

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**VULCANO-ESTRATIGRAFIA E GEOQUÍMICA DE DERRAMES DA PROVÍNCIA
MAGMÁTICA PARANÁ NA REGIÃO DE ARVOREZINHA E GUAPORÉ – RS**

Amanda Alves Ferreira

Monografia de Trabalho de Formatura

TF - 21/02

Orientador: Prof. Dr. Valdecir de Assis Janasi

São Paulo

2022

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**VULCANO-ESTRATIGRAFIA E GEOQUÍMICA DE DERRAMES DA PROVÍNCIA
MAGMÁTICA PARANÁ NA REGIÃO DE ARVOREZINHA E GUAPORÉ – RS**

De acordo:

A handwritten signature in blue ink, reading "Amanda A. Ferreira", is positioned above a horizontal line.

Amanda Alves Ferreira

A handwritten signature in blue ink, reading "Valdecir de Assis Janasi", is positioned above a horizontal line.

Prof. Dr. Valdecir de Assis Janasi

São Paulo

2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Valdecir, professor pelo qual possuo profunda admiração, por todos esses anos de aprendizado durante a graduação e pela orientação e paciência durante a elaboração desse trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), que financiou esta pesquisa através dos Projetos Temáticos 12/06082-6 e 19/22084-8.

À Natasha, pela ajuda e palavras de apoio, e a todos os funcionários e professores do Instituto de Geociências, lugar que foi minha segunda casa ao longo desses anos. Agradeço também a todos os maravilhosos professores e professoras que passaram pela minha trajetória. Obrigada por terem escolhido a profissão mais bonita e essencial de todas, apesar de não serem valorizados da forma que realmente deveriam.

Agradeço ao meu parceiro Mário pelo companheirismo e apoio; ao meu pai Roberto e à minha mãe Kátia, pelo incentivo e amor que sempre me deram; à minha madrinha Vânia, a quem amo incondicionalmente; às minhas avós Maria do Carmo e Maria Stella, ao meu avô Regivaldo, ao Rafa e a todos os membros da minha família, incluindo Shiro, Hikari, Kuro e Haru, que muitas vezes me fizeram companhia nas noites em claro. Agradeço especialmente às duas pessoas que mais amo nesse mundo: minha irmã Camila e meu irmão Uriel.

Agradeço imensamente à minha Trupe por todos esses anos juntos, espero continuar compartilhando a vida com vocês: Tut, Bia, Paiola, Ari, Trick, Tati, Yumi, Nani, Mii, Ery, Fe, Malu, Igor e Seiti.

A meus irmãos e irmãs que a geologia me proporcionou, não consigo expressar o quanto me senti sortuda ao conhecer pessoas tão incríveis como vocês! Obrigada por cada momento: Rico, Lari, Jura, Waze, Bibifa, Kiwi, Trevas, Ocotô, Brisão, Provi, San, Grosa, Bariri, Dani, Dino, Miçanga, Pamonha, Lilo e a todos os demais amigos da Turma 59. Aos meus veteranos Cocrete, Vinicius, Porkinha, Anya, Menos e Tom, agradeço pela amizade, acolhimento e aprendizado. Ao Mateus, obrigada pela amizade e incentivo.

A todos os artistas, especialmente aos músicos que produzem as obras que me dão forças para continuar seguindo.

Por fim, gostaria de dedicar esse trabalho ao meu amado tio Alexandre, ao Victor, ao Júnior e a todos aqueles que se foram cedo demais, mas permanecem vivos dentro de nós.

세상 모든 게 죽고 새로 태어나
다시 늙어갈 때에도
감히 이 마음만은 주름도 없이
여기 반짝 살아있어요
영영 살아있어요

이지은

*If everything in the world dies and reborns
If I grow old again
This heart won't have any wrinkles
It's twinkling and living right here
It lives forever*

Lee Jieun

RESUMO

As rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral fazem parte da Província Magmática Paraná-Etendeka, uma das maiores *Large Igneous Provinces (LIPs)* do planeta, a qual possui origem no Cretáceo inferior e precede a abertura do sul do Oceano Atlântico e a quebra do supercontinente Gondwana. Características geoquímicas têm sido utilizadas na diferenciação e classificação das rochas básicas e ácidas da Província Magmática Paraná (PMP), de forma que representam a principal ferramenta para definição da estratigrafia dessas lavas. Embora diversos estudos geoquímicos tenham sido realizados na província, esta é ainda pouco compreendida quando comparada a outras *LIPs*. Sendo assim, foi proposta a elaboração de um mapa de semi-detelhe da área entre as cidades de Arvorezinha e Guaporé (RS), a aproximadamente 200 km de Porto Alegre, a qual está inserida numa região que apresenta importantes exposições das rochas vulcânicas ácidas da província e da sequência de baixo-TiO₂ em geral. Para isso, foram realizadas análises petrográficas de diferentes litologias que afloram na área, assim como o tratamento de dados geoquímicos, a compilação de dados de atividades de campo e a análise de mapa altimétrico, de declividade e de sombreamento. As rochas que compõem a base da pilha vulcânica que aflora na área, denominadas inicialmente neste trabalho como basaltos pré-dacitos, correspondem à Formação Vale do Sol (FVS) e ao magma-tipo Gramado, os quais são observados nas drenagens da área de estudo, com topo em cotas variando, em geral, de 340 a 400 m, sendo andesitos basálticos com teores de SiO₂ de 51,7-60,35% e com textura afanítica a subfanerítica e intergranular. Estas rochas são sobrepostas pelos dacitos Caxias do Sul, com espessuras aproximadas de 70 a 130 m nas seções elaboradas e possuem entre 67,9 e 70,3% de SiO₂, são hipohialinos a hipocristalinos, com feições de desvitrificação e de resfriamento rápido. A sequência Barros Cassal (49,9 a 55,2% de SiO₂) forma pacotes de cerca de 200 a 290 m nas seções elaboradas e possui características petrográficas semelhantes à FVS. A sequência é representada na área por rochas de composição basáltica na base, as quais são sobrepostas por derrames de andesitos basálticos. Destacam-se os teores mais baixos de Sr e Al₂O₃ nessas lavas, em comparação com a FVS, indicando um possível fracionamento anterior de plagioclásio no magma que gerou estas rochas. Os riolitos Santa Maria recobrem essa sequência apenas a oeste do rio Guaporé, de modo que podem ter sido erodidos a leste. Possuem teores de SiO₂ de 71,8-72,9% e correspondem a rochas vítreas com micrólitos e fenocristais.

Palavras-chave: Rochas vulcânicas, estratigrafia, geoquímica, basaltos, dacitos, riolitos.

ABSTRACT

The volcanic rocks of the Serra Geral Group are part of the Paraná-Etendeka Magmatic Province, one of the largest igneous provinces on Earth, which originates in the Lower Cretaceous and precedes the opening of the southern Atlantic Ocean and the breakup of the supercontinent Gondwana. Geochemical features have been used in the differentiation and classification of basic and acidic rocks from the Paraná Magmatic Province (PMP) and they represent the main tool for defining the stratigraphy of these lavas. Although several geochemical studies have been carried out in the province, it is still poorly understood when compared to other LIPs. Therefore, it was proposed the elaboration of a semi-detail map of the area between the cities of Arvorezinha and Guaporé (RS), approximately 200 km from Porto Alegre, which is inserted in a region that presents important exposures of the acidic volcanic rocks of the province and the low-TiO₂ sequence in general. Petrographic analyzes of different lithologies that outcrop in the area were carried out, as well as the treatment of geochemical data, the compilation of data from field activities and the analysis of altimetric, slope and hillshade maps. The rocks that make up the base of the volcanic pile that outcrops in the area, initially named in this work as pre-dacite basalts, correspond to the Vale do Sol Formation (FVS) and the Gramado magma-type, which are observed in the drainages of the study area, with top at elevations ranging, in general, from 340 to 400 m, being basaltic andesites with SiO₂ contents of 51.7-60.35% and with aphanitic to sub-phaneritic and intergranular texture. It is overlaid by Caxias do Sul dacites, with approximate thicknesses of 70 to 130 m in the elaborated sections and SiO₂ contents between 67.9 and 70.3%. They have hypohyaline to hypocrystalline matrix, with features of devitrification and rapid cooling. The Barros Cassal sequence (49.9 to 55.2% SiO₂) forms packages of about 200 to 290 m in the elaborated sections and has petrographic features similar to the FVS. The sequence is represented in the area by basaltic rocks at the base, which are overlaid by basaltic andesite flows. The lower levels of Sr and Al₂O₃ in these lavas, compared to the FVS, are noteworthy, indicating a possible earlier fractionation of plagioclase in the magma that generated these rocks. The Santa Maria rhyolites cover this sequence just west of the Guaporé river, which suggests that they may have been eroded to the east. These volcanic rocks have SiO₂ contents of 71.8-72.9% and a glassy matrix with microliths and phenocrysts.

Keywords: Volcanic rocks, stratigraphy, geochemistry, basalts, dacites, rhyolites.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA	10
3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO	10
4. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA	11
4.1. Grandes Províncias Ígneas (<i>LIPs</i>)	11
4.2. Província Magmática Paraná-Etendeka.....	12
4.3. Estratigrafia do Grupo Serra Geral no Sul do Brasil.....	15
5. MATERIAIS E MÉTODOS	18
5.1. Revisão bibliográfica.....	18
5.2. Análises petrográficas	18
5.3. Microscopia eletrônica de varredura	19
5.4. Análises químicas de rocha total	19
5.4.1. Preparação das amostras de riolito	19
6. RESULTADOS	20
6.1. Compilação de dados geológicos	20
6.2. Petrografia.....	23
6.2.1. Caracterização petrográfica.....	23
6.2.1.1. Basaltos pré-dacitos	23
6.2.1.2. Dacitos	24
6.2.1.3. Basaltos pós-dacitos.....	27
6.2.1.4. Riolitos	28
6.2.2. Microscopia eletrônica de varredura	29
6.3. Caracterização geoquímica	30
6.3.1. Classificação e afinidade geoquímica.....	30
6.3.2. Diagramas de variação química.....	33
7. DISCUSSÕES	36
7.1. Comparação geoquímica com unidades da literatura	36
7.2. Correlação Estratigráfica	41
7.2.1. Seções Arvorezinha-Guaporé e União da Serra-Anta Gorda.....	41
7.2.2. Mapa geológico	43
8. CONCLUSÕES.....	45
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

LISTA DE ANEXOS

Anexo A – Fichas de descrição petrográfica

Anexo B – Tabela e mapa de pontos

Anexo C – Resultados de análises químicas de rocha total por FRX

Anexo D – Perfis e colunas estratigráficas

Anexo E – Mapa altimétrico, de declividade e de sombreamento

Anexo F – Mapa geológico

1. INTRODUÇÃO

A Província Magmática Paraná é uma das maiores províncias ígneas continentais do planeta, com área estimada, segundo Frank et al. (2009), de 917.000 km², e volume de rochas preservadas de ao menos 600.000 km³, sendo cerca de 450.000 km³ de rochas extrusivas e 112.000 km³ de rochas intrusivas, como diques e sills. No Brasil, essas rochas vulcânicas correspondem à Formação Serra Geral da Bacia do Paraná. Sua gênese está associada à abertura do sul do Oceano Atlântico durante o Cretáceo Inferior (Peate, 1997), com datações que indicam que sua formação se iniciou há $134,3 \pm 0,8$ Ma (Janasi et al., 2011). Esta província é composta majoritariamente por basaltos toleíticos, os quais correspondem a cerca de 90% de seu volume total. As rochas intermediárias representam 7% de seu volume, enquanto as rochas de composição ácida equivalem a 3% (Piccirillo et al., 1987).

As classificações estratigráficas da PMP são fortemente baseadas em dados geoquímicos. Peate et al. (1992) distinguiram a existência de seis tipos de magmas para os basaltos da província: três tipos de alto teor de TiO₂ (Paranapanema, Pitanga e Urubici) e três com baixo teor de TiO₂ (Gramado, Esmeralda e Ribeira). As rochas vulcânicas ácidas (riolitos e dacitos) foram divididas no tipo Palmas, associado aos basaltos de baixo TiO₂, e Chapecó, associado aos basaltos de alto TiO₂. No sul da província, as sequências vulcânicas apresentam baixo TiO₂ (Bellieni et al., 1984), sendo as suítes vulcânicas inferiores formadas por lavas básicas, enquanto as superiores são principalmente de caráter ácido (Bellieni et al., 1986). As rochas básicas e intermediárias que afloram a sul da PMP são do tipo Gramado e tipo Esmeralda (Peate et al., 1992); as rochas ácidas, incluindo dacitos e riolitos, são do tipo Palmas (Bellieni et al., 1986).

