleto. De maneira geral, feições relativas às duas fácies indicam deposição por queda piroclástica de blocos (inclusive balísticos) a cinza (Tbm) ou queda de *lapilli* e cinza (Ltm). Uma vez que não são observadas evidências claras de retrabalhamento sin-eruptivo (no sentido de McPhie *et al.*, 1993), é difícil determinar se a deposição foi subaérea ou subaquosa – o que poderia ser diagnosticado mediante a análise da geometria de todo o depósito, conforme sugere Orton (1996). Alternativamente, estas fácies poderiam ser interpretadas como produtos da deposição a partir de zonas de limite de fluxos de alta concentração de fluxos piroclásticos (Branney e Kokelaar, 2002; Brown e Andrews, 2015). Isto vale especialmente para os casos em que estas fácies gradam para tufos soldados (Ts) com *shards* alongados (possíveis *fiammes*), como no afloramento OL-4320.

As fácies Tbm e Ltm não parecem ter sido geradas por transporte gravitacional e fluxos de detritos *sensu stricto*, devido à preservação das formas delicadas de *shards* vítreos e pela presença muitas vezes de vesículas orientadas na matriz. Além disto, deve-se ressaltar que os paleoambientes conhecidos e sugeridos pelas fácies analisadas podem não ter favorecido este tipo de sistema deposicional, que pode ser mais relevante próximo a edifícios vulcânicos maiores.

Interpreta-se que a deposição da fácies de tufo mal selecionado geralmente maciço (Tm) provavelmente envolveu um mecanismo de queda semelhante ao que pode ser interpretado para o tufo-brecha Tbm, ou ainda a partir de fluxos piroclásticos. Não foi possível, até o momento, determinar qual destas origens é mais provável, principalmente devido à não observação de estruturas e feições que favorecessem uma das hipóteses (como *sags* de impacto ou texturas eutaxíticas). Para tal, recomenda-se que seja realizada análise estratigráfica de campo de detalhe. Por outro lado, para a fácies de tufo com estratificação gradacional com soldagem parcial de *shards* vítreos orientados (Ts), a associação com fluxos piroclásticos é um pouco mais direta e clara – embora Rosa *et al.* (2016) não descartem a geração de texturas semelhantes a *fiammes* a partir da compactação diagenética de piroclastos depositados por correntes subaquosas, é mais provável que essas feições sejam encontradas em lamitos com arcabouço formado por *fiammes* interconectados (“*mud-rich water-settled fiamme breccia*”).

Uma questão que concerne a diversas fácies (mesmo às interpretadas como rochas sedimentares) é a grande quantidade de minerais micáceos (mica branca e biotita) euédricos e relativamente grossos (fração areia ou cinza fina a média) na matriz de brechas em tufos ou mesmo em ritmitos lamo-arenosos. Esta quantidade de micas mais grossas em fácies diversas é digna de nota, e embora por vezes pareça estar associada a hidrotermalismo (*sensu lato*) de maneira semelhante à forma de ocorrência de zeólitas, carbonatos e cloritas (embora não necessariamente nas mesmas fases), frequentemente parecem ter uma origem deposicional. Estes minerais micáceos frequentemente estão orientados segundo os estratos em que estão inseridos, e, como mencionado anteriormente, podem ser encontrados na transição entre domínios arenosos e argilosos (em estratos gradacionais, Figura 4.7) ou imersos nos domínios mais ricos em clastos granulares como quartzo, opacos e *shards*. Estes arranjos (em especial o primeiro) favorecem a hipótese de que estes minerais micáceos foram incluídos nestas rochas como clastos “detríticos”; ou seja, como grãos depositados pelos mesmos processos relativos a cada fácies, que podem incluir transporte por vento (*loess?*) ou água e decantação após a fração areia dos domínios mal selecionados em estratos gradacionais (fácies Blg), mesmo em rochas piroclásticas. Ou seja, se estas micas possuírem uma origem hidrotermal relacionada à interação das lavas com sedimentos, é possível que quantidades relevantes tenham sido retrabalhadas e redepositadas (ressedimentação sin-eruptiva?) em meio a camadas interderrames posteriores.

Deve ser citada ainda a existência provável de duas gerações distintas de biotita fina na matriz dessas mesmas fácies. A mais frequente está associada a clastos avermelhados lamelares euédricos e orientados de granulação cinza/areia fina a média já citados. A outra, menos comum, é caracterizada por cristais muito finos esverdeados a castanhos anédricos e sem orientação, com aspecto mais “detrítico”, que provavelmente possuem uma origem diferente dos cristais de biotita lamelar avermelhados. Estes cristais de biotita esverdeados a castanhos presentes em quantidades subordinadas podem ser mais facilmente associados a transporte e deposição a partir de áreas fontes mais distantes (como sedimento supergênico) ou a uma origem como clastos acessórios derivados da sequência sedimentar envolvida no vulcanismo.

5.2 Outras rochas vulcanoclásticas primárias

Brechas da fácies Bmm foram interpretadas neste trabalho como peperitos basálticos derivados da interação não explosiva entre derrame, sedimento e água, em especial devido a algumas feições que permitem a correlação entre as bases dos derrames e as ocorrências de brecha. Pode ser citado, por exemplo, o metamorfismo termal no contato entre arcabouço ígneo e matriz sedimentar, indicativo de contraste termal no momento da colocação do arcabouço, observado em peperitos da pedreira de Bandeirantes (Figura 4.31). Além disso, frequentemente é possível observar alguma porção do arranjo original do arcabouço parcialmente preservada, como contatos próximos entre clastos (textura *jigsaw fit*) que são texturalmente semelhantes ao basalto do próprio derrame, ou ainda domínios ígneos como superfícies cordadas de lavas *pahoehoe* bem preservados, claramente fragmentados *in situ* (Figura 4.1). Neste caso, a fragmentação envolveu também o material ígneo derivado do topo do derrame, que pode ser associada à fácies Bmm(t). O processo de interação que deu origem ao peperito em si (no sentido de White e Houghton, 2006) seria necessariamente posterior à sedimentação do material interderrame da fácies Bmm(t), mas é possível que algum tipo de interação hidrotermal tenha ocorrido já nesse momento, conforme descrevem Rosa *et al.* (2016).

Um aspecto curioso observado em seções delgadas de peperitos de Bandeirantes é a presença de *shards* de sideromelano de granulação cinza na matriz, aparentemente correlacionáveis a clastos líticos de granulação *lapilli* também com vidro translúcido. Esta feição sugere fragmentação eficiente do material basáltico juvenil derivado do derrame, suficiente para geração de *shards* de sideromelano fino. Essa fragmentação pode ter, portanto, se derivado de uma interação FC explosiva *in situ*, conforme sugerido por Busby-Spera e White (1987) e Skilling *et al.*, (2002).

Em Sertãoópolis, a presença de clastos basálticos semelhantes observados em seções delgadas ao longo do afloramento principal (LV-7) poderia sugerir derivação autoclástica de algumas porções do conjunto de brechas basálticas (LV-7A). Além disso, feições sugestivas de interação quente e plástica durante a deposição - como cristalização de zeólitas na matriz siliciclástica (como cimento e em vesículas) provavelmente concomitante à cristalização em vesículas dos clastos

de basalto, bem como contatos relativamente botrioidais e irregulares entre matriz e arcabouço – podem sugerir *mingling in situ* não explosivo. No entanto, ressalta-se que a diferença entre os clastos do arcabouço observada em campo é considerável, especialmente na porção central das camadas de brecha, uma vez que de fato a base da camada inferior de brecha parece se confundir com um topo de *rubbly pahoehoe* (LV-7A).

Além disto, é questionável se o *mingling* não explosivo *in situ* de um derrame com material sedimentar, de contexto semelhante ao descrito no parágrafo anterior, seria capaz de produzir peperitos com matriz de arranjo original estratificado tão bem preservado como na ocorrência de Sertanópolis, onde este pode ser observado ao longo de essencialmente toda a camada de brecha. Nesta ocorrência, o arranjo da matriz se mantém em geral constante ao longo da espessura da sequência, o que é mais indicativo de deposição da matriz posterior ou concomitante ao arcabouço ígneo – e não anterior (DiMarco e Lowe, 1989, Rosa *et al.*, 2016).

5.3 Rochas sedimentares ou epiclásticas

Do conjunto de fácies descritas neste trabalho, duas (Ac e Rlg) foram interpretadas como rochas estritamente sedimentares ou epiclásticas – isto é, rochas com fragmentos vulcanogênicos fragmentados por processos supergênicos normais e/ou de deposição final controlada por processos supergênicos, após erosão, transporte e intemperismo (Cas e Wright, 1987; McPhie *et al.*; 1993). A litofácies Atc, apesar de ter sido interpretada como majoritariamente depositada por processos supergênicos normais, apresenta fragmentos piroclásticos com poucos sinais de transporte e erosão, além de contrastes granulométricos com o restante dos constituintes sedimentares, que sugerem interferência de processos de queda (Figura 4.19). Assim, foi considerada uma fácies de caráter misto, na qual os constituintes piroclásticos poderiam alternativamente ser tratados como litotipos isolados e classificados em fácies próprias. A classificação, no entanto, foi mantida como está apresentada, devido à intenção de se reforçar a contemporaneidade de processos que podem ter atuado na deposição de camadas aparentemente estritamente sedimentares.

As litofácies Ac e Atc foram interpretadas como depósitos subaéreos (eólicos) de areia madura, particularmente semelhantes aos arenitos classicamente

associados às ocorrências interderrames das Formação Botucatu na base da PMP. Já os ritmitos lamo-arenosos (Rlg) com laminações gradacionais devem ter se formado por transporte e deposição subaquosos a partir de decantação em águas calmas - embora não esteja descartada a contribuição de material transportado pelo vento, como silte de *loess* ou mesmo areia. Ressalta-se ainda que não foram encontradas, até o momento, estruturas características de fluxos trativos subaquosos comuns, que sugerissem a atuação de correntes unidirecionais (fluviais, por exemplo). Deste modo, ficam caracterizados possíveis depósitos lacustres aparentemente pouco expressivos, de maneira semelhante ao que é apontado em Luchetti *et al.* (2014) e Rosseti *et al.* (2017).

6 CONCLUSÕES

A comparação das descrições com as principais propostas de interpretação da literatura permitiu a delimitação das hipóteses mais plausíveis para geração das 11 fácies interderrames. No entanto, ainda permanecem algumas questões não resolvidas.

Embora existam menções a processos muito distintos de formação de rochas semelhantes à fácies Blg, alguns aspectos de seu arranjo podem ser utilizados para descartar algumas dessas hipóteses. Cita-se, por exemplo, a presença de laminação gradacional milimétrica contínua na matriz de camadas métricas de brecha, que foi considerada incompatível com processos de *mingling in situ* entre lava e sedimento. A espessura dos sets, a deformação local da matriz por blocos e os *shards* de sideromelano e taquilito na matriz desfavorece a interpretação de que estas brechas são rochas autoclásticas com matriz sedimentar de preenchimento posterior. Assim, a hipótese de geração considerada mais plausível para a fácies Blg envolve processos de queda piroclástica com possível controle sin-eruptivo de decantação em corpos aquosos pouco extensos. Embora a existência de paleoambientes úmidos ou mesmo de corpos de água interderrames da PMP seja um tema controverso na literatura, cabe reiterar que esta hipótese se aproxima parcialmente do que é proposto por Waichel *et al.* (2007), Lucchetti *et al.* (2014), Riccomini *et al.* (2016) e Moraes e Seer (2017), que sugerem ambientes úmidos de deposição para fácies sedimentares interderrames de diferentes contextos estratigráficos na

provincia. Interpretação semelhante também é apontada pela fácies de ritmito lamarenoso gradacional (Rlg).

Os estilos de deposição das fácies de tufo-brecha (Tbm), *lapilli*-tufo (Ltm) e tufo maciço (Tm), por sua vez, não estão tão bem delimitados, embora também seja favorecida a hipótese da fragmentação e deposição piroclásticas. Para estas fácies, sugere-se a realização de estudos de detalhe visando melhor discriminação entre feições resultantes de ressedimentação sin-eruptiva (McPhie *et al.* 1993) e feições características dos próprios processos de queda ou fluxo piroclásticos. Além disto, seria necessário caracterizar melhor a estratigrafia de alguns depósitos (incluídos neste estudo como amostras isoladas) para determinar a qual desses fenômenos estão associados.

Outra questão que se estabeleceu durante o desenvolvimento deste trabalho se refere à origem dos minerais micáceos mais euédricos que são encontrados na matriz de diversas fácies. Sugere-se que sejam realizadas datações $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ e estudos das fases hidrotermais associadas a estas rochas interderrames, uma vez que é necessário determinar se estas micas possuem origem indiretamente ligada ao magmatismo ou se são apenas clastos detríticos acidentais, presentes em quantidades excepcionalmente altas.

REFERÊNCIAS

- Almeida, F. F. M. 1986. Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo pós-paleozóico no Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 16(4): 325-349.
- Almeida, F. F. M., Brito Neves, B. B., Carneiro, C. D. R. 2000. The origin and evolution of the South American Platform. *Earth Science Reviews*. 50(1): 77-111.
- Azambuja Jr., J. R. A. 1943. Arenito Vulcano-clástico intertrapeano de Iraí, R. G do Sul. *Mineração e Metalurgia*, 7(41): 361-364.
- Barreto, C. J. S., Lafon, J. M., Lima, E. F., Sommer, C. A. 2016. Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic insight into the low-Ti basalts from Southern Paraná Igneous Province, Brazil: The role of crustal contamination. *International Geology Review*, 58(11): 1324-1349.
- Bellieni, G., Brotzu, P., Comin-Chiaramonti, P., Ernesto, M., Melfi, A. J., Pacca, I. G., and Piccirillo, E. M. 1984. Flood basalt to rhyolites suites in the southern Paraná plateau (Brazil): paleomagnetism, petrogenesis and geodynamic implications, *J. Petrol.*, 25, 579–618.
- Branney, M.J., Kokelaar, P., 2002. *Pyroclastic Density Currents and the Sedimentation of Ignimbrites*. The Geological Society, London.
- Brown, R. J. Andrews, G. D. M. 2015. Deposits of Pyroclastic Density Currents. In: Sigurdsson, H.; Houghton, B., McNutt, S. R., Rymer, H., Stix, J. The Encyclopedia of Volcanoes. Academic Press, London. 1421 p.
- Busby-Spera, C. J. and White, J. D. L. 1987. Variation in peperite textures associated with differing host sediment properties, *B. Volcanol.*, 49, 765–775.
- Cas, R. A. F.; Wright, J. V. 1987. *Volcanic successions: modern and ancient*. Chapman & Hall, Londres, 528 p.
- Coffin, M. F., Eldholm, O. 1994. Large Igneous Provinces: Crustal structure, dimensions, and external consequences. *Rev. Geophys.*, 32: 1–36.
- DiMarco, M. J., Lowe, D. R., 1989. Shallow-water volcanoclastic deposition in the Early Archean Panorama Formation, Warrawoona Group, eastern Pilbara Block, Western Australia. *Sedimentary Geology*, 64: 43-63.

Erlank, A. J., Marsh, J. S., Duncan, A. R., Miller, R. M., Hawkesworth, C. J. Betton, J., Rex, D.C. 1984. Geochemistry and petrogenesis of the Etendeka volcanic rocks from South West Africa/Namibia. *Geol. Soc. S. Afr. Spec. Publ.*, 13, pg. 195-246.

Frank, H.T., Gomes, M.E.B., Formoso, M.L.L., 2009. Review of the areal extent and volume of the Serra Geral Formation, Paraná Basin, South America. *Pesqui. Geosci.* 36, 49-57.

Fisher, R.V. 1961. Proposed classification of volcanoclastic sediments and rocks. *Geological Society of America Bulletin*, 72: 1409–1414.

Fisher, R. V., Schmincke, H. -U. 1984. *Pyroclastic rocks*. Springer-Verlag, Berlin, 472 p.

Fodor, R. V.. 1987. Low- and high-TiO₂ flood basalts of southern Brazil: origin from picritic parentage and a common mantle source. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 84, 423-430.

Gill, R. 2010. *Igneous rocks and processes: a practical guide*. Wiley-Blackwell, 438 p.

Göer De Herve, A. 2000. Peperites from the Limagne trench, a distinctive facies of phreatomagmatic pyroclastics: history of a semantic drift. In: Leyrit, H., Montena, C. *Volcaniclastic Rocks, from Magmas to Sediments*, CRC Press, 270 p.

