

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

JONAS HENRIQUE WESCHENFELDER

**MORFOLOGIAS E PETROGRAFIA DOS DERRAMES BÁSICOS DO
VULCANISMO SERRA GERAL EM ARAGUARI (MG)**

Porto Alegre, 2017.

JONAS HENRIQUE WESCHENFELDER

**MORFOLOGIAS E PETROGRAFIA DOS DERRAMES BÁSICOS DO
VULCANISMO SERRA GERAL EM ARAGUARI (MG)**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Evandro Fernandes de Lima

Supervisor: Me. Marcos de Magalhães May Rossetti

Porto Alegre, 2017.

Weschenfelder, Jonas Henrique

Morfologias e petrografia dos derrames básicos do vulcanismo Serra Geral em Araguari (MG). / Jonas Henrique Weschenfelder. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2017.
[113 f.] ils.

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2017.

Orientador: Evandro Fernandes de Lima

1. Vulcanismo. 2. Serra Geral. 3. Lavas em almofada. 4. Bacia do Paraná.
- I. Título.

CDU 551.21

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS
Renata Cristina Grun CRB 10/1113

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
DEPARTAMENTO DE GEODÉSIA

A COMISSÃO Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **“MORFOLOGIAS E PETROGRAFIA DOS DERRAMES BÁSICOS DO VULCANISMO SERRA GERAL EM ARAGUARI (MG)”** elaborado por **“JONAS HENRIQUE WESCHENFELDER”** como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Profª Dra. Juliana Charão Marques

Profº Dr. José Carlos Frantz

Dr. Bruno Ludovico Dihl Horn

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família: meus pais, Erica e Rudi, que sempre me apoiaram durante todo o andamento do curso e em todas as minhas decisões (ou na maioria delas); e ao meu irmão, por estar sempre disposto a me ajudar, dando conselhos diversos, falando muito, sem cansar.

Aos meus professores: orientador Evandro (Chinês), por me aceitar como pupilo, e sempre discutir assuntos geológicos com ótimo humor, com ou sem cerveja, e rir da situação mesmo com um mês de trabalho a ser feito em 3 dias; e aos professores Carlos (Sommer), Karin e Frank, por terem sido meus orientadores no curso e na vida em diferentes etapas do curso.

Aos meus amigos e colegas de bolsa Bagé, Natália e principalmente ao meu *brother* e supervisor deste trabalho, Marcos, sempre disposto a me ajudar em todos os momentos deste trabalho.

Aos meus amigos de jogatinas e conversas fiadas Matheus (x3) (Rossi, Beretta e Frenzel); e Luciana, por sempre acreditar em mim mais do que eu mesmo, pelas discussões e tretas diversas, e pela paciência (curta) mas sempre presente, especialmente na reta final desse Temático. E ao Ricardo, pela preocupação com minha mania de procrastinar a vida, e pelas milhares de horas de conversas e discussões sobre tudo e todos.

“Quando, em seu desespero, não deixe de refletir com a sabedoria da natureza, onde esta consegue saciar a sede e fertilizar as florestas com suas águas cristalinas, depois da mais negra das tempestades.”

Christopher McCandless

RESUMO

Os tipos morfológicos de derrames básicos do Vulcanismo Serra Geral no município de Araguari (MG), nas áreas de estudo 1 (Ferrovia Centro – Atlântica) e 2 (Arpasa 1 e 2), foram descritos e interpretados neste trabalho. A carência de detalhamento dos conhecimentos geológicos referentes a estes morfotipos motivou a presente pesquisa, assim como as diferenças expressivas em relação ao clima atuante na região durante o *emplacement* destas lavas, quando comparado à porção sul da Bacia do Paraná (Calha de Torres). Através de mapeamento geológico com levantamento de seções colunares para descrição e organização dos dados, além de estudo petrográfico, foi possível identificar e caracterizar os derrames básicos como dos tipos *pahoehoe* simples e compostos, além de derrames subaéreos do tipo lava em almofada e depósitos associados. Estes morfotipos são indicativos de um vulcanismo cuja taxa de efusão era baixa, permitindo a formação e manutenção de lobos em almofada e derrames com grandes espessuras (> 20 m). Na caracterização petrográfica, todas as amostras referentes aos derrames observados foram classificadas como basaltos, e com o uso dos dados fornecidos pela técnica de fluorescência de raios X (dados de geoquímica de rocha), foi possível classificar estes litotipos como basaltos de afinidade toleítica alto TiO₂. A presença de pseudomorfos de olivina (iddingsita) na forma de fenocristais nos derrames da área de estudo 2, entre outros indicativos de menor diferenciação (elementos menores), sugerem que os morfotipos das lavas em almofada são mais diferenciados, o que remete a dois momentos de um mesmo vulcanismo. Os morfotipos diagnósticos de interação água/sedimento observados sugerem que o paleoclima da região era muito diferente daquele observado no extremo sul da Bacia do Paraná (Formação Torres), mas semelhante as condições de colocação das rochas da porção mais central (Formação Vale do Sol), indicando uma variação significativa na configuração climática da Bacia do Paraná no eixo sul-norte. Os indicativos de paleorelevo, como padrões morfológicos e a porosidade primária dos derrames de lavas em almofada (20 – 33%) suporta a hipótese de um ambiente de colocação rasa, com no máximo algumas dezenas de metros de espessura.

Palavras-Chave: Vulcanismo Serra Geral. Lavas em almofada. Bacia do Paraná.

ABSTRACT

The morphological types of basic lava flows of Serra Geral Volcanism in the Araguari City (MG), in study areas 1 (Centro – Atlântica Railroad) e 2 (Arpasa 1 e 2) were described and interpreted in this work. The lack of detail of the geological knowledge related to these morphotypes motivated the present research, as well as the expressive differences in relation to the climate in the region during the emplacement of these lavas, when compared to the southern portion of the Paraná Basin (Calha de Torres). Through geological mapping, descriptions with support of columnar sections to describe and organize the data, besides the petrographic study, it was possible to identify and characterize the basic lava flows as simple and compound pahoehoe types, as well as subaerial lava flows of the lava type in pillow lobes and associated deposits. These morphotypes are indicative of a volcanism whose effusion rate was low, allowing the formation and maintenance of pillow lobes and pahoehoe lava flows with large thicknesses (> 20 m). In the petrographic characterization, all the samples referring to the observed lava flows were classified as basalts, and with the data provided by the X-ray fluorescence technique (rock geochemistry data), it was possible to classify these lithotypes as high TiO₂ tholeiitic basalts. The presence of pseudomorphs of olivine (iddingsite) as phenocrysts in the lava flows of study area 2, among other indications of less differentiation (minor elements), suggest that the morphotypes of the lavas in cushions are more differentiated, which refers to two moments of the same volcanism. The observed morphotypes of water / sediment interaction suggest that the paleoclimate of the region was very different from that observed in the southern end of the Paraná Basin (Torres Formation), but similar to the conditions of placement of the rocks of the more central portion (Vale do Sol Formation), indicating a significant variation in the climate configuration of the Paraná Basin on the south-north axis. The paleorelief indications, such as morphological patterns and the primary porosity of pillow lava flows (20 - 33%) support the hypothesis of a shallow placement environment, at most a few tens of meters thickness.

Palavras-Chave: Serra Geral Volcanism. Pillow Lavas. Paraná Basin.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.....	17
Figura 2: Classificação das LIPs.	18
Figura 3: Localização da Província Magmática Paraná-Etendeka antes da separação do Supercontinente Gondwana.	19
Figura 4: Mapa geológico da porção sul da Bacia do Paraná.	20
Figura 5: avanço de lobo <i>pahoehoe</i>	22
Figura 6: padrão de disjunções colunares em Fingal’s Cave, Staffa, evidenciando padrão de disjunção do tipo colunata na porção de base do derrame, e porção superior formada por disjunções do tipo entablamento.	23
Figura 7: Esquema mostrando como se dá o resfriamento e desenvolvimento de disjunções colunares em derrames pahoehoe simples. Com o derrame estabelecido, fraturas principais (1) são formadas no topo do mesmo, permitindo a percolação de água de superfície, a qual instabiliza a isoterma de resfriamento (2) possibilitando o desenvolvimento de disjunções do tipo entablamento. A porção do centro do derrame (3), ainda com comportamento dúctil, permite o desenvolvimento de uma isoterma estável (4) descendente, que juntamente com o resfriamento controlado da porção de base (5) permite o desenvolvimento de disjunções do tipo colunata na base e por vezes centro do derrame.	24
Figura 8: lavas em almofada de Bennane Head, Escócia, mostrando morfologias arredondada/ovalada típicas e projeção em “V” na base de um lobo (seta branca), quando o mesmo se molda sobre outros lobos pré-existentes.	26
Figura 9: principais modos de construção de novos lobos de lavas em almofada: 1 - alongamento uniforme; 2 - alongamento localizado; 3 - espalhamento simétrico; 4 - tipo pasta de dentes (<i>toothpaste-like</i>).	27
Figura 10: radiais em lobo de lavas em almofada, evidenciando controle termal na geração destas estruturas.	28
Figura 11: localização de afloramentos por imagens aéreas.	31
Figura 12: esquema de descrição quanto à morfologia de lavas em almofada.	32
Figura 13: materiais usados na moagem manual das amostras. 1)graal e pistilo de ágata; 2) porção com granulometria areia grossa; 3) peneira <i>sieve mesh</i> 200.	34

Figura 14: etapa descritiva no <i>software</i> Hardledge, com lista de constituintes da lâmina, podendo ser detalhado quanto a localização, relação com os demais minerais do entorno, relação paragenética, etc.....	35
Figura 15: difratômetro de raios X Siemens Bruker D-500, no qual foram analisadas as amostras selecionadas.....	37
Figura 16: espectrômetro de Fluorescência de raios X Rigaku, modelo RIX-2000, usado para as análises de FRX no Laboratório de Espectrometria por Fluorescência de Raios X do CPGq-IGEO-UFRGS.	38
Figura 17: cronograma de atividades desenvolvidas ao longo deste trabalho.	40
Figura 18: afloramento de derrame <i>pahoehoe</i> simples, evidenciando disjunções irregulares do tipo entablamento.....	43
Figura 19: tubo de lava formado em lobo de lava em almofada.....	44
Figura 20: fraturas em "Y", com setas indicando movimento trativo de abertura das fraturas, quando estas se desenvolvem.....	45
Figura 21: lobo parasitário formado a partir de megapillow (linha tracejada no canto inferior direito) em porção do afloramento que evidencia dominância de lobos almofadados de maiores proporções na base da sequência. A linha mais espessa no topo marca contato com derrame subaéreo sobreposto ao derrame de lavas em almofada.....	46
Figura 22: zonas principais de distribuição de porosidade primária em lavas em almofada: (a) porção de núcleo, (b) porção intermediária e (c) crosta externa.	47
Figura 23: porções interalmofada (<i>interpillow</i>), de dimensões decimétricas, preenchidas por calcita.	48
Figura 24: lobos de derrame <i>pahoehoe</i> compostos com grau de alteração avançado, o que dificultou o diagnóstico da feição (escala: 15 cm).	50
Figura 25 - A linha tracejada marca o contato entre o derrame de lavas em almofada sotoposto a lobos de derrame <i>pahoehoe</i> composto.....	52
Figura 26 - (a e b) matriz de derrame <i>pahoehoe</i> composto evidenciando textura diktitaxítica e matriz com grau de cristalinidade maior em relação ao derrame <i>pahoehoe</i> simples (e e f). (c e d) representam pseudomorfos de olivina substituídos por iddingsita. (e e f) fenocristais de clinopiroxênio substituídos por celadonita. Fotomicrografias adquiridas com nicóis paralelos e perpendiculares, respectivamente.....	56

Figura 27: fotomicrografias capturadas a nicóis paralelos (esquerda) e perpendiculares (direita) das 3 zonas de um mesmo lobo de lava em almofada, expressando as diferenças na quantidade de material originalmente vítreo na matriz da borda (a e b), passando pela zona intermediária (c e d) e núcleo (e e f). Atenção para o maior zoom (16x contra 6.3x) das duas últimas fotos em relação as demais, para melhor detalhe.	57
Figura 28: fenocristais de plagioclásio e clinopiroxênio com textura em peneira e compondo a textura glomeroporfirítica em lobos de lavas em almofada (fotomicrografias a, b, c e d) e em derrame pahoehoe simples, nos quais também é comum. Fotomicrografias capturadas a nicóis paralelos (esquerda) e nicóis perpendiculares (direita).....	58
Figura 29: materiais que comumente obliteram parcial ou totalmente a porosidade primária das lavas em almofada: mineral indiferenciado do grupo das zeólitas (a e b); calcita (c e d e extremo direito das vesículas de e e f); esmectita, celadonita e nontronita (nesta ordem, em e, f, g e h)	60
Figura 30 – material <i>interpillow</i> , com detalhe em hialoclastos desvitrificados com fraturas curvilineares típicas em meio a matriz composta por esmectitas, calcita e subordinadamente nontronita.....	62
Figura 31: gráfico da estimativa de erro estatístico na contagem de pontos, evidenciando que um aumento no número de pontos contados não diminui expressivamente o erro no método.	64
Figura 32: vesícula de lobo de lava em almofada vetorizada, a fim de indicar com mais clareza a distribuição dos principais preenchimentos secundários. 1 – esmectita fibrosa microcristalina; 2 – celadonita microcristalina; 3 – nontronita, por vezes reenchendo por completo a vesícula, e por vezes sendo parcialmente dissolvida por processos tardios.	66
Figura 33: a, b, c e d) porosidade secundária por dissolução de matriz e contração de argilominerais; e e f) porosidade por fraturamento, podendo ser primária (contração termal) ou secundária (fraturamento mecânico); g e h) porosidade secundária por fraturamento e por dissolução de argilomineral (nontronita) e feldspatos da matriz. Fotomicrografias capturadas a nicóis paralelos (esquerda) e perpendiculares (direita).....	67
Figura 34: diagrama de classificação quanto ao teor de álcalis total x teor de sílica.	69

Figura 35: diagrama de classificação de rocha quanto a afinidade magmática em relação aos teores de sílica e razão FeO/MgO	70
Figura 36: classificação quanto ao índice de alcalinidade dos basaltos de Araguari. Ressalva para a amostra UB-NF- 32c, cujo alto teor de K ₂ O e consequente posição neste gráfico provavelmente se deve a alteração.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análises solicitadas e processadas nos laboratórios do Instituto de Geociências da UFRGS.	39
Tabela 2: resultados das análises químicas de 5 das 9 amostras encaminhadas para o Laboratório de Análise Química de Rocha do IGEO.	71

Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA	14
1.2	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	14
1.3	PREMISSAS.....	15
1.4	HIPÓTESE	15
1.5	OBJETIVOS	16
1.6	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	16
	17
2	CONTEXTO GEOLÓGICO	17
2.1	PROVÍNCIAS MAGMÁTICAS CONTINENTAIS	18
2.2	CONTEXTO GEOLÓGICO DO VULCANISMO SERRA GERAL	18
2.3	PRINCIPAIS TIPOS MORFOLÓGICOS E ESTRUTURAS DE RELEVÂNCIA NO ESTUDO	21
	2.3.1 Derrames básicos subaéreos	21
	2.3.2 Derrames básicos subaquosos.....	25
3	MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1	ETAPA PRÉ-CAMPO	29
	3.1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
	3.1.2 RECONHECIMENTO DA ÁREA POR IMAGENS AÉREAS.....	30
3.2	ETAPA DE CAMPO.....	31
	3.2.1 ANÁLISE MORFOLÓGICA DAS UNIDADES DE <i>PILLOW</i> LAVA.....	32
	3.2.2 DESCRIÇÃO VISUAL DA POROSIDADE	32
	3.2.3 AMOSTRAGEM.....	33
3.3	ETAPA PÓS – CAMPO (LABORATÓRIO).....	33
	3.3.1 PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS.....	33
	3.3.2 CONFECÇÃO E DESCRIÇÃO DE LÂMINAS DELGADAS.....	34
	3.3.3 DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX).....	35
	3.3.4 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X.....	37
	3.3.5 VETORIZAÇÃO DE SEÇÕES COLUNARES	39
4	ANÁLISES REALIZADAS (IGEO)	39
5	CRONOGRAMA.....	40
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
6.1	Tipos morfológicos identificados.....	40
	6.1.1 Morfotipos subaéreos	41
	6.1.2 Morfotipos de <i>emplacement</i> subaquoso	43
6.2	Distribuição dos tipos morfológicos	49
	6.2.1 Derrames subaéreos	49
	6.2.2 Derrames subaquosos.....	51
6.3	Caracterização petrográfica.....	53
	6.3.1 Porosidades primária e secundária dos derrames de Araguari.....	62
6.4	Difração de raios X (DRX)	68
6.5	Geoquímica (Fluorescência de raios X).....	68
7	Conclusões	72
8	REFERÊNCIAS.....	75
9	APÊNDICES:	82
9.1	APÊNDICE A: PERFIS COLUNARES.....	82

9.1.1	Perfil Ferrovia Centro – Atlântica	82
9.1.2	Perfil Pedreira Arpasa 1.....	83
9.1.3	Perfil Pedreira Arpasa 2.....	84
9.2	APÊNDICE B – DESCRIÇÃO DAS LÂMINAS PETROGRÁFICAS	85
9.2.1	Identificação da descrição: UB-NF-16b	85
9.2.2	Identificação da descrição: UB-NF-16d	86
9.2.3	Identificação da descrição: UB-NF-18a	87
9.2.4	Identificação da descrição: UB-NF-32b	88
9.2.5	Identificação da descrição: UB-NF-32c.....	90
9.2.6	Identificação da descrição: UB-NF-32d	92
9.2.7	Identificação da descrição: UB-NF-32g	94
9.2.8	Identificação da descrição: UB-NF-32h	95
9.2.9	Identificação da descrição: UB-NF-32i.....	96
9.2.10	Identificação da descrição: UB-NF-64b.....	97
9.2.11	Identificação da descrição: UB-NF-64c.....	98
9.2.12	Identificação da descrição: UB-NF-64d.....	99
9.2.13	Identificação da descrição: UB-NF-34.....	100
10	ANEXOS.....	101
10.1	ANEXO 1: CORREÇÕES SUGERIDAS PELA COMISSÃO EXAMINADORA.....	101

1 INTRODUÇÃO

O estudo do modo de colocação (*emplacement*) de derrames básicos é realizado a partir da interpretação de feições de superfície e estruturas internas (KILBURN, 1990; MACDONALD, 1953). Estas características podem fornecer informações sobre as taxas de alimentação do vulcanismo, a temperatura e viscosidade da lava, o grau de explosividade, o paleorelevo e o ambiente de colocação das lavas (subaéreo ou subaquoso). Derrames do tipo lavas em almofada (*pillow lavas*) são o tipo morfológico de mais fácil reconhecimento de um derrame estritamente subaquoso (GILL, 2014), caracterizados por lobos arredondados ou ovalados, circundados por uma crosta vítrea, resultado da interação direta da lava em corpo aquoso. Este tipo de morfologia depende das taxas de efusão para ser formado (CARRACEDO SANCHEZ et al., 2012), sendo comumente gerado quando as taxas são relativamente baixas.

Grandes Províncias Ígneas (LIP's) são eventos vulcânicos de grande expressão em volume e área, colocadas em geral em períodos curtos de tempo (Columbia River: 17-16 Ma; Deccan Trapps: 67-60 Ma; Paraná – Etendeka: 135-133 Ma). Estudos recentes na porção sul do Brasil, Grupo Serra Geral (GSG; Província Paraná - Etendeka), têm detalhado os derrames subaéreos em termos de caracterização faciológica e arquitetura de fácies (BARRETO et al., 2014; LIMA et al., 2012; ROSSETTI et al., 2014; WAICHEL et al., 2012), fatores importantes para a geração de modelos de colocação destas lavas, bem como a compreensão da arquitetura de caráter muito heterogêneo desta província e das LIPs em geral.

No extremo norte da Bacia do Paraná, a SW do município de Araguari em Minas Gerais, além dos derrames subaéreos do tipo *pahoehoe*, ocorrem lavas em almofada (*pillow lavas*) e outras feições indicativas de forte interação com água durante a colocação destes derrames, evidenciando um contraste expressivo do clima atuante na porção norte da bacia em relação à porção sul quando da colocação destas lavas.

O presente estudo tem como objetivo caracterizar as morfologias e petrografia dos diferentes tipos de derrames básicos que ocorrem no norte da Bacia do Paraná na região de Araguari, incluindo uma caracterização dos tipos de porosidade (primária e secundária), dos materiais de preenchimento e das cavidades secundárias. Originalmente o trabalho visava, também, caracterizar

quimicamente as ocorrências, porém, devido a problemas na entrega de parte dos resultados das análises de fluorescência de raios X, a interpretação dos dados referentes à geoquímica ficou limitado.

1.1 JUSTIFICATIVA

A abordagem no estudo do vulcanismo de províncias basálticas continentais, de foco tradicionalmente geoquímico e considerando estas como sucessões basálticas de pouca complexidade do tipo *layer cake* (JERRAM; WIDOWSSON, 2005), vem adquirindo maior atenção e detalhamento, através de estudos e compreensão dos modelos de *emplacement* (gênese/colocação), organização e associação da arquitetura de fácies (PASSEY; BELL, 2007; SINGLE; JERRAM, 2004). Deste modo, o estudo em maior detalhe da arquitetura complexa destes eventos permite elucidar o comportamento dos mesmos ao longo de toda sua extensão, permitindo, por exemplo, a construção de modelos análogos, de extrema importância para o conhecimento científico ou na indústria do petróleo. O estudo da área proposta vai contribuir para o entendimento do modo de *emplacement* dos derrames da área de estudo, com suporte de dados de petrografia, geoquímica e difração de raios X. Para o Grupo Serra Geral (GSG), este estudo é relevante, pois visa um detalhamento destas ocorrências diagnósticas de diferentes graus de interação lava/água no extremo norte da Bacia do Paraná, aproveitando as boas exposições em pedreiras e cortes em linha férrea, dando indicativos das taxas de efusão dos derrames, além da configuração paleoambiental da porção norte da bacia, de expressivo contraste em relação ao paleoambiente predominantemente desértico do sul da bacia.

1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Ocorrências de lavas em ambiente subaquoso ou com expressiva interação com água durante sua formação foram descritas no município de Araguari, Minas Gerais (FERREIRA, 1985; MORAES; SEER, 2017). Estes trabalhos focalizaram o estudo destas estruturas em descrições de campo, de modo que não há dados de maior detalhe que possam fornecer informações sobre os diferentes graus de

resfriamento das lavas, tanto nos derrames de lavas em almofada, como nos derrames subaéreos do tipo *pahoehoe*, também presentes na área.

Dados como caracterização petrográfica, geoquímica e padrões de porosidade ainda são escassos na área de estudo. A integração destas informações fornece parâmetros importantes para interpretar a colocação destas lavas e assim compreender o paleoambiente na região de Araguari quando da colocação destas lavas.

1.3 PREMISSAS

Derrames do tipo *pillow* lava são morfologias de fácil reconhecimento de um ambiente de *emplacement* subaquoso (GILL, 2014). A presença de disjunções colunares do tipo entablamento indicam rápido resfriamento do derrame, podendo ser associadas à influência direta da água (JERRAM; PETFORD, 2011).

A interação e a mistura de lavas com sedimentos não - consolidados geram um litotipo denominado peperito (FISHER, 1960; WILLIAMS; MCBIRNEY, 1979), caracterizado por uma textura clástica cuja matriz é formada por um ou outro componente da mistura, dependendo das proporções existentes (WAICHEL et al., 2007).

O estudo da morfologia de derrames subaéreos, tanto em termos das feições de superfície como das estruturas internas, fornece dados que permitem a interpretação da gênese dos mesmos (KILBURN, 1990; MACDONALD, 1953). Este tipo de abordagem pode ser aplicado também para derrames com resfriamento influenciado pela presença de água ou estritamente subaquosos.

A observação dos contatos entre os diferentes tipos de derrames, o estudo petrográfico e a caracterização da porosidade macro e microscópica fornece indicativos da configuração do paleoambiente no momento de colocação destas lavas.