A área de estudo, escolhida para investigação dos derrames e contribuição nos conhecimentos da pilha vulcânica no sul da província, corresponde à região entre as cidades de Arvorezinha e Guaporé, no estado do Rio Grande do Sul, o qual apresenta importantes exposições de rochas ácidas da PMP no Brasil. A área possui afloramentos de rochas vulcânicas básicas a ácidas, as quais foram caracterizadas por análises petrográficas e geoquímicas, a fim de correlacioná-las às unidades estabelecidas na literatura, assim como contribuir com conhecimentos principalmente acerca da Sequência Barros Cassal, definida por Polo e Janasi (2014) a sudoeste de Arvorezinha, a qual corresponde a andesitos basálticos, andesitos e dacitos posicionados acima dos dacitos Caxias do Sul e abaixo dos riolitos Santa Maria, ambos compondo unidades do tipo Palmas. A partir dessas análises e de ferramentas de geoprocessamento, foi elaborado um mapa geológico de semi-detalle dos derrames na área de estudo, com perfis e colunas estratigráficas. Visto que a elaboração do mapa só foi possível após os resultados obtidos ao longo do trabalho, sua apresentação é feita ao final do relatório.

2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

Este estudo tem como objetivo a elaboração de mapa geológico das sequências vulcânicas na região entre os municípios de Arvorezinha e Guaporé (RS), previamente não caracterizadas em detalhe, a partir da integração de dados de trabalhos em campo, tratamento de dados geoquímicos e análises petrográficas. Os objetivos específicos deste trabalho são a caracterização geoquímica e petrológica dos derrames, a elaboração de perfis e colunas estratigráficas do vulcanismo Serra Geral na área de estudo e a construção de um mapa geológico de escala de semi-detalhe, assim como a definição e organização da sucessão das lavas no local, comparando-as às descritas na literatura.

Estudos estratigráficos são importantes na compreensão de províncias basálticas, possibilitando o entendimento de como os processos magmáticos variam com a evolução destas. A classificação com base na composição química de fluxos de lava é um meio efetivo na subdivisão dessas sequências em diversas províncias magmáticas (Peate et al., 1992). Assim, considerando que a estratigrafia da PMPE no Brasil é ainda pouco compreendida quando comparada a outras *LIPs*, como Columbia River e Deccan (Rossetti et al., 2018), o estudo se justifica por trazer novos dados geoquímicos, petrográficos e estratigráficos da província, com a organização do arcabouço das unidades presentes na região estudada.

O presente trabalho de formatura se integra ao Projeto Temático FAPESP 2019/22084-8, de título “A Província Magmática Paraná: petrogênese, cronologia e impacto ambiental do magmatismo toleítico, alcalino e silícico Cretáceo na Plataforma Brasileira”, coordenado pelo orientador.

3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

A área de estudo se localiza na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul (Fig. 3.1) e abrange as folhas Arvorezinha (SH.22-V-B-IV-4) e Guaporé (SH.22-V-B-V-3). O acesso a partir da capital Porto Alegre até o município de Guaporé pode ser feito pelas rodovias BR-386 e RS-129, em trajeto que soma 201 km.

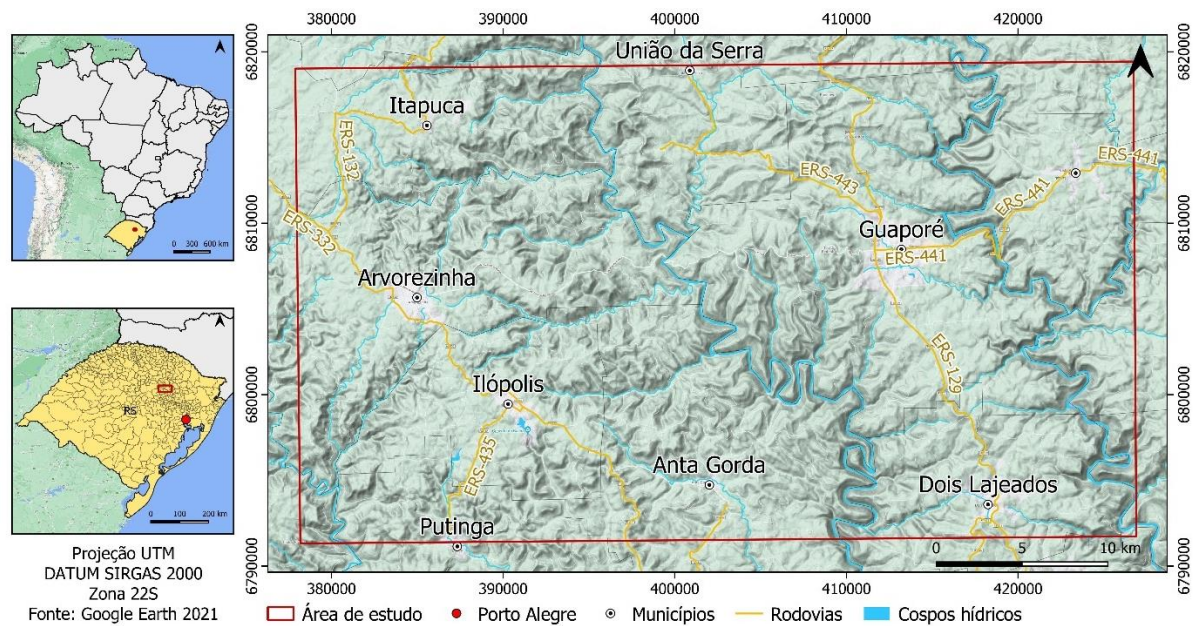


Fig. 3.1. Mapa de localização da área de estudo, contemplando as folhas Arvorezinha e Guaporé.

4. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Grandes Províncias Ígneas (LIPs)

As grandes províncias ígneas ou *Large Igneous Provinces (LIPs)* são definidas, segundo Bryan e Ernst (2008), como “províncias magmáticas principalmente máficas (tendo geralmente componentes silícicos e ultramáficos subordinados, enquanto alguns são predominantemente silícicos) com extensões de área $>0,1 \text{ Mkm}^2$, volumes ígneos $>0,1 \text{ Mkm}^3$ e vida útil máxima de $\sim 50 \text{ Ma}$ que são colocados em uma configuração intraplaca e caracterizada por pulso(s) ígneo(s) de curta duração ($\sim 1\text{-}5 \text{ Ma}$), durante o qual uma grande proporção ($>75\%$) do volume ígneo total foi colocada”.

Diversos modelos já foram propostos para a origem das *LIPs*, entretanto, a maioria dessas províncias é geralmente associada à ascensão de plumas mantélicas até a base da litosfera (Campbell and Griffiths, 1990). Alguns outros modelos propõem que a fusão é gerada por delaminação litosférica (Elkins-Tanton, 2005; Hales et al., 2005) ou por descompressão durante processos de rifteamento (White e McKenzie, 1989).

Essas províncias estão associadas, muitas vezes, a eventos de escala regional a global, como extinções em massa e mudanças drásticas de topografia. As *LIPs* estão atreladas à ocorrência de diversos tipos de depósitos minerais e seu estudo apresenta importância também para as áreas de hidrogeologia e indústria do petróleo (Ernst, 2014). Além disso, erupções basálticas têm alto potencial para emissão de SO_2 e outros gases (Thordarson et al., 1996) que podem implicar em alterações atmosféricas.

4.2. Província Magmática Paraná-Etendeka

A Província Magmática Paraná-Etendeka (PMPE; Fig. 4.1) é uma das maiores províncias ígneas continentais do planeta, com área estimada de 917.000 km², enquanto o volume estimado de rochas preservadas é de ao menos 600.000 km³, sendo cerca de 112.000 km³ de rochas intrusivas, como diques e sills, e 450.000 km³ de rochas extrusivas (Frank et al., 2009). Na América do Sul, compreende os territórios no centro-sul do Brasil (Formação Serra Geral), Uruguai (Formação Arapey), Paraguai (Formação Alto Paranti) e Argentina (Membro Posadas da Formação Curuzú Cuatiá). No continente africano, está presente na Namíbia e na Angola como Formação Etendeka (Peate, 1997).

A gênese da PMPE precede a quebra do supercontinente Gondwana e a abertura do sul do Oceano Atlântico durante o Cretáceo Inferior (Peate, 1997). Sua origem pode estar ligada à atual pluma mantélica de Tristão da Cunha, que teria funcionado como um mecanismo de desencadeamento e fonte de calor para o magmatismo Paraná-Etendeka (Wilson, 1993).

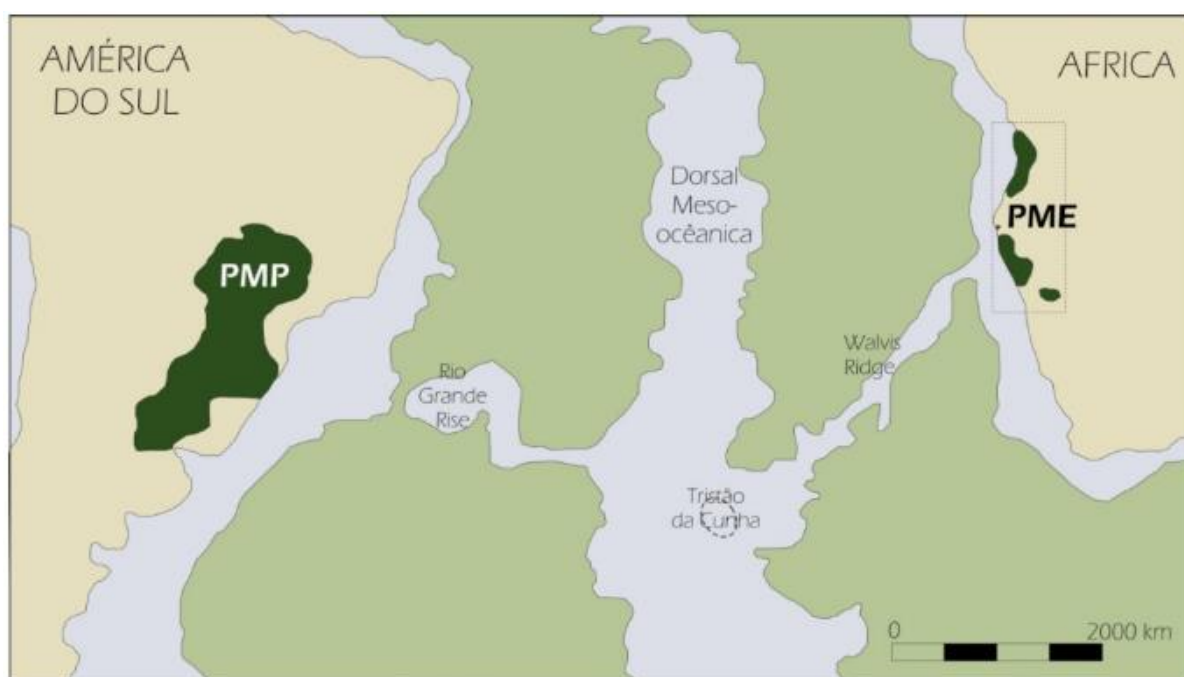


Fig. 4.1. Localização da Província Magmática Paraná-Etendeka na América do Sul (PMP) e na África (PME).
Fonte: Polo (2014) adaptado de Peate et al. (1999).

Datações de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ compiladas por Gomes e Vasconcelos (2021), assim como novas idades obtidas pelos autores, indicam que o auge do magmatismo Paraná-Etendeka ocorreu há $134,5 \pm 0,1$ Ma, além de datações por U/Pb que indicam a idade de $134,3 \pm 0,1$ Ma para o evento. As rochas silícicas do tipo Palmas, no sul da província, possuem idades U/Pb de 133,6 Ma, enquanto a sequência Chapecó possui idade de 132,9 Ma, sugerindo a migração do vulcanismo para o norte (Rocha et al., 2020). Janasi et al. (2011) estimam o curto período de 3 Ma para formação das pilhas de lava da PMP.

De acordo com Gomes e Vasconcelos (2021), na porção sul da Província Magmática Paraná (PMP), os estágios finais do vulcanismo se deram com a formação dos riolitos Santa Maria, há $133,2 \pm 0,1$ Ma; no centro da província, o vulcanismo teria cessado há $133,2 \pm 0,3$ Ma com a extrusão das lavas do tipo Paranapanema, enquanto na porção norte, possivelmente cessou há em torno de $132,0 \pm 0,1$ Ma, de acordo com datação por Ernesto et al. (1999) em basaltos de alto titânio. Os dados geocronológicos, em conjunto com informações de volume realizadas por Frank et al. (2009), indicam que as taxas médias de extrusão para a formação da PMPE são de 0.9 a 1.7 km³/a, valores estes que são comparáveis às taxas de demais LIPs que causaram efeitos ambientais globais (Gomes e Vasconcelos, 2021).