Gomes, A.S., Licht, O.A.B., Vasconcellos, E.M.G., Soares, J.S., 2016. High-resolution

Chemostratigraphy and the Evolution of the Paraná Igneous Province Volcanism in the Central Portion of the State of Paraná, Southern Brazil. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, no prelo.

Guimarães, D. 1933. A província magmática do Brasil meridional. Belo Horizonte, Departamento dos Serviços Geographico e Geologico, Monographia 1, 65 p.

Hon, K.; Kauahikaua, J.; Denlinger, R.; Mackay, K. 1994. Emplacement and inflation of pahoehoe sheet flows: Observations and measurements of active lava flows on Kilauea Volcano, Hawaii. *Geological Society of America Bulletin*, v. 106, no. 3, p. 351-370.

Jerram, D. A., Stollhofen, H. 2002. Lava-sediment interaction in desert settings; are all peperite-like textures the result of magma water interaction? *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 114: 231–249.

Leinz, V. 1949. *Contribuição à geologia dos derrames basálticos do sul do Brasil*. Boletim 103: Geologia 5-6, São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, 61 p.

Licht, O. A. B. 2012. *Estudo de produtos hidrovulcânicos no sudoeste do Paraná*. Serviço Geológico do Paraná - MINEROPAR, Curitiba, 314 p.

Licht, O. A. B. 2014. A evolução do conhecimento sobre a Província Ígnea do Paraná – dos primórdios até 1950. *Revista do Instituto Geológico* (São Paulo), **35(2)**: 71-106.

Licht, O.A.B. 2016. A revised chemo-chrono-stratigraphic 4-D model for the extrusive rocks of the Paraná Igneous Province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, no prelo, disponível online em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2016.12.003>

Licht, O. A. B., Arioli, E. E. 2013. *O Grupo Serra Geral no Estado do Paraná: Mapeamento geológico das cartas 1:250.000 de Guaíra, Cascavel, Campo Mourão, Foz do Iguaçu, Guaraniaçu, Guarapuava, Pato Branco e Clevelândia*. Serviço Geológico do Paraná - MINEROPAR, Curitiba, v. 1 (texto), 451 p.

Licht, O. A. B., Valore, L. A., Szatmari, P. 2015. Faciology and stratigraphy of Mafic Volcaniclastic Deposits (MVDs), Serra Geral Group Saudade do Iguaçu-Coronel Vivida region, State of Paraná, Brazil. *Proc...VI Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados, SBG, São Paulo*.

Lima, E. F., Waichel, B. L., Rossetti, L. M. M., Viana, A. R., Scherer, C. M., Bueno, G. V., Dutra, G. 2012. Morphological and petrographic patterns of the pahoehoe and 'a'ā flows of the Serra Geral Formation in the Torres Syncline (Rio Grande do Sul state, Brazil). *Rev. Bras. Geociências*, 42(4):744-753.

Luchetti, A. C. F., Nardy, A. J. R., Machado, F. B., Madeira, J. E. O., Arnosio, J. M. 2014. New insights on the occurrence of peperites and sedimentary deposits within the silicic volcanic sequences of the Paraná Magmatic Province, Brazil. *Solid Earth*, 5: 121–130.

Machado, F. B., Rocha-Júnior, E. R. V., Marques, L. S., Nardy, A. J. R. 2015. Volcanological aspects of the northwest region of Paraná continental flood basalts (Brazil). *Solid Earth*, 6: 227–241.

Mantovani, M.S.M., Stewart, K., Turner, S., Hawkesworth, C.J., 1995. Duration of Paraná magmatism and implications for the evolution and source regions of continental basalts. *Acad. Bras. Ciênc.* 67 (supl. 2), 163–169.

Marques, L. S., Ernesto, M. O magmatismo toleítico da Bacia do Paraná. In: Mantesso neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, A. D. R.; Brito-Neves, B. B. (eds.). 2004. *Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca, p. 245-264.

McPhie, J., Doyle, M., and Allen, R., 1993, *Volcanic textures: A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks*: Hobart, CODES Key Centre, University of Tasmania, 196 p.

Melfi, A. J., Piccirillo, E. M., Nardy, A. J. Geological and magmatic aspects of the Paraná Basin: an introduction. In: Piccirillo, E. M., Melfi, A. J. (Ed.). 1988. *The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects*. São Paulo: IAG-USP, p. 1-13.

Miall, A.D. 1978. Lithofacies Types and Vertical Profile Models in Braided River Deposits: A Summary. In: Miall, A.D., Ed., *Fluvial Sedimentology*, Memoir 5, Canadian Society of Petroleum Geologists. 597-604.

Milani, E. J. 1997. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2v.

Milani, E. J., Melo, J. H. G., Souza, P. A., Fernandes, L. A., França, A. B., 2007. Bacia do Paraná. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, 15(2): 265–287.

Oliveira, E.P. 1916. *Geologia do Estado do Paraná*. Ministério da Agricultura, Industria e Commercio, Rio de Janeiro, Bol. 5, 1: p. 67-143

Orton, G.J., 1996, Volcanic environments, in Reading, H.G., ed., *Sedimentary environments: Processes, facies and stratigraphy*: Oxford, Blackwell Science, p. 485–567.

Peate, D. W. 1989. Stratigraphy and petrogenesis of the Parana Continental Flood Basalts, Southern Brazil. Tese (Doutorado). Open University. 359 pg.

Peate, D. W. 1997. The Paraná-Etendeka Province. In: Mahoney, J.J., Coffin, M.F. (Eds.), *Large Igneous Provinces: Continental, Oceanic, and Planetary Flood Volcanism*. Am. Geophys. Union Geophys. Monogr. vol. 100, pg. 217-246.

Peate, D. W.; Hawkesworth, C. J.; Mantovani, M. S. M. 1992. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution, *Bulletin of Volcanology*, vol. 55, pg. 119-139.

Petry, K., Jerram, D. A., De Almeida, D. D. P. M., Zeffass, H. 2007. Volcanic-sedimentary features in the Serra Geral Fm., Paraná Basin, southern Brazil: examples of dynamic lava-sediment interactions in an arid setting. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 159: 313–325

Piccirillo, E.M., Melfi, A.J., Comin-Chiaramonti, P., Bellieni, G., Ernesto, M., Marques, L.S., Nardy, A.J.R., Pacca, I.G., Roisenberg, A., Stolfa, D., 1988. Continental flood volcanism from the Paraná Basin (Brazil). In: MacDougall, J.D. (Ed.), *Continental Flood Basalts*. Kluwer Acad. Publ., pp. 195–238.

Piccirillo, E.M., Melfi, A.J. (Eds.). 1988. *The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin*. Inst. Astron. Geofísico, Univ. São Paulo, São Paulo, 600 pg.

Renne, P. R., Ernesto, M., Pacca, I. G., Coe, R. S., Glen, J. M., Prévot, M., Perrin, M. 1992. The age of Parana flood volcanism, rifting of Gondwanaland, and the Jurassic Cretaceous boundary, *Science* 258, 975–979, 1992.

Riccomini, C., Sant'Anna, L. G., Fambrini, G. L. 2016. The Early Cretaceous Jacuí Group, a newly discovered volcanoclastic–epiclastic accumulation at the top of the Paraná Basin, southern Brazil. *Cretaceous Research*, 59:111–128

Rosa, C. J. P., McPhie, J., Relvas, J. M. R. S. 2016. Distinguishing peperite from other sediment-matrix igneous breccias: Lessons from the Iberian Pyrite Belt. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 315: 28-39.

Ross, P.-S., et al. 2005. Mafic volcanoclastic deposits in flood basalt provinces: a review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 145: 281–314.

Rossetti, L., Lima, E. F., Waichel, B. L., Hole, M. J., Simões, M. S., Scherer, C. M. S. 2017. Lithostratigraphy and volcanology of the Serra Geral Group, Paraná-Etendeka Igneous Province in Southern Brazil: Towards a formal stratigraphical framework. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, no prelo, disponível online: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.05.008>.

Rocha-Júnior, E. R. V., Marques, L. S., Babinski, M., Nardy, A. J. R., Figueiredo, A. M.G., and Machado, F. B. 2013. Sr-Nd-Pb isotopic constraints on the nature of the mantle sources involved in the genesis of the high-Ti tholeiites from northern Paraná Continental Flood Basalts (Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, 46: 9–25, 2013.

Rüegg, N.R., 1970. A composição química das rochas basálticas da Bacia do Paraná (América do Sul) e de outras províncias gonduânicas equivalentes. *Mus. Labor. Mineral. Geol.*, Univ. Coimbra. Coimbra, Memória e Notícias 70 pp. 26–85.

Scherer, C. M. S. 2002. Preservation of aeolian genetic units by lava flow in the Lower Cretaceous of the Paraná Basin, southern Brazil. *Sedimentology*, 49: 97-116.

Skilling, I. P., White, J. D. L., and McPhie, J. 2002. Peperite: a review of magma-sediment mingling, *J. Volcanol. Geoth. Res.*, 114, 1–17.

Stewart, K., Turner, S., Kelley, S., Hawkesworth, C., Kirstein, L., Mantovani, M. 1996. 3-D, ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology in the Paraná continental flood basalt province. *Earth Planet. Sci. Lett.* 143, 95–109.

Thiede, D. S., Vasconcellos, P. M., 2010. Paraná flood basalts: rapid extrusion hypothesis confirmed by new $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ results. *Geology* 38 (8), 747–750.

Turner, S., Regelous, M., Kelley, S., Hawkesworth, C., Mantovani, M. 1994. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.* 121, 333–348.

Ukstins Peate, I., Larsen, M., Leshner, C.E., 2003. The transition from sedimentation to flood volcanism in the Kangerlussuaq Basin, East Greenland: basaltic pyroclastic volcanism during initial Palaeogene continental break-up. *Journal of the Geological Society (Lond.)*, 160: 759– 772.

Vallance, J. W., Iverson, R. M. 2015. Lahars and their deposits. In: Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S. R., Rymer, H., Stix, J. *The Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, London. 1421 p.

Valore, L. A., Licht, O. A. B, Höfig, D. F., Vasconcellos, E. M. G., Ukstins Peate, I., Óskarsson, B. V. 2017. Mafic volcanoclastic deposits of the Paraná Igneous Province and their correlation to chemostratigraphy - State of Paraná, Brazil. *Anais...X Simpósio Sul Brasileiro de Geologia, SBG*, Curitiba.

Waichel, B. L., Lima, E. F., Sommer, C. A., Lubachesky, R. 2007. Peperite formed by lava flows over sediments: An example from the central Paraná Continental Flood Basalts, Brazil, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 159: 343–354.

Washburne, Ch. W. 1930. Petroleum geology of the State of São Paulo. Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo, São Paulo, *Bol.* 22, 282 p.

Wentworth, C.K.. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The Journal of Geology*, 30: 377–392.

White, I.C. 1908. Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brazil – Relatório Final. In: CPRM. 2008. *Edição comemorativa: 100 anos do Relatório White*. Edição fac-similar, Imprensa Nacional, Rio de Janeiro, 617 p.

White, J. D. L., Bryan, S. E., Ross, P. -S., Self, S., Thordarson, T. 2009. Physical volcanology of continental large igneous provinces: update and review. In: Thordarson,T., Self, S., Larsen, G., Rowland, S.K., Höskuldsson, A. (eds.). *Studies in volcanology: the legacy of George walker*. Special Publications of IAVCEI, 2: 291-321.

White, J. D. L., Houghton, B. F. 2006. Primary volcanoclastic rocks. *Geology*, 34: 677–680.

White, J.D.L., McPhie, J., and Skilling, I., 2000, Peperite: A useful genetic term. *Bulletin of Volcanology*, 62: 65–66, doi: 10.1007/s004450050293.

Wohletz, K. H. 1983. Mechanisms of hydrovolcanic pyroclast formation: size, scanning electron microscopy, and experimental studies. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 17: 31-63,

Wohletz, K. H. 1986. Explosive magma-water interactions: Thermodynamics, explosion mechanisms, and field studies. *Bulletin of Volcanology*, 48: 245-264.

Zimanowski, B., Buttner, R., Dellino, P., White, J. D. L., Wohletz, K. H., 2015. Magma-Water Interaction and Phreatomagmatic Fragmentation. In: Sigurdsson, H.; Houghton, B., McNutt, S. R., Rymer, H., Stix, J. The Encyclopedia of Volcanoes. Academic Press, London. 1421 p.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – FICHAS DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Descrição Microscópica:

Quartzo (30%): Grãos de quartzo perfazem cerca de 70% da fração areia fina a muito fina que formam o arcabouço da amostra. Podem ocorrer grãos na fração silte, mas é difícil de distinguir do cimento fino que é encontrado na maior parte da amostra. Esse cimento pode ser silicático ou de zeólitas finas. Embora provavelmente seja silicático, deve-se atentar para o fato de que há ao menos uma geração de formação de zeólitas mais grossas.

Os grãos de quartzo do arcabouço são em geral muito angulosos e possuem esfericidades variadas, apesar da seleção granulométrica ser boa. Isso indica pouco transporte supergênico (mas pode significar fragmentação intensa de grãos anteriores menos angulosos) e deposição rápida (imatura).

Matriz ferruginosa argilosa (35%): Ocorre concentrada em níveis escuros mm descontínuos e convolutos irregulares (FOTOS). Ocorre também nos interstícios das frações arenosas em menor quantidade. Os níveis escuros podem representar laminações originais, embora muitas das porções sejam irregulares e ameboides. Alguns apresentam concentrações de filossilicatos. Não é certo se há estruturas relacionadas a deposição preferencial de finos – podem estar perturbadas. Na maior parte da amostra, a matriz ocorre em formas ameboides, há ainda níveis paralelos à largura da seção (possível laminação) e níveis paralelos a veios com zeólitas (fluidização e deformação associada ao hidrotermalismo?). Na base da lâmina há um contato com uma porção onde predominam agregados ameboides de matriz argilosa milimétricos, que formam manchas distribuídas homoganeamente. A matriz nessa região é mais acastanhada e menos avermelhada.

Opacos (10%): Grãos de granulação areia fina a silte, arredondados a angulosos. Grãos maiores, angulosos e avermelhados podem ser vitroclastos? De maneira geral ocorrem dispersos, mas há concentrações em níveis submm localizados (FOTOS). Em um desses níveis, a seleção parece ser muito boa, há relativa concentração de opacos e até uma espécie de veio preenchido por material opaco. Em outras porções a seleção é moderada a boa e a angulosidade varia mais.

Vitroclastos (5%): Observam-se grãos castanhos levemente avermelhados subangulosos ou

angulosos de granulação cinza fina translúcidos ou escuros (taquilito), que podem ser confundidos com opacos. Ocorrem dispersos na amostra, com quantidades relativamente baixas. Alguns são cuspidos (ligeiramente mais grossos), lembram *shards juvenis*.

Augita (10%): Ocorrem grãos na fração cinza muito fina a equivalente a silte anédricos a subédricos prismáticos. Em geral, esverdeados ou incolores e dispersos na amostra, associados a porções cristaloclasticas.

Zeólitas (5%): Ocorrem cristais de até 0,5 mm em agregados com formas de mosaico no interior de vesículas ou em veios de espessura mm em formas mais lamelares (FOTOS). Relação de contato entre cimento muito fino e zeólitas em vesículas sugere que as zeólitas mais grossas sejam posteriores (duas fases de cristalização de zeólitas – FOTOS).

Micas (5%): Ocorrem como cristaloclastos sub a anédricos lamelares (areia mto fina a fina) delgados ou ligeiramente mais espessos (areia fina). A maior parte é castanha, mas há “muscovitas” recobertas por óxidos. Ainda assim, parece que há mais biotitas (castanho escuros) que mica branca.

Litoclastos (-%): Fragmentos de basalto, gran. cinza grossa a muito grossa (1 a 2 mm), hipohialinos escuros. Um clasto de tamanho *lapilli* fino na porção basal, com plagioclásio lamelar médio. Parece ter texturas esferulíticas.

Outros min (-%): Outros minerais (cristaloclastos) incluem clorita, epidoto (gran cinza média, agregado estranho na porção basal) e plagioclásio. Cinza fina.

Considerações:

Quartzo bem selecionado poderia indicar que o controle deposicional é fino, ou que o quartzo era bem selecionado na fonte, o que é mais provável. Isto porque a seleção da amostra como um todo não é tão boa, e porque o arranjo (estruturas) não exhibe controle por granulação.