1.4 HIPÓTESE

O estudo da região de Araguari possibilitou identificar morfologias diagnósticas de diferentes graus de interação dos derrames com corpos d'água durante a colocação e/ou resfriamento das lavas. Neste trabalho considera-se a

hipótese de que o *emplacement* dos derrames basálticos deu-se de uma forma contínua, transicionando de um ambiente subaéreo para um ambiente subaquoso. O paleoclima atuante, juntamente com a irregularidade topográfica característica de áreas estratigraficamente próximas do embasamento e localizadas em uma borda de bacia, teriam sido os fatores responsáveis pela geração de fácies características de derrames subaéreos e subaquosos.

1.5 OBJETIVOS

Com este trabalho, pretende-se estudar critérios indicativos dos parâmetros de colocação dos derrames subaquosos e subaéreos da região de Araguari, através do detalhamento morfológico e petrográfico dos mesmos, com maior foco nas ocorrências de lavas em almofada. Para tal, serão analisados dados coletados em campo e observados em lâminas delgadas, detalhando morfologias e padrões de vesiculação. Como objetivos específicos, então, pode-se citar:

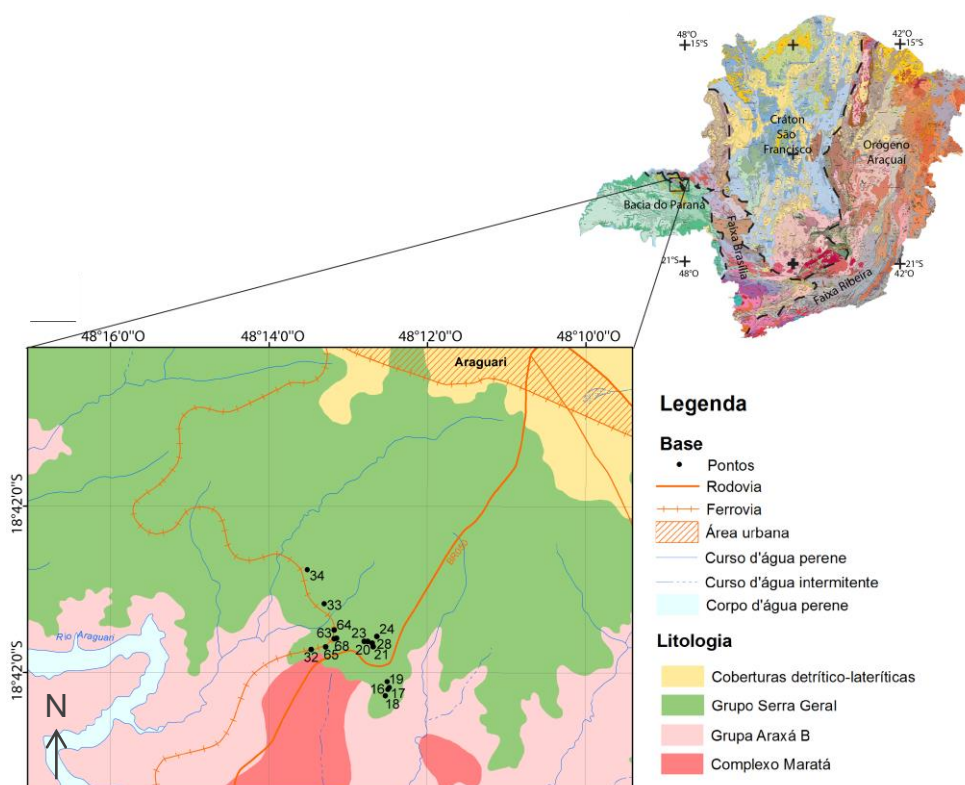
- Descrição e classificação, em campo, das características morfológicas dos derrames;
- Descrição petrográfica e identificação de minerais secundários, com refino do dado por DRX;
- Caracterização geoquímica através da análise de 9 amostras de derrames subaéreos e subaquosos;
- Definição do padrão de vesiculação e estimativa da porosidade original por descrição petrográfica estatística, utilizando-se o *software* Hardledge (Endeeper);

1.6 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Foram estudadas duas áreas localizadas no município de Araguari (Figura 1), porção oeste do estado de Minas Gerais (18° 45' - 18° 44' S, 48° 14' - 48° 11' W). O estudo focalizou uma área estimada em aproximadamente 10 km² que se encontra no entorno da rodovia BR-050. A primeira área trata-se de exposições ao longo da ferrovia Centro – Atlântica, as quais se dão na forma de cortes verticalizados, realizados durante a construção do trilho, o que possibilitou a exposição de rocha relativamente pouco intemperizada. A segunda área inclui duas pedreiras da

empresa Arpasa, tendo sido denominada de Arpasa 1 a pedreira inativa durante a etapa de campo, a leste da rodovia, e Arpasa 2 a pedreira em plena atividade, a oeste da rodovia.

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Modificado de Heineck et al., 2003.

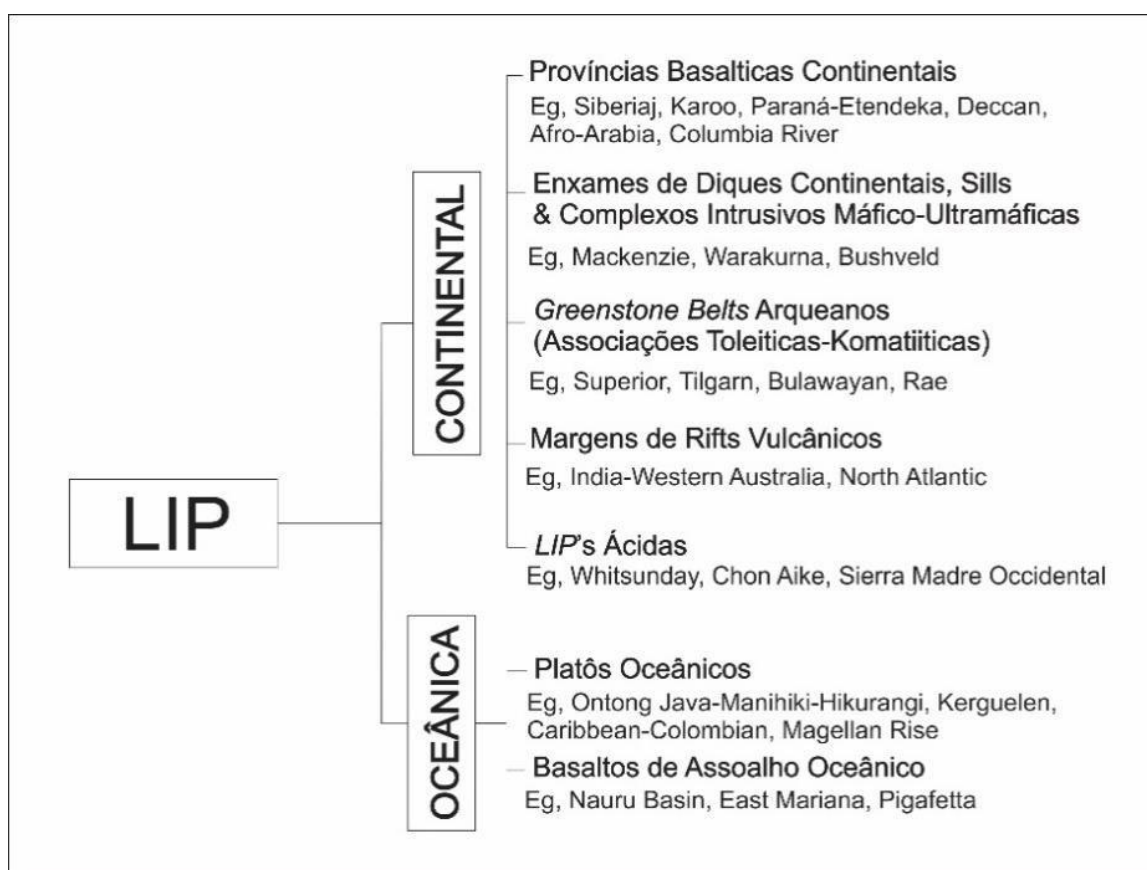
2 CONTEXTO GEOLÓGICO

A contextualização geológica da área foi definida através de revisão bibliográfica que focalizou a configuração do vulcanismo Serra Geral na Bacia do Paraná como um todo, e não estritamente na área de estudo. O objetivo desta abordagem se fundamenta (I) na importância de entender o modo de ocorrência dos derrames ao longo do eixo S-N da bacia, devido ao foco do trabalho em explicitar as diferenças em termos de clima e sua influência na formação dos diferentes tipos morfológicos na porção norte da bacia, quando comparados ao extremo sul da mesma; e (II) pela escassez de dados sobre a geologia da área de estudo.

2.1 PROVÍNCIAS MAGMÁTICAS CONTINENTAIS

Manifestações de grandes volumes de magma, as Grandes Províncias Ígneas (LIPs, do termo em inglês *Large Igneous Provinces*) ocorrem tanto em áreas continentais como oceânicas (Figura 2). Quando os derrames se dão em porções continentais, são denominados de Províncias Magmáticas Continentais (PBCs), destacando-se pelos grandes volumes de lava gerados em intervalos de tempo de poucos milhões de anos, como as províncias Deccan *Trapps* – Índia, 67 – 60 Ma; Paraná – Etendeka, 135 – 133 Ma (BRYAN; ERNST, 2008).

Figura 2: Classificação das LIPs.



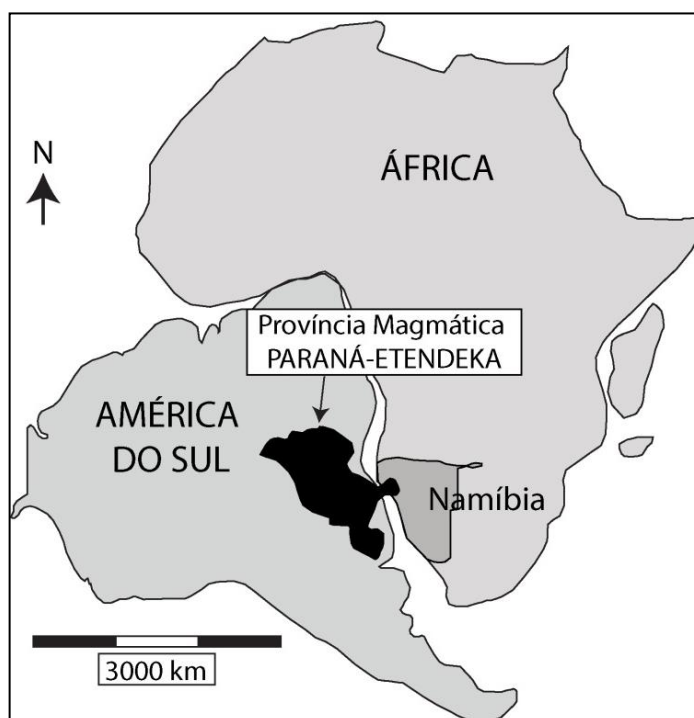
Fonte: Extraído de Rossetti, 2011.

2.2 CONTEXTO GEOLÓGICO DO VULCANISMO SERRA GERAL

A Província Magmática Continental Paraná – Etendeka (PMCPPE) corresponde a um vulcanismo fissural datado do Cretáceo Inferior (134,5 – 131,5 Ma; JANASI et al., 2011; RENNE et al., 1992; THIEDE; VASCONCELOS, 2010; TURNER et al., 1994), o qual precedeu o rompimento do supercontinente Gondwana

e a abertura do Oceano Atlântico (Figura 3), sendo, na América do Sul, denominada por White (1908) de Formação Serra Geral (FSG) e, na porção africana, Formação Etendeka (com área aproximada de 100 Km²). O vulcanismo Serra Geral recobre cerca de 75% da Bacia do Paraná, estando na porção superior da mesma, com área aproximada de 1.200.000 m² e com volume estimado em mais de 600.000 km³ (FRANK et al., 2009) e com uma espessura maior que 1700 m na porção central da bacia, distribuída no Brasil, Uruguai, Argentina e Paraguai. É formada predominantemente por rochas básicas (90%) e, subordinadamente, termos intermediários (7%) e ácidos (3%) (MARQUES; ERNESTO, 2004).

Figura 3: Localização da Província Magmática Paraná-Etendeka antes da separação do Supercontinente Gondwana.

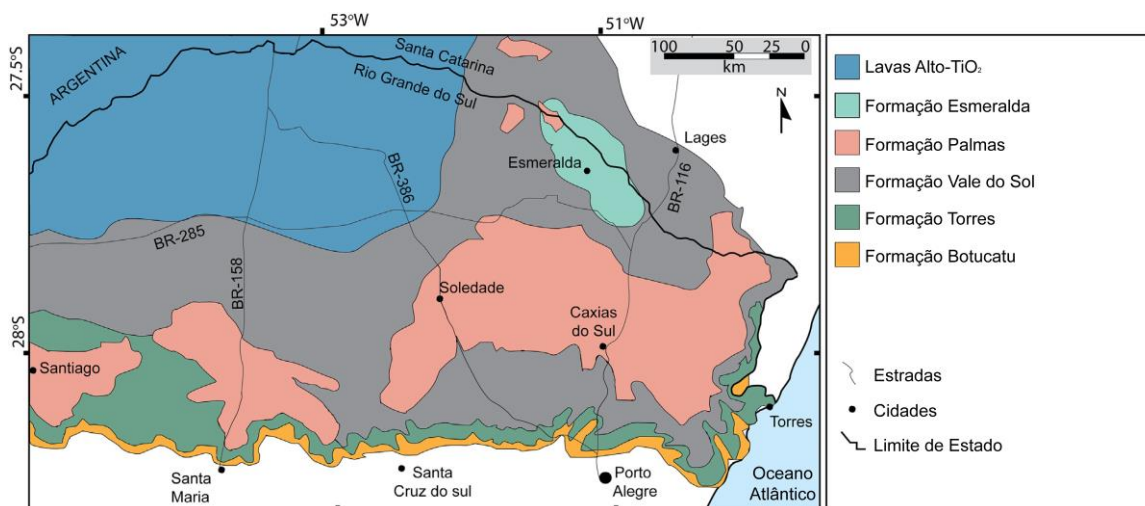


Fonte: Modificado de Jerram et al., 2000.

Na porção sul da Bacia do Paraná, estes derrames foram colocados sobre os depósitos eólicos da Formação Botucatu (Figura 4), preservando feições e estruturas sedimentares, como paleodunas (HOLZ et al., 2008; SCHERER, 2002), registrando feições de derrames de lava no topo destes arenitos (WAICHEL et al., 2008) e gerando feições de interação de lavas de baixa viscosidade/coerentes e sedimentos, como peperitos (FISHER, 1960; WAICHEL et al., 2007; WILLIAMS; MCBIRNEY, 1979). Os derrames básicos na porção sul da bacia são caracterizados

por pequenas espessuras, em geral menores do que 10 m, formados por taxas de efusão baixas e constantes (ROSSETTI, 2011).

Figura 4: Mapa geológico da porção sul da Bacia do Paraná.



Fonte: Modificado de Rossetti et al., 2017.

As rochas básicas do vulcanismo Serra Geral foram classificadas, em termos de composição química, quanto aos teores de Ti: alto Ti quando $TiO_2 > 2\%$ e baixo Ti quando $TiO_2 < 2\%$ (BELLIENI et al., 1984; MANTOVANI et al., 1985), sendo dominante a ocorrência de basaltos e andesi-basaltos de afinidade toleítica baixo TiO_2 , divididos por Peate et al. (1992) em 3 magmas-tipo denominados de Gramado, Esmeralda e Urubici (porção sul da Província) e alto TiO_2 , divididos nos 3 magmas-tipo Pitanga, Paranapanema e Ribeira.

Recentemente, Rossetti et al. (2017) adotaram, para a Formação Serra Geral na Calha de Torres, a nomenclatura Grupo Serra Geral (GSG - nomenclatura já utilizada informalmente por Arena et al., (2014), Comin-Chiaramonti et al., (2010) e Pinto e Hartmann, (2011), subdividindo o GSG em formação Torres, Vale do Sol, Palmas e Esmeralda, usando como critérios a arquitetura de fácies, estruturas internas dos derrames, texturas e composição química. Em consonância com este recente trabalho, nesta monografia será utilizada a nomenclatura de Grupo Serra Geral (GSG) para o vulcanismo da Província Magmática Continental Paraná – Etendeka (PMCPE) no Brasil.

Os tipos morfológicos de rochas básicas formadas em ambiente subaéreo mais comuns na porção sul da BP são derrames *pahoehoe* dos tipos simples e compostos; morfologias *rubbly pahoehoe*, que representam um tipo intermediário entre os *end members pahoehoe* e *A'a'*, o qual apresenta topo brechado e base e núcleo maciços; e subordinadamente morfologias do tipo *A'a'*, de núcleo maciço, porém topo e base escoriáceos.

Na região de Araguari, porção norte da Bacia do Paraná (BP) os derrames do GSG estão colocados ora sobre os arenitos da Formação Botucatu, ora diretamente sobre o embasamento, representado por unidades neoproterozoicas da Faixa Brasília (xistos e augen gnaisses). Em termos de ambiente de colocação, trabalhos anteriores (FERREIRA, 1985; MORAES; SEER, 2017) identificaram e descreveram a sucessão de derrames aflorante ao longo da Ferrovia Centro – Atlântica (FCA), abordada no presente trabalho. Estes autores identificaram derrames de colocação subaquosa (lavas em almofada, peperitos e hialoclastitos) e derrames subaéreos (*pahoehoe*). Fora da área de estudo, derrames do tipo lava em almofada foram identificados, na Bacia do Paraná, por Mano (1987) em furos de sondagem realizados durante a construção da barragem de Nova Avanhandava, Rio Tietê, São Paulo.

2.3 PRINCIPAIS TIPOS MORFOLÓGICOS E ESTRUTURAS DE RELEVÂNCIA NO ESTUDO

Derrames básicos são classificados com base em suas feições de superfície e sua estruturação interna (MACDONALD, 1953). Os principais fatores que controlam a origem dos diferentes tipos morfológicos são: temperatura, cristalinidade, conteúdo de voláteis, variações na composição da lava, taxa de efusão, duração e velocidade do fluxo e topografia. Outro fator que afeta diretamente a morfologia de um derrame é o ambiente de colocação (subaéreo ou subaquoso).

2.3.1 Derrames básicos subaéreos

Os derrames basálticos subaéreos, segundo Macdonald (1953), podem ser classificados quanto as suas feições de superfície e estruturação interna em três *end members*: *pahoehoe*, *A'a'* e lava em bloco. Destes, apenas derrames *pahoehoe* foram observados no presente estudo.

2.3.1.1 Derrames *pahoehoe*

Este tipo de derrame é caracterizado pela sua superfície ondulada, em corda e/ou enrugada. Esta forma indica que a crosta fina resfriada e formada na superfície da lava liquefeita permaneceu dúctil durante o deslocamento. A feição de plasticidade é melhor observada nas superfícies em corda, devido ao fato da velocidade do fluxo interno ser maior no centro do que em relação às laterais do derrame. As morfologias do tipo *pahoehoe* são vistas apenas em lavas basálticas de baixa viscosidade, sendo sua estrutura interna dividida em crosta superior, núcleo e crosta inferior (AUBELE et al., 1988; MACDONALD, 1953). No deslocamento os derrames deste tipo podem formar uma sucessão de pequenos lobos com largura da ordem de algumas dezenas de centímetros (por vezes semelhantes a “dedos”) até poucos metros (Figura 5), sendo estes denominados derrames compostos. Esses lobos subaéreos são recobertos rapidamente durante o derrame e quando expostos pela erosão podem ser confundidos com lavas em almofada. Quando o derrame permanece isolado da porção externa pela crosta gerada pelo resfriamento, o mesmo pode ser inflado pela injeção contínua de lava, podendo alcançar dezenas de metros de espessura, sendo chamados de derrames do tipo simples.

Figura 5: avanço de lobo *pahoehoe*.



Fonte: Foto de Tom Pfeiffer.

Geralmente o interior de uma lava *pahoehoe* é vesicular, sendo comum ter mais de 20% de vesículas em volume. As vesículas raramente aparecem perfeitamente esféricas, em geral são elipsoidais ou achatadas, podendo evidenciar a direção do fluxo da lava (SIGURDSSON et al., 1999). Comumente estas vesículas são preenchidas por materiais secundários, provenientes de gases e/ou soluções

quentes magmáticas, por exemplo. Quando estas vesículas são preenchidas parcial ou totalmente, as mesmas são chamadas de amígdalas, e se este preenchimento apresenta zonação, pode indicar deposição progressiva de minerais hidrotermais. Os materiais de preenchimento mais comuns destas amígdalas são carbonatos, minerais do grupo das zeólitas polimorfos de quartzo ou argilominerais.

Disjunções colunares bem definidas são frequentes em seções transversais de derrame basálticos. Essas estruturas são o resultado da contração térmica pós-solidificação da lava. Isto ocorre devido à lava não se contrair como uma massa única por estar soldada às rochas mais frias sob ela, com isso, disjunções poligonais se desenvolvem perpendicularmente às isotermais de resfriamento, migrando para o interior a partir da borda inferior do derrame (Figura 6). Derrames mais espessos podem ser divididos, de modo simplificado, em zona inferior ou colunar, composta por colunas verticais regulares (colunatas), e zona superior de disjunções curvas ou significativamente irregulares (entablamento).

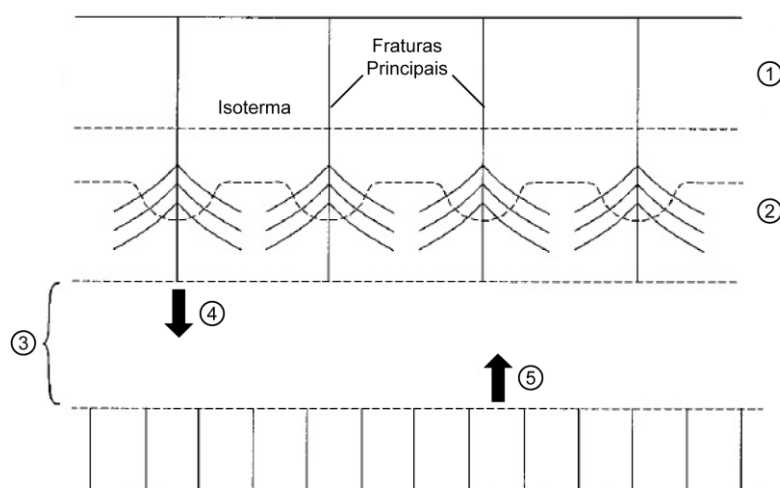
Figura 6: padrão de disjunções colunares em Fingal's Cave, Staffa, evidenciando padrão de disjunção do tipo colunata na porção de base do derrame, e porção superior formada por disjunções do tipo entablamento.



Fonte: Modificado de Lyle, 2000.

O estudo da propagação das disjunções (DE GRAFF; AIDIN, 1987; LYLE, 2000) indica que a zona colunar se forma por propagação ascendente das disjunções na base fria da lava, cuja isoterma de resfriamento é deslocada de modo regular, enquanto a zona de entablamento se origina a partir da superfície mais alta do derrame, onde a interação com a água que penetra nas fraturas do topo do derrame instabiliza as isotermas (Figura 7), comprovadas pela ocorrência de disjunções contorcidas. As juntas radiais são outro exemplo de disjunções em processo de resfriamento e formam-se perpendiculares a superfície regular de resfriamento, sendo comum desenvolverem-se no interior de lavas almofadadas ou moldadas em torno de blocos solidificados (já resfriados, como blocos ou brechas do próprio derrame) como no caso da ilha de Elephanta, (Porto de Mumbai, Índia), onde disjunções radiais são formadas em torno de brechas de topo de derrames do tipo *rubbly pahoehoe* (SHETH et al., 2017).

Figura 7: Esquema mostrando como se dá o resfriamento e desenvolvimento de disjunções colunares em derrames pahoehoe simples. Com o derrame estabelecido, fraturas principais (1) são formadas no topo do mesmo, permitindo a percolação de água de superfície, a qual instabiliza a isoterma de resfriamento (2) possibilitando o desenvolvimento de disjunções do tipo entablamento. A porção do centro do derrame (3), ainda com comportamento dúctil, permite o desenvolvimento de uma isoterma estável (4) descendente, que juntamente com o resfriamento controlado da porção de base (5) permite o desenvolvimento de disjunções do tipo colunata na base e por vezes centro do derrame.



Fonte: Modificado de Lyle, 2000.

2.3.2 Derrames básicos subaquosos

Derrames basálticos em ambiente subaquosos tem como consequência ampla geração de material vítreo, o qual é gerado pelo brusco resfriamento da lava em contato com a água (*quenching*), como é o caso das crostas de lavas em almofada ou dos depósitos de hialoclastitos.