A Província Magmática de Etendeka (PME) está localizada a noroeste da Namíbia e é considerada um remanescente da PMPE, com área de aproximadamente 80.000 km² (Peate et al., 1992). A Formação Etendeka compreende uma associação de rochas toleíticas de composição bimodal básica a intermediária (51-59% de SiO₂), intercaladas com unidades ácidas de latitos (66-69% de SiO₂), segundo Milner et al. (1992).

A PMP é composta majoritariamente por basaltos toleíticos, correspondendo a cerca de 90% de seu volume total. As rochas intermediárias representam 7% do volume da província, enquanto as rochas de composição ácida equivalem a 3% (Piccirillo et al., 1987). Estas ocorrem principalmente na região sul da Bacia do Paraná (Fig. 4.2).

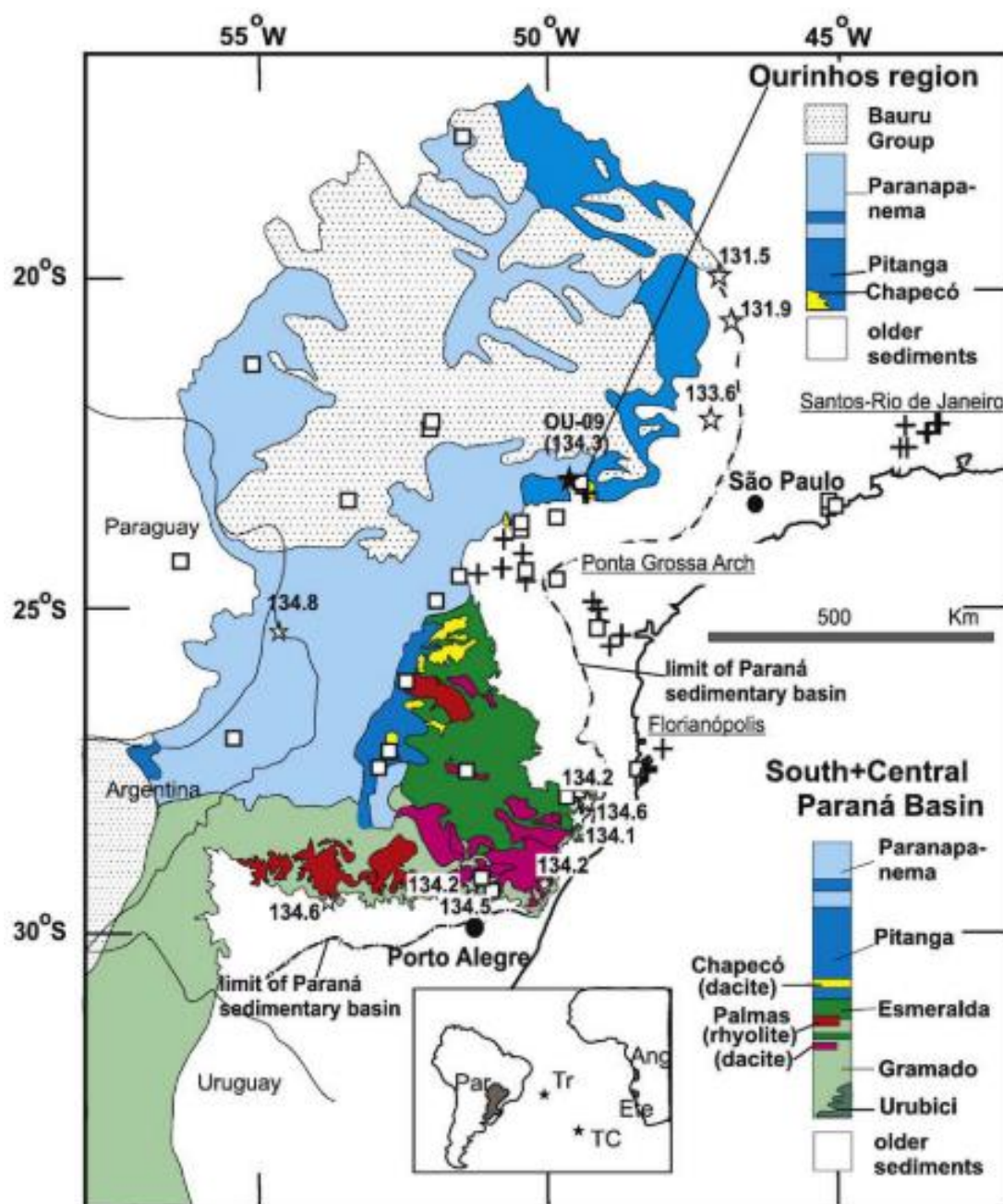


Fig. 4.2. Mapa da distribuição dos principais litotipos basálticos, dacíticos e riolíticos na Bacia do Paraná (Janasi et al. 2011, modificado de Peate et al., 1992 e Stewart et al., 1996). Gramado, Esmeralda, Pitanga e Paranapanema são magmas basálticos, enquanto Chapecó e Palmas são magmas ácidos de alto-Ti e baixo-Ti, respectivamente; estrelas brancas: locais onde foram realizadas datações $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de derrames e sills associados; estrela preta: localização de amostra de dacito datada por U-Pb; quadrados: localização de amostras de derrames e diques datadas por $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ utilizando fusão total, as quais já não são consideradas confiáveis; cruzes: locais onde foram datadas amostras de diques por $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$. Par: Paraná; Ete: Etendeka; Ang: Angola; Tr: Trindade; TC: Tristão da Cunha.

Na Bacia do Paraná, os derrames do Grupo Serra Geral – como proposto por Rossetti et al. (2018) – ocorrem principalmente sobre os arenitos eólicos da Formação Botucatu. Ambas compõem a Supersequência Gondwana III de idade Jurássica-Eocretácica.

As rochas vulcânicas são sobrepostas pelos sedimentos cretáceos do Grupo Bauru, que representa o último episódio significativo de subsidência da bacia (Milani et al., 1998).

A espessura média das sucessões vulcânicas é em torno de 650 m (Leinz et al., 1966), com espessura máxima de 1.700 m no eixo central da Bacia do Paraná (Frank et al., 2009). Os derrames basálticos apresentam espessuras de 10 a 90 m e formam sequências de mais de 1000 m. Em menor expressão, os fluxos ácidos possuem entre 20 e 80 m, com sequências que atingem até 400 m de espessura (Nardy, 1996 *apud* Guimarães, 2014).

Características geoquímicas têm sido utilizadas na diferenciação e classificação das rochas básicas e ácidas da PMP. Em geral, as sucessões vulcânicas desta província podem ser divididas em dois grandes grupos: na porção sul, ocorrem derrames basálticos com baixo TiO_2 ($\text{TiO}_2 < 2\%$) e vulcânicas ácidas associadas; na porção norte da província, ocorrem basaltos de alto TiO_2 ($\text{TiO}_2 > 2\%$), com enriquecimento de elementos incompatíveis (Bellieni et al., 1984). No modelo elaborado por Peate et al. (1992), os magmas basálticos são divididos em seis tipos, a partir de variações dos teores de SiO_2 , TiO_2 , P_2O_5 , Fe_2O_3 , Ba, Sr, Zr e Y: Urubici, Pitanga e Paranapanema (“alto Ti”); Ribeira, Esmeralda e Gramado (“baixo Ti”). A representação em perfil dessas unidades pode ser observada na Fig. 4.3.

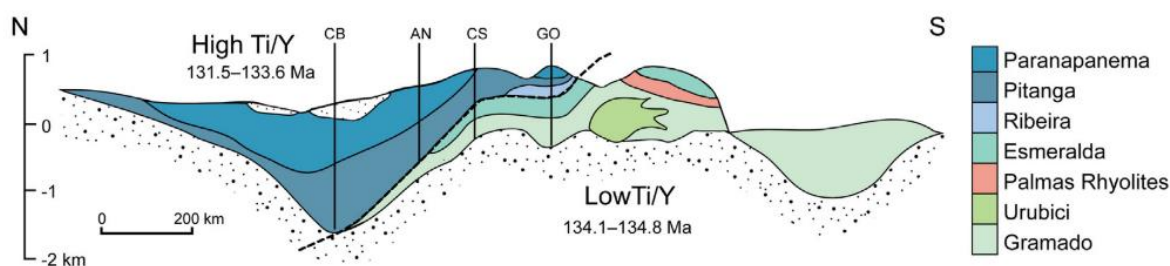


Fig. 4.3. Estratigrafia química e distribuição dos tipos de magma baseados em dados de poços (CB, NA, CS e GO). Fonte: Rossetti et al. (2018) modificado de Peate (1997).

As rochas ácidas recebem duas classificações principais: o tipo Palmas, com relativo baixo teor de elementos incompatíveis, alto teor de SiO_2 (65-72%), baixo teor de TiO_2 (0,6-1,1%) e P_2O_5 (0,15-0,35%), ocorrendo no centro e principalmente no sul da PMP; e o tipo Chapecó, com menores teores de SiO_2 (63-68%) e enriquecido em TiO_2 (0,9-1,5%), P_2O_5 (0,3-0,6%) e em elementos incompatíveis, presente na porção central da PMP (Peate et al., 1992).

4.3. Estratigrafia do Grupo Serra Geral no Sul do Brasil

Na região sul da PMP, as sequências vulcânicas apresentam baixo TiO_2 (Bellieni et al., 1984), sendo as suítes vulcânicas inferiores formadas por lavas básicas, enquanto as superiores são principalmente de caráter ácido (Bellieni et al., 1986). As rochas básicas e intermediárias que afloram a sul da PMP são do tipo Gramado e tipo Esmeralda (Peate et al., 1992); as rochas ácidas (dacitos e riolitos) são do tipo Palmas (Bellieni et al., 1986).

Os basaltos do tipo Gramado compõem a base da pilha vulcânica e são caracterizados por teores de SiO₂ de 49–60% e de TiO₂ entre 0,7 e 2,0% (Peate et al., 1992). Possui razão isotópica ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr alta (0,707- 0,715) e razões Zr/Y e Ti/Zr de 3,5-5,5 e <60, respectivamente (Peate, 1997). Rossetti et al. (2018) propõem a diferenciação de duas unidades estratigráficas para os basaltos tipo Gramado: a Formação Torres (FT) na base e a Formação Vale do Sol (FVS) no topo. Os basaltos da FT ocorrem sobre os arenitos da Formação Botucatu, possuem caráter mais primitivo e são do tipo *pahoehoe*. Estes possuem matriz de granulação média, com cristais de plagioclásio, augita, óxidos de Fe e podendo conter olivina, assim como fenocristais de plagioclásio ou olivina. As lavas da FT são sobrepostas pela FVS, de composição predominantemente andesito basáltica, caracterizada por lavas *rubbly pahoehoe* de geometria tabular e apresentando espessura máxima de 500 m. Quanto à petrografia, são rochas afaníticas a finas, com matriz formada por plagioclásio, augita e pigeonita intergranulares, assim como óxidos Fe, raramente contendo fenocristais de plagioclásio (Rossetti et al., 2018; 2021).

O tipo Esmeralda é uma unidade mais jovem e se encontra intercalado com as rochas ácidas do tipo Palmas (Peate et al., 1992). Ocorre na porção central do platô e muitas vezes cobre a pilha vulcânica (Peate, 1997). Possui teores de SiO₂ entre 48 e 55%, de TiO₂ entre 1,1 e 2,3%, razões isotópicas ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr mais baixas (0,7045-0,708) que o tipo Gramado e razões Zr/Y e Ti/Zr de 2-5 e >60, respectivamente. Possui menores teores de elementos traços incompatíveis e grau mais baixo de enriquecimento em LREE (Peate, 1997). A Formação Esmeralda corresponde ao magma do tipo Esmeralda e é composta por lavas *pahoehoe* que sobrepõem a Formação Palmas e a Formação Vale do Sol localmente, sendo o topo da sucessão de baixo TiO₂. Consiste em basaltos afaníticos com microfenocristais e micrólitos de plagioclásio, augita e óxidos de Fe em matriz fina a vítrea (Rossetti et al., 2018; 2021).