Baixa maturidade e variação na seleção e formato dos grãos de maneira desconectada à estrutura sugerem deposição com baixa seleção inata. Favorece ser vulcanoclástica. Isso é reforçado pela presença de maiores quantidades augita.

Fácies: tufo fino de seleção moderada laminado.

Observações:

Descrição Microscópica:

Quartzo (30%): Ocorrem como cristais de granulação areia fina a silte em níveis relativamente contínuos e regulares. Estes níveis estão alternados com porções ricas em argila e são bem controlados por variações sutis na granulação do quartzo, que apresenta seleção boa. O quartzo varia entre pouco e moderadamente esférico, geralmente é subanguloso a anguloso. Há pouca porosidade intergranular.

Opacos (20%): Ocorrem cristaloclastos de granulação equivalente a areia fina a silte, de arranjo bem controlado pela laminação (FOTOS). Ocorrem predominantemente em níveis mm de concentrações de opacos. São em geral angulosos e de esfericidade moderada.

Augita (20%): Ocorrem em associação com outros cristaloclastos “detríticos” mais esféricos, em granulação cinza fina a muito fina. Cristais anédricos angulosos. Alguns níveis apresentam concentrações relativas de augita (canto direito da seção).

Matriz argilosa (10%): Ocorre em níveis concentrados submilimétricos em associação com micáceos muito finos. Os níveis de argila são menos espessos que os níveis ricos em cristais e vidro, o que configura uma estrutura relativamente regular, com pequenas perturbações, porções rompidas e descontínuas secundárias.

Micas (15%): Observam-se cristais de mica branca e biotita avermelhada lamelares de granulação variada, equivalente a silte a areia média, que ocorrem tanto dispersos em meio a níveis ricos em cristaloclastos quanto concentrados próximo a níveis argilosos (FOTOS). Neste caso, estão orientados paralelamente à estratificação. Dentro de alguns desses níveis, observam-se variações laterais sutis da granulação das micas. Ocorrem ainda cristais que parecem ser de biotita esverdeada em quantidades traço que são mais comumente anédricos, com formatos semelhantes a outros cristaloclastos. Estes cristais podem ser acidentais ou acessórios. Não estão orientados.

Zeólitas (-%): Ocorrem no interior de vesículas relativamente grandes (2 a 3 mm) que afetam a própria matriz. Estas apresentam cristais de até 300 um de comprimento. Uma feição curiosa é que a presença de níveis rompidos de matriz lamosa perturbada dentro de vesículas, que

sugere cristalização penecontemporânea à deposição.

Vitroclastos (5%): Há muitos opacos, mas não se sabe ao certo quantos são óxidos e quantos podem ser taquilito. Litoclastos na seção apresentam mesóstase muito escura. Há alguns clastos que mais provavelmente podem ser associados a vidro basáltico, porque são formados por sideromelano, ou apresentam feições de devitrificação (microlitos visíveis). Possuem granulação cinza fina. Estes últimos parecem ocorrer próximos aos litoclastos, no mesmo nível em que há vesículas.

Litoclastos (-%): Há alguns litoclastos de basalto hipohialino a hipocristalino de granulação cinza média a grossa, angulosos dispersos e um resto de litoclasto de basalto mais grosso (*lapilli* fino 3 a 4 mm) em grande parte perdido pela própria confecção da lâmina.

Considerações:

Estratificação gradacional muito bem formada, com domínios de cinza de seleção moderada alternados com níveis argilo-siltosos bem definidos. Pode sugerir decantação e fracionamento de material imaturo introduzido por queda em corpo aquoso raso.

O arcabouço pode ter sido gerado por fragmentação autoclástica (como observado em campo), mas a matriz provavelmente possui constituintes piroclásticos.

Fácies: Brecha basáltica mal selecionada e matriz suportada com matriz de laminação gradacional (Blg).

Observações:

Descrição Microscópica:

Quartzo (35%): Ocorrem grãos de granulação equivalente areia muito fina a fina de seleção boa, geralmente angulosos e pouco esféricos. Há pouca porosidade intergranular. Os grãos de quartzo compõem cerca de 60% do arcabouço da amostra. Porções com predominância de quartzo (+opacos, vitroclastos e outros grãos de aspecto detrítico) ocorrem em alternância com níveis de predominância de micáceos submm a mm.

Mica branca (20%): Ocorrem como grãos de granulação equivalente a areia média a fina – quando lamelares e delgados – ou areia muito fina a silte (grãos anédricos associados à matriz argilosa). A mica branca e a biotita ocorrem em porcentagens semelhantes, mas em porções de domínio de cada uma das espécies. As micas de maneira geral ocorrem em toda a seção em boa quantidade, mas há concentrações em níveis descontínuos, talvez em associação com a matriz argilosa. As porções com menor quantidade de micáceos parecem corresponder a um nível da base da seção com mais matriz ferruginosa intersticial estranha. No entanto, mesmo nesse nível parece que há ao menos 20% de micáceos. Não está certo se há um controle deposicional na variação de proporção de micas. Estão orientadas paralelamente à estratificação., com variações de até 30° entre os cristais, mas não há certo se isso configura duas direções de orientação oblíquas entre si. Algumas porções mais localizadas com cristais de comprimentos maiores parecem não estar relacionadas à organização em estratos.

Biotita (15%): Forma de ocorrência, granulação e hábitos semelhantes ao de mica branca. Cristais muito lamelares e delgados avermelhados. Algumas biotitas parecem ser seções basais – cristais esverdeados, talvez outra geração desse mineral.

Matriz argilosa (10%): Ocorre como matriz propriamente dita nos interstícios dos grãos arenosos em níveis irregulares mm, que caracterizam a laminação da amostra. Ocorrem também litoclastos argilosos ou vitroclastos argilizados coesos com granulação cinza média a grossa. Esses litoclastos parecem ocorrer em alguns níveis específicos, o que sugere controle deposicional associado ao mesmo processo que deu origem à laminação.

Opacos (5%): Ocorrem grãos de granulação equivalente a silte a areia fina, embora os mais grossos se confundam com vitroclastos. São

esféricos e subangulosos em geral.

Vitroclastos (10%): Ocorrem fragmentos de granulação cinza média a fina. A distribuição de vitroclastos de taquilito devitrificado ou sideromelano cuspidos é homogênea dentro dos níveis mais arenosos, o que sugere baixa maturidade mineralógica desses domínios.

Outros minerais (5%): Ocorrem grãos de granulação equivalente a areia fina a média que incluem clorita, turmalina, zircão, augita e plagioclásio. Ocorrem também biotitas esverdeadas anédricas (duas gerações de biotita).

Zeólitas (-%): Ocorre no interior de vesículas milimétricas do próprio arcabouço cristaloclástico. Cristais dentiformes e crescidos em mosaicos, com 200 um de diâmetro.

Considerações:

Estratificação relativamente bem formada.

Domínios arenosos imaturos com shards e litoclastos de argilito (ou serão vitroclastos argilizados?) podem sugerir processo de queda piroclástica.

Fácies: Brecha basáltica mal selecionada com matriz de estratificação bem desenvolvida (Blg).

Observações:

Descrição Microscópica:

Quartzo (25%): Na maior parte da seção, ocorrem grãos (cristaloclastos) em níveis milimétricos (laminação) gradacionais normais em associação com micas e matriz ferruginosa. A granulação é equivalente a areia muito fina a silte. A fração mais fina do quartzo ocorre em associação com os níveis ricos em argila, embora haja pouco quartzo neles (há mais sericita ou mica de cristaloclastos). A maior parte do quartzo se concentra na fração areia muito fina, no entanto, ao menos nas porções centrais e superiores da seção delgada. Na base, onde há um contato com uma porção rica em matriz muito escura ferruginosa intersticial envolvendo grãos ligeiramente mais grossos, o quartzo apresenta granulação areia muito fina a média e não forma estratos/laminações (arranjo maciço). Nessa porção, a seleção e a maturidade textural são mais baixos. Pode ser um litoclasto de grauvaca muito grosso. No restante da seção, o quartzo é subanguloso, esférico e a seleção é boa. Há pouco ou nenhuma porosidade.

Micas (20%): Ocorrem principalmente como cristaloclastos nas porções estratificadas, com a granulação variando entre equivalente a areia fina a silte (eventualmente níveis de granulação areia média). São cristais lamelares, com comprimento paralelo à direção da estratificação. A direção da orientação varia segundo a ondulação dos estratos. A gradação na granulação das micas sugere controle deposicional, e que elas já apresentavam esse formato da deposição. Isso pode sugerir que houve retrabalhamento de material de origem hidrotermal. A maioria são biotita, mas há cristais de muscovita com recobrimento de óxidos.

Litoclastos (20%): Litoclastos de basalto hipocristalino muito alterados, grãos de 200 um ripiformes euédricos de plagioclásio (fenocristais) de espessura ligeiramente maior que os da matriz, além de fantasmas de fenocristais de augita muito alterados subédricos de granulação semelhante (FOTOS). Basalto intersertal intergranular. Algumas manchas de cloritização do vidro que no geral está bem escuro (taquilito castanho). Os clastos apresentam granulação *lapilli* fino a grosso na escala da seção, mas podem ser consideravelmente maiores na amostra de mão e em campo (>20 cm em geral). Litoclastos são variolíticos, apresentam vesículas e amígdalas ameboides de 2 a 10 mm, preenchidas por zeólitas médias (250 um a 500 um) e matriz siliciclastica.

Matriz argilosa (20%): Ocorre em duas “fases”

distintas. Associa-se aos níveis mais finos na porção com laminação gradacional da matriz, ocorrendo junto com filossilicatos. Nessa porção há uma quantidade relativamente baixa de matriz. Na base da seção delgada há uma porção com muita matriz argilosa ferrosa entre cristaloclastos um pouco mais grossos (possível litoclasto de grauvaca) que é cortada por veios do material da porção superior (FOTOS). Esta porção muito rica em matriz ferruginosa está muito afetada pelo crescimento de zeólitas que cortam ou acompanham a estratificação.

Vitroclastos (5%): Ocorrem na fração cinza fina, com formatos esféricos, subangulosos, castanhos e translúcidos, associados às porções com mais cristaloclastos na matriz (com cristais mais grossos).

Zeólitas (10%): ocorrem zeólitas em vesículas submilimétricas na matriz (além das zeólitas em vesículas do basalto), com granulometria de 200 a 300 um. A relação de contato entre as zeólitas e a matriz sugere que o mesmo fluido associado à cristalização de zeólitas nas vesículas dos litoclastos basálticos manteve-se aprisionado até a interação com o sedimento, onde houve também cristalização de zeólitas da mesma geração. Há veios de laminação que acompanham a laminação da matriz.

Outros cristaloclastos (-%): Ocorrem zircão e rutilo com granulação equivalente a areia muito fina dentro de níveis ricos em outros clastos cristalinos como quartzo. Ocorrem inclusive dentro de vesículas nos litoclastos de basalto.

Considerações:

Presença de mica em arranjo gradacional fino sugere que esse material já se encontrava com esse hábito quando depositado. Isso pode indicar retrabalhamento de minerais hidrotermais de origem associado ao magmatismo de alguma maneira (antigas interderrames?). Texturas e relações de contato entre zeólitas e matriz sugerem que fluidos magmáticos (sensu lato) foram responsáveis pela cristalização das zeólitas na matriz -> interação quente e úmida. Deve ter havido mistura intensa, mas como não é uma brecha de base, é questionável se há peperito e mingling in situ. Laminação gradacional pode sugerir controle de decantação. Seleção ruim dos níveis arenosos sugere queda subaquosa.

Fácies: Brecha de matriz com laminação gradacional (Blg) em contato com brecha de base de derrame (Bmm)

Descrição Microscópica:

Quartzo (35%): Grãos compõem que a totalidade do arcabouço da seção, na fração cinza fina a média, além de ocorrer em associação com a matriz argilosa, na fração silte. De maneira geral, o quartzo é subanguloso e apresenta esfericidade muito variada, em geral moderada a baixa. Há pouca porosidade, e nas porções de predomínio da fração cinza, os contatos são pontuais a planos. No geral, no entanto, a amostra é mais rica em matriz argilosa.

Matriz argilosa/ferruginosa (40%): Ocorre nos interstícios das porções com ligeiro predomínio da fração argila (níveis irregulares mais arenosos) e em bolsões de silte a argila milimétricos ameboides alternados com as porções mais quartzosas, sem constituir laminações. Há poucos níveis mais regulares de predomínio de silte e argila que parecem configurar laminações bem desenvolvidas (centro da seção). Há ainda variações na coloração da argila ferruginosa. No geral, ela é castanha clara avermelhada (com condensador), mas nessa porção central há um nível de agregados mais concentrados pretos e bem opacos.

Opacos (5%): Ocorrem cristaloclastos em frações granulométricas semelhantes ao quartzo, com a maior parte dos grãos ocorrendo associados à matriz, na fração silte. A outra parte ocorre na fração cinza média a fina, como cristais um pouco mais dispersos. Tanto os grãos mais grossos como os mais finos são confundíveis com vitroclastos.

Vitroclastos (10%): Ocorrem de maneira semelhante aos opacos, mas exibem alteração para palagonita ou feições de devitrificação, como microcristais de plagioclásio e opacos mal formados. Apresentam eventualmente aspectos translúcidos. Podem estar bem alterados e com formatos irregulares.

Outros minerais (5%): Ocorrem cristais de plagioclásio e microclínio associados à fração cinza, com porcentagens semelhantes de plagioclásio e microclínio.

Clorita (-%): Ocorre em uma porção muito localizada da amostra, associada a matriz argilosa, cristais irregulares finos e amorfos. Possivelmente associada a alteração de outro mineral.

Litoclastos (5%): Ocorrem alguns litoclastos mais grossos basálticos de granulação cinza grossa, com hábitos variados, em formas poligonais,

irregulares ou cuspidos. Alguns exibem feições de devitrificação, com plagioclásio secundário ou

ainda plagioclásio primário fino. Parecem ocorrer predominantemente na porção central direita da seção.

Na base, no canto direito, há um litoclasto de granulação *lapilli* irregulares e apenas parcialmente preservado, que chega a apresentar vesículas internas e bordas vesiculares.

Considerações:

Litoclastos mostram contraste de granulação e seleção em relação ao restante dos constituintes. Na lâmina são poucos e não respeitam a estratificação, o que sugere processos mistos e interferência talvez de queda piroclástica em sedimento de deposição subaquosa. Parece que há convolução e alteração da organização original, talvez devido a fluidização.

Fácies: tufo fino de seleção moderada e arranjo maciço (Tm)

Observações:

Descrição Microscópica:

Quartzo (35%): Ocorre como grãos da fração equivalente a areia média a silte (em média areia fina) de seleção moderada, em geral angulosos e de esfericidade variada. Compõem o “arcabouço” da amostra juntamente a micas, opacos e vitroclastos de granulação semelhante.

Matriz argilosa (40%): Ocorrem em agregados irregulares e ameboides milimétricos nos interstícios de porções mais cristaloclásticas, definindo níveis (lâminas) irregulares. Ocorre em associação com filossilicatos (mica branca?) finos. Além disso, há agregados castanho avermelhados mais concentrados e ameboides ou em forma de “pellets” que parecem ser clastos coesos. Podem ser “bolas” de argila acessória não digerida, litoclastos de basalto alterados ou litoclastos de argilito com bordas desgastadas.

Vitroclastos (10%): Há clastos castanhos avermelhados (ao condensador) que apresentam formatos cuspidos (possíveis shards) e granulação cinza fina a grossa, que podem estar consideravelmente alterados, confundindo-se com matriz argilosa.

Micas (5%): Ocorrem cristais dispersos nas porções cristaloclásticas, com granulação equivalente a areia fina a média e hábitos lamelares, além de ocorrerem concentrações de micáceos junto a agregados de matriz (níveis argilosos descontínuos). Nestas porções, as micas são ligeiramente mais delgadas e finas. Maioria mica branca.

Cimento silicático (5%): Ocorre cimento muito fino preenchendo a pouca porosidade intergranular em níveis localizados.

Opacos (5%): Grãos de granulação areia fina a muito fina, dispersos em meio a outros clastos cristalinos.

Outros minerais (-%): Ocorrem cristaloclastos de plagioclásio, zircão e augita, além de um mineral amarelado com birrefringência baixa (talvez clorita?). São anédricos e angulosos, granulação equivalente a areia fina a silte.