2.3.2.1 Lavas em almofada

Lavas em almofada são os tipos morfológicos subaquosos de mais fácil reconhecimento, podendo formar-se em grandes profundidades (assoalho oceânico) ou em ambientes rasos como ambientes lacustres ou de degelo de geleiras (GILL, 2014). Podem ser consideradas equivalentes subaquosos dos derrames *pahoehoe* compostos, por apresentarem diversos lobos sobrepostos uns aos outros, sendo, por vezes, confundidas com lobos se derrames subaéreos.

As dimensões de um lobo de lava em almofada variam desde alguns centímetros até poucos metros de diâmetro. O topo tende a ser arredondado (lobado) e a porção inferior achatada ou com projeção em “V” para baixo, dependendo da forma de contato com lobos inferiores (Figura 8), sendo estas características importantes indicadores do topo da pilha vulcânica.

A gênese destes lobos se dá por tubos de lava interligados, cuja crosta externa resfria bruscamente devido à interação direta com água, produzindo uma carapaça vítrea, podendo apresentar, quando em corte aproximadamente transversal, formatos arredondados, ovalados ou muito achatados.

Figura 8: lavas em almofada de Bennane Head, Escócia, mostrando morfologias arredondada/ovalada típicas e projeção em “V” na base de um lobo (seta branca), quando o mesmo se molda sobre outros lobos pré-existentes.



Fonte: Modificado de Stone, 2012.

Esta carapaça, porém, mantém um comportamento dúctil, de modo que os tubos seguem avançando e/ou inflando, num processo denominado *budding* ou brotamento, gerado pela pressão do fluxo de lava interno ao tubo. Quando a crosta resfria e torna-se rígida, a mesma tende a se partir pela tração resultante da pressão interna da lava, podendo gerar diferentes morfologias dependendo do modo que o novo tubo venha a se desenvolver. Os principais tipos de lavas em almofada são (Figura 9):

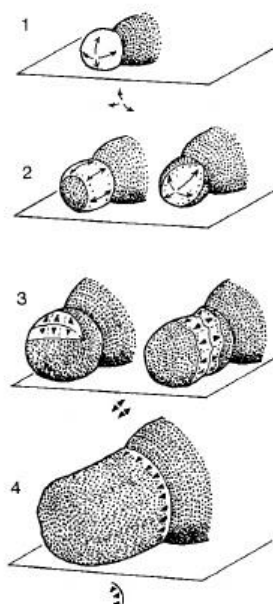
Alongamento uniforme: se dá quando a carapaça da almofada se rompe e alonga uniformemente a fim de acomodar a injeção constante de lava para o tubo original;

Alongamento localizado: ocorre o alongamento da carapaça, porém neste caso é mantido um contato com a ruptura;

Espalhamento simétrico: ocorre ruptura da crosta resfriada, com propagação simétrica em todos os lados, sendo desenvolvida nova crosta vítrea ao longo dos limites da ruptura, que seguem se desenvolvendo com a propagação do tubo;

Tipo pasta de dentes (*toothpaste-like*): ocorre quando uma porção lateral, superior ou frontal do tubo se rompe, permitindo a geração de um novo tubo de lava, que se desenvolve de maneira assimétrica;

Figura 9: principais modos de construção de novos lobos de lavas em almofada: 1 - alongamento uniforme; 2 - alongamento localizado; 3 - espalhamento simétrico; 4 - tipo pasta de dentes (*toothpaste-like*).



Fonte: Modificado de Walker, 1992.

É comum a ocorrência de fraturas radiais em lobos de lavas em almofada. Estas ocorrem comumente com distribuição radial, do centro para as bordas, evidenciando o controle termal de formação destas estruturas, já que o maior gradiente de temperatura em lobos de lavas em almofada se dá do centro para a borda (Figura 10).

Figura 10: radiais em lobo de lavas em almofada, evidenciando controle termal na geração destas estruturas.



2.3.2.2 Hialoclastitos

Outro depósito comum em ambientes subaquosos é o de hialoclastito. É formado por hialoclastos, material clástico de gênese não explosiva, gerado pelo fraturamento da lava devido ao seu rápido arrefecimento em contato com a água, fragmentando-se em porções de tamanhos variados, em geral tamanho areia e com extremidades curvilineares e vértices bastante angulares.

Hialoclastito é um termo descritivo, relacionado à gênese do depósito, portanto deve ser usado apenas quando é reconhecido o modo de geração, não sendo adequado, por exemplo, para eventos explosivos (HONNOREZ; KIRST, 1975; PICHLER, 1965; RITTMANN, 1962; SILVESTRI, 1963; YAMAGISHI, 1987). Em alguns casos, os depósitos hialoclastíticos são recobertos por lava, podendo ser

interpretado em termos do avanço (subaéreo) da lava em direção à água, onde constrói um delta de lava que prograda. Por vezes, o hialoclastito mostra acamamento distinto e isso pode refletir o retrabalhamento do material fino vítreo por ondas e correntes, assim os depósitos podem conter feições sedimentares remanescentes de areia depositada em águas pouco profundas (JERRAM; PETFORD, 2011).

2.3.2.3 Peperitos

A interação e a mistura entre lavas coerentes ou magma com sedimentos não consolidados secos ou úmidos gera outro litotipo, denominado de peperito (FISHER, 1960, JERRAM; STOLLHOFEN, 2002, WILLIAMS; MCBIRNEY, 1979). É caracterizado por uma textura clástica em que um ou outro componente pode formar a matriz.

Peperitos comumente ocorrem nos contatos entre intrusões e sedimentos úmidos (HANSON; SCHWEICKERT, 1982; HANSON; WILSON, 1993), e ao longo dos contatos basais de fluxos de lava que se sobrepõem ou “escavam” sedimentos não consolidados (BULL; CAS, 1989).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada nesta pesquisa busca elucidar informações sobre as condições paleoambientais da região de Araguari no momento da colocação dos derrames, bem como levantar dados indicativos dos parâmetros que controlaram a colocação dos derrames, como taxas de alimentação e resfriamento dos mesmos, informações estas necessárias para responder ao problema proposto. Estas metodologias foram divididas em três etapas:

3.1 ETAPA PRÉ-CAMPO

3.1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta etapa teve como objetivo a busca por informações referentes a Formação Serra Geral, cujos vulcanitos são o foco deste estudo, além de

informações referentes aos modos de ocorrências de derrames basálticos cuja formação teve interação direta com água. Adicionalmente, além de informações sobre características e modos de ocorrências de uma forma geral, buscaram-se também metodologias de abordagem eficientes que facilitassem a caracterização e definição dos padrões morfológicos, petrográficos e de vesiculação destas lavas, informações estas muito importantes para a compreensão das condições de colocação dos derrames e o que controlou a transição do ambiente em relação à presença ou não de um corpo aquoso.

3.1.2 RECONHECIMENTO DA ÁREA POR IMAGENS AÉREAS

A utilização de imagens aéreas permitiu a determinação de afloramentos ideais para os objetivos do trabalho, como, por exemplo, cortes (de estrada e ferrovia) e pedreiras (Figura 11), a fim de planejar o campo e o tempo disponível para as atividades. Desta forma foi possível definir, previamente, como seria a abordagem de estudo em cada local de ocorrência dos derrames, otimizando os trabalhos em campo.

Figura 11: localização de afloramentos por imagens aéreas, com áreas de estudo destacadas em vermelho.



Fonte: Modificado de Google Earth, 2017.

3.2 ETAPA DE CAMPO

O trabalho de campo foi desenvolvido em duas etapas: durante 20 dias em julho e agosto de 2016 e mais 10 dias entre junho e julho de 2017. Durante a primeira etapa realizou-se um reconhecimento regional dos tipos de ocorrência de derrames através de visitas a pedreiras e a Ferrovia Centro – Atlântica (FCA). Nestes locais foram feitas descrições de afloramentos em corte de ferrovia nos quais ocorrem, além de basaltos subaéreos, basaltos de colocação subaquosa. Além disso foram levantadas seções colunares de detalhe descrevendo aspectos gerais da rocha, como morfologias de derrames, texturas, estruturas e mineralogia, além de descrições de detalhe da porosidade destes derrames, sendo, também, coletadas amostras representativas e controladas de cada porção do derrame. Para os derrames subaquosos também foram descritos todos os aspectos da rocha, com um foco maior no padrão de vesiculação, nos aspectos morfológicos dos lobos em

almofada, além das feições de transição de ambiente subaquoso para subaéreo e vice-versa. As seguintes metodologias foram empregadas em campo:

3.2.1 ANÁLISE MORFOLÓGICA DAS UNIDADES DE *PILLOW* LAVA

O método, sugerido por Furnes e Fridleifsson (1978) e Walker (1992), consiste em medir as dimensões de largura (H) e altura (V) de cada lobo, em corte perpendicular ao eixo de desenvolvimento da mesma, sendo posteriormente feita uma razão V/H , cujo valor, quando próximo de 1, é indicativo de uma superfície deposicional irregular/inclinada, e quando muito menor do que 1, indicativo de superfície pouco inclinada ou tendendo a horizontal.

Figura 12: esquema de descrição quanto à morfologia de lavas em almofada.



3.2.2 DESCRIÇÃO VISUAL DA POROSIDADE

Foi observada a distribuição da porosidade das lavas em almofada, com o objetivo de definir uma distribuição preferencial das vesículas. A porosidade

foi detalhada em termos de tamanho, forma, densidade e distribuição. Nos derrames subaéreos, a descrição da porosidade foi feita subindo na estratigrafia ao longo dos cortes, tomando-se nota de cada variação nos teores ou aspectos dos poros, tal como no caso dos derrames subaquosos.

3.2.3 AMOSTRAGEM

Além das descrições dos afloramentos, foram coletadas amostras representativas dos derrames. Dos derrames subaéreos simples de uma das pedreiras foram feitas amostragens de três porções do derrame observado: próximo a base (~2 m), porção do núcleo (~10 m) e próximo ao topo (por dificuldade de acesso a amostra de topo foi coletada cerca de 4 m abaixo do limite superior do mesmo). Nos derrames subaquosos, a coleta de amostras foi feita nas três zonas das unidades de lavas em almofada, a fim de observar, posteriormente, as mudanças de características em cada porção destas feições. Também foi coletado o material *interpillow* (inter lobos/almofadas), formado por hialoclastos, peperitos e sedimentos depositados ou remobilizados durante a formação dos derrames.

3.3 ETAPA PÓS – CAMPO (LABORATÓRIO)

3.3.1 PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS

A coleta de amostras durante o trabalho de campo objetivou o uso das mesmas para observações de maior detalhe com técnicas como petrografia, difração de raios X (DRX) e fluorescência de raios X (FRX). Foram coletadas 16 amostras para confecção de lâminas petrográficas; 3 amostras para difração de raios X, visando análises de rocha total (RT) e a identificação de argilominerais encontrados na forma de preenchimento de vesículas e poros secundários; e 9 amostras para fluorescência de raios X, sendo estas dos derrames subaéreos (3 amostras), das duas áreas de estudo, e dos derrames subaquosos do tipo lava em almofada (4 amostras). Para DRX e FRX as amostras foram fragmentadas até dimensões próximas de 1 cm utilizando um martelo. Posteriormente foram reduzidos até um tamanho de grão areia grossa (≤ 2 mm) com

graal e pistilo de ágata (Figura 13), utilizado para evitar possíveis contaminações com elementos químicos comumente presentes em ferramentas de cerâmica. Após isso, os fragmentos foram então acondicionados em um moinho de esferas, também de ágata, moendo a amostra durante 25 minutos em velocidade de giro de 300 rpm, resultando em um pó bastante fino. Este pó, porém, não estava totalmente reduzido a um tamanho ideal e equivalente a uma peneira *sieve mesh* 200, granulometria necessária para as análises de DRX e FRX, sendo necessário o processamento manual das amostras com o uso de graal e pistilo de ágata até a obtenção da granulometria ideal.

Figura 13: materiais usados na moagem manual das amostras. 1) graal e pistilo de ágata; 2) porção com granulometria areia grossa; 3) peneira *sieve mesh* 200.



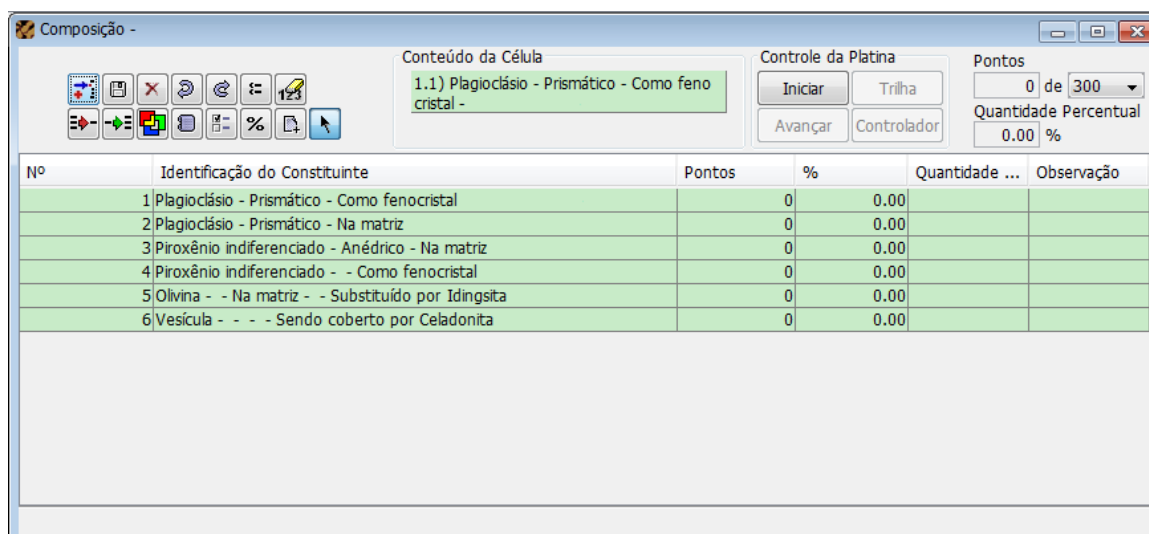
3.3.2 CONFEÇÃO E DESCRIÇÃO DE LÂMINAS DELGADAS

Em laboratório foram selecionadas as amostras mais representativas para confeccionar as lâminas (16 amostras). Estas amostras foram cortadas nas porções de maior interesse, com serra diamantada, na forma de pequenos blocos de até 5 mm de espessura, que passaram por um processo de impregnação com resina de cor azul (a qual ajuda a evidenciar porções porosas ao microscópio e também mantém a integridade de amostras muito friáveis). Os blocos foram colados em

lâminas de vidro e polidos até uma espessura de 30 μm . As descrições foram realizadas utilizando-se microscópio petrográfico de luz transmitida da marca Leitz, modelo Laborlux 12 pol, e organizadas com o auxílio do *software* Hardledge (Figura 14), desenvolvido pela empresa Endeeper (www.endeeper.com/pt-br/product/hardledge), possibilitando uma estimativa estatística da porosidade e do volume de cada constituinte da rocha.

O uso da petrografia convencional pode, porém, não ser suficiente para observar certos minerais ou feições microscópicas, pois está limitada ao aumento máximo proporcionado pelas lentes objetivas disponíveis para uso no microscópio (40x), sendo necessário o uso de outras técnicas para identificação destes constituintes.

Figura 14: etapa descritiva no *software* Hardledge, com lista de constituintes da lâmina, podendo ser detalhado quanto a localização, relação com os demais minerais do entorno, relação paragenética, etc.



3.3.3 DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX)

Por vezes a análise petrográfica não tem precisão suficiente para identificar certos minerais, como é o caso de argilominerais, por exemplo. No caso de rochas vulcânicas de baixa cristalinidade com muito material originalmente vítreo, como é o caso dos derrames de colocação subaquosa ou com água associada, o método de difração de raios X (DRX) é especialmente útil. Uma medida de amostras policristalinas determina experimentalmente os espaçamentos interplanares dos

planos cristalinos e suas intensidades relativas de reflexão (UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ, 2016). Como cada substância tem o seu registro próprio, essa técnica foi utilizada como suporte para confirmar a presença de fases minerais identificadas com o uso da petrografia e outros não identificados opticamente.

A técnica de DRX consiste em uma análise baseada na Lei de Bragg ($n\lambda = 2d \sin(\Theta)$), na qual são emitidos feixes de raios X, através de um tubo de quartzo ou cerâmica com comprimento de onda (λ) bem definido, que incidem nos planos cristalinos da amostra e são difratados e captados por um detector. Segundo Senna (2003), certas condições devem ser respeitadas para a eficiência da análise, como (a) haver equivalência entre o comprimento de onda dos raios incididos na amostra e o espaçamento existente entre as camadas de átomos e (b) haver um arranjo regular entre os centros espalhadores presentes na amostra. O Laboratório de Difração de Raios X do CPGq-IGEO-UFRGS conta com dois difratômetros da marca Siemens, modelos Bruker D-500 (Figura 15) do tipo *theta/theta* e *theta/2theta*. O difratômetro do tipo *theta/theta* analisa a amostra com um movimento simultâneo do emissor de raios e do detector, e no tipo difratômetro *theta/2theta* o emissor de raios se mantém fixo, enquanto o detector é movimentando por um ângulo *theta - 2theta*.

Figura 15: difratômetro de raios X Siemens Bruker D-500, no qual foram analisadas as amostras selecionadas.



As amostras analisadas por este método foram moídas até a obtenção de um fino pó, com um tamanho de grãos equivalente a passagem de uma peneira *sieve mesh 200*, seguindo especificação exigida pelo laboratório.

3.3.4 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X

Esta técnica de análise foi utilizada para fazer a caracterização geoquímica das rochas estudadas, além de auxiliar nas interpretações de dados da petrografia das mesmas.

A técnica de análise por fluorescência de raios X tem caráter qualitativo e quantitativo, pois permite analisar qualquer elemento com número atômico > 13 e quantifica os teores do mesmo na amostra. O método consiste no uso de um tubo de quartzo ou cerâmica, que gera, através do aquecimento de um filamento de tungstênio (com tensões na ordem de 30 a 60 KeV), feixes de raios X. Estes feixes incidem na amostra causando uma excitação dos elétrons mais internos dos átomos. É buscado, então, um estado de equilíbrio, mediante o deslocamento destes

elétrons, agora agitados, para os níveis mais externos, de modo que os elétrons das últimas camadas são emitidos na forma de fótons, com uma fluorescência característica do elemento. Este fenômeno é então analisado por um detector, que converte a energia recebida em pulsos elétricos. Estes pulsos dão a informação de quais foram os elementos analisados, em porcentagem de óxidos.

O espectrômetro do Laboratório de Espectrometria por Fluorescência de Raios X do CPGq-IGEO-UFRGS é da fabricante Rigaku, modelo RIX-2000 (Figura 16), e tem capacidade para realizar análises pelas técnicas de *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS, que consiste em analisar a energia dispersiva de cada fóton emitido pela excitação do elemento) e *Wavelength Dispersive Spectroscopy* (WDS, que analisa os comprimentos de onda específicos das radiações emitidas como resposta a incidência dos raios X).

Figura 16: espectrômetro de Fluorescência de raios X Rigaku, modelo RIX-2000, usado para as análises de FRX no Laboratório de Espectrometria por Fluorescência de Raios X do CPGq-IGEO-UFRGS.



As análises foram feitas em termos dos elementos maiores, tomados na forma de óxidos (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 (total), MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 ,

P₂O₅), elementos menores (Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, As, Pb) e perda ao fogo. Em geral, aceita-se como confiáveis análises cujos valores totais sejam de 98 a 102%. Nas amostras analisadas, principalmente nas amostras de lavas em almofada (sistemas mais abertos e sujeitos a ações intempéricas mais expressivas), foram esperados altos valores de perda ao fogo, e num dos resultados, que extrapolou este parâmetro, foram utilizados como fator de segurança os resultados obtidos pelos demais métodos.

3.3.5 VETORIZAÇÃO DE SEÇÕES COLUNARES

As seções colunares levantadas em campo foram digitalizadas com o auxílio do *software* vetorial Adobe Illustrator CS6. Este método foi utilizado pois assim é possível padronizar a descrição de seções, de maneira mais organizada e com uma apresentação muito mais prática para futuras observações e interpretações.

4 ANÁLISES REALIZADAS (IGEO)

Abaixo são listadas as análises solicitadas para cada laboratório do instituto (IGEO), bem como o número de análises processadas:

Tabela 1: Análises solicitadas e processadas nos laboratórios do Instituto de Geociências da UFRGS.

Laboratório	Número de amostras solicitadas	Número de amostras processadas
CPGQ - Laboratório de DRX	12	12
CPGQ - Laboratório de Análise Química de Rochas	9	5
CPGQ - Núcleo de preparação de amostras (moagem)	10	9
CPGQ - Núcleo de preparação de amostras (laminação)	16	16

5 CRONOGRAMA

Figura 17: cronograma de atividades desenvolvidas ao longo deste trabalho.

Período	2016			2017					
	JUL/AGO	SET/OUT	NOV/DEZ	JAN/FEV	MAR/ABR	MAI/JUN	JUL/AGO	SET/OUT	NOV/DEZ
Levantamento bibliográfico									
Trabalho de campo									
Encaminhamento de amostras para laboratórios (IGeo)									
Tratamento e interpretação dos dados de campo									
Descrição de lâminas petrográficas									
Integração dos dados									
Elaboração da monografia									

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados obtidos durante os levantamentos de campo e com o uso das técnicas de laboratório, nas duas áreas de estudo, são apresentados neste capítulo.

O vulcanismo na região é caracterizado por basaltos que variam em termos do ambiente de colocação e da presença de água, desde estritamente subaéreos até estritamente subaquosos, com termos híbridos evidenciados pelos padrões de disjunções colunares e de alguns depósitos peperíticos.

6.1 Tipos morfológicos identificados

Através da observação das estruturas e feições superficiais e internas aos derrames, com especial atenção àquelas indicativas da influência de água na colocação e/ou resfriamento, foram identificadas as seguintes morfologias: derrames do tipo *pahoehoe* compostos e simples, com diferentes padrões de disjunção colunar; derrames do tipo lava em almofada com depósitos de hialoclastitos associados; e interação de lava e sedimentos úmidos do tipo peperito. A organização dos dados e identificação do ambiente foi facilitada pelo levantamento de seções colunares, além do registro fotográfico dos afloramentos e feições

relevantes, para suporte em análises e interpretações posteriores aos trabalhos de campo.

6.1.1 Morfotipos subaéreos

6.1.1.1 Derrames *pahoehoe* compostos

Os derrames *pahoehoe* compostos ocorrem na forma de lobos com dimensões variando de 1 a 4 m de espessura, cuja ocorrência é limitada a ferrovia. A vesiculação nos lobos é bastante expressiva, com vesículas milimétricas a centimétricas (megavesículas de até 4 cm) geralmente estiradas vertical a subverticalmente, comumente disseminadas nos lobos e com maiores concentrações nas porções próximas ao topo do mesmo. Nos lobos com mais de 1,5 m de espessura, a quantidade de vesículas chega a formar níveis centimétricos a decimétricos com grande acúmulo de vesículas próximas do topo do lobo (lençol de vesículas).

6.1.1.2 Derrames *pahoehoe* simples

Os derrames *pahoehoe* simples são os mais comuns em termos de colocação subaérea e apresentam espessuras superiores a 20 m. As porções de topo dos derrames são evidenciadas por de zonas amigdaloidais, com grande quantidade de vesículas e amígdalas variando de milimétricas (>2 mm) a decimétricas, com geodos arredondados e em forma de cúpula de até 25 cm. O preenchimento das amígdalas se dá por polimorfos de sílica, celadonita, e argilominerais. O núcleo é predominantemente maciço, com raras vesículas submilimétricas a milimétricas, arredondadas ou elipsoidais (orientadas segundo o plano horizontal). As vesículas estão dispersas e localmente formam aglomerados em disposição cilíndrica vertical ou em forma de *pods*, comuns também nos derrames simples do Grupo Serra Geral (GSG) na porção sul da Bacia do Paraná. Os aglomerados ocorrem ora próximos à base do derrame, ora próximos ao topo. A porção basal dos derrames é maciça e com pouca vesiculação, representada por vesículas milimétricas de até 5 mm bastante dispersas e de hábito variando de arredondado a fracamente estirado segundo o plano horizontal.