As rochas ácidas de tipo Palmas apresentam diversos subtipos definidos a partir de elementos maiores, traços e relações estratigráficas, sendo estes: os riolitos Santa Maria e Clevelândia, com teores de SiO₂ entre 69,56 e 70,28%; os dacitos Caxias do Sul, Anita Garibaldi e Jacuí, com SiO₂ de 63,83% a 69,56% (Nardy et al., 2008); e a sequência Barros Cassal, com dacitos (64,5 a 66% de SiO₂), andesitos (58,5% de SiO₂) e andesitos basálticos (54,5 a 56% de SiO₂), segundo Polo (2014). Rossetti et al. (2018) propõem a nomenclatura de Formação Palmas para as rochas deste tipo, as quais compreendem derrames de geometria tabular e domos de lava. As rochas do tipo Palmas, em geral, são hipohialinas, afíricas e apresentam matriz granofírica devido a processos de desvitrificação, ocorrendo o intercrescimento de quartzo e feldspato alcalino (Guimarães, 2014). Apresentam microfenocristais e fenocristais de plagioclásio, augita, pigeonita, ortopiroxênio e Ti-magnetita (Bellieni et al., 1986).

Os dacitos Caxias do Sul representam a primeira manifestação do magmatismo ácido na região sul da PMP, sendo formados por fluxos de lava e lava-domos (Polo, 2014). Esta unidade ocorre na porção sudeste da província e os derrames combinados podem alcançar espessuras de até 400 m (Peate, 1997). Apresentam teores de TiO_2 de 0,91% a 1,03% e de P_2O_5 entre 0,25% e 0,28% (Nardy et al., 2008). Os dacitos do tipo Anita Garibaldi ocorrem a norte da unidade Caxias do Sul, ao longo da margem leste da região central da PMP (Peate, 1997). Possuem teores de TiO_2 de 1,06%-1,25% e teores de P_2O_5 de 0,32%-0,36%. Os dacitos Jacuí se estendem pelas regiões de Flores da Cunha, Veranópolis e Salto do Jacuí, no estado do Rio Grande do Sul. Apresentam TiO_2 entre 1,05% e 1,16% e P_2O_5 entre 0,28% e 0,31% (Nardy et al., 2008).

A sequência Barros Cassal, como proposta em Polo (2014) e Polo e Janasi (2014), consiste em derrames laminares de dacitos, andesitos e andesitos basálticos que recobrem os dacitos Caxias do Sul (quando estes não ultrapassam a cota de 420 m) na região da cidade homônima, e ocorrem sob os riolitos Santa Maria, atingindo espessuras de até 100 m na região a sul de Soledade. As lavas de andesito basáltico correspondem à base desta sequência, sendo recobertas pelos derrames de composição andesítica e dacítica, com intercalações de arenito vermelho e arcoseano. Em relação à petrografia, as rochas são formadas por micrólitos e microfenocristais (0,12 a 0,75 mm) de plagioclásio, augita, pigeonita e titanomagnetita em matriz vítrea. Os basaltos e andesitos basálticos possuem textura hipohialina a hipocristalina e afanítica a fanerítica fina, vesículas e amígdalas preenchidas por carbonato ou argilominerais, assim como matriz desvitrificada e alterada parcialmente, enquanto os dacitos apresentam textura hipohialina afanítica e ausência de vesículas e amígdalas (Polo, 2014).

Os riolitos Santa Maria se encontram expostos em duas regiões distintas, sendo estas na região central e ao longo do sul da PMP, até cobrir a porção oeste dos dacitos Caxias do Sul (Peate, 1997), e apresentam espessuras de 150 a 450 m (Peate et al., 1992). Diversos autores consideram que esta sequência corresponde a ignimbritos de alto grau de soldamento (e.g. Bellieni et al., 1986; Milner et al., 1992; Luchetti et al., 2018), enquanto na região central do Rio Grande do Sul, Polo e Janasi (2014) identificaram características que são consistentes com erupções efusivas, como derrames laminares e derrames lobados simples e compostos. Apresentam teores de TiO_2 inferiores ou iguais a 0,87% e teores de P_2O_5 menores ou iguais a 0,21%. Os riolitos do tipo Clevelândia ocorrem ao sul do estado do Paraná, de General Carneiro até Clevelândia, com espessura média de 150 m, teores de TiO_2 inferiores ou iguais a 0,87%, assim como o tipo Santa Maria, e teores de P_2O_5 entre 0,21% e 0,23% (Nardy et al., 2008).

Polo (2014) e Polo e Janasi (2014) definem três sequências para as rochas vulcânicas intermediárias a ácidas na região central do Rio Grande do Sul, a sul de Soledade (região a sudoeste da área de estudo, entre Gramado Xavier e Barros Cassal),

sendo essas Caxias do Sul (base), Barros Cassal e Santa Maria (topo), cujas relações estratigráficas podem ser observadas na Fig. 4.4.

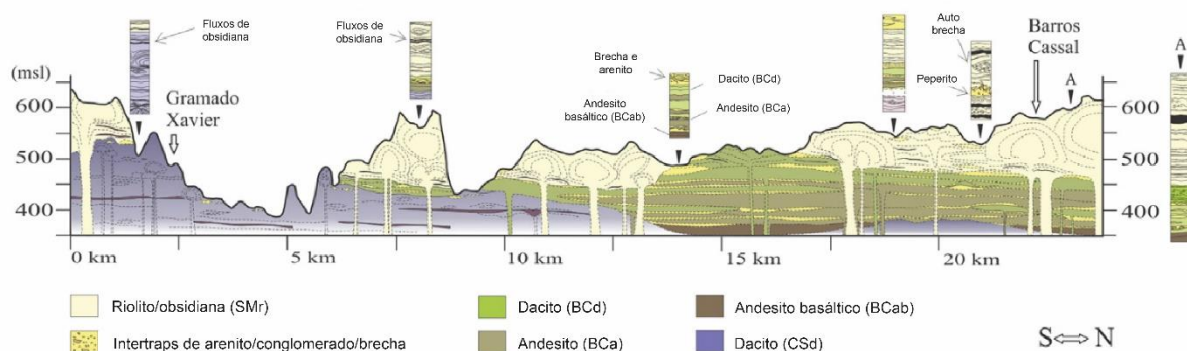


Fig. 4.4. Perfil esquemático N-S da região entre os municípios de Gramado Xavier e Barros Cassal (Polo et al., 2018).

Nesta região, as erupções mais recentes do vulcanismo Caxias do Sul ocorreram de forma intermitente, de modo que puderam ser depositados arenitos intercalados com os derrames. O paleo-relevo formado por estas lavas, além de possibilitar a formação de lentes de areia em conjunto com os derrames da sequência Barros Cassal, também influenciou a disposição desta, de modo que apresenta as maiores espessuras onde o topo dos dacitos Caxias do Sul aflora abaixo da cota de 320 m; quando este aflora em cotas acima de 420 m, a sequência Barros Cassal não é observada (Polo e Janasi, 2014).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Revisão bibliográfica

Foi realizada a revisão bibliográfica a partir de trabalhos anteriores efetuados na região de estudo e referentes ao contexto geológico da Província Magmática Paraná-Etendeka e do Grupo Serra Geral.

5.2. Análises petrográficas

Foi realizada a caracterização petrográfica a partir da descrição de 23 lâminas delgadas de amostras obtidas anteriormente pelo orientador, sendo 05 lâminas de basaltos pré-dacitos, 10 aos basaltos pós-dacitos, 07 de dacitos e 01 de riolito, conforme unidades descritas em campo realizado pelo orientador. Foi utilizado microscópio petrográfico de luz transmitida modelo Olympus BXP-40 do Laboratório Didático de Microscopia Petrográfica – LDMP, no Instituto de Geociências da USP. Foram elaboradas fichas de descrição para cada amostra analisada (Anexo A), contendo informações de textura, mineralogia, cristalinidade e fotomicrografias. A localização destas amostras se encontra no mapa de pontos do Anexo B. A análise das lâminas delgadas foi uma ferramenta para a definição da

mineralogia característica de cada unidade litológica na área estudo e para a descrição das texturas presentes nas amostras.

5.3. Microscopia eletrônica de varredura

Três amostras foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) no Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT) da Escola Politécnica da USP, a fim de observar os principais minerais que compõem tais rochas e as texturas presentes. O equipamento de análise utilizado é do modelo Stereoscan S440, marca LEO, que possui sistema de microanálise Oxford INCA de espectroscopia dispersiva de energia (EDS). Os códigos das amostras analisadas são GX-488 (dacito), GX-489 (basalto pós-dacito) e GX-493 (riolito a oeste da área).

5.4. Análises químicas de rocha total

A caracterização geoquímica foi utilizada como ferramenta principal no conhecimento das variações composicionais das sucessões vulcânicas e na correlação das unidades da área com as descritas na literatura. Foram usados dados de 58 análises de elementos maiores, menores e traços por fluorescência de raio X (FRX). Destas análises, 54 foram realizadas em trabalhos anteriores do orientador e 04 foram obtidas no presente estudo.

5.4.1. Preparação das amostras de riolito

Complementarmente às análises químicas já obtidas pelo orientador, foram realizadas análises de geoquímica de rocha total e de elementos traços por fluorescência de raio X (FRX) para três amostras de riolito (GX-640, GX-642 e GX-645), visto que as rochas deste tipo ainda não haviam sido analisadas quimicamente na área de estudo. Foi realizada a preparação e a análise também de uma duplicata da amostra GX-645, para fins de controle de qualidade, totalizando então quatro análises. A preparação das amostras foi feita no Laboratório de Tratamento de Amostras (LTA), no Instituto de Geociências – USP, e se iniciou a partir do corte destas, a fim de reduzi-las a fragmentos de até aproximadamente 10x4 cm e retirar as partes que se apresentassem visivelmente alteradas, buscando obter pedaços frescos. Os fragmentos obtidos foram então colocados em prensa hidráulica, reduzindo-os a grânulos menores que 2 mm. Posteriormente, cada amostra foi moída no moinho de anéis de ágata, reduzindo sua granulometria para fração argila.

O pó obtido foi dividido para a confecção de pastilhas prensadas, a serem utilizadas na análise de elementos traços, e de pastilhas fundidas, para análise de elementos maiores e menores. O pó a ser transformado em pastilhas prensadas foi colocado em recipientes com cadinhos de ágata cilíndricos e, após a adição de álcool, foi micronizado por 25 minutos no LTA. Em seguida, as amostras foram movidas para secagem em uma estufa, onde

permaneceram por dois dias. Posteriormente, foram resfriadas em dessecador por dez minutos, e então foram misturadas com cera (ligante), finalizando as pastilhas prensadas.

A outra porção do pó de cada amostra foi levada ao Laboratório de Fluorescência de Raios X – FRX do Núcleo de Apoio à Pesquisa (NAP) GeoAnalítica – USP, também no Instituto de Geociências, para confecção das pastilhas fundidas. As amostras foram misturadas com fundente (mistura de tetra e metaborato de lítio), sendo 9 g de fundente para 1 g de amostra, pesados em balança com precisão de 0,0001. A mistura foi fundida a uma temperatura de aproximadamente 1000°C (Fig. 5.1 A). Após o resfriamento e solidificação das pastilhas, estas foram levadas ao espectrômetro de fluorescência de raios X para a determinação de elementos maiores e menores (Fig. 5.1 B). As análises de Perda ao Fogo a 1000° C (LOI) foram realizadas pelos profissionais do laboratório.

Ressalta-se que, durante todo o processo, houve a higienização e o cuidado para que não ocorresse contaminação entre as amostras, garantindo a confiabilidade dos resultados. Os procedimentos de confecção dos dois tipos de pastilha se encontram descritos em Mori et al. (1999).



Fig. 5.1. A: espectrômetro de fluorescência de raios X – PANalytical modelo AXIOS MAX Advanced, patrimônio da USP; B: máquina de fusão elétrica Claisse – TheOX, patrimônio da USP. Fonte: acervo pessoal.

6. RESULTADOS

6.1. Compilação de dados geológicos

Foram utilizados dados geológicos de campos realizados pelo orientador na área de estudo, entre os anos de 2017 e 2019, os quais serviram como base para construção do mapa, das seções geológicas e das colunas estratigráficas. O mapa com os pontos utilizados e a tabela com as coordenadas geográficas destes se encontram no Anexo B. Seria realizada uma atividade de campo complementar para descrição de maior quantidade de pontos de controle e detalhamento de estruturas das rochas da área, entretanto, não foi possível executar esta etapa devido à pandemia decorrente da COVID-19.

Os principais litotipos observados nessas atividades de campo são descritos brevemente a seguir e exemplificados nas fotografias da Fig. 6.1.