Considerações:

Seção delgada de matriz de brecha vulcanoclástica basáltica semelhante à do perfil LV-7 em campo. Arranjo mais caótico da matriz que nas amostras do ponto LV-7, mas localmente há níveis argilosos preservados. Pode sugerir

deformação ou fluidização da matriz. A presença de vitroclastos, pods de argila e clastos líticos (argilito?) sugere processos piroclásticos.

Fácies: Brecha basáltica mal selecionada com matriz laminada (Blg).

Observações:

Descrição Microscópica:

Litoclasto basáltico (75%): Boa parte da seção é ocupada por um único litoclasto de basalto. O basalto é variolítico, subafírico fino. As vesículas e amígdalas apresentam de 0,2 a 3 mm. As menores estão quase sempre preenchidas e são ameboides, algumas formas “trilhas” irregulares. As maiores possuem bordas moderadamente irregulares, mas são em geral esferoidais e ao menos nesta seção não estão geralmente totalmente preenchidas (com exceção de uma amígdala mais grossa), o que não parece ser devido a perda de material durante a laminação. As amígdalas estão preenchidas por celadonita fibrosa nas bordas ou por um mineral de birrefringência baixa que pode ser calcedônia em filmes homogêneos e quartzo muito fino em microcristais aciculares. A maior amígdala é preenchida também por zeólitas médias em mosaicos. O basalto em si apresenta duas gerações de plagioclásio e duas gerações de augita, além de mesóstase vítrea e rutilo. Os fenocristais de plagioclásio apresentam 1 a 2 mm e ocorrem isolados ou em porções glomeroporfíricas, em associação com augita. Cristais de plagioclásio estão alterados e com extinção irregular. Os cristais da matriz apresentam em média 0,4 mm de comprimento e configuram textura intersertal (40% de vidro). No entanto, há bastante plagioclásio oriundo de devitrificação, observado em porções menos espessas da seção delgada. O plagioclásio em geral é euédricos prismático (fenocrist.) a ripiforme (matriz). A augita ocorre como fenocristais ligeiramente menores que o plag., eventualmente geminados e também em glomeropórfiros com plagioclásio. Os fenocrist. de augita são euédricos e subédricos, frequentemente expostos em seções perpendiculares ao eixo c em formas poligonais. Os cristais da matriz são subédricos a anédricos poligonais com cerca de 0,2 mm de plagioclásio. O basalto é hipocristalino.

Matriz argilosa/ferruginosa (5%): Ocorre em associação com micáceos finos e óxidos na matriz da brecha, com maior concentração no contato da matriz com o litoclasto (FOTOS). É possível que esteja alterada ainda para algum mineral mais grosso (hidróxidos de Fe, sericita?). Talvez esteja condicionada por uma laminação/estratificação perturbada, paralela à

qual são encontradas vesículas preenchidas por zeólitas.

Zeólitas (5%): Além de ocorrerem em amígdalas do litoclasto basáltico, ocorrem zeólitas médias (0,3 mm) em mosaicos no interior de vesículas que cortam ou acompanham a laminação na matriz (FOTOS). Além disso, ocorrem zeólitas ligeiramente mais finas como um cimento intergranular que se confunde com os grãos da fração cinza da matriz siliclástica.

Micas (5%): Ocorrem em associação com matriz e mais ou menos alinhados à laminação. São grãos da fração equivalente a cinza fina a equivalente a silte. Próximo ao litoclasto de basalto, confundem-se com outros minerais finos que aprecem estar associados à matriz ferruginosa. A maior parte dos micáceos é de mica branca, mas há biotita (20% das micas).

Quartzo (5%): Constituinte secundário da matriz da brecha nesta seção, ocorre em associação com a matriz argilosa de maneira subordinada, na fração equivalente a silte e cinza muito fina. Muito recoberto por óxidos e matriz, cristais são difíceis de identificar. Secundariamente ocorrem porções irregulares de areia fina com alguns grãos angulosos mais facilmente detectáveis. Bordas ferruginosas em alguns cristais.

Opacos e vitroclastos (5%): Ocorrem opacos na fração equivalente a cinza muito fina, em ligeiras concentrações relativas próximo a níveis argilosos, além de opacos muito finos dispersos em fração cinza um pouco mais grossa. Ocorrem também o que parecem ser shards de sideromelano de granulação cinza fina a muito fina, talvez de vidro alterado, possíveis fiammes e clastos irregulares.

Outros minerais (-%): Observam-se cristais de augita, possíveis agregados/cristais de clorita e feldspato alongado ripiforme, todos na matriz siliclástica. Este último apresenta bordas de micáceos e óxidos.

Considerações:

Fácies: Brecha basáltica mal selecionada de laminação difusa da fácies Bs(f).

Observações:

Descrição Microscópica:

Feldspato alcalino (15%): Ocorre como clastos cristalinos lamelares de até 200 µm de comprimento, cujas eventuais maclas lembram plagioclásio. Estes cristais apresentam, porém, bordas de óxidos e o que parece ser mica fina (sericita). Difícil determinar se é plagioclásio ou feldspato alcalino. Os cristais parecem estar orientados paralelamente aos estratos. Outra fase de cristais de feldspato inclui microclínio com graus variados do desenvolvimento da macla em xadrez. Ocorrem em quantidades bem menores, como grãos de aspecto mais “detritico”, isto é, anédricos, com granulação cinza fina a muito fina e maiores esfericidade. Confundem-se com cimento, que parece ser formado por zeólitas. Outros são cristais de aspecto “turvo” e com extinção convoluta, que lembra pertitas. Também têm hábito de grãos “detriticos”, com bordas marcas por óxidos. Podem ser outro tipo de FK. Os grãos com aspecto detritico são anédricos, de esfericidade moderada e subarredondados a subangulosos.

Quartzo (20%): Ocorrem com granulação cinza fina a muito fina e hábitos semelhantes aos grãos de feldspato de aspecto “detritico”. São distinguidos deste pela extinção normal e límpida. Alguns clastos compostos, no entanto, lembram cristais de quartzo recristalizados com contatos lobados entre si.

Cimento (5%): Parece ser formado por zeólitas de granulação fina e aspecto caótico, em mosaicos irregulares. Parece que os grãos minerais se extinguem em conformidade com o cimento. Este se confunde ainda com os grãos de extinção mais caótica que podem ser grãos de FK ou clastos compostos líticos. É difícil de estimar a porcentagem apenas pela petrografia.

Mica branca (15%): Ocorrem cristais geralmente lamelares dispersos homogeneamente no arcabouço. Grãos de granulação equivalente a areia muito fina a média orientados paralelamente à estratificação. Alguns cristais parecem se associar à borda de cristais ripiformes de feldspato. Eventualmente há ligeiras concentrações de micáceos em algumas porções.

Biotita (5%): Ocorre de maneira semelhante à mica branca. Alguns cristais verde escuros anédricos lembram seções basais de biotita, que não estão orientados.

Plagioclásio (-%): Ocorre com hábito e granulação semelhante aos outros grãos de aspecto “detritico”, sendo diferenciado pela macla

polissintética.

Clorita (5%): Ocorrem fragmentos/clastos de clorita bem formada (parece clorita metamórfica) lamelar de granulação cinza fina e clastos compostos de clorita fina, que podem ser shards alterados (FOTOS).

Matriz argilosa (10%): Ocorre como agregados que parecem intraclastos de argila (FOTOS) e também como matriz propriamente dita, em porções irregulares ou níveis que marcam a estratificação. Os agregados estão orientados.

Opacos (10%): São essencialmente grãos esféricos de granulação equivalente a areia muito fina que ocorrem concentrados em alguns níveis com mais matriz ou grãos de granulação areia fina que ocorrem dispersos no arcabouço.

Vitroclastos (15%): Ocorrem como clastos de granulação cinza fina a média. Geralmente são castanhos/avermelhados opacos a translúcidos e com hábitos mais irregulares que os minerais opacos. Alguns são shards e são ligeiramente mais grossos, podem estar também cloritizados.

Litoclastos basalto (-%): Fragmentos de basalto hipohialino a hipocristalino com fenocristais de plagioclásio e augita com cerca de 200 µm, aparentemente com pouca matriz. Granulação cinza média a fina. Ocorrem predominantemente na borda direita da seção delgada.

Augita (-%): Grãos de granulação cinza fina anédricos dispersos.

Considerações:

Fácies: Brecha basáltica mal selecionada com matriz laminada de textura eutaxítica (Bs(f))

Observações:

Descrição Microscópica:

Quartzo (60%): Ocorrem grãos de granulação cinza fina a equivalente a silte, seleção boa. Há níveis submilimétricos de granulação ligeiramente menor e com maiores quantidades de matriz ferruginosa intersticial, que marcam a estratificação. Esta é irregular, descontínua na escala da lâmina. A matriz/cimento ferruginoso pode ser diagenética/epigenética, devido a concentrações em superfícies intraestratais. Grãos de quartzo apresentam esfericidade variável e alta angulosidade. Há pouca porosidade e pouca matriz – os cristaloclastos do arcabouço, que tem baixa maturidade mineral, formam 90% da seção.

Opacos (15%): Ocorrem grãos de granulação silte a cinza fina. Os menores são esféricos, ocorrem de maneira dispersa e também em níveis com concentrações relativas de opacos. Alguns opacos podem ser confundidos com taquilito, que também está presente na amostra, em litoclastos escuros de basalto.

Augita (5%): Ocorrem grãos subédricos a euédricos angulosos, rompidos (fragmentados) ou prismáticos, ligeiramente mais finos que o quartzo dispersos na amostra, aparentemente de maneira homogênea. Muitos cristais com cor de interferência de primeira ordem, incolores, alto relevo e extinção oblíqua devem ser augitas fora de espessura. Além disso, alguns cristais estão levemente rosados.

Mica branca (- %): Ocorrem cristais lamelares muito finos subédricos a euédricos, dispersos de maneira homogênea. Podem ser confundidos com biotitas ou mesmo augitas, mas apresentam relevo menor que a augita e granulação mais fina que as biotita nesta seção. Alguns cristais de mica castanhos sem pleocroísmo podem ser mica branca ("muscovita") recoberta por óxidos. Lembram também stilpnomelano.

Biotita (5%): Ocorrem cristais lamelares finos (cinza fina a média) subédricos. São cristais castanhos (confundem-se com óxidos e mica branca) ou avermelhados (mais facilmente discernidos). As micas de maneira geral, os opacos e os shards estão orientados paralelamente à estratificação. Ligeiras concentrações de biotita próximo aos níveis siltosos (FOTOS).

Clastos vítreos (15%): Ocorrem *shards* cuspidos muito escuros em formas alongadas (fiammes?) em cúspide (em Y) ou sem alongamento (clastos

não compactados). Provavelmente vidro basáltico, granulação cinza fina a média. Parece que há níveis milimétricos onde se concentram os shards. Isto poderia indicar controle deposicional dos clastos vítreos associado a estrutura (queda ou retrabalhamento)

Litoclastos (-%): Ocorrem poucos grãos da fração cinza média escuros e irregulares com cristais de plagioclásio, devem ser basalto hipohialino (serão fragmentos juvenis?). Organização pode ser em níveis (como os shards) Há também litoclastos de argilito muito oxidados (FOTOS).

Outros minerais (-%): Ocorrem plagioclásio, zircão finos (cinza fina) dispersos em meio a outros cristaloclastos. Ocorre ainda um mineral verde claro sem pleocroísmo que pode ser augita alterada, hidratada.

Considerações:

Presença de níveis de shards poderia indicar processos de queda em sedimento ou retrabalhamento por tração (eólica?). Estes acompanham domínios de baixa maturidade e boa seleção, que reforçam a hipótese dos processos de tração, talvez com suspensão menos importante.

Micas euédricas sugerem pouco transporte e abrasão. Grandes quantidades sugerem processos hidrotermais, o que é reforçado pelo que parece ser recristalização em alguns grãos de quartzo, com contatos mais poligonais e pela presença de pouco plagioclásio (enquanto há muita augita). Biotita avermelhada -> mais alta temperatura de cristalização?

Shards podem apresentar graus variados de compactação (fiammes?).

Fácies: tufo bem selecionado com estratificação cruzada e textura eutaxítica. (Ts)

Observações:

Descrição Microscópica:

Quartzo (40%): Ocorrem grãos da fração equivalente a areia fina principalmente e subordinadamente na fração silte. A granulação parece ser bem controlada pela laminação, que é submilimétrica a milimétrica e moderadamente convoluta/truncada (FOTOS). Os níveis ricos em cristaloclastos são proporcionalmente mais espessos. Os grãos de quartzo em si são angulosos a subarredondados e apresentam esfericidade moderada. Possuem bordas de filmes ferruginosos finos. Boa seleção granulométrica.

Micas (15%): Ocorrem em granulação equivalente a areia média a muito fina, geralmente como cristais lamelares muito delgados e compridos. Ocorrem dispersos de maneira homogênea entre outros cristaloclastos ou em concentrações relativas que configuram níveis caóticos e convolutos (borda direita da seção, FOTOS). Não é certo se há associação com matriz argilosa. Há mica branca e biotita avermelhada, geralmente euédricos a subédricos lamelares. Estão orientados segundo a laminação, mas há variações nas direções dos cristais. Há ainda cristais verdes anédricos que podem ser biotita de outra geração, mas a birrefringência é um tanto baixa. Confundível com turmalina. Alguns cristais de mica branca ocorrem em associação com grãos alongados de birrefringência de primeira ordem que podem ser feldspatos, de granulação cinza fina a média. Parece que a mica branca se forma nas bordas desse feldspato.

Vitroclastos (20%): Ocorrem clastos de granulação cinza fina principalmente, associados a níveis ricos em cristaloclastos (quartzo) e outros componentes da fração “arenosa”/cinza. Alguns são formados por sideromelano e apresentam formatos levemente cuspidos. Outros lembram shards e são mais escuros (taquilito). Há vitroclastos com texturas internas axiolíticas (FOTOS) com opacos esqueléticos.

Matriz argilosa (10%): Presente nos interstícios de grãos em níveis delgados (submilimétricos), com exceção da parte basal da lâmina, que apresenta uma porção globular irregular com proporção maior de matriz intersticial (ainda predomina a areia/cinza). Nas porções organizadas em níveis delgados, geralmente ainda predominam clastos “arenosos” (a matriz é somente intersticial). Alguns agregados de material escuro granulação areia ou cinza média orientados segundo a laminação podem ser

litoclastos de argilito ou shards alterados.

Opacos (10%): Além dos clastos vítreos, há opacos que devem ser óxidos acessórios, com granulação areia fina a silte. Ocorrem de maneira dispersa na seção, mas há concentrações relativas ligeiras de opacos mais finos nos níveis silto-argilosos.

Outros minerais (5%): Ocorrem clastos que parecem ser formados por celadonita, com borda ferruginosa (shards alterados?), além de celadonita em vesículas da matriz (veios mm) com zeólitas.

Considerações:

Filmes e bordas ferruginosas podem indicar mud coating característico de freatomagmatismo. Textura eutaxítica sugestiva de soldagem, característica de fluxo piroclástico.

Fácies: Brecha basáltica de matriz laminada com textura eutaxítica (Bs(f)).

Observações:

Descrição Microscópica:

Litoclastos (60%): Ocorre um litoclasto mais grosso (~3 cm) em uma das bordas da lâmina, além de litoclastos de tamanho *lapilli* fino a grosso (raramente cinza grossa) de formatos ameboides na outra borda da seção. O clasto mais grosso apresenta cristalinidade pouco variável (>70%) e conta com ao menos duas gerações de plagioclásio. Há fenocristais de 0,5 a 1 mm glomeroporfíricos, euédricos a subédricos lamelares/prismáticos. Na matriz, há cristais de 100 a 200 µm ripiformes muito alterados.

Parecem estar saussuritizados. Também há augita em duas gerações. Na matriz, são cristais subédricos a anédricos de 150 µm. Fenocristais de 0,5 a 1 mm com textura subofítica. Ocorrem também opacos esqueléticos (possivelmente ilmenita) ou em formatos serrados regulares e poligonais (hábito em “escadinha”) na matriz. Ocorre ainda rutilo com 0,2 a 0,3 mm disperso. O basalto é variolítico, com amígdalas com zeólitas médias a grossas eventualmente crescidas sobre bordas de matriz argilosa + micas (FOTOS) ou de algum mineral muito fino e incolor (talvez calcedônia ou quartzo muito fino).