6.1.1.3 Disjunções colunares nos derrames subaéreos

Nos derrames *pahoehoe*, as disjunções colunares estão restritas aos derrames simples. Estas ocorrem predominantemente na forma de entablamentos, disjunções de faces curvas, cujos comprimentos variam de cerca de 50 cm a poucos metros, com larguras geralmente pouco expressivas, de até 30 cm (Figura 18). O desenvolvimento desse tipo de disjunção sugere importante influência de água durante o resfriamento (JERRAM; PETFORD, 2011), que se dá de forma caótica, devido ao ingresso de água em fraturas. Subordinadamente ocorrem disjunções regulares do tipo colunata, com ocorrência restrita a porção de centro do derrame. Seu desenvolvimento é favorecido pelo isolamento da zona central em relação à base e topo do derrame, de modo que não há influência de água superficial durante o resfriamento (DEGRAFF et al., 1989).

Figura 18: afloramento de derrame *pahoehoe* simples, evidenciando disjunções irregulares do tipo entablamento.



6.1.2 Morfotipos de *emplacement* subaquoso

As morfologias de colocação subaquosa são representadas por derrames do tipo *pillow lava* (lavas em almofada), hialoclastitos e peperitos, sendo os dois primeiros de ocorrência limitada a área de estudo 1 (ferrovia).

6.1.2.1 Derrames do tipo lava em almofada

As unidades de lavas em almofada (*pillow lava*) ocorrem na forma de lobo com dimensões diversas, desde cerca de 20 cm até superiores a 2 m de espessura. São predominantes lobos menores (decimétricos) e de morfologias mais arredondadas nas porções de centro e topo dos derrames, e as de dimensões

métricas (incluindo *megapillows*) ocorrem predominantemente nas porções próximas à base do derrame (Figura 21).

Em alguns pontos da primeira sucessão de lavas em almofada é possível observar cavidades centimétricas (~25 cm) no centro de alguns lobos, formadas pelo rompimento da frente do lobo e consequente escoamento da lava, restando um tubo de lava parcialmente preenchido por polímeros da sílica, argilominerais e calcita (Figura 19).

Figura 19: tubo de lava formado em lobo de lava em almofada.



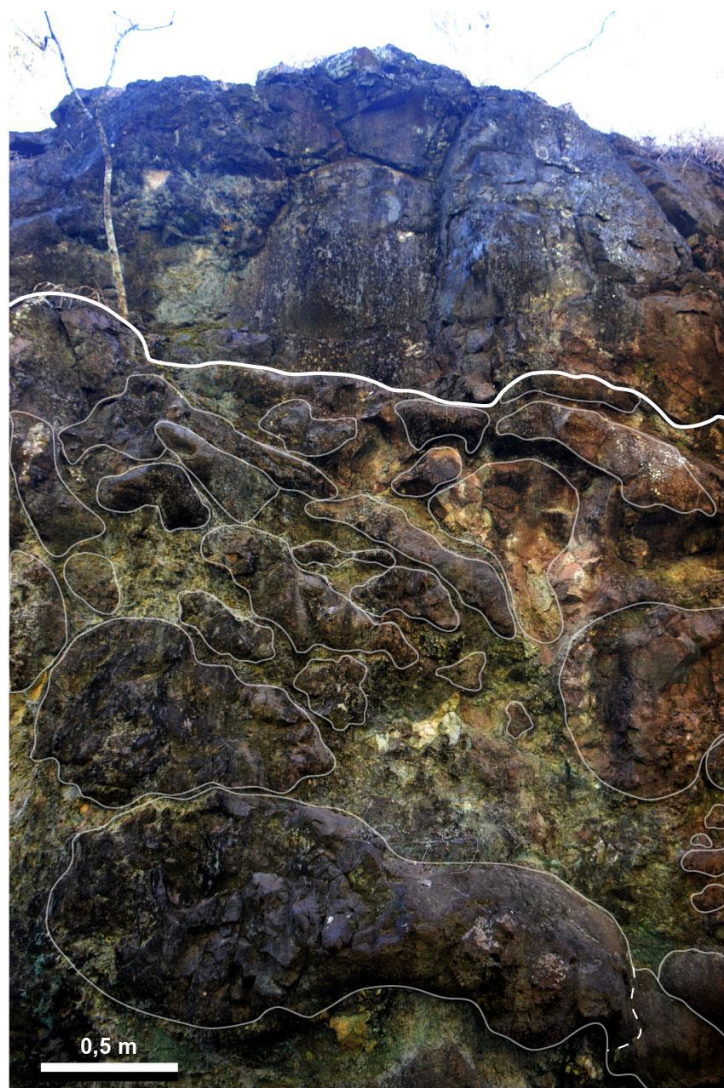
Com o resfriamento da crosta externa dos lobos, pode haver rompimento da crosta pela pressão do fluxo de lava do interior do lobo, o que geralmente se dá com a formação de 2 ou 3 fraturas de tração (fraturas em “Y”), a exemplo do lobo de *megapillow* observado na figura 20.

Figura 20: fraturas em "Y", com setas indicando movimento trativo de abertura das fraturas, quando estas se desenvolvem.



Quando esta pressão é suficientemente alta, pode ocorrer o desenvolvimento de lobos parasitários a partir do lobo original, como observado na figura 21, onde um pequeno lobo é formado a partir de uma *megapillow* (lobo em almofada de dimensões métricas) da base dos lobos pelo processo de espalhamento uniforme (Figura 9). Este processo pode formar também porções de lobos de lava em almofada fragmentadas e desprendidas do lobo principal, que são posteriormente remobilizadas e retrabalhadas pelo avanço do derrame, denominadas brecha de almofadas (*pillow breccia*).

Figura 21: lobo parasitário formado a partir de megapillow (linha tracejada no canto inferior direito) em porção do afloramento que evidencia dominância de lobos almofadados de maiores proporções na base da sequência. A linha mais espessa no topo marca contato com derrame subaéreo sobreposto ao derrame de lavas em almofada.

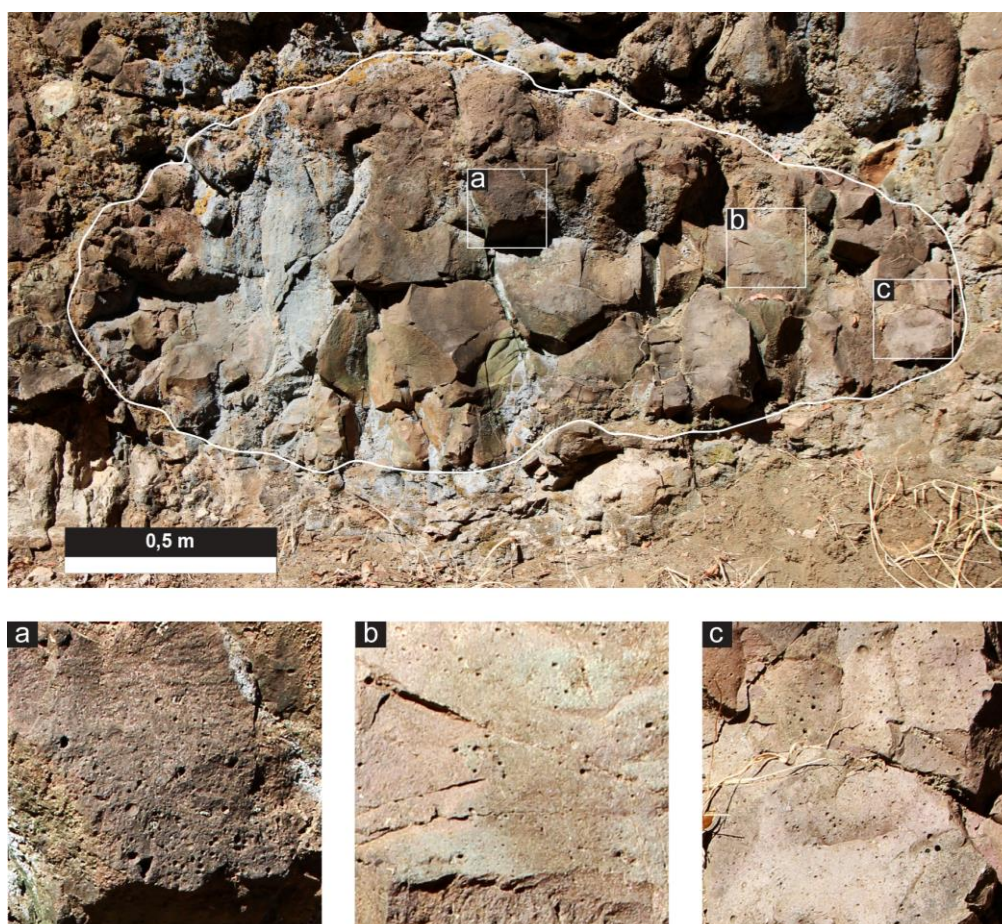


O estudo da morfologia das unidades de lava em almofada pode ser realizado observando-se as dimensões em corte perpendicular em relação ao eixo de formação das mesmas (FURNES; FRIEDLEIFSSON, 1978; WALKER, 1992). Esta análise é realizada observando-se a razão V/H entre as dimensões vertical (V) e horizontal (H) de lobos cujo eixo de formação é claramente identificado, caso contrário o valor não terá validade na análise, pois dará um valor de razão não confiável. Nos afloramento da área de estudo esta análise teve sua aplicação dificultada devido ao modo de exposição das lavas, que se davam em cortes verticais, tornando escassa a observação dos lobos em três dimensões, de modo

que nem sempre havia confiança na medição das dimensões V e H, pois estas poderiam não estar projetadas em um corte absolutamente perpendicular ao eixo de desenvolvimento do lobo.

A vesiculação observada nas lavas em almofada foi subdividida em 3 zonas principais (Figura 22) em termos de dimensão e quantidade: (1) núcleo, cuja vesiculação é representada por vesículas de até 2,5 cm, com formas tanto esféricas quanto irregulares; (2) porção intermediária, com padrão de vesiculação representado por vesículas predominantemente esféricas, de tamanhos variando de 4 a 10 mm, e em quantidade mais expressiva que as do núcleo; e (3) crosta externa, com uma maior vesiculação em termos de quantidade do que as porções anteriores, porém com vesículas de tamanho mais limitado, atingindo, em geral, dimensões máximas de 5 mm. O preenchimento parcial ou total por minerais secundários é comum às três zonas. Em campo foi possível definir que os preenchimentos tratam-se de minerais do grupo das esmectitas (indiferenciados), celadonita (coloração verde marcante), mineral/minerais do grupo das zeólitas e carbonato (calcita).

Figura 22: zonas principais de distribuição de porosidade primária em lavas em almofada: (a) porção de núcleo, (b) porção intermediária e (c) crosta externa.



6.1.2.2 Disjunções colunares nas lavas em almofada

Disjunções colunares nas lavas em almofada apresentam uma distribuição radial, evidenciando o controle termal na formação destas estruturas, tendo em vista que os lobos das lavas almofadadas tem um gradiente termal expressivo do centro para a borda, devido a presença de água no ambiente de colocação.

6.1.2.3 Hialoclastitos e material *interpillow*

Hialoclastitos ocorrem principalmente com dimensões milimétricas e domensões centimétricas subordinadas, com extremidades angulares e coloração esverdeada pela alteração e desvitrificação do material original. São limitados as porções *interpillow*, onde ocorrem associados a sedimentos (lama a areia média), por vezes apresentando estratificação incipiente; apresenta fragmentos de basalto e a fragmentos de lobos de lavas em almofada (*pillow breccia*). Algumas porções *interpillow* que não foram preenchidas durante a colocação e formação dos depósitos tiveram preenchimento porterior por materiais secundários, que incluem argilominerais, minerais do grupo da zeólitas, e carbonatos, que por vezes formam grandes cristais nestas porções (Figura 23).

Figura 23: porções interalmofada (*interpillow*), de dimensões decimétricas, preenchidas por calcita.



6.1.2.4 Peperitos

Ocorrem na forma de mistura entre sedimentos não consolidados e fragmentos de basalto amigdaloidal hipocristalino, mostrando uma interação entre lava e corpo aquoso com sedimentação atuante. Associados a derrames subaéreos, os fragmentos basálticos apresentam tamanhos variados, milimétricos a centimétricos (até cerca de 10 cm), com extremidades em geral retas e vértices angulosos, demonstrando pouco retrabalhamento. Nas porções de material *interpillow*, estes ocorrem com dimensões menores, de poucos milímetros até 3 cm. Nestes casos, pela maior quantidade de água e se tratando de derrames colocados em um corpo aquoso existente, os fragmentos são predominantemente vítreos, podendo ser confundidos com hialoclastos.

6.2 Distribuição dos tipos morfológicos

6.2.1 Derrames subaéreos

Derrames *pahoehoe* compostos ocorrem de forma pontual na área de estudo. Ao longo da Ferrovia Centro – Atlântica (FCA) estes foram observados entre as duas sucessões de lavas em almofada, estando diretamente sobrepostos a primeira sucessão de pillow lavas. O contato neste ponto se dá diretamente sobre lobos de *pillow* lavas, sem indícios de pausa no vulcanismo, tendo em vista que não foi observada superfície erosiva, paleossolo ou outro indicativo de um hiato temporal. Na pedreira Arpasa 1 as feições lobadas/elipsoidais, associadas às porções brechadas de topo da sequência, aparentam se tratar de lobos de derrame *pahoehoe*, porém o alto grau de alteração dificultou uma observação conclusiva (Figura 24).

Figura 24: lobos de derrame *pahoehoe* compostos com grau de alteração avançado, o que dificultou o diagnóstico da feição (escala: 15 cm).



Os derrames subaéreos do tipo *pahoehoe* simples são os mais expressivos em termos de volume na área de estudo. É o morfotipo dominante em ambas as pedreiras e ocorre ao longo da FCA estratigraficamente abaixo e acima da ocorrência de derrames subaquosos. Nas pedreiras Arpasa 1 e 2 foram identificados pelo menos dois derrames em cada. Nos derrames inferiores de ambas as pedreiras apenas foi possível observar a porção de topo, cujo contato apresentou porções amigdaloidais formando pequenas elevações localizadas, aparentando se tratarem de *tumuli*, feições elevadas em topos de derrames, formadas pela inflação da superfície do derrame devido a alimentação interna, os quais são comuns em derrames espessos. No derrame superior da pedreira Arpasa 1 foi possível estimar a espessura em aproximadamente 25 m, enquanto o derrame observado na pedreira Arpasa 2 apresentou cerca de 20 m de espessura. Ao final do perfil da ferrovia, estes derrames ocorrem também com expressiva espessura, sendo colocados acima da segunda sucessão de lavas em almofada.

Disjunções colunares são recorrentes em todos os derrames do tipo simples, sendo representadas localmente por disjunções do tipo colunata e mais comumente pelos tipos entablamento e curvi-colunar. Colunas do tipo colunata foram identificadas somente na pedreira Arpasa 2, em porção do núcleo do derrame principal. Estas disjunções ocorrem em nível com até 2 m de espessura vertical e

contínuas lateralmente, chegando a mais de 1 m de largura por coluna. Sua formação pode ser atribuída ao isolamento da influência da água no período de resfriamento por porções de lava ainda fundida (DEGRAFF et al., 1989). A primeira porção do derrame simples imediatamente colocado sobre as lavas em almofada do ponto 33 apresenta disjunções colunares pouco regulares, do tipo curvi-colunar cuja espessura, por coluna, é de até cerca de 40 cm. Devido ao intenso fraturamento nas colunas ao longo do eixo vertical, além da proximidade com o nível de solo, estas porções de disjunções, muito alteradas e por vezes com alteração do tipo esfoliação esferoidal, podem ser confundidas com derrames de lava em bloco. Subindo na estratigrafia, estes colunados se apresentam com espessuras menores que 30 cm, com curvatura muito mais expressiva e matriz predominantemente vítrea (> 60%), evidenciando forte influência de água tanto na formação dos entablamentos quanto no rápido resfriamento da rocha.

6.2.2 Derrames subaquosos

Lavas em almofada estão restritas a cortes na ferrovia, sendo aflorantes em duas porções (trecho entre os pontos 32 e 64 e no ponto 33), com exposições bastante extensas lateralmente, mas de poucas espessuras (até 10 m).

No contato entre a sucessão de lavas em almofada sotopostas a um derrame de lavas subaéreas do tipo *pahoehoe* composto, o contato é bem marcado, evidenciado principalmente pela presença de material *interpillow* entre os lobos de lava em almofada, o que não ocorre nos derrames *pahoehoe* sobrepostos, além da nítida diferença na distribuição da vesiculação (Figura 25). A segunda ocorrência de lavas em almofada ocorre próxima ao final do perfil. Devido ao alto grau de alteração deste ponto do perfil, não foi possível observar e descrever com precisão as feições do derrame sotoposto a estes morfotipos subaéreos.

Figura 25 - A linha tracejada marca o contato entre o derrame de lavas em almofada sotoposto a lobos de derrame *pahoehoe* composto.



Hialoclastos ocorrem restritos a porções *interpillow* identificadas ao longo da ferrovia. Ocorrem na forma de fragmentos muito angulosos de faces por vezes retas, mas predominantemente curvilineares, causado pela contração térmica da rocha imediatamente ao entrar em contato com a água (*quenching*). Quanto à posição, estes fragmentos podem permanecer *in situ*, comumente mantendo-se presos a borda do lobo no qual se formou, ou podendo ser fragmentados e ressedimentados com o avanço da formação dos lobos subaquosos.

Peperitos são comuns em ambas áreas de estudo, tanto nas pedreiras quanto ao longo da Ferrovia Centro – Atlântica (FCA). Nas pedreiras ocorrem nas porções de topo dos derrames, onde foi constatada a interação de fragmentos de basalto amigdaloidal com sedimentos arenopelíticos. Na pedreira Arpasa 1 não há segurança no reconhecimento do modo de interação entre lava e sedimento, pois os afloramentos estão com alto grau de alteração, sendo possível identificar com pouca clareza a interação de fragmentos milimétricos a decimétricos de basalto amigdaloidal com extremidades angulosas e sedimentos finos. Na pedreira Arpasa 2, peperitos ocorrem na porção de topo do derrame, com dimensões centimétricas a decimétricas, predominantemente matriz suportados, e também associados a sedimentos de tamanho silte a areia média. Neste caso, os peperitos estão localizados em porções internas ao derrame. Observaram-se disjunções colunares de disposição radial (*columnar rosettes*), cujo núcleo é formado pelas porções de

peperito. Esta feição sugere que algum corpo aquoso atuante na superfície dos derrames teria trazido material sedimentar e permitido que o mesmo sofresse interação com a lava ainda fundida. A entrada deste material frio no derrame fez com que as disjunções fossem desenvolvidas orientadas segundo as porções com peperitos.

No perfil da FCA os peperitos ocorrem associados a porções *interpillow*. A gênese destes, nesse caso, se deu pela interação de lava com sedimentos úmidos. Os fragmentos de basalto são amigdaloidais, em geral hipocristalino a hipohialino (grandes quantidades de material originalmente vítreo, devido a interação direta da lava com água, semelhante a gênese dos hialoclastitos) de dimensões milimétricas a centimétricas. Ocorrem associados a sedimentos arenopelíticos.

6.3 Caracterização petrográfica

O estudo petrográfico dos basaltos da região de Araguari foi realizado através da descrição de 16 lâminas delgadas, sendo 8 lâminas de amostras de lavas almofadadas, 5 de derrames subaéreos do tipo *pahoehoe* e 3 de material *interpillow*, o qual inclui depósitos arenopelíticos além de fragmentos vítreos de basaltos. Com exceção das amostras de *interpillow*, constituídas por mistura de sedimentos e hialoclastos, todas as rochas foram classificadas como basalto. As amostras de lavas almofadadas foram coletadas em diferentes porções de um mesmo lobo, com o objetivo de caracterizar com maior detalhe o grau de cristalinidade (variável do centro para a crosta dos lobos) e porosidade (primária e secundária), além das texturas e mineralogia primária e secundária.

Em ambas as áreas estudadas (Ferrovia Centro – Atlântica e pedreiras), os basaltos apresentaram matriz hipocristalina, porém com uma cristalinidade mais baixa nos termos subaquosos, devido às condições de resfriamento mais bruscas. A mineralogia dos basaltos, em geral, é composta por cristais de plagioclásio, clinopiroxênio (identificado ao microscópio óptico como augita), minerais opacos (petrograficamente identificados como magnetita) e pseudomorfos de olivina, restritas aos derrames subaéreos.

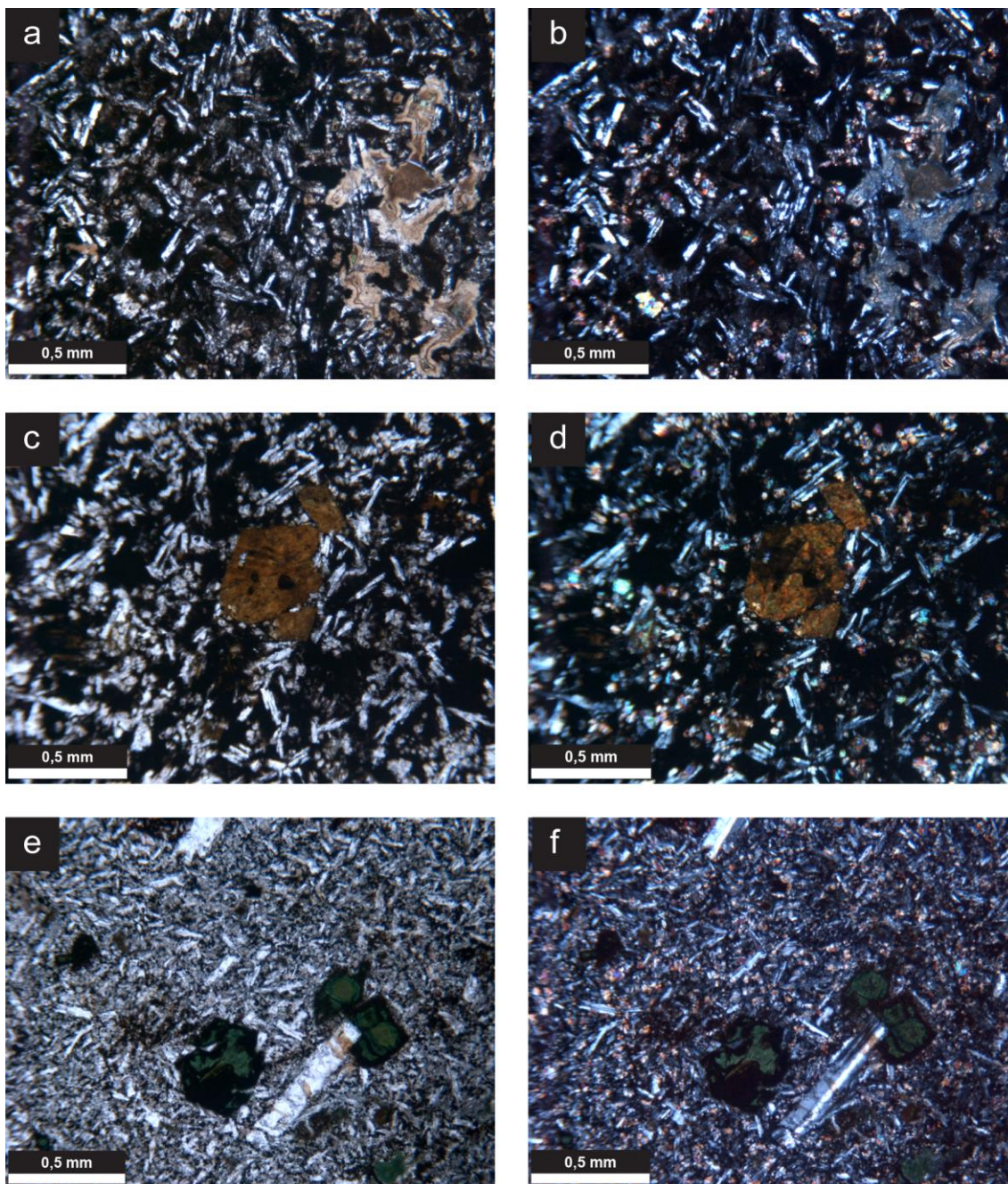
Os derrames *pahoehoe* compostos apresentam matriz hipocristalina fina a muito fina (Figura 26a e 26b), composta por plagioclásio (0,08 – 0,34 mm),

clinopiroxênio (0,07 - 0,30 mm) e opacos (opticamente definidos como magnetita, com 0,1 – 0,2 mm), além de material de desvitrificação (zeólitas+opacos – Fig. 26a e b). Os fenocristais presentes são predominantemente de plagioclásio euédricos (0,7 – 2 mm) e, clinopiroxênio (0,8 – 1,6 mm) e menos frequentemente minerais opacos (0,7 – 1,2 mm). Estes últimos ocorrem como fases primárias e secundárias. Como fenocristais apresentam forma euédrica e por vezes hábito esqueletal, mas predominam como constituintes da matriz, com hábito dendrítico, ou como produto da desvitrificação de parte da matriz originalmente vítrea, que nestes basaltos podem chegar a cerca de 25%. As texturas comuns são porfirítica e glomeroporfirítica formadas por fenocristais de plagioclásio e clinopiroxênio. A textura em peneira está presente na maioria dos fenocristais e cristais da matriz de plagioclásio. Textura diktitaxítica é comum nestes lobos, com cavidades preenchidas por argilominerais do grupo das esmectitas. Alguns cristais de plagioclásio apresentam alteração parcial para argilomineral indiferenciado (esmectita?). Estes derrames apresentam lobos com estrutura amigdaloidal, cujas amígdalas e/ou vesículas apresentam dimensões máximas de 4cm. Estas estão preenchidas parcial ou totalmente, da borda para o centro, por minerais do grupo da esmectita (indiferenciado) de hábito fibroso, por celadonita e/ou por nontronita.