A unidade mais basal das sequências vulcânicas observadas na região, encontrada nas drenagens e em suas proximidades, corresponde a basaltos de coloração cinza médio a escuro, com índice de cor M' de 50 a 55%, matriz afanítica, granulação fina e estrutura maciça. Podem apresentar vesículas e amígdalas, como as observadas na Fig. 6.1. Sobre esses basaltos, ocorre uma sequência de dacitos de coloração cinza escuro a marrom, de forma que as rochas mais vítreas (obsidiana) apresentam coloração preta, enquanto os dacitos possuem coloração mais clara, entre cinza claro e marrom. Também apresentam alterações superficiais em branco e vermelho, assim como vesículas e amígdalas. São maciços e com matriz afanítica a subfanerítica. Sobre os dacitos, encontra-se outra sequência de rochas basálticas, de coloração cinza claro a escuro e cinza esverdeado, estrutura maciça e matriz afanítica. Os riolitos, que recobrem os basaltos pós-dacitos, possuem geometria tabular, apresentam coloração bege, são afaníticos a subfaneríticos e possuem vesículas e amígdalas.

As diferentes litologias da área serão tratadas, ao longo deste estudo, com as nomenclaturas estabelecidas em campo. Dessa forma, serão utilizados os termos basaltos pré-dacitos para a unidade de rochas básicas na base da pilha vulcânica, e então dacitos, basaltos pós-dacitos e, por fim, riolitos.

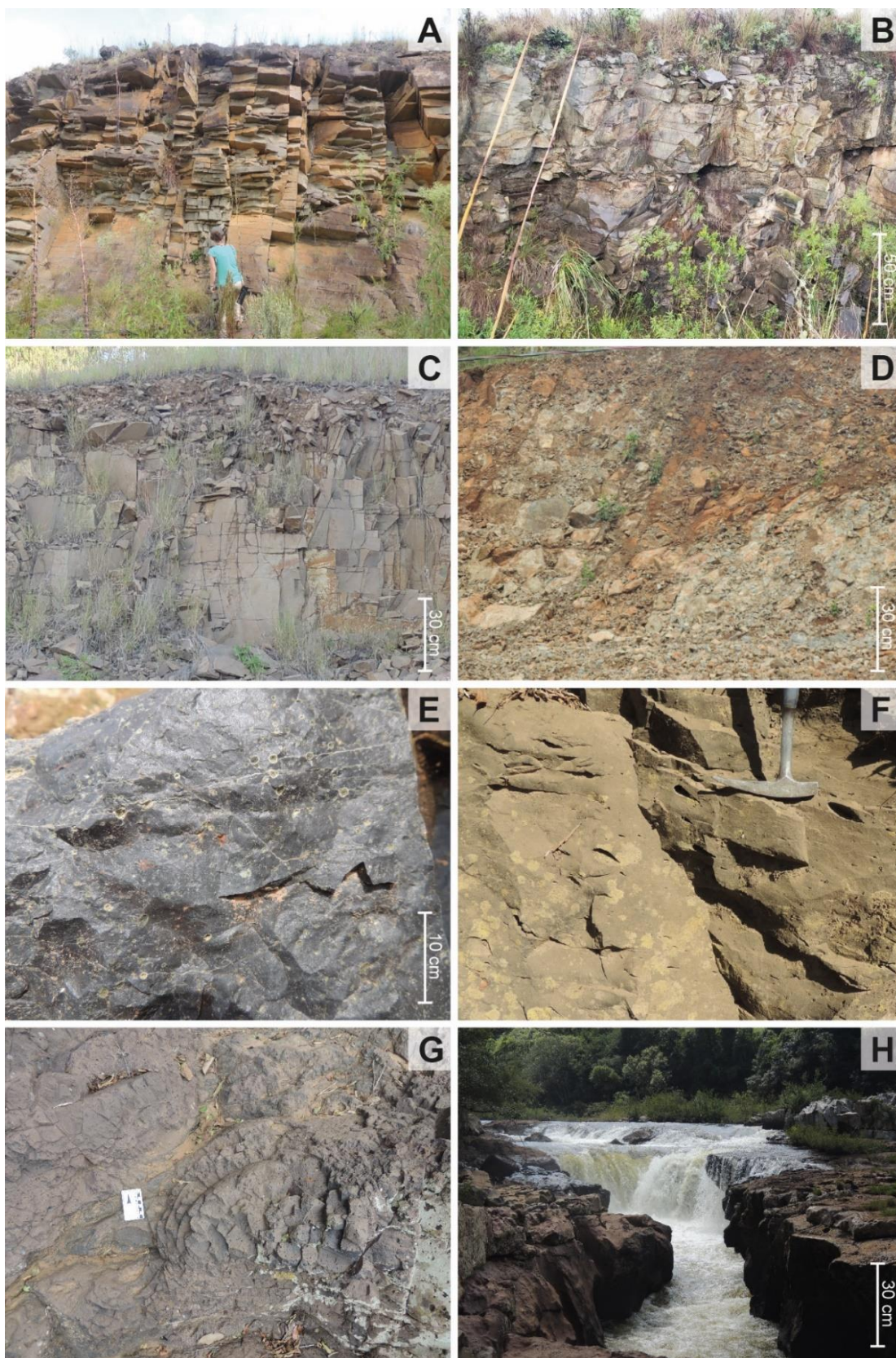


Fig. 6.1. Foto A: Afloramento de riolito tabular com fraturas verticais no ponto GX-493, entre Itapuca e Soledade (a oeste da área de estudo e se assemelham com os riolitos observados na área); foto B: afloramento de riolito com disjunções horizontais no ponto GX-646, em Itapuca; foto C: basalto pós-dacito no ponto GX-524, em União da Serra; foto D: afloramento basalto pós-dacito no ponto GX-489, em Anta Gorda; foto E: dacito (obsidiana) no ponto GX-488, em Anta Gorda; foto F: afloramento de dacito no ponto GX-521, em União da Serra; fotos G e H: basalto vesicular (basalto pré-dacito) no ponto GX-519, Córrego do Pulador, divisa de Itapuca e União da Serra.

6.2. Petrografia

6.2.1. Caracterização petrográfica

As descrições petrográficas foram realizadas por meio de fichas descritivas individuais para as amostras, apresentadas no Anexo B. A caracterização das rochas analisadas, incluindo basaltos, dacitos e uma amostra de riolito, se encontra nos itens a seguir.

6.2.1.1. Basaltos pré-dacitos

As amostras de basaltos pré-dacitos, que constituem a base da pilha vulcânica observada na área de estudo, possuem textura afanítica a subfanerítica, inequigranular fina (0,01 a 0,6 mm na matriz) e com predomínio de cristais subidiomórficos. São compostas predominantemente por cristais, sendo holocristalinas a hipocristalinas, e possuem microvesículas com tamanhos entre 0,25 e 1,2 mm. A textura típica destas rochas basálticas é intergranular, com grãos de clinopiroxênio dispostos entre ripas de plagioclásio (Fig. 6.2 A e B). A mineralogia entre as amostras é semelhante, com matriz composta por plagioclásio, augita e óxidos de Fe-Ti, além de óxidos/hidróxidos de ferro e vidro intersticial geralmente alterado para argilominerais.

O plagioclásio representa entre 45 e 50% do volume amostras estudadas desta unidade, com tamanhos entre 0,03 e 0,6 mm. São subidiomórficos, ripiformes e geralmente com geminação polissintética pouco desenvolvida. Possuem teor de anortita estimado de 50 a 60%, sendo classificados como labradorita. Diversos cristais apresentam alteração para argilominerais nas bordas.

O clinopiroxênio (augita), mineral que também compõe a matriz dessas rochas (30-40%), possui tamanhos entre 0,01 e 0,2 mm nas amostras analisadas. São predominantemente subidiomórficos, com hábito granular a prismas curtos e coloração bege claro, ocorrendo entre ripas de plagioclásio. Pode ocorrer também incluso em cristais de plagioclásio. Como produtos de alteração do clinopiroxênio, ocorrem óxidos/hidróxidos de ferro em suas bordas, com coloração vermelha a laranja, caráter amorfo e distribuição heterogênea nas lâminas. Também compõem a matriz os óxidos de Fe-Ti com seções típicas de magnetita e ilmenita (5-20% da matriz), com tamanhos entre 0,01 e 0,4 mm. São subédricos a euédricos e de hábito granular.

Nesses basaltos, o vidro ocorre de forma intersticial entre os cristais (textura intersertal), compõe até 5% da matriz, é incolor a bege e se encontra principalmente alterado para argilominerais esverdeados (Fig. 6.2 C). As microvesículas possuem entre 0,25 mm e 1,1 mm, apresentam bordas irregulares e são preenchidas por quartzo criptocristalino e argilominerais esverdeados.

As lâminas delgadas GX497 e GX499 apresentaram algumas características divergentes dos demais basaltos pré-dacitos. A amostra GX497 possui aparente orientação por fluxo, de forma local, e presença de microfenocristais de plagioclásio (Fig. 6.2 D), enquanto a GX499 foi a única a apresentar possíveis cristais de biotita (aproximadamente 1% da amostra) com 0,3 a 0,8 mm e pleocroísmo marrom alaranjado ao amarelo.

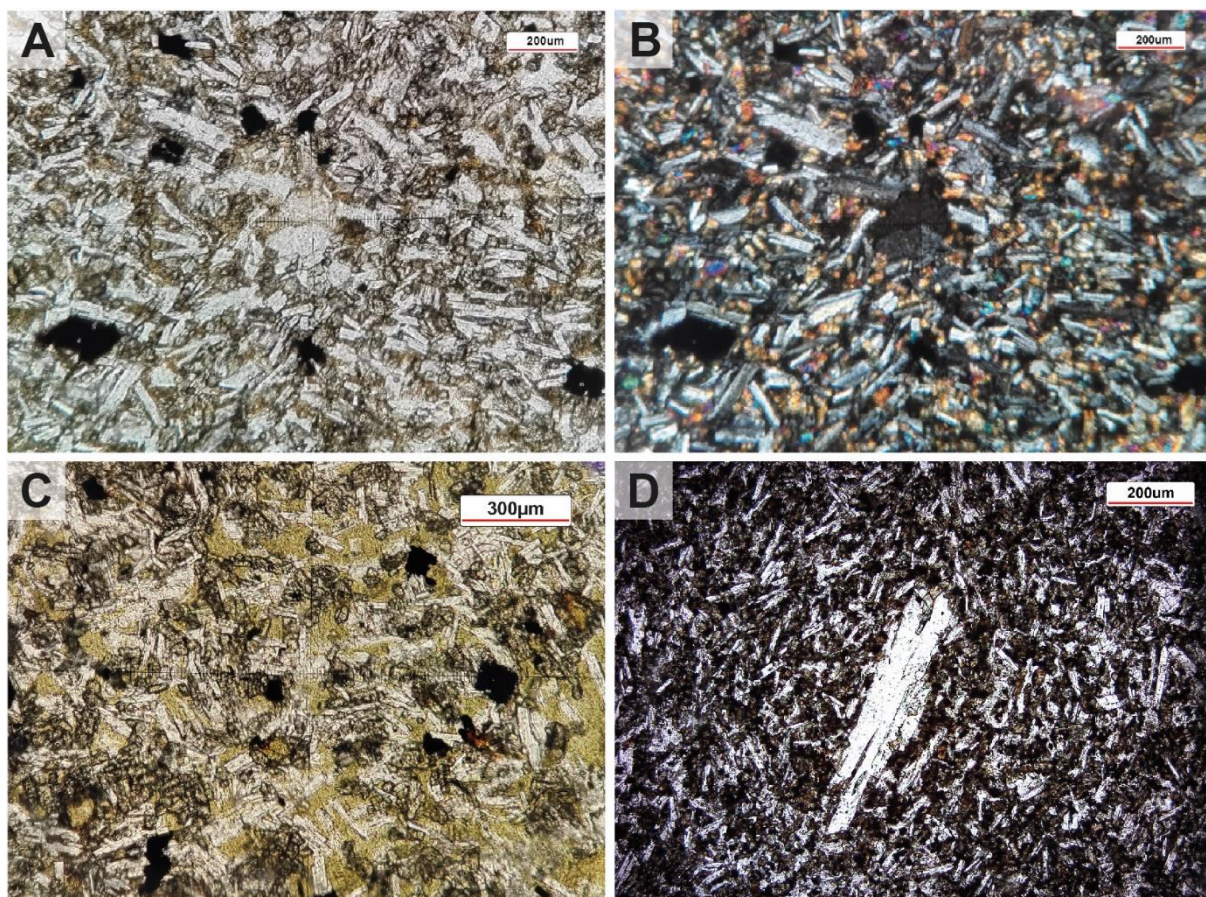


Fig. 6.2. Fotomicrografias de texturas e minerais observados nos basaltos pré-dacitos. Fotos A e B: amostra GX-499, com exemplo de textura intergranular típica dos basaltos analisados, com grãos de clinopiroxênio entre ripas de plagioclásio; objetiva de 10x, com polarizadores paralelos (A) e polarizadores cruzados (B). Foto C: fotomicrografia da amostra GX-530, exemplificando a presença de argilominerais verdes intersticiais, produtos de alteração do vidro, tirada com objetiva de 10x e polarizadores paralelos. Foto D: exemplo de fenocristal de plagioclásio em matriz composta por plagioclásio, clinopiroxênio e minerais opacos, amostra GX-497, tirada com objetiva de 10x e polarizadores paralelos.