As vesículas e amígdalas variam entre formatos ameboides (as menores) e mais ovalados ou esferoidais, em geral mantendo contornos irregulares, o que sugere que foram formadas por coalescência de vesículas menores ameboides. Há ainda vesículas interrompidas ameboides no contato entre clasto e matriz, com mistura de zeólitas e matriz. Este litoclasto maior apresenta um contato de aspecto fluidal/misturado com a matriz siliciclástica, o que pode ser explicado por fenômenos distintos.

Outros litoclastos que ocorrem na outra borda da lâmina apresentam granulação *lapilli* fino a grosso, geralmente contam com formatos irregulares/ameboides e bordas vesiculares. A cristalinidade parece variar em um mesmo clasto, mas isso deve ser devido à variação na espessura da própria seção delgada. Em porções onde a seção está menos espessa, os clastos parecem ter cristalinidade e conteúdo mineral semelhante ao clasto maior descrito anteriormente. O grau de vesiculação é variável, mas não é certo se são basaltos distintos. Nas bordas de alguns litoclastos há feições estranhas como concentrações de opacos, que podem ser aparentes, devido à presença de óxidos epigenéticos. Os litoclastos claramente perturbam a matriz, mas é difícil falar em topo e base.

Matriz argilosa (15%): Ocorre como matriz intergranular em concentrações baixas a moderadas associadas ao arranjo da matriz siliciclástica da brecha em si, configurando

laminações convolutas/perturbadas controladas por variações sutis na granulometria e % de matriz. Ocorrem porções acastanhadas próximo aos contornos dos litoclastos, o que sugere concentrações de ferro epigenéticas (FOTOS).

Micas (5%): Grãos de granulação equivalente a areia fina e média até o silte. A seleção das micas é moderada e obedece ao arranjo estratificado de maneira razoável. As maiores micas contrastam um pouco com as restantes (FOTOS). As maiores concentrações de micas ficam em níveis próximos aos litoclastos, que estão bem contorcidos milimétricos, em certa associação com matriz. Os micáceos lamelares são mica branca em sua maioria, ocorrendo também biotita avermelhada em menor quantidade. Nos níveis arenosos, são observados fragmentos mais anédricos do que parece ser biotita esverdeada e talvez clorita bem formada (FOTOS).

Vitroclastos (5%): Ocorrem grãos da fração cinza fina a muito fina, geralmente castanho escuros ao condensador (translúcidos ou opacos) ou avermelhados, mas com baixo relevo. Apresentam esfericidade moderada a baixa e são subanguloso a cuspados. Ocorrem principalmente em níveis convolutos de predomínio da fração cinza. Apresentam quebras perlíticas.

Quartzo (5%): Ocorre como grãos relativamente dispersos, observados nas porções de predomínio de fração areia. São clastos de granulação areia fina a silte, em geral subanguloso. Ocorrem em quantidade menor do que outras seções semelhantes, uma vez que a maior parte da fração “areia” é composta por vitroclastos, micas e opacos. Confundem-se com o cimento, que deve ser de zeólitas de granulação semelhante ao quartzo.

Outros minerais (5%): Ocorrem cristaloclastos de augita (principalmente), turmalina e feldspato (microclínio), além de clastos compostos que podem ser formados por zeólitas ou ainda clastos de arenito, com bordas ferruginosas. Todos estes apresentam granulação equivalente a areia fina, são esféricos e angulosos. Há também clorita provavelmente hidrotermal em agregados na borda da seção.

Zeólitas (5%): Além de ocorrerem nas vesículas dos litoclastos, ocorrem cristais de zeólitas de 0,2 a 0,3 mm em mosaicos que cimentam a matriz siliciclástica da brecha, ou mesmo em vugs e vesículas que acompanham a estratificação, em especial no contato com os litoclastos (FOTOS).

Opacos (-%): Ocorrem grãos de granulação equivalente a areia fina a silte, que eventualmente se concentram em níveis específicos descontínuos e perturbados. São irregulares e de esfericidade moderada.

Considerações:

O arranjo das zeólitas evidencia cristalização pós-deposicional e mistura ainda quente entre fluidos “magmáticos” e matriz. Clastos compostos podem ser líticos de arenito.

O arranjo da matriz é gradacional, semelhante ao que é descrito em Sertanópolis. Pode ser a mesma fácies.

Provavelmente é piroclástica.

Fácies: Brecha basáltica mal selecionada com matriz de laminação gradacional (Blg).

Descrição Microscópica:

Cristaloclastos de quartzo (90%): Ocorrem como o arcabouço da amostra. São grãos de quartzo de granulometria entre 150 e 250 µm (areia fina). Sua seleção é boa. Os grãos de quartzo são subangulosos em geral, eventualmente subarredondados. Ocorrem em contatos pontuais a planos. Parece não existir muita porosidade nem matriz. Entretanto, os grãos são envolvidos por um filme de óxidos de ferro, o que deve conferir à amostra sua cor rosada/acastanhada. Não parece existir uma quantidade significativa de cimento além desses filmes envolvendo grãos, embora a lâmina esteja bem “turva”. Essa impressão pode ser causada pela espessura excessiva da lâmina. Nas bordas, observa-se que de fato não há quase nenhum espaço intergranular, nem matriz.

Litoclastos “basálticos” (10%): São litoclastos de “basalto” hipohialino a holohialino. Esses litoclastos estão intensamente fraturados, talvez devido a um defeito na lâmina. Nas bordas da lâmina, podem ser observados litoclastos com cristais de plagioclásio. No meio é mais difícil enxergar essa feição. Os litoclastos são aparentemente angulosos, de aparência *blocky* e poligonais (triangulares). Possuem granulação em geral entre 0,5 a 3 mm, predominando os clastos maiores que 1 mm (cinza grossa a *lapilli* fino). O que mais chama atenção é o contraste desses fragmentos (granulometricamente e mineralogicamente) com o quartzo bem selecionado logo em volta, dentro dos mesmos estratos em que são encontradas maiores quantidades de fragmentos basálticos.

Óxidos e outros cristaloclastos (<5%): Além do quartzo, parecem existir quantidades pequenas quantidades de óxidos (<5%), quantidades traço de plagioclásio e provavelmente outros minerais. No entanto, como a lâmina está muito grossa, não se pode ter certeza sobre quais são esses minerais.

Considerações:

A rocha parece ser um arenito com níveis de litoclastos de contraste granulométrico imersos na matriz de areia. Esse arranjo favorece a hipótese da queda piroclástica (de cinza e *lapilli*) em sedimento. Neste caso, o sedimento parece ter sido transportado e depositado pelo vento. Esse material basáltico não parece ter sido selecionado e transportado como os grãos em seu entorno (contraste granulométrico). Os litoclastos

basálticos são os únicos clastos grossos no interior de níveis sustentados por quartzo de granulometria idêntica ao restante do arenito. Não parecem ser níveis de grain flows, ventifactos ou de transporte eólico de maior energia. A amostra de mão mostra vários desses níveis, que parecem ser relativamente regulares, com espaçamento de alguns centímetros, e contínuos. Essa observação apontaria mais para a hipótese de queda subaérea localizada.

Fácies: arenito fino bem selecionado com níveis de cinza e *lapilli* lítico basáltico (Atc).

Sobre as brechas com matriz lamo-arenosa gradacional (aquela discussão): o processo poderia ser resumido assim

Explosão freatomagmática e queda piroclástica em corpos de água rasos com fracionamento granulométrico por decantação. -> poderia ser entendido como epiclástica considerando que há um processo deposicional sedimentar, mas devido à provável proximidade do corpo de água em relação ao vent (ou seja, pouco transporte, também não dá pra ver estruturas de corrente ou tração – o caráter da queda ainda é consideravelmente recuperável)

Observações:

Rebaixar a lâmina

Fazer mais lâminas tentando acompanhar esses níveis de litoclastos, buscando estruturas de deformação dos estratos associada à queda.

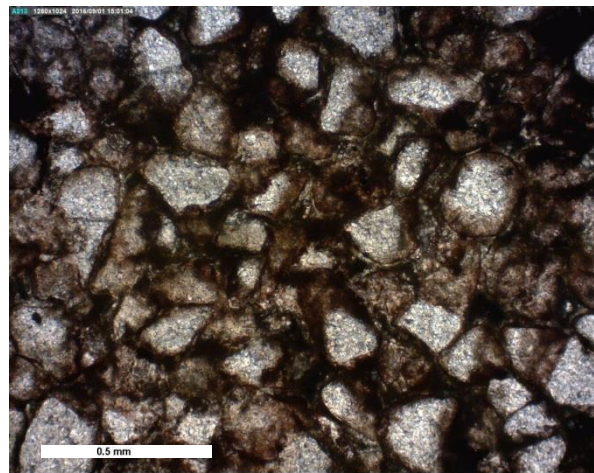


Figura 1: arcabouço cristalino com quartzo, predominantemente, em classe granulométrica areia fina, angulosos. Observar pequena quantidade de clastos vítreos dispersos. Lâmina está um pouco turva, e muito espessa, precisa ser rebaixada.

Descrição Microscópica:

Matriz argilosa e hidrotermal (50%): Trata-se de uma matriz turva disseminada na matriz da brecha, de composição vítrea (shards vítreos) e também possivelmente detrítica (acessória) ou epigenética (de alteração). Há cristoclastos e shards disseminados. Além disso, a matriz da brecha como um todo é cortada por veios e vesículas lenticulares de diâmetros submilimétricos a milimétricos, preenchidos por zeólitas e celadonita e clorita. Alguns veios/vesículas formam uma espécie de stockwork de escala microscópica, de contato bastante irregular com o material argiloso. Esse contato sugere plasticidade ou fluidização do material quando houve a precipitação da zeólita. Os cristais de zeólitas em si são bem formados e estão entrecruzados, formando mosaicos. A matriz é maciça, caótica.

Shards e vitroclastos (20%): Estão presentes em boa quantidade na matriz, com bordas claramente vesiculares, interiores muitas vezes de sideromelano alaranjados, com formas em cuspide (talvez um tanto alterado, oxidado), mas na maioria das vezes com bordas castanhas escuras, com interiores amarelados, castanho claro, isótropos. A granulometria desse material é cinza fina a grossa. Há ainda vitroclastos de sideromelano com espículas internas (textura axiolítica) e arredondados.

Cristaloclastos (15%): Ocorrem disseminados na matriz vítrea e argilosa, com granulometria cinza grossa a fina. São mais facilmente percebidos em luz polarizada. Predominam micas como muscovita e biotita, que são alongadas. A última é caracterizada pelo seu pleocroísmo e hábito lamelar. Há uma quantidade um pouco menor de quartzo. Há também epidoto, augita, feldspatos em quantidade traço, além de muitos minerais opacos arredondados, porém de identidade desconhecida.

Litoclastos (15%): O arcabouço da brecha é formado por fragmentos de basalto de tamanho *lapilli* a bloco com três gerações de plagioclásio (fenocristais 1, 2 e micrólitos), geralmente em contato com rutilo, na mesóstase vítrea microvesículas preenchidas por mosaicos finos de sílica (?), e clorita. São clastos hipohialinos em geral, com alguma devitrificação (micrólitos). De acordo com informações de campo, esses litoclastos devem ser clastos juvenis do basalto que foi brechado ao entrar em contato com o sedimento molhado (matriz). Alguns litoclastos menores (*lapilli*) apresentam vidro hidratado ou

translúcido (sideromelano) e remetem à própria interação magma + água, já alguns mais grossos apresentam mesóstase de taquilito e contatos com a matriz que poderiam indicar equilíbrio termal (fotos) ou devitrificação (fotos), o que pode sugerir que os clastos foram colocados em momentos e situações ligeiramente diferentes no que tange o desequilíbrio térmico do sistema.

Considerações:

Levando em conta as informações de campo, a amostra deve ser um peperito, originado quando a unidade de fluxo atravessou um lago salino. Deste modo, os clastos mais grossos de basalto que formam o arcabouço da brecha são clastos juvenis formados por esse derrame. No entanto, há na matriz shards de sideromelano alaranjado com bordas claramente cuspidas, vesiculadas, uma textura típica de hidrovulcanismo explosivo. Esses clastos podem ter caído no lago salino antes da formação do peperito, ou se formado por interação FCI mais eficiente in situ. Se essa interação gerou fragmentação fina, é possível que tenha sido localmente explosiva. Além disso, eles não aparentam ter sofrido muito transporte, por preservarem formas delicadas e filmes de óxido. Poderiam ter se formado também por queda em um sedimento posteriormente afetado pelo derrame.

Fácies: brecha basáltica jigsaw fit de base de derrame com matriz lamo-arenosa mal selecionada maciça e hidrotermalizada com shards vítreos (Bmm e Bmm(t)).

Observações:

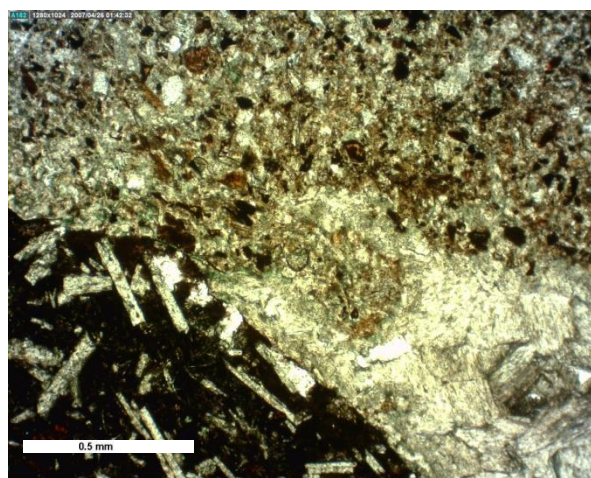


Figura 1: litoclasto basáltico com ripas médias de plagioclásio, em contato com matriz vesiculada (com zeólitas médias a grossas) cristalina e vítrea fina.

Descrição Microscópica:

Cristaloclastos diversos (35%): Ocorrem grãos de granulação relativamente homogênea, <50 a 250 µm (silte a areia fina). Isso indica moderada seleção granulométrica dos cristaloclastos. São principalmente grãos subarred a subang de quartzo, esféricos a pouco alongados. Alguns grãos de quartzo (especialmente os mais grossos e subarred.) apresentam ligeira extinção ondulante. Há também plagioclásio em quantidade considerável (hábito e granulação semelhante), bem como augita, que também está arredondada. Além disso, há quantidades subordinadas (traço) de óxidos, opacos. A augita é levemente esverdeada. Parece que há cristaloclastos de quartzo fino associados (FOTOS). Embora haja também possíveis substituições de grãos por sílica epigenética e microvesículas com sílica fina, estes últimos apresentam hábitos bastante distintos do que seriam estes cristaloclastos/litoclastos de quartzo fino.

Litoclastos e vitroclastos basálticos (35%): Ocorrem vários litoclastos de basalto hipohialino (70 a 95% de mesóstase vítrea) dispersos de maneira relativamente homogênea na amostra. Possuem hábitos irregulares, em blocos, contornos levemente arredondados (gastos?). Seus tamanhos variam entre <100 µm até entre 1 e 2 mm. Parece que há um certo arranjo espacial destes litoclastos associado às variações granulométricas, porém este não é claro nem muito contínuo. Isso pode ser devido à fluidização e remobilização da rocha, ou porque a rocha é maciça. Os litoclastos de basalto apresentam uma ou duas gerações de plagioclásio ripiforme primário, além de cristais oriundos de devitrificação. Alguns apresentam quantidades traço de augita alterada. Além deste basalto hipohialino, ocorrem clastos subarred de basalto palagonitizado, axiolítico e perlítico (hidratado) de granulação ligeiramente menor (100 µm). Há também shards, provavelmente de sideromelano alterado (associados à clorita e palagonita?). Estes geralmente não passam muito de 100 µm. São cuspidos, com bordas vesiculares. Alguns possuem pequeninos cristais de plagioclásio no seu interior.

Cimento ferruginoso/matriz argilosa (20%): Ocorre como uma matriz/cimento de aspecto argiloso, oxidado, nos interstícios dos cristaloclastos e litoclastos/vitroclastos, bem como claramente envolvendo alguns grãos de quartzo, como um filme de óxidos de ferro. O

cimento/matriz ferruginoso não está distribuído de maneira homogênea, apresentando um arranjo espacial caótico. Pode ser devido a existência de outros tipos de cimento. Talvez seja possível identificar a ordem de cristalização dessas fases.

Cimento de clorita (10%): É o cimento que predomina na amostra. Trata-se de um mineral muito fino e incolor, porém sua cor de interferência laranja e hábito fibro-radiado muito fino foram associados com clorita. Ocorre em películas finas intergranulares, em vesículas da matriz e também de maneira intragranular, possivelmente indicando substituição e recristalização (talvez do vidro?). Esse último tipo de ocorrência é bastante curioso. Fica claro que trata-se de um cimento intragranular porque há bordas de óxido marcando os contatos e limites originais do grão com interior alterado.