Nas lâminas do morfotipo *pahoehoe* simples, correspondente as pedreiras e ao derrame do ponto 34 (último litotipo do perfil da ferrovia) a matriz é hipocristalina fina a muito fina, composta por plagioclásio (0,1 – 0,32 mm), clinopiroxênio (0,16 – 0,32 mm) e opacos (0,08 – 0,32 mm), além de material desvitrificado. Os fenocristais são de plagioclásio (0,7 – 1,6 mm), clinopiroxênio (0,6 – 1,2 mm), opacos (0,6 – 1 mm) e pseudomorfos de olivina substituída por iddingsita (Figura 26c e 26d). Apresentam as texturas porfirítica e glomeroporfirítica, formadas por fenocristais e microfenocristais de plagioclásio subédricos (prismas alongados/esqueletais), clinopiroxênio subédrico a euédrico (formas equantes e com faces bem desenvolvidas) e subordinadamente por opacos euédricos por vezes de aspecto esqueletal. A textura intersertal ocorre pela presença de material originalmente vítreo ocupando espaços entre os fenocristais. A textura em peneira é frequente nos fenocristais de plagioclásio e menos comum nos fenocristais de clinopiroxênio. A textura diktitaxítica ocorre como resultado do aprisionamento de voláteis durante os estágios finais de cristalização no derrame, gerando cavidades

irregulares/amebóides preenchidas total ou parcialmente por argilominerais microcristalinos fibrosos indiferenciados, mas possivelmente se tratando de minerais do grupo da esmectita. Na porção de base do derrame, ocorrem feições irregulares/arredondadas com cristais prismáticos de plagioclásio envoltos por uma matriz argilosa (esmectita / montmorilonita), provavelmente tratando-se de um fragmento de basalto semi-dúctil (parcialmente cristalizado) retrabalhado pelo derrame. Alterações comuns são de celadonita substituindo parcial ou totalmente grãos de clinopiroxênio (Figura 26e e 26f), além de fenocristais de clinopiroxênio alterando parcialmente para argilominerais. Nestes derrames a porosidade se dá na forma de vesículas submilimétricas a milimétricas com dimensões variando de 0,1 até 7 mm nas porções de base e núcleo, preenchidas parcial ou totalmente por celadonita e argilominerais do grupo das esmectitas. O topo do derrame é amigdaloidal com vesículas e amígdalas milimétricas a decimétricas (até 25 cm), em geral preenchidas totalmente por argilominerais, celadonita e polimorfos da sílica. No derrame do final do perfil da FCA não foi identificada porosidade na petrografia.

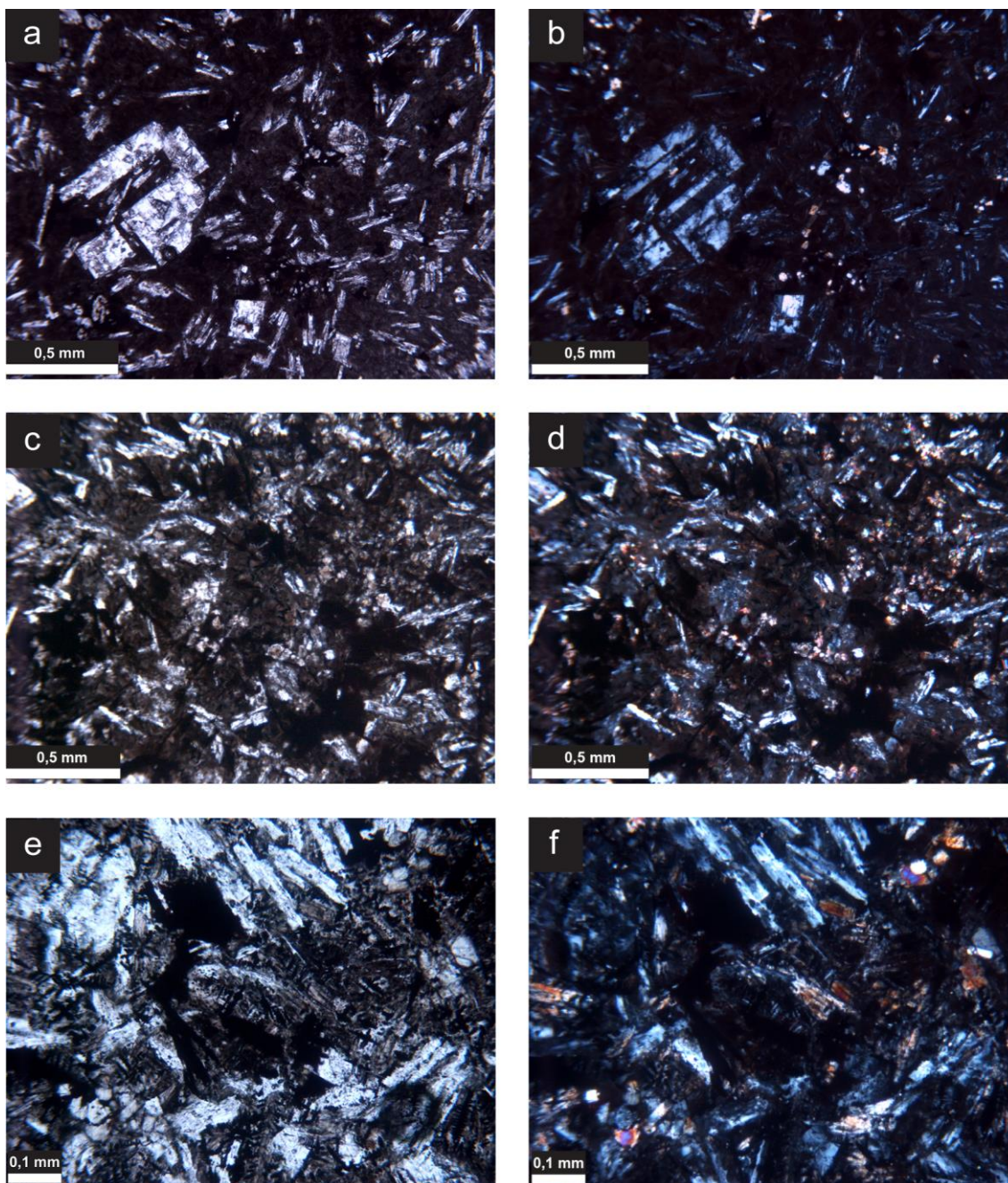
Figura 26 - (a e b) matriz de derrame pahoehoe composto evidenciando textura diktitaxítica e matriz com grau de cristalinidade maior em relação ao derrame pahoehoe simples (e e f). (c e d) representam pseudomorfos de olivina substituídos por iddingsita. (e e f) fenocristais de clinopiroxênio substituídos por celadonita. Fotomicrografias adquiridas com nicóis paralelos (esquerda) e perpendiculares (direita).



Os lobos de lavas em almofada possuem uma matriz hipocristalina fina a muito fina composta por plagioclásio (0,08 – 0,32 mm), clinopiroxênio (0,1 – 0,32 mm) e opacos (0,08 – 0,32 mm) envoltos em um material desvitrificado/zeolitizado, cujo volume varia de 42 a 55%, com os maiores valores dominando na porção de crosta dos lobos (Figura 27a e 27b), seguida pela porção intermediária (Figura 27c e

27d) e com núcleo apresentando menor quantidade de material vítreo (Figura 27e e 27f).

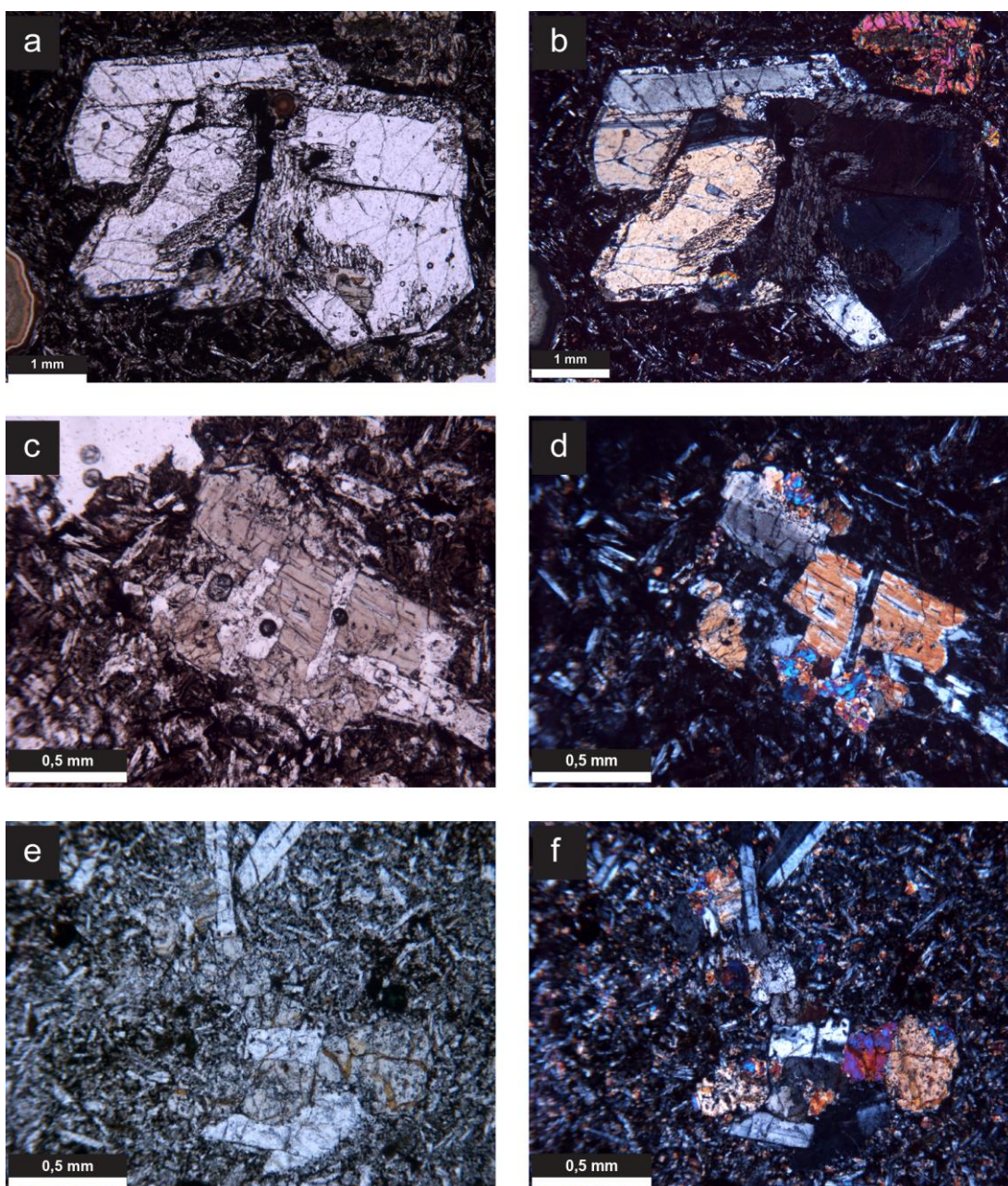
Figura 27: fotomicrografias capturadas a nicóis paralelos (esquerda) e perpendiculares (direita) das 3 zonas de um mesmo lobo de lava em almofada, expressando as diferenças na quantidade de material originalmente vítreo na matriz da borda (a e b), passando pela zona intermediária (c e d) e núcleo (e e f). Atenção para o maior zoom (16x contra 6.3x) das duas últimas fotos em relação as demais, para melhor detalhe.



Apresentam texturas porfírica e glomeroporfírica (Figura 28) com fenocristais de plagioclásio e clinopiroxênio comuns, e menos frequentemente de opacos. Também é comum nos cristais de plagioclásio a textura em peneira. As

texturas intersertal e esferulítica ocorrem associadas ao material originalmente vítreo e a diktitaxítica ocorre devido à cristalização final com aprisionamento de voláteis. O processo de zeolitização é comum na matriz, bem como a alteração de clinopiroxênios para óxidos de ferro, sendo a argilização e carbonatação de plagioclásios menos frequentes.

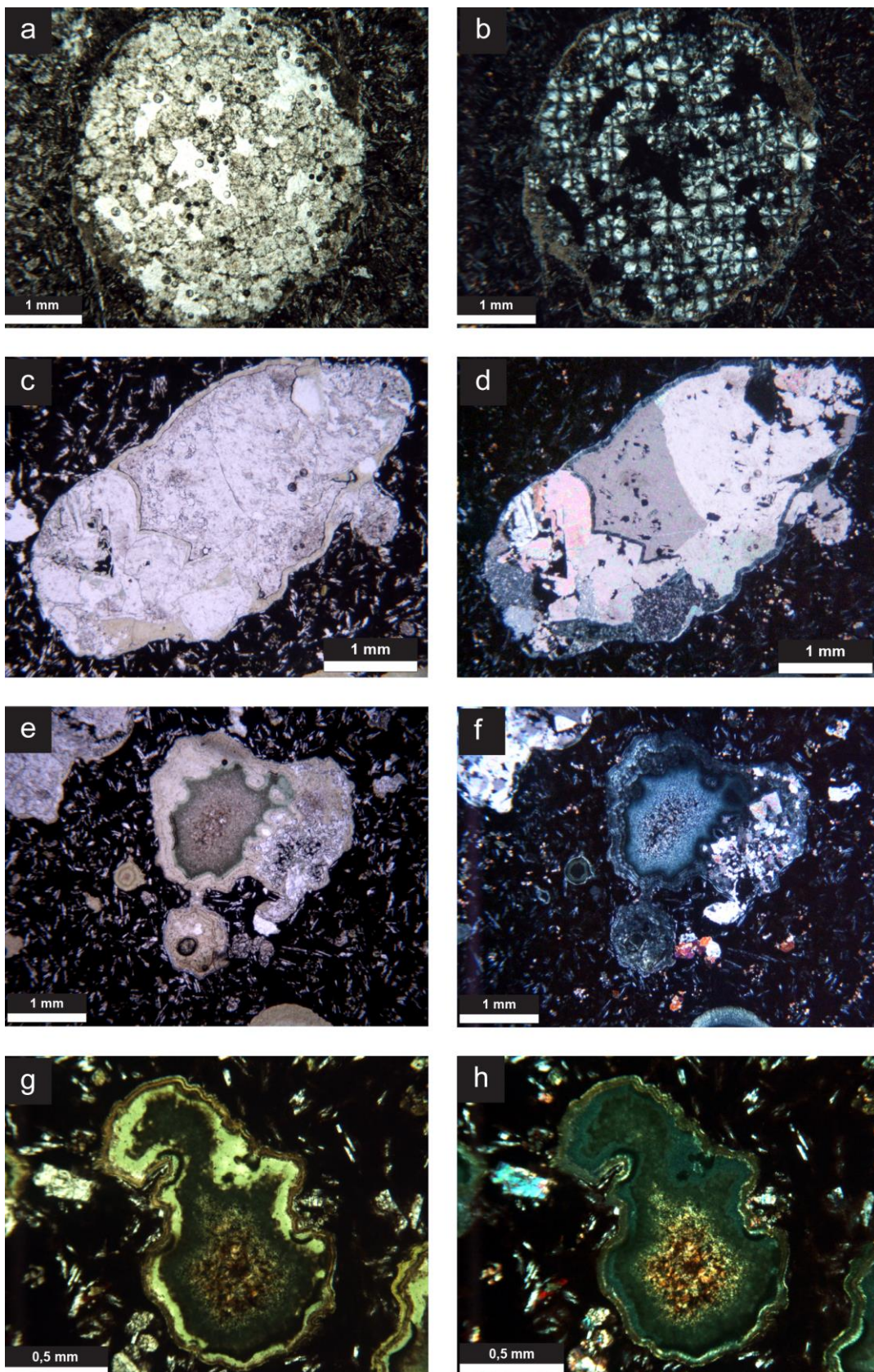
Figura 28: fenocristais de plagioclásio e clinopiroxênio com textura em peneira e compoendo a textura glomeroporfirítica em lobos de lavas em almofada (fotomicrografias a, b, c e d) e em derrame pahoehoe simples, nos quais também é comum. Fotomicrografias capturadas a nicóis paralelos (esquerda) e nicóis perpendiculares (direita).



As lavas em almofadas são vesiculares a amigdaloidais, sendo o diâmetro das vesículas ou amígdalas de 0,3 mm até 2,6 cm. O preenchimento parcial ou total

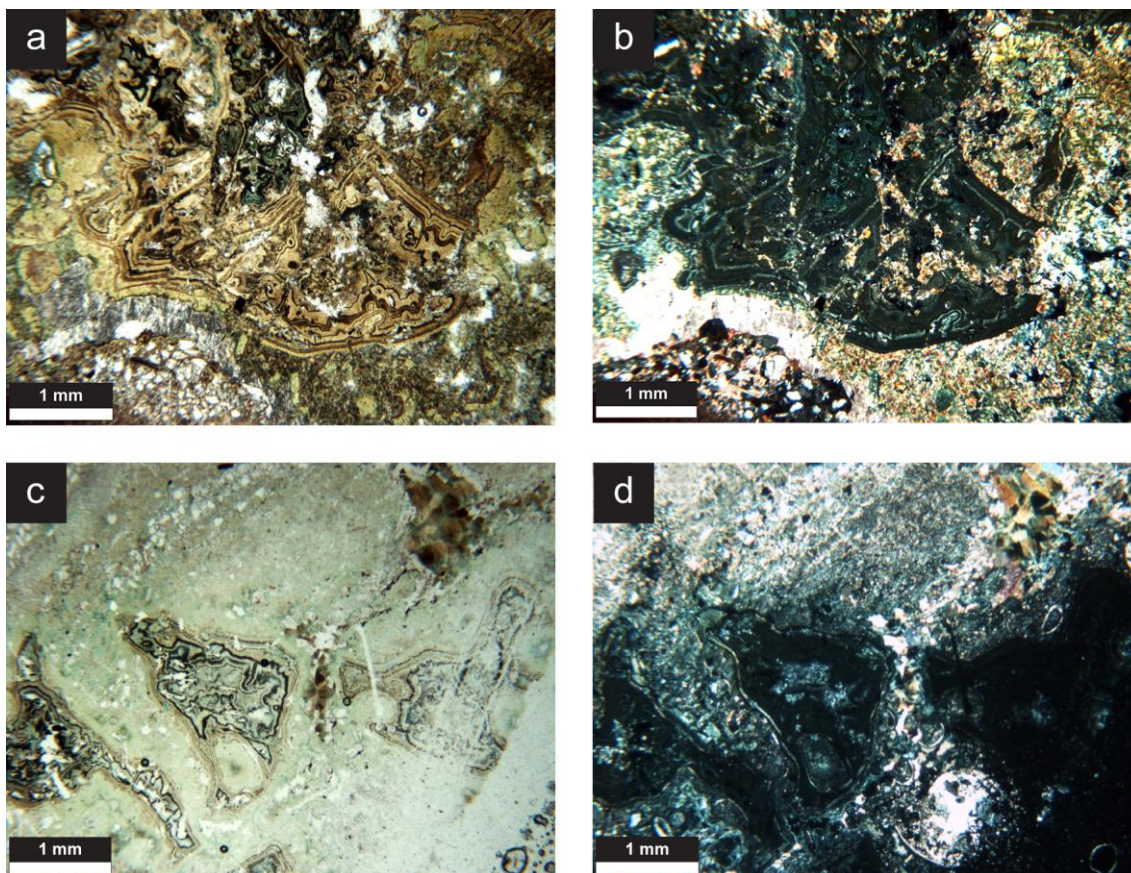
das vesículas é dado por argilominerais do grupo da esmectita (indiferenciado) de hábito fibroso, celadonita, carbonato, minerais do grupo da zeolita (indiferenciado) e nontronita.

Figura 29: materiais que comumente obliteram parcial ou totalmente a porosidade primária das lavas em almofada: mineral indiferenciado do grupo das zeólitas (a e b); calcita (c e d e extremo direito das vesículas de e e f); esmectita, celadonita e nontronita (nesta ordem, em e, f, g e h). Fotomicrografias capturadas a nicóis paralelos (esquerda) e nicóis perpendiculares (direita)



O material *interpillow* é constituído por sedimentos siliciclásticos, fragmentos de basalto e hialoclastos (Figura 30). A porção sedimentar é composta por arenito matriz suportado muito fino a médio, subarcóseo, cujos grãos apresentam em geral baixa esfericidade, sendo subarredondados a arredondados. É comum a ocorrência de cutículas de hematita circundando os grãos. Estes sedimentos são cimentados por esmectita, zeólita isótropa indiferenciada, crescimento de quartzo e calcita. A porção peperítica é formada por fragmentos de basalto amigdaloidal predominantemente vítreo, de dimensões milimétricas a centimétricas, misturados com sedimentos inconsolidados. Os fragmentos de basalto são angulosos, indicando pouco retrabalhamento. Os hialoclastos são formados por material originalmente vítreo, com cavidades reliquiares de micrólitos dissolvidos, cujo hábito sugere que se tratavam de cristais de plagioclásio. São predominantemente curvilineares com dimensões milimétricas (até 6 mm). Como produto da desvitrificação destes fragmentos ocorre esmectita indiferenciada e celadonita. Ocorrem amígdalas milimétricas preenchidas por esmectita microcristalina indiferenciada e óxidos de aspecto leitoso (possivelmente óxido de titânio). A cimentação é dada por calcita, zeólita isótropa indiferenciada e esmectitas. A colocação das lavas básicas no ambiente subaquoso e a interação destas com o material siliciclástico permite classificar o material *interpillow* como peperito. Em uma das lâminas foram encontradas carapaças de ostracodes, em geral fragmentadas, mas com raros casos em que se encontravam ainda articuladas.

Figura 30 – material *interpillow*, com detalhe em hialoclastos desvitrificados com fraturas curvoplanares típicas em meio a matriz composta por esmectitas, calcita e subordinadamente nontronita. Fotomicrografias capturadas a nicóis paralelos (esquerda) e nicóis perpendiculares (direita)



6.3.1 Porosidades primária e secundária dos derrames de Araguari

Dados sobre padrões de porosidade em rochas vulcânicas são ainda escassos e foram discutidos por Sruoga e Rubinstein (2007) e mais recentemente por Barreto (2016).