6.2.1.2. Dacitos

Os dacitos observados na área de estudo possuem textura afanítica a fanerítica fina e são hipohialinos a hipocrystalinos. Apresentam matriz composta por vidro e cristais hipidiomórficos e inequigranulares finos de plagioclásio, clinopiroxênio e óxidos Fe-Ti, assim como ortopiroxênio na maioria das amostras. Nas rochas provenientes da região de Anta Gorda (GX-487 e GX-488), foram observados fenocristais de plagioclásio, clinopiroxênio e ortopiroxênio, com tamanhos entre 0,2 e 2 mm, podendo ocorrer isoladamente ou em

agrupamentos, configurando textura glomeroporfirítica (Fig. 6.3 A e B). A maioria das amostras possui microvesículas, com dimensões variando entre 0,3 e 2,7 mm e preenchidas por quartzo, calcedônia ou vidro alterado para argilominerais verdes, entretanto, são pouco abundantes e representam menos do que 1% do volume.

O plagioclásio ocupa de 15 a 38% em volume e possui hábito tabular a acicular, com dimensões entre 0,02 e 0,8 mm. Diversos cristais apresentam textura *quenching* devido ao rápido resfriamento (cristais ocos e com “cauda de andorinha”), observada na Fig. 6.3 D. De forma subordinada, alguns possuem geminação polissintética, entretanto, visto que as maclas ocorrem em poucos cristais e são pouco desenvolvidas, não foi possível estimar o teor de anortita apenas com a petrografia em microscópio de luz transmitida. O ortopiroxênio (2,5 – 5% do volume) possui tamanhos entre 0,1 e 0,8 mm, leve pleocroísmo verde-claro a bege e hábito prismático a acicular. O clinopiroxênio (0,5 – 12% do volume) apresenta hábito granular a prismático arredondado, coloração bege claro e dimensões de 0,02 a 0,45 mm. O quartzo e o feldspato alcalino ocorrem exclusivamente na matriz em intercrescimento, somando porcentagens entre 10 e 30%. Os óxidos de Fe-Ti possuem hábito granular e apresentam alteração para óxidos/hidróxidos de ferro alaranjados.

Foram identificadas três texturas principais para as matrizes dos dacitos: texturas vítrea, “sal e pimenta” e granofírica. Os dacitos com textura vítrea apresentam matriz afanítica, formada principalmente por vidro e material de devitrificação (60-70%) de coloração bege clara a marrom localmente, assim como micrólitos dispersos. No caso da amostra GX-535F, porções desvitrificadas foram observadas ao redor de cristais de plagioclásio, formando halos de coloração marrom. As microvesículas possuem bordas irregulares e com argilominerais verdes a amarelos.

A matriz dos dacitos com textura “sal e pimenta” possui entre 40 e 52% de porções desvitrificadas com coloração bege a marrom e micrólitos de quartzo, plagioclásio, feldspato alcalino, clinopiroxênio e ortopiroxênio, assim como óxidos Fe-Ti dispersos. Algumas amostras apresentam fenocristais de plagioclásio, clinopiroxênio e ortopiroxênio. Nota-se a presença de feições circulares, os esferulitos, na matriz desvitrificada (Fig. 6.3 C). O dacito com textura granofírica predominante (Fig. 6.3 E e F) apresenta aproximadamente 20% de vidro de coloração bege, sendo hipocristalino, e não possui fenocristais. É formado por cristais entre 0,05 e 0,5 mm de plagioclásio, clinopiroxênio, ortopiroxênio, óxidos Fe-Ti, quartzo e feldspato alcalino.

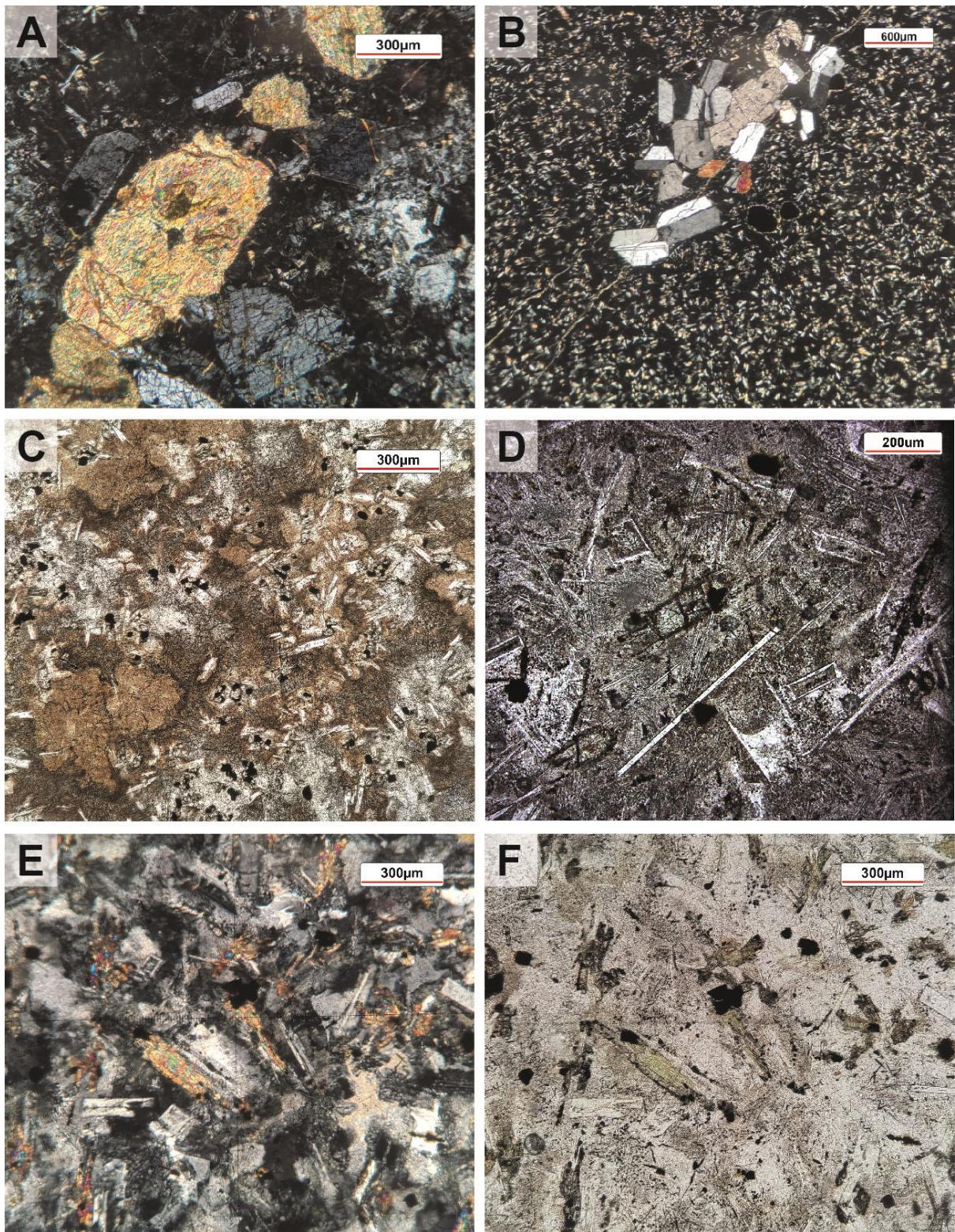


Fig. 6.3. Fotomicrografias de texturas e minerais observados nas amostras de dacito. Foto A: exemplo de textura glomeroporfirítica nos dacitos, com fenocristais de plagioclásio e ortopiroxênio, na amostra GX-488, com objetiva de 10x e nicóis cruzados. Foto B: textura glomeroporfirítica com fenocristais de plagioclásio e ortopiroxênio em meio à matriz composta por vidro e cristais de plagioclásio, clinopiroxênio, ortopiroxênio e minerais opacos; amostra GX-488, com objetiva de 4x e nicóis cruzados. Foto C: exemplo de textura “sal e pimenta” nos dacitos, com porções marrons desvitrificadas e presença de esferulitos; amostra GX-500, objetiva de 10x e nicóis descruzados. Foto D: exemplo de cristais de plagioclásio com textura quenching ou “cauda de andorinha” e cristais ocós; amostra GX-516, com objetiva de 10x e nicóis descruzados. Fotos E e F: dacito granofírico, com

cristais de plagioclásio, quartzo, ortopiroxênio, clinopiroxênio, minerais opacos e vidro; amostra GX-501, com objetiva de 10x, nicóis cruzados (E) e descruzados (F).

6.2.1.3. Basaltos pós-dacitos

Os basaltos posicionados estratigraficamente acima dos dacitos são petrograficamente semelhantes aos basaltos pré-dacitos. São rochas subfaneríticas a afaníticas, inequigranulares finas com cristais hipidiomórficos, textura intergranular predominante e apresentam microvesículas. A matriz é composta por cristais de plagioclásio, clinopiroxênio e óxidos Fe-Ti, assim como vidro com porcentagens de até 12%, sendo principalmente hipocristalinas.

O plagioclásio compõe de 38 a 55% das amostras estudadas, com tamanhos variando entre <0,1 e 0,5 mm para os cristais na matriz e com fenocristais (GX486 e GX489) de 0,75 a 1,40 mm (Fig. 6.4 A e B). São subédricos, ripiformes, com teor de anortita entre 50 e 70%, e podem apresentar geminação polissintética. Ocorrem, em geral, em textura intergranular com clinopiroxênios. Os fenocristais ocorrem isolados ou aglomerados (textura glomeroporfirítica) e alguns apresentam zoneamento. É recorrente a alteração para argilominerais, especialmente nas bordas dos cristais.

O clinopiroxênio possui dimensões entre 0,02 e 0,4 mm e compõe entre 30 e 53% da matriz. Possui hábito granular a prismático arredondado e coloração bege. Ocorre em textura intergranular, com grãos entre ripas de plagioclásio, podendo ocorrer também incluso neste. Os óxidos de Fe-Ti (5 – 25%) ocorrem em hábito granular, alguns com seção típica de magnetita ou ilmenita (GX515, GX517 e GX543). São hipidiomórficos a xenomórficos e podem apresentar inclusões de clinopiroxênio e plagioclásio, assim como bordas alteradas para óxidos/hidróxidos de ferro de coloração laranja.

O vidro intersticial preenche de 2 a 12% das amostras, configurando textura intersertal, com coloração marrom a incolor (Fig. 6.4 C), e podem ocorrer alterados para argilominerais amarelos a verdes. As vesículas apresentam entre 0,1 mm e 2,0 mm nesses basaltos, sendo preenchidas principalmente por quartzo e calcedônia (Fig. 6.4 D).