Cimento de zeólitas (<5%): Ocorre como mosaicos tão grossos quanto o arcabouço, intergranulares, muito semelhantes a vesículas, com cristais fibrorradiados de zeólitas de 100 a 200 µm. A ocorrência de zeólitas grossas parece ser local, talvez apenas onde houve espaço (ou foi aberto espaço suficiente) para precipitação desses cristais maiores.

Cimento silicoso (<5%): Além do óxido e das zeólitas, há porções intergranulares com cimento silicoso muito fino em mosaicos. É o cimento de ocorrência mais restrita. Também ocorre aparentemente de maneira intragranular e/ou em vesículas, possivelmente indicando algum nível de recristalização/substituição de um componente clástico/cimento pré-existente.

Considerações:

Existem pelo menos dois tipos de clastos de origem vulcânica. Shards de sideromelano e acnelitos mal formados, podem estar palagonitizados (há uma certa superposição das características) e litoclastos pouco alterados de basalto hipohialino, tamanho cinza grossa a *lapilli* fino. Podem representar clastos juvenis e acidentais de um sistema piroclástico hidroexplosivo.

Cristaloclastos compostos, com grãos de quartzo muito fino parecem ser formados por cimento silicático fino deposição. Podem ser litoclastos de quartzito, arenito fino ou de algum material hidrotermal. Não confundir com vesículas da matriz. Também há clastos formados por clorita

fina.

A matriz e o arcabouço parecem não contar com arranjo estruturado – a rocha é maciça (deposição concomitante de ambos?)

Fácies: *lapilli* tufo basáltico cristalino fino (Ltm).

Se o arranjo caótico e maciço for deposicional, pode ser depósito mal selecionado de queda?

Observações:

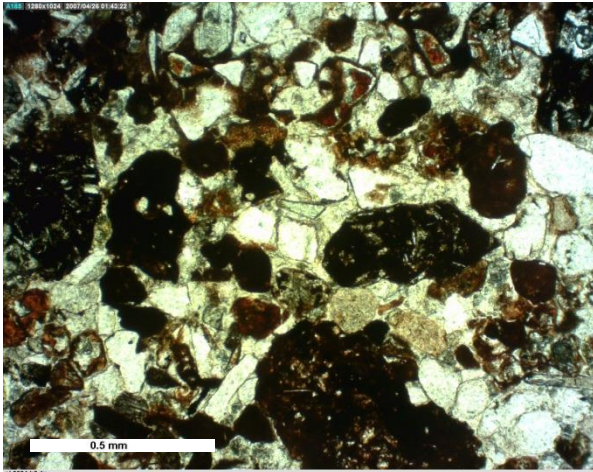


Figura 1: litoclastos e vitroclastos basálticos médios a grossos em contato com grãos de quartzo relativamente mais finos (cerca de 0,2 mm)

Descrição Microscópica:

Cristaloclastos diversos (50%): Ocorrem grãos de quartzo variados, com granulação silte até areia fina. São na maioria mais finos e angulosos, com porções localizadas de grãos mais grossos (areia fina) de bordas subarredondadas. Parecem existir variações granulométricas espaciais (possível estratificação convoluta). Além do quartzo, há minerais opacos, plagioclásio e filossilicatos (aparentemente restritos às porções de grão mais fino, imersos na matriz argilosa ferruginosa).

Matriz argilosa (30%): Assim como encontrado em várias rochas interderrames, há uma matriz argilosa ferruginosa (cimento ferruginoso?) que ocorre associada a determinados níveis, aparentemente em menor quantidade no interior de estratos de grão predominantemente mais grosso. No entanto, há estratos de grão fino sem quantidades significativas desta matriz ferruginosa. Além disso, os estratos não são contínuos e possuem arranjo caótico. Seria essa matriz de origem epigenética?

Litoclastos e shards (20%): São os constituintes piroclásticos da amostra. Predominam vitroclastos e litoclastos finos (granulação cinza, com cerca de <100 a 300 µm) de “basalto”, boa parte sendo esferoides de vidro com microfenocristais ou shards vítreos cuspidos. Parecem ocorrer predominantemente associados às porções mais grossas (especialmente os esferoides), mas são visíveis também no interior dos estratos de grão fino (especialmente os shards). Essa organização parece indicar que o fenômeno que selecionou os esferoides foi o mesmo que selecionou os cristaloclastos grossos?.

Considerações:

Os constituintes piroclásticos desta rocha são semelhantes aos observados em um tufo pisolítico por exemplo, e vem em mente a hipótese do freatomagmatismo/explosões freáticas. Talvez uma análise da estratigrafia e faciologia do depósito associado a esta amostra possa trazer informações importantes relacionadas ao tipo de vulcanismo que produziu esta rocha. No entanto, pode ser que os cristaloclastos tenham sido depositados in situ e fluidizados/remobilizados, além de terem abrigado a queda de constituintes piroclásticos. Essa segunda hipótese torna-se mais clara quando se consegue observar horizontes de

deposição contínuos.

Formas mais arredondadas dos cristaloclastos e de alguns litoclastos/vitroclastos poderia indicar transporte moderado

Laminação convoluta controlada por variações não muito bem definidas de granulação, com níveis de predomínio da fração argila e silte. Esses níveis não são muito bem selecionados, o que pode ser devido à condição original da deposição ou à deformação. Laminações truncadas, estranhas.

Fácies: *lapilli* tufo mal selecionado com laminação difusa e convoluta definida por variações granulométricas (Ltm)

Observações:

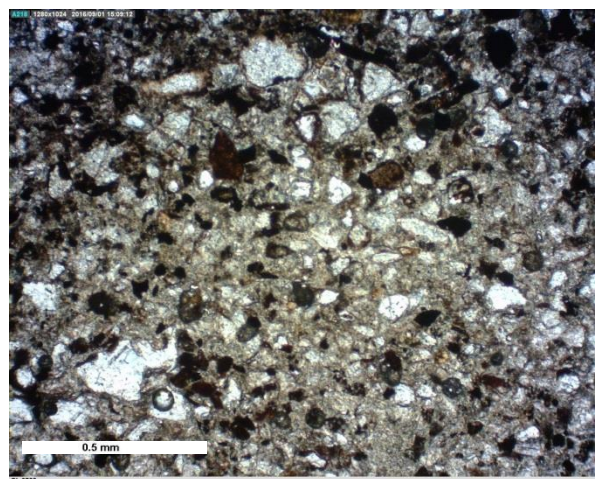


Figura 1: cristaloclastos e shards (cinza) imersos em matriz ferruginosa.

Descrição Microscópica:

Vitroclastos e litoclastos (55%): São os constituintes principais da lâmina. A maioria são fragmentos de cinza grossa vítreos, embora exista pelo menos um nível com cinza - *lapilli* lítico sustentado pela matriz (fragmentos c/ mais de 1 mm, quase 2 mm). Os fragmentos vítreos são shards cuspidos, blocky ou arredondados (pisólitos palagonitizados). Possuem em geral <100 a <200 µm de diâmetro. No centro da lâmina, observa-se um estrato de espessura de cerca de 1 cm de predomínio dos vitroclastos + cinza-*lapilli* lítico. Esse estrato parece gradar (nas bordas da lâmina) para porções com vesículas e cimentação por clorita e menores quantidades de arcabouço. Além disso, a granulometria parece ser maior no centro, com uma relativa gradação para uma das bordas (topo? Base? Amostra não orientada). Os vitroclastos menores são o constituinte principal desta amostra, fora o cimento/matriz argilosa.

Cimento de clorita e matriz argilosa (20%): Forma bolsões pequenos intergranulares até estratos relativamente homogêneos em uma das bordas da lâmina. Nos interstícios dos grãos, divide espaço com um cimento de sílica, que por vezes predomina sobre a clorita. Parece tomar formas que lembram vesículas, com certo zoneamento concêntrico (FOTOS). Já quando sustenta determinados níveis, torna-se o principal constituinte dessas pequenas camadas junto com uma matriz argilosa castanha (ferruginosa? Estará associada com a clorita de alguma maneira?). Nessas camadas, há ainda alguns vitroclastos e cristaloclastos, porém em quantidade subordinada (FOTOS).

Cristaloclastos diversos (10%): São grãos de quartzo, augita e plagioclásio, predominando o quartzo. Possuem granulometria entre <100 a 150 µm. São angulosos a subarredondados.

Cimento de sílica (15%): Ocorre aparentemente nos interstícios e vazios deixados pelo próprio cimento de clorita. Pode ser oriundo de substituição desse primeiro cimento. O arranjo mostra que se trata de um cimento posterior. Inclusive, as porções delgadas com sílica remetem a vesículas. Onde houve mais espaço, parece que os mosaicos de sílica fina puderam crescer um pouco, gerando cristais mais grossos de quartzo, com quase 100 µm.

Considerações:

Parece ser um depósito importante de shards. Em minha opinião um depósito hidrovolcânico semelhante aos descritos na literatura. Os clastos líticos mais grossos (*lapilli* lítico) não hidratados podem ser clastos regionais oriundos do hidrovolcanismo OU clastos juvenis oriundos de um fenômeno stromboliano, por exemplo. A primeira hipótese é mais provável, até porque a espessura desses níveis de *lapilli* é pequena (1 cm).

O arranjo parece ser grossamente gradacional, com variação na granulação da fração mais grossa. No entanto não se sabe qual a base ou topo da amostra. Pode ser que seja uma fácies de queda subaérea (ou subaquosa de água muito rasa, sem profundidade suficiente para fracionamento por decantação)

Pela descrição de campo, pode ser um tufo *lapillico*.

Fácies: *lapilli* tufo vítreo e lítico com estratificação gradacional mal desenvolvida cimentado por sílica e clorita (Ltm).

Observações:

Lâmina um pouco grossa.

Investigar este ponto. Fazer mais lâminas (orientadas)!

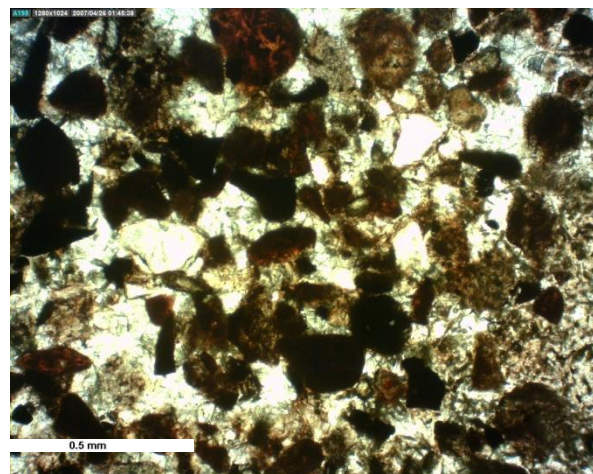


Figura 1: vitroclastos (material juvenil) levemente arredondados de granulação cinza grossa. Notar sua quantidade elevada.

Descrição Microscópica:

Shards/vitroclastos (60%): Ocorrem com granulação cinza grossa a fina, sendo que os mais cuspados, formados por sideromelano ou não, são ligeiramente maiores. Ocorrem com formas de shards vítreos bem características, inclusive há fragmentos lamelares e orientados, o que pode indicar um sentido de fluxo (piroclástico?). Por algum motivo, esses clastos orientados estão concentrados em uma das bordas da lâmina delgada, talvez indicando um contato com outra fácies acima/abaixo. No restante da lâmina, também há shards de sideromelano ou vidro, porém estes parecem não estar orientados. Ocorrem como glóbulos, em formas de Y, ou formas com arestas bem definidas oriundas de quebras em vesículas (cúspide). Alguns dos shards possuem mais de 1 mm de diâmetro e parecem estar relativamente isolados. Desses shards maiores, alguns são formados por basalto hipohialino (litoclastos), com duas gerações observáveis de plagioclásio.

Matriz argilosa (20%): Ocorre disseminada na amostra, como lobos isolados ou lâminas contorcidas, sustentando o restante dos clastos. Pode ser uma matriz vítrea ou ferruginosa. Algumas porções mais bem delimitadas exibem cristais finos no seu interior (filossilicatos).

Cristaloclastos (15%): São grãos de quartzo, principalmente, porém há micas e augita em quantidades traço. Os grãos de quartzo possuem granulometria equivalente a areia muito fina até média, formas alongadas a esféricas e graus de arredondamento variados. As micas são lamelares e compridas, e a augita é esférica e arredondada.

Cimento silicático (5%): Ocorre de maneira homogênea na lâmina, sendo encontrado preenchendo a maioria dos espaços intergranulares. Às vezes se confunde um pouco com a matriz argilosa ou com grãos mais finos de quartzo.

Considerações:

Parece que há uma laminação meio apagada caracterizada pela variação na proporção modal de clastos vítreos, de modo que há níveis submm a mm mais ricos em cristaloclastos e níveis submm/bolsões irregulares com predominância de argila. Pode ser uma laminação convoluta/deformada ou fluidizada. O arranjo remete a um controle deposicional moderada na granulometria, o que pode indicar condições de queda piroclástica. A presença de níveis argilosos

poderia sugerir processos de decantação, mas é possível que as porções argilosas sejam agregados de argila deposicionais (envolvidos no processo de queda).

De acordo com a descrição de campo, há porções bandadas e maciças, o que poderia apontar para fluidização e perda do arranjo laminado. Ainda, no campo a rocha foi descrita como um tufo brecha ou tufo *lapillico*.

Pode ser depósito de queda subaquoso (muito raso) fluidizado

Fácies: *Lapilli* tufo/tufo *lapillico* vítreo e lítico com laminação convoluta perturbada.

Observações:

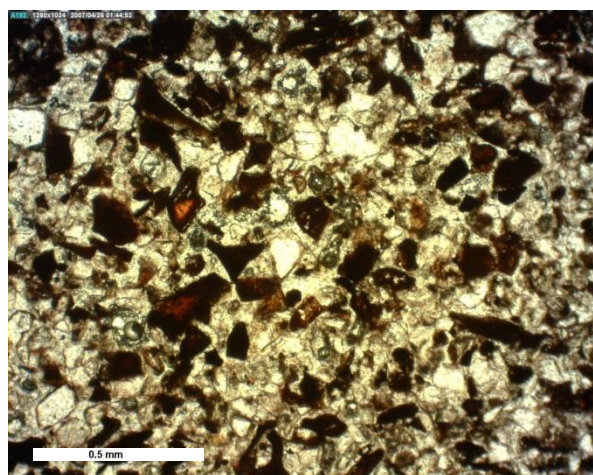


Figura 1: shards cuspados, parcialmente translúcidos de vidro basáltico em quantidades relativamente altas (cerca de 60%).

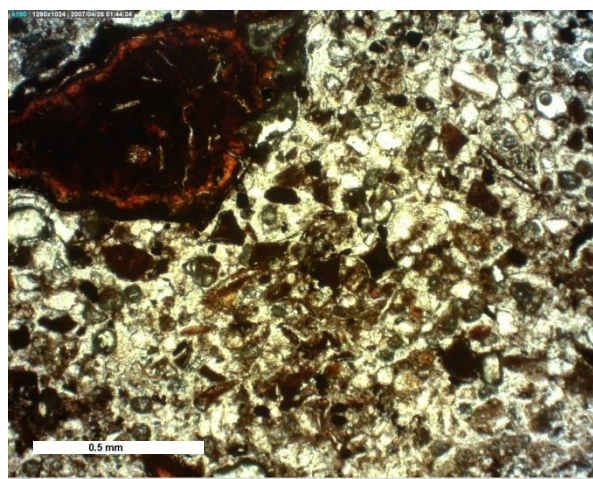


Figura 2: litoclasto zonado, parcialmente hidratado (palagonitizado) com pequenos cristais de plagioclásio, em contato com fração fina cristalina e vítrea (shards cuspados).

Descrição Microscópica:

Quartzo (99%): Ocorre como grãos bem selecionados, com em média 200 a 300 μ m de diâmetro. Quartzo subarredondado a arredondado límpido. Apresentam esfericidade moderada e contatos planos a poligonais, indicando recristalização estática (termal). Nos poucos espaços intersticiais há um cimento silicático muito fino (FOTOS). Na escala da lâmina, é difícil de reconhecer um arranjo estruturado, mas na amostra há estratificação, que pode ser controlada pela variação de granulação e pela presença de níveis ferruginosos (secundários?).