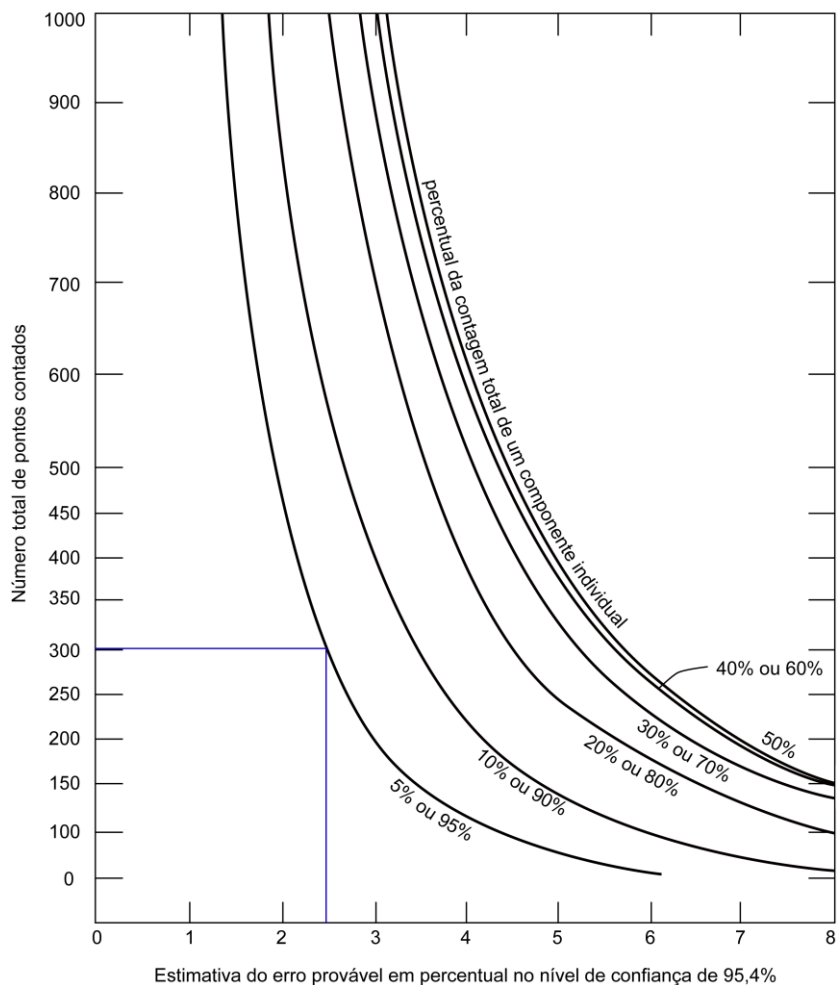
Diferentemente do ambiente sedimentar (epiclástico; precipitação), o sistema magmático envolve a exsolução dos componentes voláteis. Considera-se como o primeiro ponto de ebulição em sistemas magmáticos a criação de uma porosidade primária, representada por vesículas e microvesículas. Estas ocorrem por decompressão do sistema durante a ascensão do magma, permitindo a exsolução dos voláteis anteriormente dissolvidos. O segundo ponto de ebulição é gerado pela cristalização de fases minerais anidras que induz a concentração de voláteis no líquido residual, gerando espaços irregulares, denominado de textura diktitaxítica (FULLER, 1938) onde comumente são precipitados argilominerais, os quais

posteriormente podem sofrer dissolução, gerando uma porosidade secundária. A geração de porosidade primária pode também estar associada a fraturas por contração termal e deslocamento viscoelástico da lava, comuns durante o resfriamento desta.

A dissolução de minerais primários ou constituintes da matriz e o fraturamento pós-magmático (tectônico ou por acomodação gravitacional) são os processos responsáveis pela geração de porosidade secundária. A dissolução dos minerais ou da matriz, a qual se dá por intemperismo químico ou físico, gera porosidade móldica (SRUOGA; RUBINSTEIN, 2007; BARRETO, 2016). A porosidade primária resultante do fraturamento por contração termal pode ser mais desenvolvida pela dissolução ou obliterada (parcial ou totalmente) pela cristalização de minerais secundários provenientes de soluções pós-magmáticas.

Para a análise da porosidade dos derrames foram considerados os dados de campo e das lâminas delgadas, as quais foram impregnadas com resina azul, a fim de facilitar a identificação e observação da porosidade, além de facilitar a análise qualitativa (tipos de porosidade e preenchimento) e quantitativa (pelo método de contagem de pontos). O número de pontos descritos por lâmina foi de 300 que, segundo Galehouse (1971) é o valor que apresenta melhor relação referente à probabilidade de erro percentual, pois valores abaixo deste apresentariam uma margem de erro bastante expressiva, e por outro lado, mais de 300 pontos a margem de erro diminui muito pouco quando comparada ao tempo necessário para tal (Figura 31). Esta técnica foi usada nas amostras de lavas em almofada para estimar com maior precisão o volume de vesiculação original dos derrames quando estes se formaram, pois com este dado é possível estimar a profundidade do corpo aquoso no qual as pillow lavas se formaram. Nos litotipos estudados foram identificadas porosidade primária, vesicular e microvesicular; e porosidade secundária móldica (por dissolução de componentes da matriz e de argilominerais secundários), por microfraturamento e por contração de argilominerais.

Figura 31: gráfico da estimativa de erro estatístico na contagem de pontos, evidenciando que um aumento no número de pontos contados não diminui expressivamente o erro no método.



Fonte: Modificado de Galehouse, 1971.

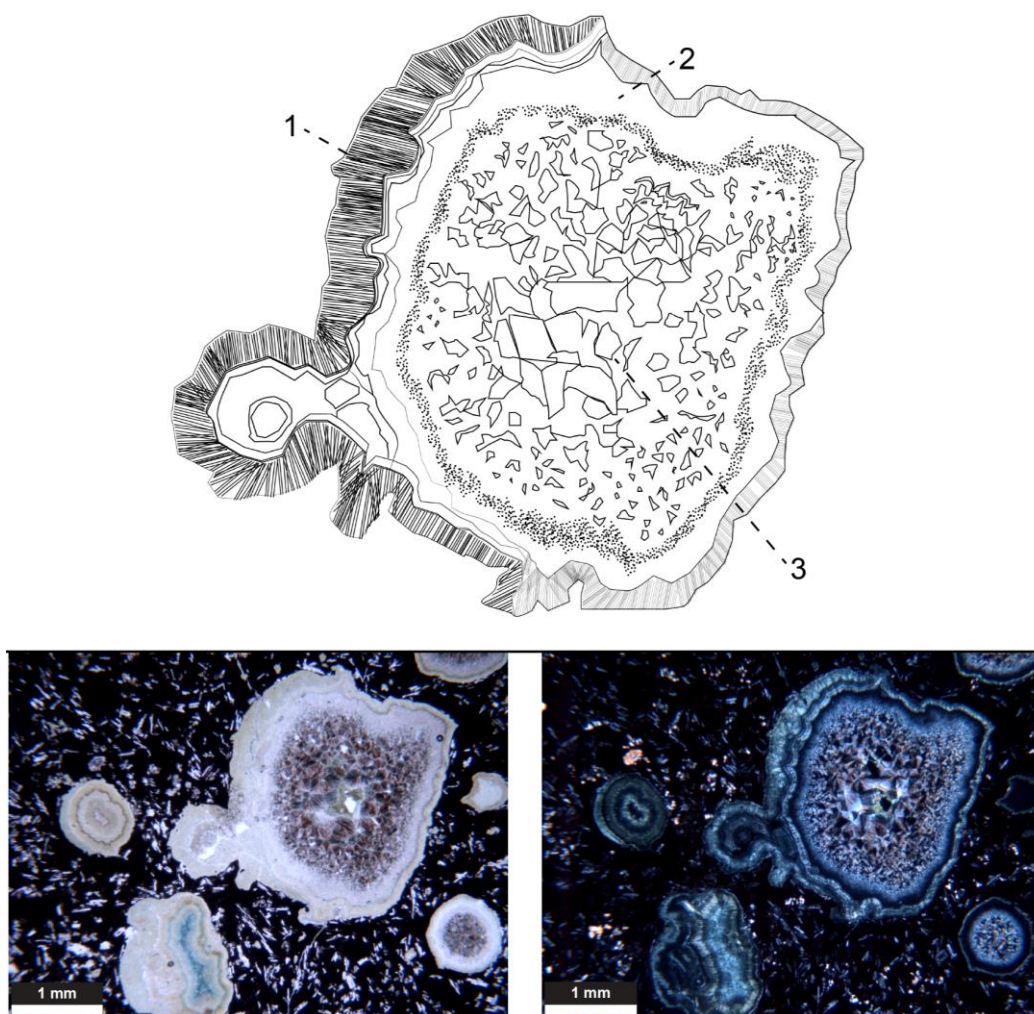
A porosidade primária é obliterada por celadonita microcristalina, que por vezes, preenche totalmente a vesícula, e mais raramente por cutículas de óxidos ou argilominerais do grupo das esmectitas, que ocupam as bordas dos poros.

Nos lobos dos derrames *pahoehoe* compostos a vesiculação é reduzida, em geral, parcialmente pela cristalização de esmectitas de hábito fibroso, celadonita e nontronita.

Nas *pillow* lavas a porosidade original (primária) foi estimada em valores variando de 20 a 33%, sendo mais comuns valores próximos do limite superior. Esta vesiculação apresenta uma zonação, cuja distribuição preferencial foi subdividida em três zonas: uma crosta externa, com uma grande quantidade de vesículas e microvesículas de dimensões submilimétricas a milimétricas (0,2 – 7 mm); uma zona

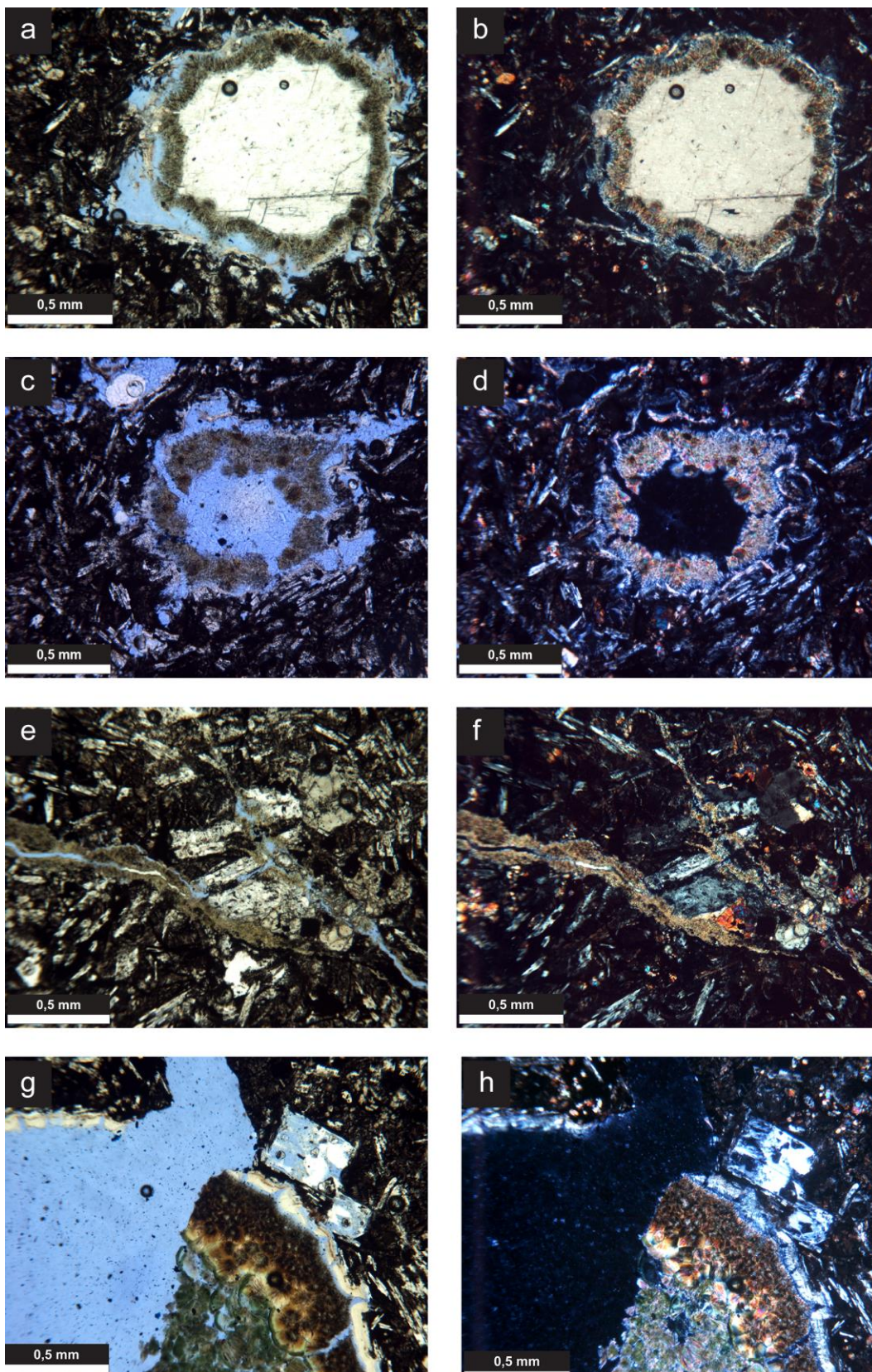
intermediária, com menor quantidade de vesículas, mas com dimensões maiores em relação a borda (0,7 – 1,2 mm); uma zona de núcleo, com quantidade bem menor de vesículas, porém com tamanhos unitários expressivamente maiores que as outras zonas (1,2 – 2,6 mm). O preenchimento das vesículas geralmente não é total, e nestes casos comumente é mantido de 5 a 12% da porosidade primária, semelhante ao lobos *pahoehoe* compostos, cujos preenchimentos são muito semelhantes, ocorrendo pela cristalização de esmectitas fibrosas nas bordas seguida de nontronita e/ou celadonita (pouco comum). Porém, nestas lavas, calcita e mineral do grupo das zeólitas (isótropa) são tão comuns como preenchimento quanto as esmectitas, A ordem de preenchimento mais comum inicia com esmectita na borda da vesícula, que pode ser seguida por (I) celadonita + nontronita (respectivamente) ou (II) esmectita + zeólita + carbonato (com distribuição caótica) (Figura 32).

Figura 32: vesícula de lobo de lava em almofada vetorizada, a fim de indicar com mais clareza a distribuição dos principais preenchimentos secundários. 1 – esmectita fibrosa microcristalina; 2 – celadonita microcristalina; 3 – nontronita, por vezes reenchendo por completo a vesícula, e por vezes sendo parcialmente dissolvida por processos tardios. Fotomicrografias capturadas a nicóis paralelos (esquerda) e nicóis perpendiculares (direita)



Quanto à porosidade secundária, nos derrames subaéreos simples, é gerada por fraturas de contração de materiais de preenchimento das vesículas (argilominerais). Nos derrames subaéreos compostos, a porosidade secundária ocorre por dissolução de plagioclásios e de argilas que preenchem as cavidades diktitaxíticas, e também por contração de argilominerais das vesículas. Nas *pillow lavas* a contração de argilominerais, além de dissolução de plagioclásio e nontronita geram a porosidade secundária (Figura 33).

Figura 33: a, b, c e d) porosidade secundária por dissolução de matriz e contração de argilominerais; e e f) porosidade por fraturamento, podendo ser primária (contração termal) ou secundária (fraturamento mecânico); g e h) porosidade secundária por fraturamento e por dissolução de argilomineral (nontronita) e feldspatos da matriz. Fotomicrografias capturadas a nicóis paralelos (esquerda) e perpendiculares (direita).



6.4 Difração de raios X (DRX)

Os resultados das análises de DRX foram inconclusivas para este trabalho, pois as mesmas sugerem fortemente a presença de fases minerais como clorita, que não foram identificadas petrograficamente e nem seriam esperadas em meio a uma paragênese de minerais secundários de baixa temperatura, como é o caso dos argilominerais encontrados como preenchimento secundário apresentados anteriormente. Além disso, fases seguramente presentes em todas as amostras, como é o caso de argilominerais do grupo das esmectitas, tendo sido identificadas pelo menos duas variedades de minerais deste grupo em todas as amostras, não foram identificadas em nenhuma análise de difração. Celadonita foi o único argilomineral identificado petrograficamente e confirmado pela análise de difração de raios X, apresentando pico em 10.025 Å em amostra natural e com variação quase nula ao analisar amostra glicolada com etilenoglicol (9.929 Å) e calcinada (10.083 Å).

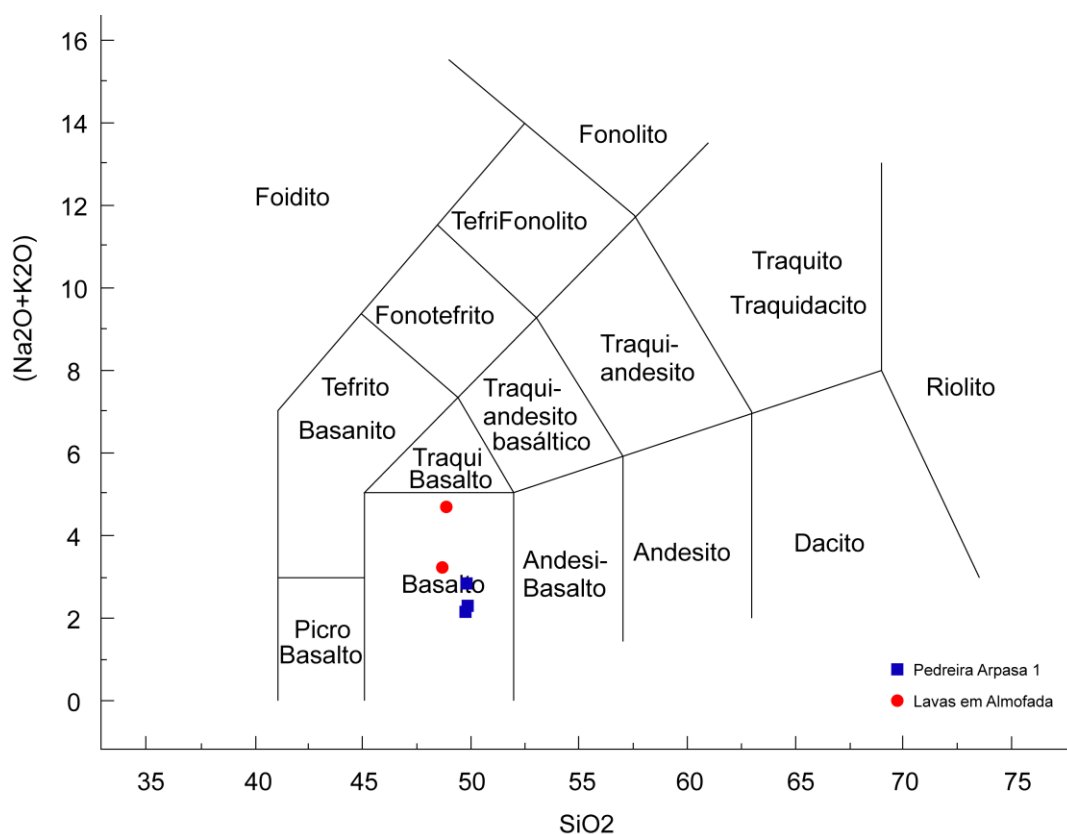
6.5 Geoquímica (Fluorescência de raios X)

Inicialmente foram selecionadas e preparadas, segundo as exigências do método de análise por fluorescência de raios X, nove amostras representativas dos derrames dos basaltos de ambas as áreas de estudo. Estas foram enviadas para o laboratório em duas levadas. A primeira delas, referentes a amostras coletadas no primeiro trabalho de campo, contou com três amostras da pedreira Arpasa 1, distribuídas nas três porções do derrame (base, núcleo e topo); e duas amostras de lavas em almofada. A segunda leva contou com duas amostras de lavas em almofada, uma amostra do derrame composto associado aos derrames subaquosos e uma amostra do ponto 33, derrame simples do topo da sequência da Ferrovia Centro – Atlântica. A seleção destas nove amostras tinha como objetivo possibilitar uma comparação entre os diferentes tipos de derrames, além de proporcionar a correlação química (ou não) entre derrames subaquosos e subaéreos, a fim de auxiliar na solução do problema proposto neste trabalho. O laudo referente à primeira leva de amostras foi entregue com prazo favorável para interpretação e uso nos resultados do presente trabalho. Quanto à segunda leva, porém, não foram obtidos resultados devido ao não cumprimento do prazo por parte do laboratório responsável (até a conclusão deste trabalho, o laudo das análises não foi recebido).

Em vista deste fato, não foi possível desenvolver a caracterização geoquímica proposta inicialmente, como o estabelecimento de *trends* magmáticos.

Os conteúdos de SiO_2 variam entre 48,20 e 49,89% e álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) entre 2,09 e 4,78%), com valores de álcalis mais expressivos nas amostras referentes às lavas em almofada. Valores de perda ao fogo (LOI) são menores nas amostras da pedreira, onde variam de 0,53 a 0,94%, sendo pouco mais expressivos nas lavas em almofada, com valores de 1,96 e 2,2%, sendo todos valores aceitáveis e que sugerem boa preservação dos padrões geoquímicos originais. No diagrama de classificação Álcalis x Sílica (LE BAS, 1986), todas as amostras ocuparam o campo dos basaltos, sendo moderadamente evoluídos ($\text{MgO} < 6\%$, com ressalva para a amostra UB-NF-32c, cujo valor obtido na análise para este óxido foi muito acima do esperado, possivelmente devido a algum erro analítico).

Figura 34: diagrama de classificação quanto ao teor de álcalis total x teor de sílica.

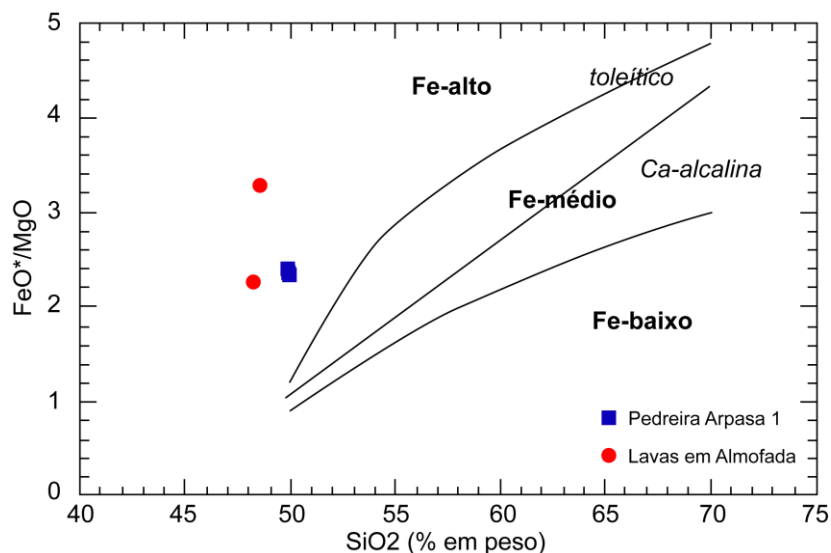


Fonte: Modificado de Le Bas, 1986.

Teores de $\text{TiO}_2 > 2\%$ em todas as amostras permitem classificar os derrames da região, segundo Bellieni et al. (1984) em alto Ti. Quanto a razão FeO/MgO , e teores de álcalis menores que 5%, todas as amostras foram classificadas como

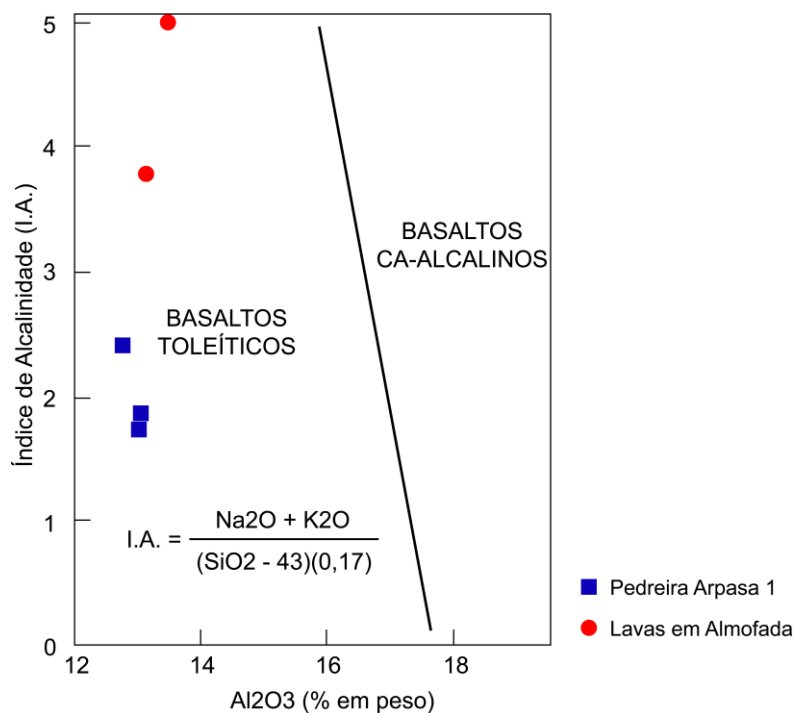
basaltos subalcalinos de afinidade toleítica (MIDDLEMOST, 1975; MIYASHIRO, 1978).