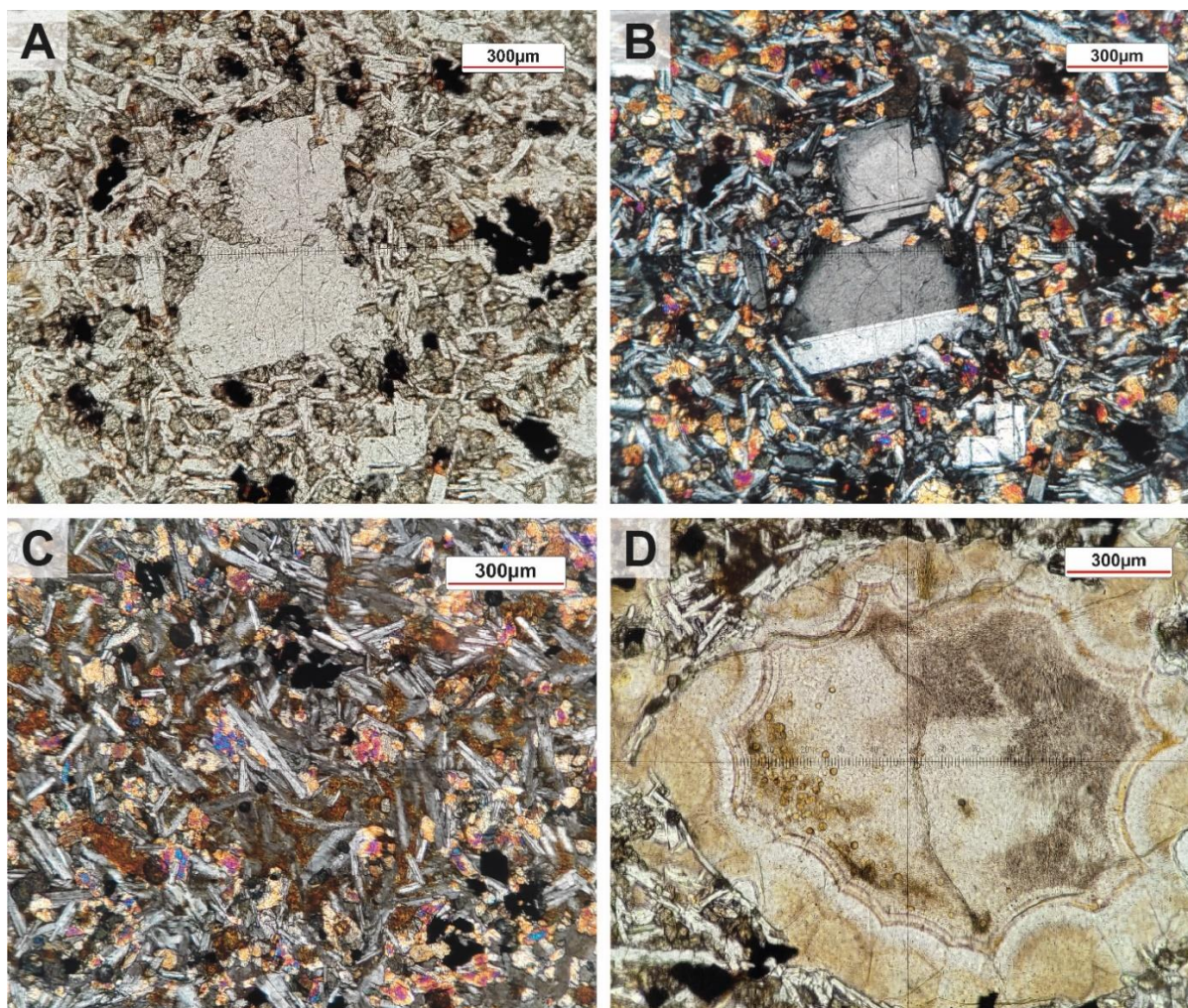


Fig. 6.4. Fotomicrografias de texturas e minerais observados nas amostras de basalto pós-dacito. Fotos A e B: exemplo de microfenocristais de plagioclásio e textura intergranular na matriz, com grãos de clinopiroxênio entre ripas de plagioclásio, na amostra GX-486, com objetiva de 10x e nicóis descruzados (A) e cruzados (B). Foto C: exemplo de amostra com vidro intersticial, de coloração marrom, preenchendo espaços entre grãos de plagioclásio e clinopiroxênio na amostra GX502, com lente de aumento de 10x e nicóis descruzados. Foto D: amígdala observada na amostra GX-543, preenchida por calcedônia e quartzo microcristalino, com objetiva de 10x e nicóis descruzados.

6.2.1.4. Riolitos

Embora a seção delgada de riolito descrita (GX-493) se encontre a oeste dos limites estabelecidos para a área de estudo, a amostra está inserida no mesmo contexto dos demais riolitos da área. A amostra analisada corresponde a uma rocha vítrea, com aproximadamente 75% da matriz formada por vidro (hipohialina) de coloração bege e pequenas porções desvitrificadas de coloração castanha, apresentando diversas fraturas perlíticas.

Os principais minerais presentes são plagioclásio (15%), clinopiroxênio (5%) e óxidos de Fe-Ti (3%), os quais ocorrem como micrólitos dispersos na matriz e como microfenocristais subidiomórficos (Fig. 6.5 A). Os fenocristais de plagioclásio são tabulares a granulares, localmente aglomerados em textura glomeroporfírica e podendo apresentar

fraturas preenchidas por óxidos/hidróxidos; na matriz, este mineral possui hábito ripiforme ou acicular. Os cristais de clinopiroxênio possuem coloração bege e hábito acicular a prismático. Os óxidos de Fe-Ti são granulares, ocorrem localmente associados com clinopiroxênio e são observados também em forma criptocristalina na matriz. A amostra apresenta vesículas de até 4 mm preenchidas por zeólita, calcedônia e carbonato (Fig. 6.5 B).

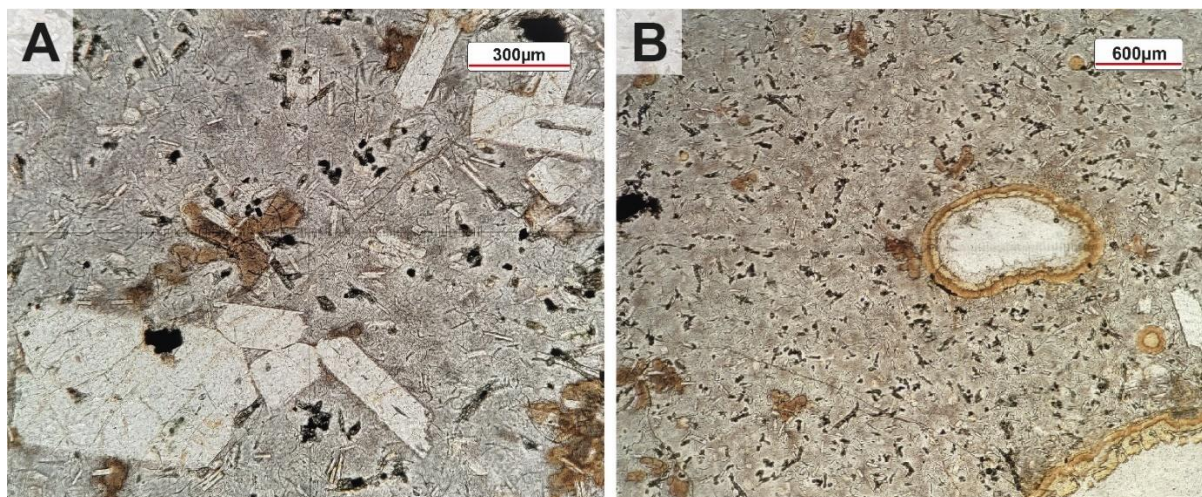


Fig. 6.5. Fotomicrografias de texturas e minerais observados na amostra de riolito (GX-493). Foto A: textura porfírica com fenocristais tabulares de plagioclásio em meio à matriz predominantemente vítrea, com objetiva de 10x e nicóis descruzados. Foto B: vesículas preenchidas por carbonato e calcedônia, objetiva de 4x e nicóis descruzados.

6.2.2. Microscopia eletrônica de varredura

Três amostras foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), sendo uma de basalto (pós-dacito; GX489), uma de dacito (GX488) e outra de riolito (GX493), todas contendo fenocristais. Na amostra de basalto, observa-se aglomerados de fenocristais de plagioclásio subédricos (Fig. 6.6 A e B), configurando textura glomeroporfírica, em meio à matriz de clinopiroxênio e plagioclásio. Notam-se inclusões de possível clinopiroxênio nos fenocristais de plagioclásio, assim como inclusões de óxidos de Fe-Ti (Fig. 6.6 B). Esses óxidos correspondem a magnetitas que podem apresentar lamelas de ilmenita, devido a processos de exsolução; são subédricos a anédricos e possuem inclusões de plagioclásio. Nas amostras de dacito (GX488; Fig. 6.6 C e D) e riolito (GX493; Fig. 6.6 E e F), foi observada textura glomeroporfírica, com fenocristais de plagioclásio subédrico, clinopiroxênio e ortopiroxênio subédrico a anédrico, e óxido de Fe-Ti subédrico a anédrico, em matriz vítrea com micrólitos destes minerais. Podem ser observadas bordas de clinopiroxênio em volta de cristais de óxidos Fe-Ti. Nota-se também a maior proporção de vidro no riolito em comparação com o dacito.

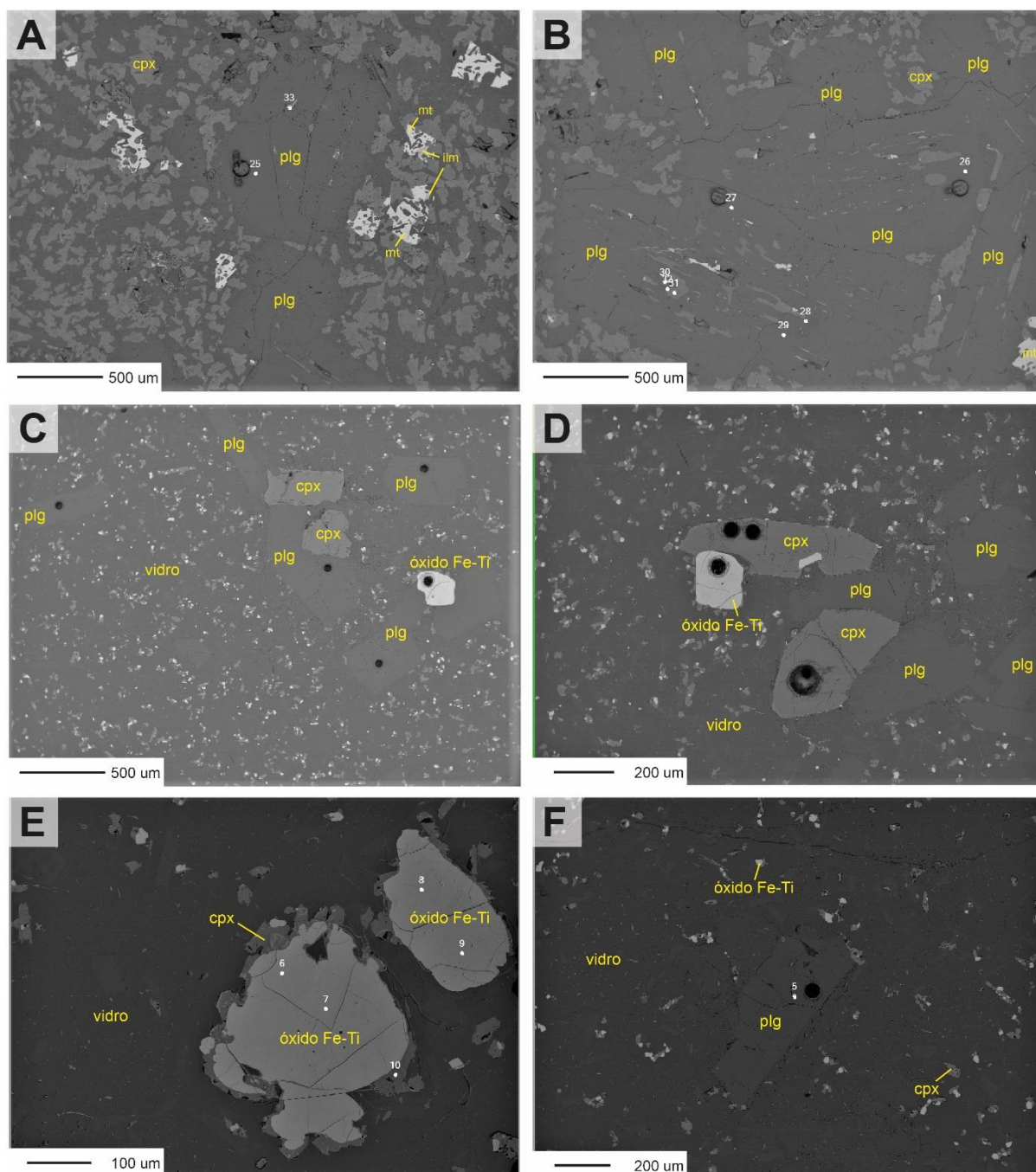


Fig. 6.6. A e B: fenocristais de plagioclásio em matriz de clinopiroxênio, plagioclásio e óxidos de Fe-Ti na amostra de basalto pós-dacito GX489; C e D: textura glomeroporfirítica em amostra de dacito, com fenocristais de plagioclásio, clinopiroxênio e óxidos Fe-Ti em matriz predominantemente vítrea, amostra GX-488; E: cristais de óxido de Fe-Ti bordado clinopiroxênio em matriz vítrea de amostra de riolito (GX-493); F: fenocristal de plagioclásio em matriz vítrea de amostra de riolito (GX-493). Em algumas amostras, aparecem feições circulares dentro de fenocristais, que correspondem a furos feitos para análises por LA-ICPMS (*laser-ablation ICPMS*).