Vitroclastos e opacos (<1%): Com granulação e hábitos semelhantes ao quartzo – ou mais quebrados e angulosos, mas não cuspidos (feição mais característica de transporte, importante FOTOS!), ocorrem vitroclastos com algum grau de alteração e devitrificação. Estão imersos na amostra.

Considerações:

Vitroclastos parecem ter sido transportados. Arranjo sugere que tenham sido depositados pelo mesmo processo que o quartzo (provavelmente vento), uma vez que estão bem selecionados. Devem ser epiclastos.

Fácies: Amostra de arenito interderrame/ quartzito bem selecionado com estratificações cruzadas (Ac)

Observações:

Lâmina demasiadamente fina

Amostra OL 3793-B1

Descrição Microscópica:

Lâmina demasiadamente
Investigar camada -> fazer mais lâminas.

Matriz argilosa (45%):

Ocorre sustentando alguns fragmentos de vidro e cristaloclastos. Apresenta uma aparência turva e cor castanha clara. Parece ser o constituinte principal da amostra. Não confundir a matriz argilosa com os fragmentos de vidro amarelados ou cristais de biotita (estes últimos apresentam pleocroísmo e hábito característico).

Vitroclastos (35%):

Ocorrem shards de vidro amarelado a alaranjado, bem como pisólitos e clastos de contornos irregulares. Boa parte exhibe texturas como quebras perlíticas, recristalização axiolítica e devitrificação, gerando plagioclásio. Estão palagonitizados, ao menos em parte. Outros são castanhos escuros, pouco translúcidos e apresentam os mesmos hábitos. Isso sugere que os clastos palagonitizados foram hidratados à parte do restante (antes da deposição). Possuem granulometria entre menos de 100 a até 250 µm. Estão organizados em estratos (lâminas) de espaçamento milimétrico relativamente contínuas e regulares. Possuem formatos cuspidos, arredondados, irregulares, poligonais.

Cristaloclastos (20%): Ocorre principalmente quartzo muito fino (granulometria areia muito fina a silte), bem como muscovita e biotita um pouco mais grossos (delgados e compridos, cerca de 0,3 mm de comprimento no máximo). A biotita ocorre em maiores quantidades em alguns níveis preferenciais. Está claramente orientada, paralela aos estratos. Variedade de biotita levemente avermelhada.

Considerações:

Amostra um tanto curiosa, Por um lado, lembra um arenito lamoso mal selecionado. Por outro, apresenta biotita grossa (detritica? Recristalizada termometamorficamente?) e um bom conteúdo de vidro palagonitizado (shards). Todos os constituintes estão organizados em estratos relativamente regulares.

Queda subaquosa (lâmina de água muito rasa?) ou subaérea?

Fácies: tufo vítreo e cristalino fino mal selecionado com estratificação mal desenvolvida (Tm).

Observações:

Descrição Microscópica:

Grãos de quartzo (30%): Ocorrem grãos de granulação equivalente entre silte fino e areia muito fina. As variações de granulometria estão intimamente associadas à estratificação. O quartzo em si é subanguloso a subarredondado, além de pouco esférico. Está organizado em camadas subhorizontais contínuas (em escala micro e macroscópica) cíclicas, de pouco 0,3 a 1 cm. Os estratos gradam, no topo (variação rápida) de areia fina para material silto-argiloso castanho escuro (níveis escuros visíveis em amostra macroscópica). Logo acima, abruptamente os fragmentos tornam-se novamente um pouco mais grossos. Essa laminação é rítmica, se repete várias vezes.

Grãos de biotita (10%):

Associados especialmente às porções arenosas dos estratos, ocorrem cristais de biotita delgados, de até 0,5 mm de comprimento. Seu arranjo é gradacional exatamente como esse outro constituinte. Apresentam contatos próximos, fechados, com o quartzo. Deve haver pouca porosidade na rocha. A biotita está majoritariamente orientada paralelamente à estratificação. Curiosamente, não parece existir muita mica branca. Alguns litoclastos/vitroclastos castanhos argilizados podem ser confundidos com micas.

Matriz argilosa (20%):

Como já dito, ocorre no topo dos estratos gradacionais, que são constituídos essencialmente por quartzo e biotita no seu núcleo e no topo logo gradam para silte e argila. Essas porções argilosas possuem cerca de 1 mm de espessura. Estão associadas a cristais siltosos que podem ser micas finas (oriundas de alteração da argila, talvez)

Litoclastos e vitroclastos (30%):

Ocorrem "litoclastos" de argila castanha alongados, com cerca de 200 um de comprimento, dispersos nos domínios arenosos. Alguns parecem ser formados por taquilito alterado parcialmente para argila. A associação com alguns shards deformados cloritizados e litoclastos basálticos parece sugerir que sejam piroclastos (talvez tanto líticos de argilito quanto juvenis vítreos) compactados – textura eutaxítica. Ocorrem também quantidades pequenas de litoclastos basálticos de granulometria de cerca de 150 um, com formatos mais esféricos arredondados. Estão restritos à base de alguns estratos gradacionais.. A granulometria dos

litoclastos é condizente com os fragmentos do entorno. Também ocorrem fantasmas de shards mais bem preservados verde claros, cloritizados (podiam ser formados por sideromelano).

Zeólitas (10%): Ocorrem no interior de vesículas alongadas segundo a direção de acamamento. Estão bastante apagadas, de modo que é difícil observar sua extinção. O aspecto fibrorradiado é melhor visto em luz natural. Isso pode ser devido à confecção da lâmina. Os grãos parecem ser médios, em mosaicos, com cerca de 0,2 mm. Há vesículas maiores (uma apresenta um material de preenchimento estranhíssimo, que lembra sílica pela cor de interferência, mas pode ser só cola), com até 5 mm de diâmetro. Essas vesículas estão distribuídas na amostra. Pode-se observar claramente que perturbam a estratificação adjacente e sobrejacente, o que indica que devem ter se originado pela migração e acumulação de fluidos, que ficaram trapeados no contato com os níveis silto-argilosos (pouco permeáveis), depois se cristalizando.

Considerações:

Rocha muito curiosa. Está claramente organizada em estratos granodecrescentes (gradação normal), com orientação da biotita paralela à estratificação e também das vesículas (o que pode sugerir fluxo contemporâneo ao preenchimento das vesículas).

O arranjo gradacional originalmente pode estar ligado com variações de energia do sistema, como se observa pela diminuição quase que exponencial da espessura na transição das porções arenosas para argilosas.

A orientação da biotita poderia estar ligada com um processo de decantação, responsável pela geração do arranjo gradacional. No entanto, a presença de taquilito alterado compactado poderia significar deposição por algum tipo de corrente (piroclástica?).

Há ainda uma certa quantidade de shards com formatos mais preservados cloritizados, restrita a alguns níveis bem ricos em vitroclastos de taquilito de formatos variados (incluindo compactados, orientados ou aleatórios) em geral.

Fácies: tufo fino bem selecionado com laminações/estratificações delgadas (mm – cm) gradacionais normais, níveis argilosos vesiculados.

Descrição Microscópica:

Cristaloclastos diversos (55%): Ocorrem grãos de quartzo angulosos e pouco esféricos (principalmente), além de filossilicatos (biotita e talvez também muscovita), feldspato e um mineral de ocorrência secundária, mas bastante presente em toda a lâmina, de cor esverdeada, provavelmente augita. O que é interessante é que todos os cristais de augita encontrados são verdes. Além disso, há opacos. De maneira geral, todos os grãos cristalinos apresentam tamanhos parecidos, na ordem de 50 a 200 um, configurando uma boa seleção granulométrica e má seleção mineralógica.

Matriz argilosa (45%): Não há cimento silicático. No entanto, há quantidades grandes de uma matriz intergranular ferruginosa (cimento ferruginoso?) de aspecto pulverizado, argiloso. Essa matriz ocorre de maneira relativamente homogênea na amostra, mas talvez existam variações verticais. Aparentemente há vesículas vazias de formato ameboide (podem ser defeitos da lâmina, embora não pareçam) e diâmetros variados, geralmente de 300 a 400 um.

Litoclastos e shards (10%): Ao menos esta lâmina não apresenta quantidades tão expressivas de shards ou litoclastos, embora estejam presentes. Em especial, há litoclastos de basalto em uma das bordas da lâmina, com cerca de 1 mm de diâmetro e formato em cúspide. É possível que estejam no interior de um nível preferencial, caso no qual vale uma investigação posterior. O basalto é hipohialino, com pelo menos uma geração de plagioclásio. Além do basalto, há o que parecem ser litoclastos de tufo/argilito, que possuem tamanhos e formas variadas (lamelares e com cerca de 100 um até retangulares com mais de 300 um, mas são completamente isotropos e com cores castanhas escuras. Às vezes apresentam estratificações internas. Possuem contornos bem definidos. Também há cinza que aparece ser formada por taquilito bem argilizado, talvez nesse mesmo nível, mas a estrutura é muito difusa.

Considerações:

Amostra do topo do conjunto de brecha ("tufo"). Parece indicar que, assim como na base da camada inferior de brecha (v1), há um sedimento gradando para um material piroclástico com sedimento intersticial. Neste caso, é a situação contrária. Diminui a participação de material

piroclástico, continua a deposição de sedimento (de que tipo?). Seriam pequenos corpos de água afetados por episódios de queda piroclástica? Se essa hipótese for comprovada, vários depósitos análogos poderão ser caracterizados.

Diferente da LV -7G, no que tange o arranjo e a quantidade de micas, quartzo e de matriz argilosa. Esta amostra, com aspecto mais caótico, pode ser outra fácies, ou representar remobilização e perturbação de um arranjo mais organizado da 7G.

Fácies: tufo mal selecionado com laminação difusa, rico em material acessório lítico e cristalino.

Observações:

Descrição Microscópica:

Grãos de quartzo (95%): Ocorrem no arcabouço da amostra, grãos de quartzo de granulometria entre 200 e 400 μm (areia fina a média), muito bem selecionados, subarredondados a subangulosos, com contatos próximos pontuais a planos, com pouca porosidade intergranular. Os grãos apresentam uma fina película de óxidos. Além do quartzo muito bem selecionado, há quantidades irrelevantes de óxidos. Fora isso, não há outros grãos cristalinos. O arranjo do quartzo parece ser praticamente maciço, homogêneo, talvez marcado por pequenas diferenças de granulação.

Cimento silicoso (5%): Alguma porosidade, se não quase toda, é preenchida por um cimento silicático extremamente fino, de maneira relativamente homogênea na amostra.

Considerações:

A amostra apresenta níveis oxidados, que marcam uma estratificação semelhante ao que é observado em arenitos Botucatu. Fora isso, o quartzo praticamente não mostra variações granulométricas perceptíveis em escala microscópica. Talvez a estratificação apareça em escala macroscópica, ou a lâmina delgada foi feita em uma camada mais maciça.

Fácies: Trata-se de um arenito, provavelmente eólico muito bem selecionado, sem vidro vulcânico (provavelmente, ou com pouquíssimas quantidades). Rocha sedimentar.

Observações:

Lâmina um pouco grossa.

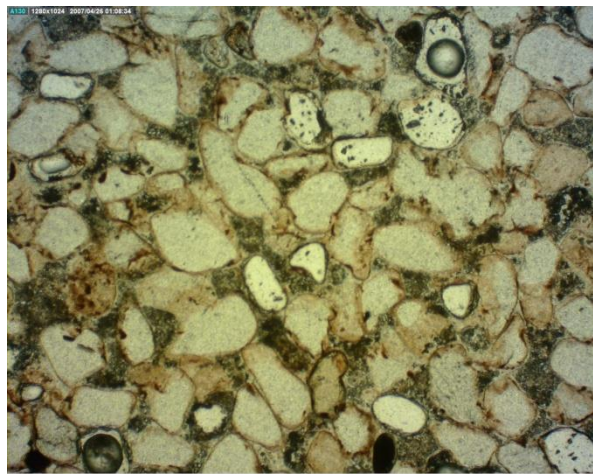


Figura 1: cristaloclastos médios de quartzo (cerca de 0,2 mm)

Descrição Microscópica:

Quartzo (60%): Ocorre no arcabouço da amostra, como grãos da fração areia fina a silte de seleção boa, geralmente subangulosos e de esfericidade moderada para alta. Ocorrem em associação com opacos de granulação areia, além de micáceos de granulação semelhante. São os principais constituintes das porções arenosas, que estão organizadas em níveis consideravelmente regulares e retilíneos milimétricos, que apresentam limites gradacionais mais delgados (onde predominam silte e argila). Este arranjo configura uma laminação/estratificação gradacional, e embora não haja indicação de topo na seção, é provável que seja gradacional normal.

Matriz argilosa/ferruginosa (20%): Ocorre em porções intersticiais em níveis arenosos, com aumento aparente no centro da seção, que está demasiadamente espessa, bem como em níveis submilimétricos de matriz castanha concentrada que definem os limites dos estratos/laminas gradacionais. Nas bordas da seção observam-se cristais finos em algumas porções dos níveis argilosos (que gradam para porções mais finas – FOTOS), que podem ser sericita. No centro, esta feição não se observa, mas pode ser devido à lamina delgada estar muito grossa.

Opacos (10%): Ocorrem como fragmentos de granulação areia fina a silte, com comportamento semelhante ao quartzo no que tange a seleção e gradação no arranjo do arcabouço. Os grãos mais grossos possivelmente incluem alguns vitroclastos basálticos de alguma natureza, mas é difícil de afirmar com certeza qual a sua quantidade, dada a espessura da lâmina delgada.

Micas (10%): Ocorrem como lamelas castanho escuras com cor de interferência anômala, que podem ser mica branca ou biotita recobertas por óxidos na fração areia fina a média associados a outros cristaloclastos da fração areia (FOTOS), bem como cristaloclastos de mica branca da fração areia fina mais isolados e dispersos. É possível que haja micáceos muito finos (~sericita) associados a níveis argilosos alterados (FOTOS), o que é observável apenas em algumas bordas da seção com a espessura mais próxima da ideal.

Outros minerais (-%): Clastos incolores de relevo baixo de tamanho areia fina que parecem formados por mineral fino, fibrorradiado de birref 1 para segunda ordem? Lembra clorita ou talco. Pode ser também algum mineral alterado para sericita.

Considerações: O arranjo da amostra, caracterizado por boa seleção controlada por sets gradacionais milimétricos, remete a uma estrutura de origem sedimentar, possivelmente produzida por transporte e deposição subaquosos. A presença de micáceos à maneira de outras amostras de rochas mais facilmente associadas ao hidrovulcanismo sugere que estes minerais não necessariamente podem ser relacionados diretamente a esse fenômeno, o que reforça a hipótese de que podem ser depositados por sistemas aquosos (loess?). A questão que remanesce é a área fonte destes minerais micáceos, além da possibilidade destes mesmos minerais se apresentarem como produtos hidrotermais in situ ou retrabalhados associados às interderames. Também permanece a dúvida se estes minerais podem ter sido transportados por fenômenos piroclásticos em outras amostras, ou se a sua presença na matriz de litotipos como tufo-brechas seria um indicativo de mistura de processos sedimentares e vulcanoclásticos.

Fácies: ritmito areno-lamoso, com laminação milimétrica gradacional normal (Rlg).

Observações:

Descrição Microscópica:

Matriz argilosa (55%): Compõe a maior parte da área na seção. Matriz argilosa castanha (ferruginosa), sustentando cristaloclastos da fração arenosa como quartzo e micas. A matriz apresenta um arranjo em bolsões ameboides milimétricos, que conferem à amostra um aspecto maciço, irregular e convoluto, mas sem estratificação aparente em geral. Localmente há agregados com arranjo que lembra laminações, mas não está certo qual a relação destas porções com o restante da amostra (serão litoclastos? Intraclastos? FOTOS). Pode ser que haja mica fina associada à alteração da matriz (FOTOS).

Vitroclastos (5%): Ocorrem em duas espécies/fases. A primeira é caracterizada por clastos vítreos de tamanho cinza fina a grossa com formatos muito cuspidos (triangulares, em Y – claramente são shards), de bordas claramente vesiculares com filmes de óxido. Estes clastos são amarelados e transparentes em luz natural, mas em luz polarizada exibem comportamento óptico caracterizado por pequenos cristais crescidos concêntricamente ou de forma maciça, que podem ser calcedônia ou quartzo relacionados a alteração ou devitrificação (FOTOS) dos clastos. Podem ser clastos vítreos ácidos, mas não está clara qual a natureza da alteração (hidrotermal? supergênica?). Estão sustentados pela matriz, dispersos e aparentemente não seguem um arranjo regular. Em menor quantidade, ocorrem também clastos castanho escuros também cuspidos, triangulares, retangulares ou lamelares, que apresentam granulação cinza fina a média. Também estão dispersos e sem orientação. Exibem feições relativas provavelmente a devitrificação, (variações de cor, podem ser concêntricas como nos clastos vítreos amarelados) além de quebras perlíticas (FOTOS).