Figura 35: diagrama de classificação de rocha quanto a afinidade magmática em relação aos teores de sílica e razão FeO*/MgO



Fonte: Modificado de Miyashiro, 1978.

Figura 36: classificação quanto ao índice de alcalinidade dos basaltos de Araguari. Ressalva para a amostra UB-NF- 32c, cujo alto teor de K_2O e consequente posição neste gráfico provavelmente se deve a alteração.



Fonte: Modificado de Middlemost, 1975.

Analisando os conteúdos de elementos menores (Tabela 2), foi observado que as amostras da pedra apresentaram, em comparação com as amostras de lavas em almofada, maiores valores de Cr (122.5 – 130.8 contra 14.4 – 14.8 ppm) e Ni (42.3 – 48.9 ppm contra valores não detectados), e menores valores de Y (44.7 – 45.7 contra 60.2 – 64.6 ppm), Zr (127.4 – 134.1 contra 188.5 – 197.4 ppm) e Nb (26.7 – 28.3 contra 41 – 41.9 ppm). Estes valores, juntamente com valores mais altos de P₂O₅ sugerem diferentes graus de diferenciação entre os dois morfotipos, sendo os derrames subaquosos mais diferenciados do que os derrames subaéreos, o que não fica evidente observando os demais elementos maiores provavelmente devido a expressiva alteração nas lavas em almofada.

Tabela 2: resultados das análises químicas de elementos maiores (% em peso dos óxidos) e menores (em ppm) de 5 das 9 amostras encaminhadas para o Laboratório de Análise Química de Rocha do IGEO.

	UB-NF-16b	UB-NF-16e	UB-NF-18a	UB-NF-32c	UB-NF-32h
Litologia	Basalto	Basalto	Basalto	Basalto	Basalto
Morfologia	<i>Pahoehoe</i> simples	<i>Pahoehoe</i> simples	<i>Pahoehoe</i> simples	Lava em almofada	Lava em almofada
SiO ₂	49,88	49,87	49,89	48,55	48,2
TiO ₂	3,25	3,29	3,30	4,13	3,89
Al ₂ O ₃	12,78	12,97	13,10	13,49	13,11
Fe ₂ O ₃	14,40	14,17	13,61	13,48	13,74
MnO	0,20	0,18	0,19	0,23	0,26
MgO	5,42	5,37	5,23	3,72	5,74
CaO	9,62	10,07	10,08	8,57	8,79
Na ₂ O	1,41	1,45	1,42	1,65	1,49
K ₂ O	1,41	0,64	0,81	3,13	1,79
P ₂ O ₅	0,34	0,33	0,33	0,46	0,46
LOI	0,64	0,53	0,94	1,96	2,2
TOTAL	99,34	98,87	98,90	99,38	99,67
Pb	3,2	nd	nd	4,8	3,9
Cr	124,4	130,8	122,5	14,8	14,4
Co	84,2	84,2	80,4	76,3	80,4
Ni	42,3	48,9	45,8	nd	nd
Cu	218,0	224,6	226,4	97,2	95,0
Zn	180,3	162,8	152,1	1,8	193,9
Ga	18,7	20,7	19,4	18,7	21,7
Rb	34,2	nd	nd	26,3	nd
Sr	485,2	499,2	506,1	521,4	540,5
Y	44,7	45,7	45,5	64,6	60,2
Zr	127,4	127,7	134,1	197,4	188,5
Nb	26,7	27,0	28,3	41,9	41,0
Ba	468,1	397,0	379,4	543,4	610,7

Alto valor de K_2O na amostra UB-NF-32c, juntamente com um valor de MgO muito mais baixo em relação as demais amostras sugere que esta amostra possui um maior grau de alteração, associado a alteração por celadonitização (não reconhecida petrograficamente) e cristalização de celadonita em poros primários e secundários.

7 Conclusões

- Analisando de forma regional as condições paleoclimáticas do Grupo Serra Geral (GSG), foram observadas condições áridas e secas com predomínio de arenitos eólicos da Formação Botucatu na base do GSG no extremo sul da bacia (Formação Torres) e uma mudança nessas condições durante o *emplacement* da Formação Vale do Sol (porção central da bacia), onde rochas arenopelíticas com estratificação plano paralela sugerem a presença de corpos de água isolados (lagos?) ou zonas eventuais de inundação. Estas informações indicam uma mudança climática expressiva no eixo sul-norte da Bacia do Paraná. Nas áreas de estudo do presente trabalho, a observação de feições típicas de interação com água durante o *emplacement* dos morfotipos básicos concordam com os dados da bibliografia.

- Observações quanto às morfologias de lavas básicas encontradas nas áreas de estudo sugerem expressivas diferenças paleoambientais, principalmente no que se refere ao clima atuante durante a colocação destes derrames e aqueles formados na porção sul da Bacia do Paraná. As feições de interação entre sedimentos eólicos da Formação Botucatu e os fluxos de lava subaquosos do vulcanismo Serra Geral na área sugere que estes sedimentos estavam inconsolidados quando da colocação dos derrames, indicando um sistema eólico atuante. Assemelha-se a situações comuns na porção central da bacia, estado do Paraná, sugerindo a interação dos derrames com pequenos lagos (WAICHEL et al., 2007). Desta forma, pode-se sugerir uma transição expressiva do clima na Bacia do Paraná, quando comparados os extremos sul e norte.

- As taxas de efusão são predominantemente baixas, o que é evidenciado pelas morfologias de derrame simples (derrames de grandes espessuras, gerados pela inflação do derrame por um fluxo constante de lava a baixas taxas de efusão), além

da gênese de lobos de lavas em almofada, os quais também necessitam de taxas de efusão baixas para serem formados;

- Os valores medidos nos eixos de lobos de lavas em almofadas, segundo os procedimentos sugeridos por Furnes e Friedleifsson (1978) e Walker (1992), nas duas ocorrências ao longo do perfil da Ferrovia Centro – Atlântica (FCA), sugerem uma paleotopografia de declividades predominantemente baixas durante a colocação das lavas em almofada, o que é evidenciado pela baixa ocorrência de valores próximos de 1 (apenas 31,48% das medidas realizadas). A ocorrência limitada de brechas de lavas em almofada (*pillow breccia*) sustenta a hipótese de um ambiente de colocação com baixas declividades. Estes dados concordam com a provável transição de um sistema subaéreo para subaquoso restrito, sem uma interrupção no vulcanismo atuante. Os expressivos valores de vesiculação original dos lobos de lavas em almofada (20 – 33%), segundo Jerram e Petford (2011) também sugerem uma colocação em ambiente aquoso raso;

- Foi identificado um padrão petrográfico das lavas em almofada, as quais possuem bordas originalmente vítreas a hipocristalinas, com uma zonação marcante referente às quantidades e modo de ocorrência de vesículas da borda para o centro dos lobos, conforme discutido no capítulo referente à petrografia. Este padrão se deve ao rápido resfriamento da borda em contato direto com a água, gerando uma textura mais fina do que as porções do centro dos lobos. Pela mesma razão, as vesículas no centro dos lobos possuem maiores dimensões, pois esta porção resfriou mais lentamente, permitindo aglutinação/coalescência das vesículas. Este padrão de resfriamento também é responsável pela frequente ocorrência de textura de reabsorção (peneira) nestas morfologias, tendo em vista que o rápido resfriamento da porção externa dos lobos induz uma alta taxa de nucleação de fases minerais (processo exotérmico) de modo que o calor liberado por esta nucleação e a não liberação para fora do sistema promove fusão de parte dos minerais já formados (fenocristais);

- A presença de pseudomorfos de olivina (iddingsita) na forma de fenocristais, de ocorrência restrita aos derrames subaéreos simples, sugere que estes são menos evoluídos em relação aos derrames de lavas em almofada e, possivelmente, também em relação aos derrames subaéreos compostos;

- Os diferentes graus de diferenciação discutidos podem indicar seguramente dois momentos de um mesmo magmatismo efusivo, sendo o primeiro, referente aos

derrames subaéreos da área de estudo 2, menos evoluído quimicamente em relação as ocorrências da área de estudo 1 (Ferrovia Centro - Atlântica). Além disto, os padrões observados nos elementos maiores são concordantes com os dados petrográficos, no que diz respeito as fases cristalizadas precocemente (fenocristais), pois a composição destes minerais (plagioclásio + clinopiroxênio, principalmente) é semelhante ao líquido, de modo que não diferenciou o mesmo de forma expressiva quanto aos elementos maiores;

- As ocorrências de lavas básicas, do vulcanismo Serra Geral na área de estudo, foram classificadas quimicamente como basaltos de afinidade toleítica alto TiO₂.

8 REFERÊNCIAS

ARENA, K. R. **Controles geológicos do Cobre, Ouro e Prata no Grupo Serra Geral na Região de Realeza, Paraná, Brasil**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

AUBELE, J. C.; CRUMPLER, L. S.; ELSTON, W. E. Vesicle zonation and vertical structure of basalt flows. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 35, n. 4, p. 349-374, 1988.

BARRETO, C. J. S. **Associação de fácies, padrões de vesiculação e Petrologia dos derrames básicos da Formação Serra Geral na ombreira sul da Calha de Torres (RS)**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

BARRETO, C. J. S. et al. Lithofacies analysis of basic lava flows of the Paraná igneous province in the south hinge of Torres Syncline, Southern Brazil. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 285, p. 81-99, 2014.

BELLIENI, G. et al. High-and low-TiO₂ flood basalts from the Paraná plateau (Brazil): petrology and geochemical aspects bearing on their mantle origin. **Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen**, v. 150, p. 273-306, 1984.

BRYAN, S. E.; ERNST, R. E. Revised definition of large igneous provinces (LIPs). **Earth-Science Reviews**, v. 86, n. 1, p. 175-202, 2008.

BULL, S. W.; CAS, R. A. F. Volcanic influences in a storm-and tide-dominated shallow marine depositional system: The late permian broughton formation, southern Sydney Basin, Kiama, NSW. **Australian Journal of Earth Sciences**, v. 36, n. 4, p. 569-584, 1989.

COMIN-CHIARAMONTI, P. et al. Cordierite-bearing lavas from Jaguarão, southern Brazil: petrological evidence for crustal melts during early rifting of Gondwana. **Gondwana Research**, v. 18, n. 2, p. 514-527, 2010.

DEGRAFF, J. M.; AYDIN, A. Surface morphology of columnar joints and its significance to mechanics and direction of joint growth. **Geological Society of America Bulletin**, v. 99, n. 5, p. 605-617, 1987.

DEGRAFF, J. M.; LONG, P. E.; AYDIN, A. Use of joint-growth directions and rock textures to infer thermal regimes during solidification of basaltic lava flows. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 38, n. 3-4, p. 309-324, 1989.

FERREIRA, C. M. Ocorrência de “pillow lava” em vulcanitos da Formação Serra Geral em Araguari, MG. In: **3º Simpósio de Geologia de Minas Gerais**, Belo Horizonte. Anais..., 1985. p. 235-237.

FISHER, R. V. Classification of volcanic breccias. **Geological Society of America Bulletin**, v. 71, n. 7, p. 973-982, 1960.

FRANK, H. T.; GOMES, M. E. B.; FORMOSO, M. L. L.. Review of the areal extent and the volume of the Serra Geral Formation, Paraná Basin, South America. **Pesquisas em Geociências**, v. 36, n. 1, p. 49-57, 2009.

FULLER, R. E.. Deuteric alteration controlled by the jointing of lavas. **American Journal of Science**, n. 207, p. 161-171, 1938.

FURNES, H.; FRIDLEIFSSON, I. B. Relationship between the chemistry and axial dimensions of some shallow water pillow lavas of alkaline olivine basalt-and olivine tholeiitic composition. **Bulletin of Volcanology**, v. 41, n. 2, p. 136-146, 1978.

GALEHOUSE, J. S. Point counting. **Procedures in sedimentary petrology**, v. 653, p. 385-407, 1971.

GILL, R.. **Rochas e processos ígneos: um guia prático**. Bookman Editora, 2014.

HANSON, R. E.; SCHWEICKERT, R. A. Chilling and brecciation of a Devonian rhyolite sill intruded into wet sediments, northern Sierra Nevada, California. **The Journal of Geology**, v. 90, n. 6, p. 717-724, 1982.

HANSON, R. E.; WILSON, T. J. Large-scale rhyolite peperites (Jurassic, southern Chile). **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 54, n. 3-4, p. 247-264, 1993.

HEINECK, C. A. et al. **Mapa geológico do Estado de Minas Gerais**, Escala 1: 1.000. 000. Belo Horizonte: Convênio COMIG/CPRM, v. 1, 2003.

HOLZ, M.; SOARES, A. P.; SOARES, P. C.. Preservation of aeolian dunes by pahoehoe lava: An example from the Botucatu Formation (Early Cretaceous) in Mato Grosso do Sul state (Brazil), western margin of the Paraná Basin in South America. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 25, n. 3, p. 398-404, 2008.

HONNOREZ, J.; KIRST, P. Submarine basaltic volcanism: morphometric parameters for discriminating hyaloclastites from hyalotuffs. **Bulletin of Volcanology**, v. 39, n. 3, p. 441-465, 1975.

JANASI, V. A.; DE FREITAS, V. A.; HEAMAN, L. H. The onset of flood basalt volcanism, Northern Paraná Basin, Brazil: A precise U–Pb baddeleyite/zircon age for a Chapecó-type dacite. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 302, n. 1, p. 147-153, 2011.

JERRAM, D. A. et al. Death of a sand sea: an active aeolian erg systematically buried by the Etendeka flood basalts of NW Namibia. **Journal of the Geological Society**, v. 157, n. 3, p. 513-516, 2000.

JERRAM, D.; PETFORD, N.. **The field description of igneous rocks**. John Wiley & Sons, 2011.

JERRAM, D. A.; STOLLHOFEN, H.. Lava–sediment interaction in desert settings; are all peperite-like textures the result of magma–water interaction?. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 114, n. 1, p. 231-249, 2002.

JERRAM, D. A.; WIDDOWSON, M.. The anatomy of Continental Flood Basalt Provinces: geological constraints on the processes and products of flood volcanism. **Lithos**, v. 79, n. 3, p. 385-405, 2005.

KILBURN, C. Surfaces of aa flow-fields on Mount Etna, Sicily: morphology, rheology, crystallization and scaling phenomena. In: **Lava flows and domes**. Springer Berlin Heidelberg, 1990. p. 129-156.

LE BAS, MJ et al. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. **Journal of petrology**, v. 27, n. 3, p. 745-750, 1986.

LIMA, E. F. et al. Sucessões vulcânicas, modelo de alimentação e geração de domos de lava ácidos da Formação Serra Geral na região de São Marcos-Antônio Prado (RS). **Geologia USP. Série científica, São Paulo, SP. Vol. 12, n. 2 (ago. 2012), p. 49-64**, 2012.

LYLE, P.. The eruption environment of multi-tiered columnar basalt lava flows. **Journal of the Geological Society**, v. 157, n. 4, p. 715-722, 2000.

MACDONALD, G. A.. Pahoehoe, aa, and block lava. **American Journal of Science**, v. 251, n. 3, p. 169-191, 1953.

MANO, V. G. T.. **Estudos geológicos e geotécnicos das descontinuidades rochosas, pillow lavas e paleocanal nos basaltos de fundação da barragem de Nova Avanhandava, Rio Tietê (SP)**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 1987.

MANTOVANI, M. S. M. et al. Trace element and strontium isotope constraints on the origin and evolution of Paraná continental flood basalts of Santa Catarina State (southern Brazil). **Journal of Petrology**, v. 26, n. 1, p. 187-209, 1985.

MARQUES, L. Silva; ERNESTO, M.. O magmatismo toleítico da Bacia do Paraná. Mantesso Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, CR, Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: **Beca**, p. 245-263, 2004.

MIDDLEMOST, E. AK. The basalt clan. **Earth-Science Reviews**, v. 11, n. 4, p. 337-364, 1975.

MIYASHIRO, A.. Nature of alkalic volcanic rock series. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 66, n. 1, p. 91-104, 1978.

MORAES, L. C. de; SEER, H. J.. Pillow lavas and fluvio-lacustrine deposits in the northeast of Paraná Continental Magmatic Province, Brazil. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, 2017.

PASSEY, S. R.; BELL, B. R. Morphologies and emplacement mechanisms of the lava flows of the Faroe Islands Basalt Group, Faroe Islands, NE Atlantic Ocean. **Bulletin of Volcanology**, v. 70, n. 2, p. 139-156, 2007.

PEATE, David W. The Paraná-Etendeka Province. **Large igneous provinces: Continental, oceanic, and planetary flood volcanism**, p. 217-245, 1997.

PEATE, D. W.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M. SM. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution. **Bulletin of Volcanology**, v. 55, n. 1, p. 119-139, 1992.

RENNE, P. R. et al. The age of Paraná flood volcanism, rifting of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous boundary. **Science**, v. 258, n. 5084, p. 975-979, 1992.

RITTMANN, A.. **Volcanoes and their activity**. Interscience Publishers, 1962.

PINTO, V. M.; HARTMANN, L. A.; WILDNER, W. Epigenetic hydrothermal origin of native copper and supergene enrichment in the Vista Alegre district, Paraná basaltic province, southernmost Brazil. **International Geology Review**, v. 53, n. 10, p. 1163-1179, 2011.

PICHLER, H.. Acid hyaloclastites. **Bulletin Volcanologique**, v. 28, n. 1, p. 293-310, 1965.

ROSSETTI, L. M. M.. **Arquitetura de fácies vulcânicas da Formação Serra Geral na região de Feliz-Caxias do Sul**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

ROSSETTI, L. et al. **Lithostratigraphy and volcanology of the Serra Geral Group, Paraná-Etendeka Igneous Province in Southern Brazil: Towards a formal stratigraphical framework**. 2017.

ROSSETTI, L. M. M. et al. Stratigraphical framework of basaltic lavas in Torres Syncline main valley, southern Parana-Etendeka Volcanic Province. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 56, p. 409-421, 2014.

SÁNCHEZ, M. Carracedo et al. The transition of spatter to lava-like body in lava fountain deposits: features and examples from the Cabezo Segura volcano (Calatrava, Spain). **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 227, p. 1-14, 2012.

SCHERER, C.. Preservation of aeolian genetic units by lava flows in the Lower Cretaceous of the Paraná Basin, southern Brazil. **Sedimentology**, v. 49, n. 1, p. 97-116, 2002.

SHETH, H. et al. The volcanic geoheritage of the Elephanta caves, Deccan traps, western India. **Geoheritage**, v. 9, n. 3, p. 359-372, 2017.

SILVESTRI, S. C.. Proposal for a genetic classification of hyaloclastites. **Bulletin of Volcanology**, v. 25, n. 1, p. 315-321, 1963.

SINGLE, R. T.; JERRAM, D. A. The 3D facies architecture of flood basalt provinces and their internal heterogeneity: examples from the Palaeogene Skye Lava Field. **Journal of the Geological Society**, v. 161, n. 6, p. 911-926, 2004.

SRUOGA, P.; RUBINSTEIN, N.. Processes controlling porosity and permeability in volcanic reservoirs from the Austral and Neuquén basins, Argentina. **AAPG bulletin**, v. 91, n. 1, p. 115-129, 2007.

STONE, P. et al. British Regional Geology: South of Scotland. **British Geological Survey, Keyworth**, Nottingham. ISBN, v. 978, n. 085272, p. 694, 2012.

THIEDE, D. S.; VASCONCELOS, P. M. Paraná flood basalts: rapid extrusion hypothesis confirmed by new $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ results. **Geology**, v. 38, n. 8, p. 747-750, 2010.

TURNER, S. et al. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision⁴⁰Ar-³⁹Ar geochronology. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 121, n. 3-4, p. 333-348, 1994.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Sistema de Solicitação de Análises de Raios-X**. Disponível em: <<http://csd.fisica.ufc.br/solicitacoes/#/Inicio>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

WAICHEL, B.L. et al. Peperite formed by lava flows over sediments: An example from the central Paraná Continental Flood Basalts, Brazil. **Journal of volcanology and geothermal research**, v. 159, n. 4, p. 343-354, 2007.

WAICHEL, B. L. et al. Stratigraphy and volcanic facies architecture of the Torres Syncline, Southern Brazil, and its role in understanding the Paraná–Etendeka Continental Flood Basalt Province. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 215, p. 74-82, 2012.

WAICHEL, B. L.; SCHERER, C.MS; FRANK, H. T. Basaltic lava flows covering active aeolian dunes in the Paraná Basin in southern Brazil: Features and emplacement aspects. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 171, n. 1, p. 59-72, 2008.

WALKER, G. PL. Morphometric study of pillow-size spectrum among pillow lavas. **Bulletin of Volcanology**, v. 54, n. 6, p. 459-474, 1992.

WHITE, I. C. Relatório Final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brazil, 1 de julho de 1904 a 31 de maio de 1906. Edição Fac-Similar. In: **Seventh Gondwana Symposium**. 1908.

WILLIAMS, H. M.; WILLIAMS, A. R. H.; MCBIRNEY, . R. **Vulcanology**. 1979.

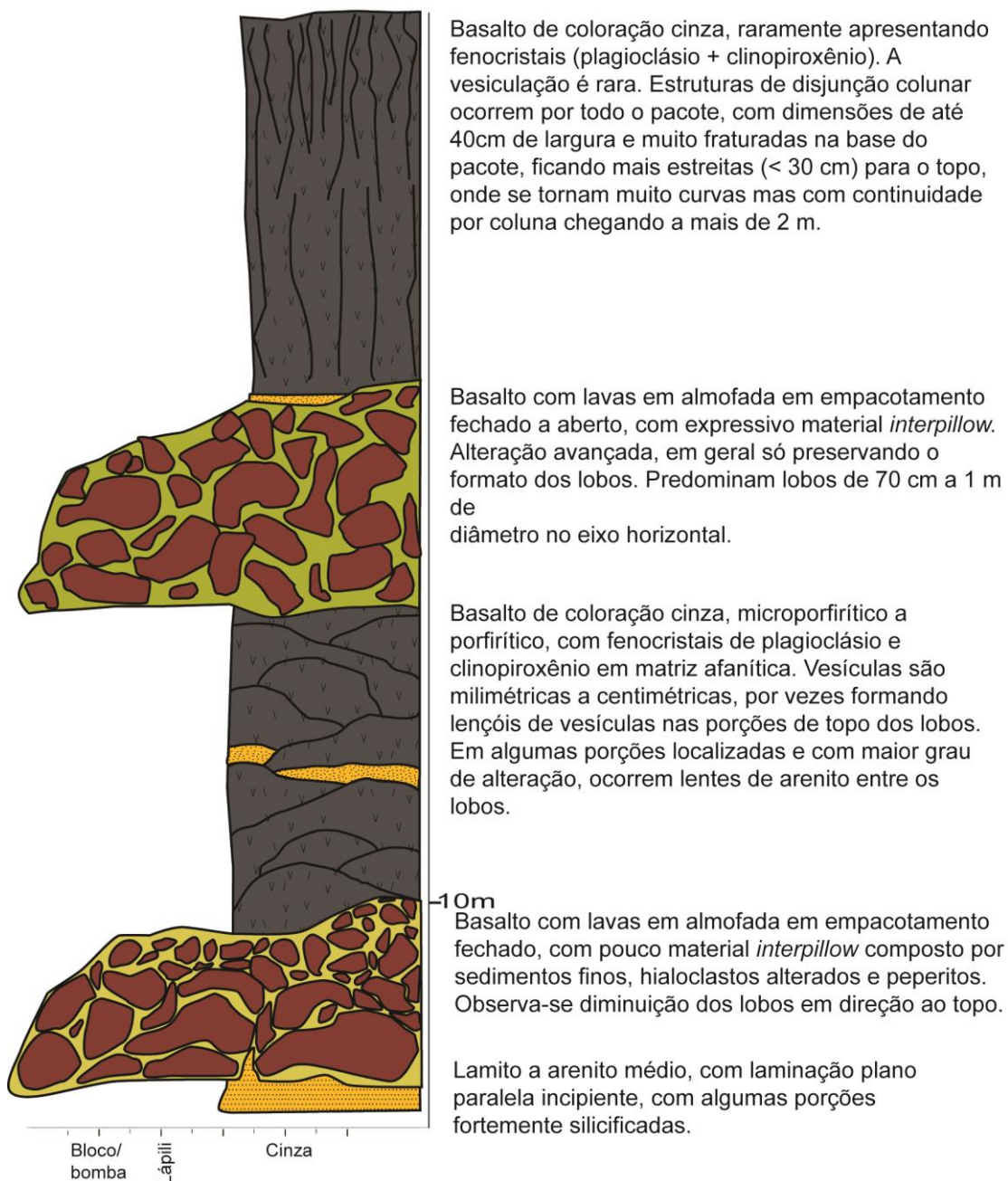
YAMAGISHI, H.. **Studies on the Neogene subaqueous lavas and hyaloclastites in Southwest Hokkaido**. Rep Geol Surv Hokkaido 59: 55-117. 1987.