Micas (15%): Ocorrem cristais lamelares euédricos a subédricos geralmente de granulação silte a areia fina. Os mais finos podem estar associados à alteração da matriz argilosa. Os mais grossos estão mais dispersos entre si, ou localmente ocorrem em concentrações submilimétricas pouco expressivas (FOTOS). Estes podem apresentar pleocroísmo, sendo

provavelmente biotitas. Na maioria, devem ser muscovitas, mas a grande quantidade de matriz dificulta a determinação da percentagem de cada espécie. Os grãos micáceos parecem formar feições em “X”, como se houvessem duas direções de orientação, mas não é certo se isso não é um efeito aparente – a existência de orientação das micas não é clara.

Quartzo (20%): Grãos de granulação silte a areia fina. Ocorrem como grãos dispersos homogeneamente, sustentados pela matriz argilosa, ou em ligeiras concentrações (agregados com leve aumento na percentagem modal do quartzo). São grãos angulosos a subangulosos. Eventualmente são alongados (serão na realidade feldspatos?). Em geral apresentam esfericidade moderada.

Opacos (5%): Ocorrem grãos de granulação silte a areia fina, com formatos irregulares e geralmente esféricos. Os grãos mais grossos ocorrem bem dispersos entre si, enquanto que os grãos da fração silte ocorrem em quantidades um pouco maiores.

Considerações:

A amostra pode representar uma litofácies piroclástica, devido à presença de duas espécies de clastos vítreos. Uma das fases (clastos amarelados e transparentes), representada por shards muito característicos, pode estar relacionada a magmatismo de uma natureza diferente (ácido?), uma vez que parece estar alterada para sílica fina. Esta alteração pode estar associada a devitrificação “natural” dos clastos ou ainda a hidrotermalismo. A ausência de estruturas ou arranjos organizados sugere que o material ou realmente não foi depositado por processos como decantação e tração, ou que este arranjo foi perturbado por algum processo penecontemporâneo. A matriz pode ser formada por agregados de cinza acessoria (regional) pouco “digerida” (pouco misturada), o que confere a textura com “pods” ou bolsões de quartzo dispersos, que seriam então depositados por queda, num processo de baixa seleção. O conjunto pode gradar para um sedimento subaquoso no topo (OL 4320-3b). Seria interessante uma lâmina dos clastos do arcabouço da brecha, para comparar com os diversos tipos de clastos líticos e vítreos nessas seções.

Fácies: tufo brecha mal selecionado rico em argila (Tbm)

Descrição Microscópica:

Vitroclastos (15%): Ocorre em duas fases principais. A mais importante e curiosa é representada por fragmentos muito cuspidos e de cor amarelo claro acastanhado de tamanhos que variam entre < 0,1 a 0,5 mm, embora ocorra um fragmento maior (litoclasto) provavelmente cogenético, em uma das bordas da seção delgada (FOTOS!). Este tipo de clasto vítreo é bastante incomum e difere muito do vidro basáltico escuro descrito em outras seções delgadas. Estes clastos vítreos são límpidos, quase transparentes, e apresentam uma cor peculiar. Além disso, seus formatos são muito característico de shards e vítreos e seus contornos são bem definidos. Seus eixos maiores parecem estar alongados paralelamente às laminações na seção, que são truncadas (cruzadas onduladas?). Apresentam bordas vesiculares e vesículas internas pequenas, esféricas (FOTOGRAFAR), eventualmente estão bem delgados, lembrando fiammes. Contam também com feições perlíticas. Encontram-se em maiores proporções em alguns níveis determinados, em associação com outros vitroclastos e clastos de argila de granulação semelhante (cinza média), geralmente próximos uns dos outros, em lâminas submilimétricas, embora ocorram alguns mais isolados. Outro tipo de vitroclastos inclui grãos/fragmentos escuros mais semelhantes aos observados em outras amostras, geralmente em granulação cinza fina a média, com bordas mais irregulares. Estes são castanho escuro a levemente alaranjados (quando possivelmente alterados/hidratados) e por vezes exibem feições como quebras perlíticas e texturas axiolíticas. Ocorrem em associação com os outros vitroclastos e também dispersos em meio a outros cristaloclastos.

Micas (15%): Lamelas castanho escuras, muito compridas e delgadas que não devem ser litoclastos de argila, apenas micáceos (muscovita?) muito recobertos por óxidos/hidróxidos e também biotitas muito delgadas e compridas (areia média) avermelhadas que ocorrem dispersas ou em concentrações relativas, em níveis submilimétricos (truncados – FOTO). Estas micas estão orientadas paralelamente à laminação, mesmo quando onduladas ou truncadas, o que sugere que eram micas já no momento da deposição. Além disso, ocorrem grãos micáceos dispersos menos compridos, talvez mais “fragmentários”, erodidos, tanto de mica branca quanto de uma possível biotita esverdeada (ou serão turmalinas?).

Quartzo (45%): Juntamente aos vitroclastos da fração cinza e às micas, caracteriza o “arcabouço”. Ocorrem com granulação equivalente a areia fina a silte, com as porções mais finas em níveis moderadamente retilíneos, mas descontínuos lateralmente, associados ao arranjo laminado da amostra. Predomina, no entanto, a fração areia. Os grãos de quartzo são em geral angulosos e de esfericidade moderada a alta. Além disso, eventualmente exibem filmes de óxidos ferrosos nas bordas.

Opacos (10%): A percentagem exata de opacos que não são vitroclastos ou vice-versa não é fácil de definir. No entanto, supõe-se que os minerais opacos (óxidos e etc) sejam em sua maioria mais finos nesta seção, ocorrendo na fração silte a areia fina como grãos de contatos bem definidos (quando são) com o restante da amostra. Os grãos mais finos ocorrem em níveis relativamente regulares e retilíneos, submilimétricos, da própria estrutura cruzada (FOTOS).

Matriz argilosa (15 %): Matriz ferruginosa castanho escura configura níveis submilimétricos a milimétricos onde ocorre nos interstícios de frações arenosas (quartzosas), embora geralmente predominem nesses níveis os clastos mais grossos (FOTOS), ou seja, são apenas níveis arenosos com mais matriz. Esse tipo de feição poderia indicar que as concentrações de ferro são epigenéticas, mas os níveis são coincidentes com a orientação dos micáceos, que parecem caracterizar laminações cruzadas. Ocorrem também porções com aparentes agregados pequenos (pellets?) de argila (vitroclastos / óxidos / litoclastos alterados?), além de agregados lamelares (provavelmente deposicionais) e litoclastos de argila lamelares (FOTOS).

Litoclastos (-%): Ocorrem em essencialmente duas fases. A primeira é representada por um litoclasto hipohialino amarelo claro de cerca de 2 mm muito provavelmente associado aos vitroclastos de mesma aparência e menor tamanho no restante da seção. Este litoclasto está localizado na borda direita da amostra, que parece ser o topo (sugerido pela laminação cruzada). Este litoclasto é translúcido, apresenta bordas com filme de óxido vesiculares, que lhe conferem um formato muito cusgado. Apresenta vesículas internas de cerca de 0,5 mm com matriz silicilástica. O litoclasto em si exibe ripas finas (menores que 0,2 mm) de plagioclásio “apagadas” e possíveis fantasmas de fenocristais (provavelmente também plag). Possivelmente

algumas ripas/microcristais são oriundos de devitrificação. Apresenta também quebras perlíticas e talvez uma textura axiolítica incipiente (FOTOS). Além deste, ocorrem litoclastos/intraclastos de argila rompidos lamelares de 0,2 mm em média. Estes eventualmente exibem pequenos cristais (sericita?) que provavelmente estão associados à alteração da matriz argilosa. Os litoclastos ocorrem tanto em níveis com vitroclastos (tanto os shards amarelo claros quanto os vitrolastos escuros) ou em concentrações em outros níveis ricos em matriz argilosa (deposicional?) e micas, como no canto inferior direito da seção, próximo ao litoclasto hipohialino amarelo claro (FOTOS).

Considerações:

Os formatos dos clastos vítreos mais transparentes e amarelados sugerem pouco ou nenhum transporte em condições “abrasivas”, o que favorece a ideia de que são piroclastos juvenis. No entanto, a aparência deste material e do litoclasto hipohialino de tamanho *lapilli* sugere que sua composição pode ser distinta daqueles litoclastos basálticos típicos (serão clastos vítreos de rocha ácida?). O arranjo da amostra não clarifica a questão da derivação piroclástica ou não, uma vez que são encontradas feições que apontam para ambos os lados. A laminação cruzada é mais comumente associada a rochas sedimentares, especialmente se envolve controles granulométricos mais “finos” no desenvolvimento da trama, com feições como alternância de níveis com boa seleção e predominância de determinada fração granulométrica. Além disso, níveis ricos em minerais opacos ou com predominância de determinado mineral detrítico podem indicar outros controles sedimentares. No entanto, este não necessariamente é o caso para esta amostra, que não apresenta controle granulométrico no desenvolvimento das estruturas tão acentuado, além de apresentar baixíssima maturidade mineralógica em geral (na maioria dos estratos que a compõem) e eventuais clastos de granulometria muito contrastante com a matriz ao seu redor, o que pode indicar processos de seleção mistos simultâneos (queda piroclástica em ambiente subaquoso, por exemplo) ou mesmo deposição com baixa seleção inata.

Fácies: *lapilli* tufo com estratificação mal desenvolvida (Ltm).

Observações:

Descrição Microscópica:

Quartzo (35%): Ocorre como grãos na fração equivalente a areia muito fina a silte, em geral em porções descontínuas e meio ameboides de predominância dessa fração, que podem representar uma laminação bem convoluta. As porções arenosas apresentam quartzo, micas e opacos (vitroclastos?) e estão alternadas com agregados de argila (pellets?). Os cristaloclastos de quartzo em si são em geral angulosos e de esfericidade moderada a boa.

Matriz argilosa (25%): Ocorrem em porções submilimétricas a milimétricas de formas variadas, que lembram que lembram vugs, laminais rompidas e eventualmente armored *lapilli*, que podem caracterizar laminações convolutas e estruturas desenvolvidas a partir de migração e aprisionamento de fluidos condicionados pela matriz silicilástica (FOTOS). A matriz é acastanhada e razoavelmente ferruginosa. Parece que ocorrem cristais muito finos do que devem ser hidróxidos de ferro e sericita muito fina, provavelmente associadas à alteração (hidrotermal?) da matriz argilosa. Eventualmente, a matriz está mais ‘preservada’ como argila em si, e ocorre em níveis concentrados convolutos e rompidos (FOTOS).

Micas (20%): Ocorrem como “cristaloclastos” na fração areia fina a muito fina (alguns cristais com até 200 µm). Parecem formar concentrações em “níveis micáceos” que ocorrem intercalados tanto a porções mais quartzosas quanto argilosas (as maiores micas parecem não ocorrer em associação com os agregados/pellets de argila). As micas são tanto brancas (muscovita?) quanto castanhas / avermelhadas com pleocroísmo (biotitas), mas é difícil de determinar qual espécie predomina, uma vez que as micas brancas encontram-se recobertas por óxidos ou alteradas? (podem ser biotitas alteradas?). Um detalhe curioso é que os micáceos encontram-se orientados em duas direções com uns 60 graus entre si, formando feições em “X”. No entanto, parecem não obedecer um arranjo ou condicionamento como uma foliação metamórfica, lembra mais um arranjo característico de desenvolvimento em fases termais.

Opacos (5%): Ocorrem como grãos da fração areia muito fina a fina. São irregulares e de esfericidade muito variada. Alguns dos opacos mais grossos podem ser confundidos com vidro mais escuro. Ocorrem em associação com outros cristaloclastos como o quartzo.

Vitroclastos (10%): Ocorrem na fração cinza fina a muito fina. São discernidos dos grãos de minerais opacos pelos seus formatos mais cuspidos a lamelares (shards e fiammes?) e eventualmente pela presença de texturas axiolíticas ou perliticas. Ocorrem de maneira dispersa na lâmina, em associação com outros grãos da fração areia.

Outros minerais (5%): Observam-se cristais esverdeados de relevo baixo, que podem ser de outra biotita ou ainda clorita, embora a cor de interferência lembre mais a primeira. Ocorrem também agregados de tamanho areia de clorita muito fina (clastos? Alteração in situ?). Pode ser que a seção contenha algum cimento de clorita em quantidades <5%.

Considerações:

De maneira semelhante a outras seções descritas em interderrames no bloco norte, observam-se resquícios de uma laminação que pode ser controlada por argila e quartzo em alternância relativamente rítmica. No entanto, essa laminação é consideravelmente convoluta. Não se sabe se ela foi formada assim (devido a fluidização, por exemplo) ou se foi deformada penecontemporaneamente, embora a primeira hipótese seja bem interessante. Além disso, observa-se novamente uma quantidade elevada de mica. Não se observa, no entanto, uma quantidade expressiva de augita nem de vitroclastos.

Observações:

Descrição Microscópica:

Vitroclastos (25%): Compõem boa parte da amostra, ocorrendo na fração cinza fina a muito grossa, predominando os constituintes mais finos. Os grãos mais grossos são fragmentos cuspidos de vidro basáltico que por vezes apresentam mais do que um milímetro de diâmetro (FOTOS) e que ocorrem de maneira dispersa na amostra, como clastos isolados de formatos diversos (lembra shards). Alguns fragmentos basálticos exibem fantasmas de cristais muito finos de plagioclásio (descritos na seção litoclastos), que não estão mais visíveis, além de texturas perlíticas e vesículas internas (FOTOS). Os menores estão presentes em maior quantidade, perfazem cerca de 50% da cinza na amostra, que também inclui quartzo e opacos. Os vitroclastos menores não parecem ser formados por sideromelano, apenas vidro oxidado ou perlítico (talvez palagonitizado incipientemente). A aparência dos shards menores e dos clastos entre 1 e 2 mm é semelhante.

Litoclastos de basalto (-%): Muito semelhantes em tamanho, aparência e forma de ocorrência em relação aos vitroclastos mais grossos, diferindo deles pela presença de “moldes” de ripas de plagioclásio, nas quais não se observa de fato este mineral, talvez devido à alteração ou à perda de material durante a laminação. Estas ripas apresentam em torno de 100 a 200 um (matriz) ou até 300 um (fenocristais mais largos) em alguns litoclastos. Os litoclastos apresentam formatos irregulares a cuspidos. Possuem entre 0,5 e 2 mm de diâmetro, com média em torno de 1 mm.

Quartzo (30%): Ocorre na fração areia média a silte, predominando a areia fina. São cristais geralmente angulosos e pouco esféricos. Ocorrem em agregados irregulares, que se alternam com porções argilosas. Os agregados de quartzo eventualmente lembram níveis relativamente tabulares muito delgados, mas na maioria dos casos são agregados ameboides, sem caracterizar um arranjo laminado/estratificado. Os grãos mais finos podem ser tanto uma “matriz” siliciclástica quanto cristais de um cimento silicático, o que é difícil de definir com clareza devido à espessura um pouco excedente da seção e à

grande quantidade de matriz argilosa.

Matriz argilosa (40%): A matriz é castanha e tem aspecto nebuloso, sem o mesmo tipo de recristalização observada em outras seções (geralmente são observadas também micas e hidroxidos). Neste caso, é composta de fato na sua maioria por argila (ferruginosa). Ocorrem variações graduais na sua concentração, mas não se sabe quanto desse aspecto é devido à espessura da seção, que está um pouco excedente (FOTOS).

Opacos (5%): Ocorrem como grãos da fração silte a areia fina. São em geral irregulares e com esfericidade moderada. Ocorrem dispersos, em associação tanto a fração areia quanto às porções mais argilosas. Parece que há ligeiras concentrações de opacos finos (silte) nas porções argilosas, mas pode ser aparente. Não é certo quantos destes grãos opacos são formados por vidro ou óxidos. É possível que a análise a partir de MEV e química mineral auxilie nessa questão.

Considerações:

Fácies: *lapilli* tufo maciço matriz sustentado (Ltm).