9 APÊNDICES:

9.1 APÊNDICE A: PERFIS COLUNARES

9.1.1 Perfil Ferrovia Centro – Atlântica

Perfil Ferrovia Centro - Atlântica



9.1.2 Perfil Pedreira Arpasa 1

Pedreira Arpasa 1



9.1.3 Perfil Pedreira Arpasa 2

Pedreira Arpasa 2



9.2 APÊNDICE B – DESCRIÇÃO DAS LÂMINAS PETROGRÁFICAS

Todas as descrições abaixo são referentes as lâminas dos basaltos do município de Araguari.

9.2.1 Identificação da descrição: UB-NF-16b

Nome do poço/afloramento: Arpasa1

Petrógrafo: Jonas

SUMÁRIO

Porção próxima à base do derrame da pedreira Arpasa1 (1,5 - 2m)

Lâmina referente à porção de base de derrame *pahoehoe* simples. Possui alguns fragmentos de material originalmente vítreo alterados a argilominerais e opacos.

CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS TEXTURAIS

Cristalinidade: Hipocristalina

Granularidade: Afanítica

Tamanho relativo dos cristais: Inequigranular

Intervalo de tamanho de cristal: Fino (0.12 mm) ao Médio (1.5 mm)

Tamanho de cristal modal: Fino (0.24 mm), Fino (0.8 mm)

Forma dos cristais / fragmentos

Perfeição do formato cristalino: Subédrica dominante

Forma tridimensional dos cristais ou fragmentos: Prismática, Esqueletal

Textura(s): Porfirítica, Peneira, Glomeroporfirítica, Intersertal

COMPOSIÇÃO

Olivina, Como fenocristal, Alterado, Substituído por Iddingsita

Plagioclásio, Prismático, Como fenocristal, Dissolvido parcialmente

Piroxênio indiferenciado, Como fenocristal, Glomerocristal as vezes oxidado;

Vidro vulcânico, Como fragmento de rocha vulcânica, Desvitrificado;

Piroxênio indiferenciado, Anédrico, Na matriz;

Celadonita, Preenchendo vesícula;

Óxido indiferenciado, Cutícula, Preenchendo vesícula, Na borda, depois celadonita

Classificação: Basalto

9.2.2 Identificação da descrição: UB-NF-16d

Identificação da lâmina: UB-NF-16d

Nome do poço/afloramento: Arpasa1

Petrógrafo: Jonas

SUMÁRIO

Lamina de porção de núcleo de derrame pahoehoe simples, em porção 8,5m acima da base do derrame da Arpasa 1 (Inativa).

CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS TEXTURAIS

Cristalinidade: Hipocristalina

Granularidade: Afanítica

Tamanho relativo dos cristais: Inequigranular

Intervalo de tamanho de cristal: Muito fino (0.1 mm) ao Médio (3.2 mm)

Tamanho de cristal modal: Fino (0.24 mm), Fino (0.64 mm)

Forma dos cristais / fragmentos

Perfeição do formato cristalino: Subédrica dominante

Forma tridimensional dos cristais ou fragmentos: Prismática, esquelética

Textura(s): Porfírica, Glomeroporfírica, Peneira, intersertal

COMPOSIÇÃO

Plagioclásio, Prismático, Como fenocristal, Dissolvido parcialmente

Plagioclásio, Prismático, Na matriz, Dissolvido parcialmente

Piroxênio indiferenciado, Anédrico, Na matriz;

Piroxênio indiferenciado, Como fenocristal;

Cavidade Diktitaxítica, Sendo coberto por Celadonita, Argilominerais,

Classificação: basalto

9.2.3 Identificação da descrição: UB-NF-18a

Nome do poço/afloramento: Arpasa1

Petrógrafo: Jonas

SUMÁRIO

Lâmina de porção de topo de derrame, próximo a zona amigdaloidal rica em celadonita.

CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS TEXTURAIS

Cristalinidade: Hipocristalina

Granularidade: Afanítica

Tamanho relativo dos cristais: Inequigranular

Intervalo de tamanho de cristal: Muito fino (0.08 mm) ao Médio (1.3 mm)

Tamanho de cristal modal: Fino (0.24 mm)

Forma dos cristais / fragmentos

Perfeição do formato cristalino: Subédrica dominante

Forma tridimensional dos cristais ou fragmentos: Prismática, Acicular

Textura(s): Porfirítica, Glomeroporfirítica, Intersertal, Peneira

COMPOSIÇÃO

Plagioclásio, Prismático, Como fenocristal, Dissolvido parcialmente

Plagioclásio, Prismático, Na matriz, Dissolvido parcialmente

Piroxênio indiferenciado, Anédrico, Na matriz;

Argilomineral indiferenciado, Substituindo constituinte não determinado em Matriz

9.2.4 Identificação da descrição: UB-NF-32b

Nome do poço/afloramento: Ferrovia

Petrógrafo: Jonas

SUMÁRIO

Lâmina referente a porção de borda da lava em almofada do ponto UB-NF-32

CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS TEXTURAIS

Estrutura(s): Amigdaloidal (0.32-6.4mm)

Cristalinidade: Hipocristalina

Granularidade: Afanítica

Tamanho relativo dos cristais: Inequigranular

Intervalo de tamanho de cristal: Muito fino (0.04 mm) ao Médio (1.2 mm)

Tamanho de cristal modal: Fino (0.16 mm)

Forma dos cristais / fragmentos

Perfeição do formato cristalino: Subédrica

Forma tridimensional dos cristais ou fragmentos: Prismática, Esqueletal

Textura(s): Porfírica, Glomeroporfírica, Peneira, Intersertal

COMPOSIÇÃO

Constituinte indiferenciado, Como matriz, Substituído por <Constituinte>, Zeolita indiferenciada, Zeolitas, Vidro devitrificado;

Plagioclásio, Esqueletal, Na matriz, Por vezes argilizado (~20%);

Nontronita, Preenchendo vesícula;

Celadonita, Preenchendo vesícula;

Esmectita, Preenchendo vesícula;

Piroxênio indiferenciado, Anédrico, Na matriz;

Poros mólidos, Por.sec.contração

Opaco indiferenciado, Como matriz;

Piroxênio indiferenciado, Como fenocristal;

Carbonato indiferenciado, Romboedro pequeno, Preenchendo vesícula;

Zeolita indiferenciada, Preenchendo vesícula,

Plagioclásio, Prismático, Como fenocristal, Dissolvido parcialmente

Poros intracristalino, Em porosidade intracristalina Plagioclásio, Feldspatos;

Classificação: basalto

9.2.5 Identificação da descrição: UB-NF-32c

Nome do poço/afloramento: Ferrovia

Petrógrafo: Jonas

SUMÁRIO

Porção intermediária de lava em almofada do ponto UB-NF-32

CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS TEXTURAIS

Estrutura(s): Amigdaloidal (0.0-6.4mm)

Cristalinidade: Hipocristalina

Granularidade: Afanítica

Tamanho relativo dos cristais: Inequigranular

Intervalo de tamanho de cristal: Fino (0.0 mm) ao Médio (1.6 mm)

Tamanho de cristal modal: Fino (0.24 mm)

Forma dos cristais / fragmentos

Perfeição do formato cristalino: Subédrica

Forma tridimensional dos cristais ou fragmentos: Prismática, Acicular

Textura(s): Amigdaloidal, Porfirítica, Glomeroporfirítica, Peneira, Intersertal

COMPOSIÇÃO

Constituinte indiferenciado, Como matriz, Vidro desvitrificado;

Carbonato indiferenciado, Preenchendo vesícula;

Plagioclásio, Prismático, Na matriz;

Opaco indiferenciado;

Zeolita indiferenciada, Preenchendo vesícula;

Vesícula

Piroxênio indiferenciado, Anédrico, Na matriz;

Esmectita, Preenchendo cavidade;

Nontronita, Preenchendo vesícula;

Zeolita indiferenciada, Radiado, Preenchendo vesícula,

Poros mórdicos, Dissol. matriz;

Fatura, Sendo coberto por <Constituinte>, Argilomineral indiferenciado, Argilominerais, Esmectita?;

Piroxênio indiferenciado, Tabular, Como fenocristal;

Plagioclásio, Prismático, Como fenocristal;

Calcita preenchendo vesícula

Classificação: basalto

9.2.6 Identificação da descrição: UB-NF-32d

Nome do poço/afloramento: Ferrovia

Petrógrafo: Jonas

SUMÁRIO

Porção de núcleo da de lava emalmofada do ponto UB-NF-32

CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS TEXTURAIS

Estrutura(s): Amigdaloidal (1.0-6.8mm)

Cristalinidade: Hipocristalina

Granularidade: Afanítica

Tamanho relativo dos cristais: Inequigranular

Intervalo de tamanho de cristal: Muito fino (0.04 mm) ao Grosso (5.6 mm)

Tamanho de cristal modal: Fino (0.24 mm)

Forma dos cristais / fragmentos

Perfeição do formato cristalino: Subédrica

Forma tridimensional dos cristais ou fragmentos: Prismática,Esqueletal

Textura(s): Porfirítica,Esqueletal,Peneira,Glomeroporfirítica,Esferulítica

COMPOSIÇÃO

Constituinte indiferenciado, Como matriz, Desvitrificado;

Vesícula;

Plagioclásio, Prismático, Na matriz, Dissolvido;

Esmectita, Circundando cavidade;

Nontronita, Preenchendo vesícula, Esmectita?;

Piroxênio indiferenciado, Anédrico, Na matriz;

Poros mórdico, Porosidade secundária por contração;

Plagioclásio, Prismático, Como fenocristal, Dissolvido, Microfenocristal;

Piroxênio indiferenciado, Tabular, Como fenocristal, Microfenocristal;

Poros intracristalino, Dissolução de <Constituinte>, Plagioclásio, Feldspatos, Como matriz;

Celadonita, Preenchendo vesícula;

Fratura, Na matriz, Sendo coberto por <Constituinte>, Nontronita, Argilominerais, Preenchimento parcial;

Poros intracristalino, Dissolução de <Constituinte>, Nontronita, Argilominerais;

Poros mólidos, Intracristalino, Cobrindo <Constituinte>, Plagioclásio, Feldspatos, Porosidade por dissolução;

Classificação: basalto

9.2.7 Identificação da descrição: UB-NF-32g

Nome do poço/afloramento: Ferrovia

Petrógrafo: Jonas

Usos: Ensino/treinamento

SUMÁRIO

Porção de borda inferior da pillow #14 no croqui do ponto 32

CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS TEXTURAIS

Estrutura(s): Amigdaloidal (0.4-2.8mm)

Cristalinidade: Hipocristalina

Granularidade: Afanítica

Tamanho relativo dos cristais: Inequigranular

Intervalo de tamanho de cristal: Muito fino (0.04 mm) ao Médio (1.5 mm)

Tamanho de cristal modal: Fino (0.24 mm)

Forma dos cristais / fragmentos

Perfeição do formato cristalino: Subédrica

Forma tridimensional dos cristais ou fragmentos: Prismática

Textura(s): Amigdaloidal, Intersertal, Peneira

COMPOSIÇÃO

Plagioclásio, Prismático, Como fenocristal;

Plagioclásio, Prismático, Como matriz;

Clinopiroxênio, Anédrico, Como matriz,

Óxido indiferenciado, Anédrico, Como matriz;

Zeolita indiferenciada, Circundando vesícula;

Argilomineral, Fibro-radiado, Preenchendo vesícula,

Vidro máfico, Como matriz, Desvitrificado;

Classificação: basalto

9.2.8 Identificação da descrição: UB-NF-32h

Nome do poço/afloramento: Ferrovia

Petrógrafo: Jonas

SUMÁRIO

Porção intermediária de lava em almofada do ponto UB-NF-32

CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS TEXTURAIS

Estrutura(s): Amigdaloidal (0.32-4.0mm)

Cristalinidade: Hipocristalina

Granularidade: Afanítica

Tamanho relativo dos cristais: Inequigranular

Intervalo de tamanho de cristal: Muito fino (0.06 mm) ao Médio (3.6 mm)

Tamanho de cristal modal: Fino (0.24 mm)

Forma dos cristais / fragmentos

Perfeição do formato cristalino: Subédrica

Forma tridimensional dos cristais ou fragmentos: Prismática

Textura(s): Porfirítica, Glomeroporfirítica, Intersertal, Esqueletal

COMPOSIÇÃO

Plagioclásio, Prismático, Como fenocristal, Zonado;

Plagioclásio, Prismático, Como fenocristal;

Plagioclásio, Prismático, Como matriz, Dissolvido;

Piroxênio indiferenciado, Tabular, Como fenocristal, Zonado, Sendo coberto por Argilomineral indiferenciado, Argilominerais,

Piroxênio indiferenciado, Anédrico, Como matriz;

Zeolita indiferenciada, Fibro-radiado, Circundando cavidade;

Argilomineral indiferenciado, Fibro-radiado, Preenchendo vesícula;

Argilomineral indiferenciado, Preenchendo fratura de rocha, Parcialmente;

Classificação: basalto

9.2.9 Identificação da descrição: UB-NF-32i

Nome do poço/afloramento: Ferrovia

Petrógrafo: Jonas

SUMÁRIO

Porção de núcleo de lava em almofada do ponto UB-NF-32

CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS TEXTURAIS

Estrutura(s): Amigdaloidal (0.4-5.6mm)

Cristalinidade: Hipocristalina

Granularidade: Afanítica

Tamanho relativo dos cristais: Inequigranular

Intervalo de tamanho de cristal: Muito fino (0.0 mm) ao Médio (1.6 mm)

Tamanho de cristal modal: Fino (0.24 mm)

Forma dos cristais / fragmentos

Perfeição do formato cristalino: Subédrica

Forma tridimensional dos cristais ou fragmentos: Prismática, Esqueletal

Textura(s): Amigdaloidal, Glomeroporfírica, Intersertal, Esqueletal, Peneira

COMPOSIÇÃO

Plagioclásio, Prismático, Como fenocristal, Microfenocristal;

Plagioclásio, Prismático, Na matriz;

Piroxênio indiferenciado, Como fenocristal, Microfenocristal euédrico a subédrico;

Piroxênio indiferenciado, Anédrico, Na matriz;

Argilomineral indiferenciado, Preenchendo vesícula, parcialmente, além de celadonita e zeólitas;

Zeolita indiferenciada, Fibro-radiado, Preenchendo vesícula, parcialmente na borda

Celadonita, Fibro-radiado, Preenchendo vesícula, centro

Poros mólidos, Esqueletal, feldspatos;

Vesícula, Sendo coberto por <Constituinte>, argilom ind., zeólitas, celadonita;

Classificação: basalto

9.2.10 Identificação da descrição: UB-NF-64b

Nome do poço/afloramento: Ferrovia

Petrógrafo: Jonas

SUMÁRIO

Lâmina referente a porção de borda inferior de lava em almofada do topo da primeira sucessão de lavas em almofada do perfil da Ferrovia.

CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS TEXTURAIS

Estrutura(s): Amigdaloidal (0.16-4.0mm)

Cristalinidade: Hipocristalina

Granularidade: Afanítica

Tamanho relativo dos cristais: Inequigranular

Intervalo de tamanho de cristal: Muito fino (0.05 mm) ao Médio (1.2 mm)

Tamanho de cristal modal: Muito fino (0.0 mm), Fino (0.6 mm)

Forma dos cristais / fragmentos

Perfeição do formato cristalino: Subédrica

Forma tridimensional dos cristais ou fragmentos: ,Prismática

Textura(s): Porfirítica,Glomeroporfirítica,Intersertal,Peneira

COMPOSIÇÃO

Plagioclásio, Prismático, Como fenocristal;

Plagioclásio, Prismático, Como matriz;

Clinopiroxênio indiferenciado, Equante poliédrica, Como glomerocristal, Sendo coberto por argilomineral indiferenciado

Clinopiroxênio indiferenciado, Anédrico, Como matriz;

Constituinte indiferenciado, Como matriz, Desvitrificado;

Esmeclita, Circundando vesícula;

Nontronita, Preenchendo vesícula;

Celadonita, Preenchendo vesícula;

Esmeclita, Preenchendo vesícula;

Zeolita indiferenciada, Preenchendo vesícula;

Classificação: basalto

9.2.11 Identificação da descrição: UB-NF-64c

Nome do poço/afloramento: Ferrovia

Petrógrafo: Jonas

SUMÁRIO

Lâmina referente a porção de núcleo de lava em almofada do ponto UB-NF-64 (topo da primeira sucessão de lavas em almofada)

CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS TEXTURAIS

Estrutura(s): Amigdaloidal (0.5-6.0mm)

Cristalinidade: Hipocristalina

Granularidade: Afanítica

Tamanho relativo dos cristais: Inequigranular

Intervalo de tamanho de cristal: Muito fino (0.08 mm) ao Médio (2.1 mm)

Tamanho de cristal modal: Muito fino (0.0 mm) Forma dos cristais / fragmentos

Perfeição do formato cristalino: Subédrica

Forma tridimensional dos cristais ou fragmentos: Prismática

Textura(s): Glomeroporfírica, Porfírica, Intersertal, Peneira

COMPOSIÇÃO

Plagioclásio, Prismático, Como glomerocristal;

Plagioclásio, Prismático, Como fenocristal;

Plagioclásio, Prismático, Como matriz;

Clinopiroxênio indiferenciado, Como glomerocristal;

Clinopiroxênio indiferenciado, Como fenocristal;

Clinopiroxênio indiferenciado, Como matriz;

Esmectita, Circundando cavidade;

Esmectita, Preenchendo vesícula;

Nontronita, Preenchendo vesícula;

Celadonita, Preenchendo vesícula;

Classificação: basalto

9.2.12 Identificação da descrição: UB-NF-64d

Nome do poço/afloramento: Ferrovia

Petrógrafo: Jonas

SUMÁRIO

CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS TEXTURAIS

Estrutura(s): Amigdaloidal (4.8-7.6mm)

Cristalinidade: Hipocristalina

Granularidade: Afano-fanerítica

Tamanho relativo dos cristais: Inequigranular

Intervalo de tamanho de cristal: Fino (0.24 mm) ao Médio (1.8 mm)

Tamanho de cristal modal: Fino (0.32 mm), Fino (0.8 mm)

Forma dos cristais / fragmentos

Perfeição do formato cristalino: Subédrica

Forma tridimensional dos cristais ou fragmentos: Prismática

Textura(s): Porfirítica, Glomeroporfirítica, Amigdaloidal, Peneira

COMPOSIÇÃO

Plagioclásio, Prismático, Como fenocristal;

Plagioclásio, Prismático, Como matriz;

Clinopiroxênio indiferenciado, Como fenocristal;

Clinopiroxênio indiferenciado, Como matriz;

Clinopiroxênio indiferenciado, Como glomerocristal;

Esmectita, Fibro-radiado, Preenchendo cavidade;

Esmectita, Anédrico, Substituindo <Constituinte>, Plagioclásio, Feldspatos;

Celadonita, Macrocrystalino, Preenchendo cavidade;

Nontronita, Fibro-radiado, Preenchendo cavidade;

9.2.13 Identificação da descrição: UB-NF-34

Nome do poço/afloramento: Ferrovia

Petrógrafo: Jonas

SUMÁRIO

Lâmina referente a derrame *pahoehoe* simples do final do perfil da Ferrovia Centro - Atlântica

CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS TEXTURAIS

Cristalinidade: Hipocristalina

Granularidade: Afano-fanerítica

Tamanho relativo dos cristais: Inequigranular

Intervalo de tamanho de cristal: Fino (0.0 mm) ao Médio (1.8 mm)

Tamanho de cristal modal: Fino (0.24 mm)

Forma dos cristais / fragmentos

Perfeição do formato cristalino: Subédrica

Forma tridimensional dos cristais ou fragmentos: Prismática

Textura(s): Glomeroporfírica, Porfírica, Intersertal, Peneira

COMPOSIÇÃO

Plagioclásio, Prismático, Como glomerocristal;

Plagioclásio, Prismático, Como fenocristal;

Plagioclásio, Prismático, Como matriz;

Clinopiroxênio indiferenciado, Equante poliédrica, Como fenocristal;

Clinopiroxênio indiferenciado, Anédrico, Como matriz;

Esmectita, Anédrico, Como matriz, Substituindo <Constituinte>, Vidro vulcânico, Vidro;

Constituinte indiferenciado, Como matriz, Desvitrificação;

Esmectita, Cobrindo <Constituinte>, Clinopiroxênio indiferenciado, Piroxênios-Piroxenóides;

Classificação: basalto

GEO 03015 – PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA III

Título da Monografia: Morfologia e petrografia dos derrames básicos do vulcanismo Serra Geral em Araguari (MG)
Autor: JONAS HENRIQUE WESCHENFELDER
Orientador(es): Prof. Dr. Evandro Fernandes de Lima Marcos de Magalhães May Rossetti (supervisor)
Nota final (1 até 10): 9,5
Examinador: Juliana Charão Marques Data: 20/12/2017

		Sim	Não	Em parte
1	O título é informativo e reflete o conteúdo da monografia?	X		
2	O resumo do trabalho informa sobre os tópicos essenciais da monografia?	X		
3	As ilustrações são úteis e adequadas?	X		
4	O manuscrito apresenta estrutura organizada?	X		
5	A introdução apresenta os fundamentos para o restante do texto da monografia?	X		
6	Os materiais e métodos são descritos adequadamente?	X		
7	Os resultados são de qualidade e mostrados concisamente?	X		
8	As interpretações e conclusões são baseadas nos dados obtidos?	X		
9	As referências são convenientes e usadas adequadamente?	X		
10	O manuscrito possui boa redação (digitação, ortografia e gramática)?	X		

Página	Correções obrigatórias
4	Como sugestão, melhorar a clareza na frase que inicia como “ Observações petrográficas...” e na parte final “colocação raso”
31	Como sugestão, inserir legenda da área vermelha na Figura 11 ou explicar no texto
70	Como sugestão, indicar na tabela 2 a morfologia da unidade de cada amostra analisada

GEO 03015 – PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA III

Título da Monografia: Morfologias e petrografia dos derrames básicos do vulcanismo Serra Geral em Araguari (MG)
Autor: Jonas Henrique Weschenfelder
Orientador(es): Prof. Dr. Evandro Fernandes de Lima
Marcos de Magalhães May Rossetti
Nota final (1 até 10): 9,5
Examinador: Dr. Bruno Ludovico Dihl Horn Data: 20/12/17

		Sim	Nã o	Em parte
1	O título é informativo e reflete o conteúdo da monografia?	X		
2	O resumo do trabalho informa sobre os tópicos essenciais da monografia?	X		
3	As ilustrações são úteis e adequadas?	X		
4	O manuscrito apresenta estrutura organizada?	X		
5	A introdução apresenta os fundamentos para o restante do texto da monografia?	X		
6	Os materiais e métodos são descritos adequadamente?	X		
7	Os resultados são de qualidade e mostrados concisamente?	X		
8	As interpretações e conclusões são baseadas nos dados obtidos?	X		
9	As referências são convenientes e usadas adequadamente?	X		
10	O manuscrito possui boa redação (digitação, ortografia e gramática)?	X		

Página	Correções obrigatórias
15	“Intemperada” para intemperizada
45	Colocar escala na figura
59	Colocar na legenda quais fotos são em LP e LN
61	Colocar na legenda quais fotos são em LP e LN
65	Colocar na legenda quais fotos são em LP e LN