6.3. Caracterização geoquímica

6.3.1. Classificação e afinidade geoquímica

As análises químicas de rocha total por Fluorescência de Raios X (FRX) foram realizadas em trabalhos prévios do orientador para os dacitos e basaltos da área, enquanto

as análises dos riolitos foram realizadas no presente estudo, sendo todos os dados inéditos e apresentados integralmente no Anexo C. A fim de classificar tais rochas, foi utilizado o diagrama de TAS (Total Alkali vs. Sílica) segundo Le Bas et al. (1986), em que foram plotados os teores referentes à soma das porcentagens de óxidos de sódio e potássio em função da variação de porcentagem de sílica (Fig. 6.7). Pode-se observar a presença de dois conjuntos principais dos basaltos pós-dacitos (49,9–55,2% em peso de SiO_2): um conjunto menor classificado como basalto, com menor porcentagem de sílica e de álcalis, e as rochas classificadas como andesitos basálticos, com maior porcentagem desses elementos. Os basaltos pré-dacitos, com SiO_2 entre 51,7 e 60,3%, foram denominados andesitos basálticos em sua maioria, estando apenas uma amostra no campo dos basaltos (GX535A) e outra no campo dos andesitos (GX531). Os dacitos (67,9–70,3% em peso de SiO_2) descritos em atividades de campo prévias foram classificados principalmente como dacitos, com duas amostras no campo dos riolitos, enquanto os riolitos (71,8–72,9% em peso de SiO_2) se encontram todos no campo de mesmo nome.

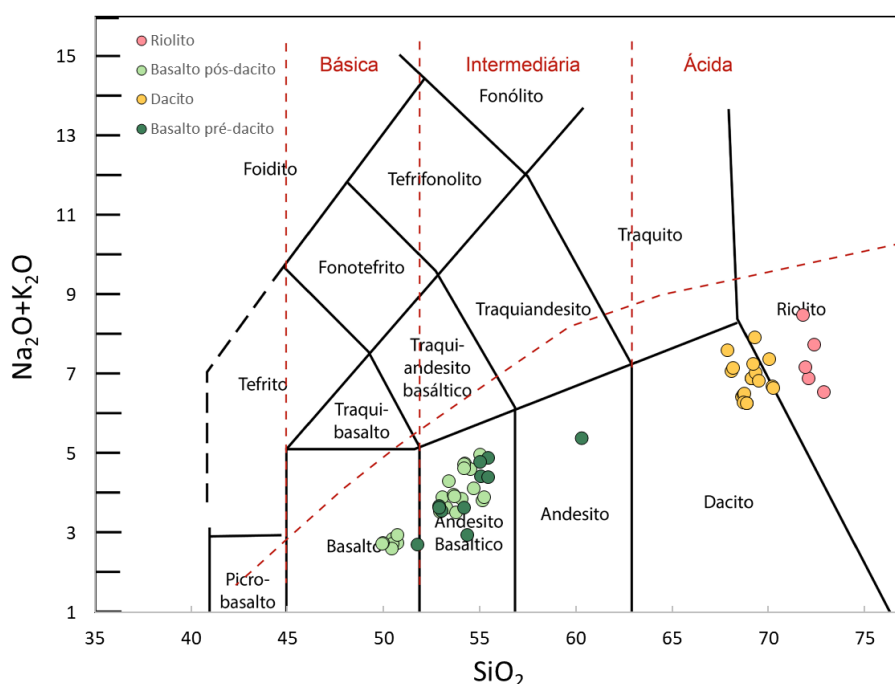


Fig. 6.7. Diagrama TAS (Total Alkali vs. Sílica) para classificação geoquímica das rochas vulcânicas da área em estudo (Le Bas et al., 1986).

A partir da classificação pelo diagrama R1R2 de De la Roche et al. (1980), na Fig. 6.8, as rochas do domínio dos basaltos pré-dacitos estão inseridas no campo do andesito basáltico, e, subordinadamente, possuem composição andesítica, além de apenas uma amostra (GX531) no campo do dacito. Os basaltos pós-dacitos possuem composições variadas, ocorrendo nos campos do toleito, andesito basáltico, latíandesito e andesito. Os dacitos correspondem principalmente a riolitos, com apenas uma amostra classificada

como riolito, mas próxima ao limite entre os campos. As análises dos riolitos se encontram no campo de nome correspondente.

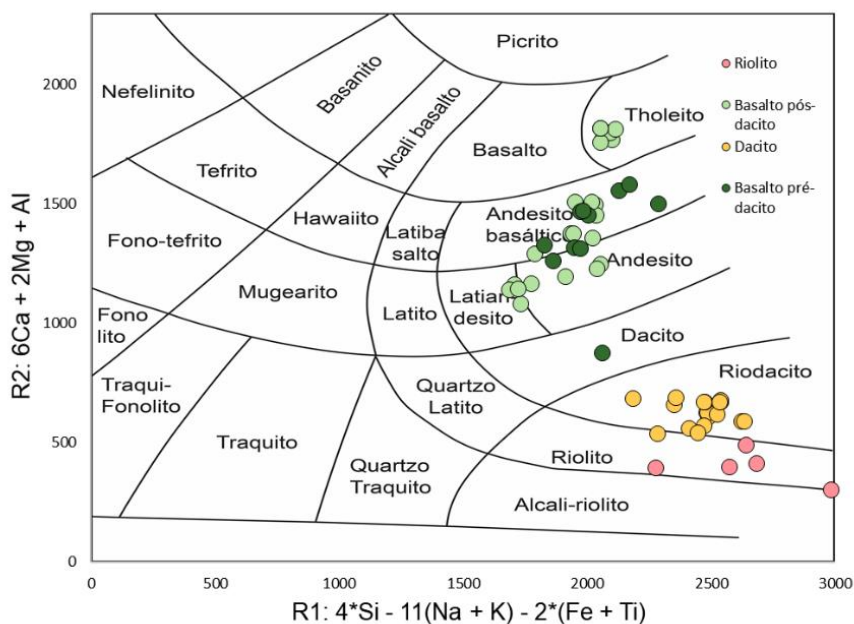


Fig. 6.8. Diagrama R1R2 de De la Roche et al. (1980), com plotagem dos resultados das amostras analisadas.

No diagrama ternário AFM (Irvine e Baragar, 1971), apresentado na Fig. 6.9, é possível observar a afinidade toleítica dos basaltos em estudo, tanto anteriores como posteriores aos dacitos. Os dacitos e os riolitos também se situam no campo toleítico, embora possuam tendência próxima ao campo cálcio-alcálico, com maior presença de álcalis e menor teor de ferro e MgO. Em relação à saturação em alumina, o diagrama A/NK vs A/CNK, como elaborado por Shand (1943) e com campos definidos por Maniar e Piccoli (1989), demonstra o caráter metaluminoso das rochas vulcânicas analisadas, com exceção de duas análises de riolito que se enquadram no campo de rochas peraluminosas (GX-640 e GX-642).

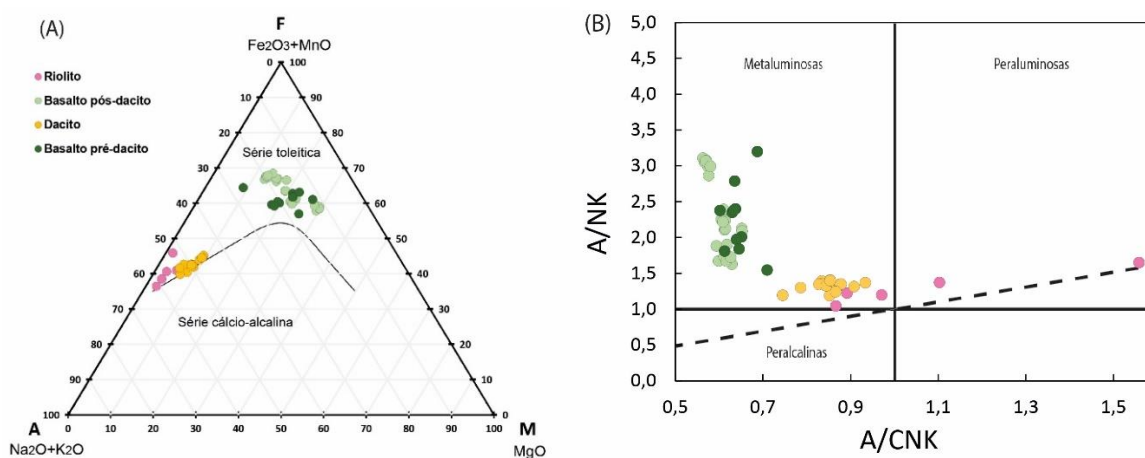


Fig. 6.9. A: Diagrama AFM de Irvine e Baragar (1971), utilizando porcentagens em peso das amostras da área; B: Diagrama A/NK vs A/CNK de Shand (1943) e com campos definidos por Maniar e Piccoli (1989), com plotagem das amostras da área.

O diagrama comparando os teores de SiO_2 e K_2O na Fig. 6.10, segundo Middlemost (1975), classifica as rochas em alcalinas, subalcalinas e subalcalinas de baixo K. As amostras de basalto da área de estudo podem ser classificadas majoritariamente como subalcalinas, com apenas três destas no campo das rochas alcalinas, embora próximas do limite estabelecido.

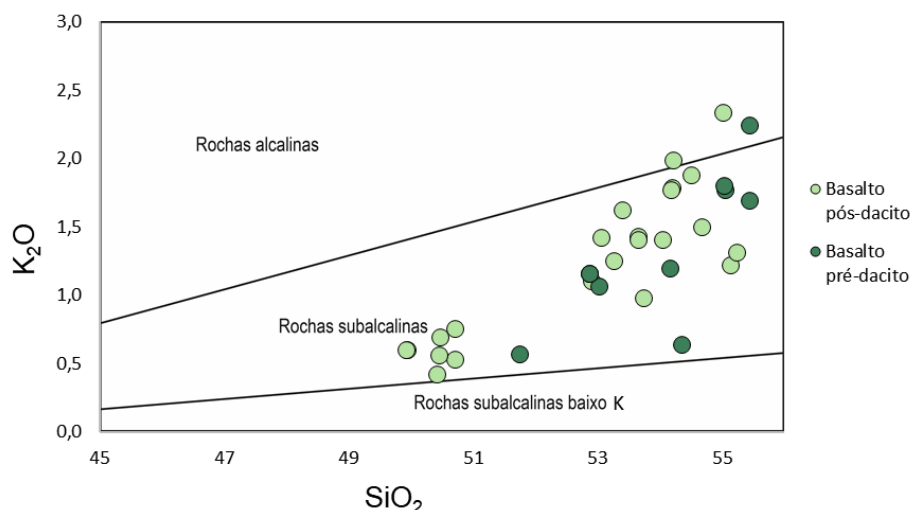


Fig. 6.10. Diagrama com a porcentagem em peso de SiO_2 e K_2O das amostras da área, a partir de Middlemost (1975).

Ressalta-se que as amostras de basaltos pós-dacitos que apresentam teores mais baixos de SiO_2 e, em geral, composição menos evoluída, correspondem às rochas encontradas nas menores cotas topográficas dessa unidade, configurando a base dos derrames posteriores aos dacitos.

6.3.2. Diagramas de variação química

Foram elaborados diagramas de variação para as amostras analisadas, comparando os teores de óxidos e elementos traços com SiO_2 e de MgO (% em peso), sendo estes utilizados como índices de diferenciação.

A partir dos diagramas de variação do tipo Hacker (Fig. 6.11) para elementos maiores e menores, utilizando SiO_2 (% em peso) como índice de diferenciação, é possível observar uma tendência linear entre os tipos de rochas estudadas, com correlação negativa para TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO , MgO e CaO , e correlação positiva para K_2O . Esta tendência reflete o caráter mais evoluído dos riolitos, apresentando maior porcentagem em peso de SiO_2 e de K_2O , e mais primitivo dos basaltos e andesitos basálticos. Para os álcalis K_2O e Na_2O , a dispersão de teores nas rochas ácidas pode estar associada à mobilidade em processos de desvitrificação (Andrade et al., 2018), os quais foram observados nas amostras de dacito e riolito caracterizadas petrograficamente. Em relação ao P_2O_5 , nota-se uma correlação

positiva entre P_2O_5 e SiO_2 para os basaltos pós-dacitos, assim como um enriquecimento em Fe_2O_3 dessas rochas, com teores mais altos em comparação com os pré-dacitos.

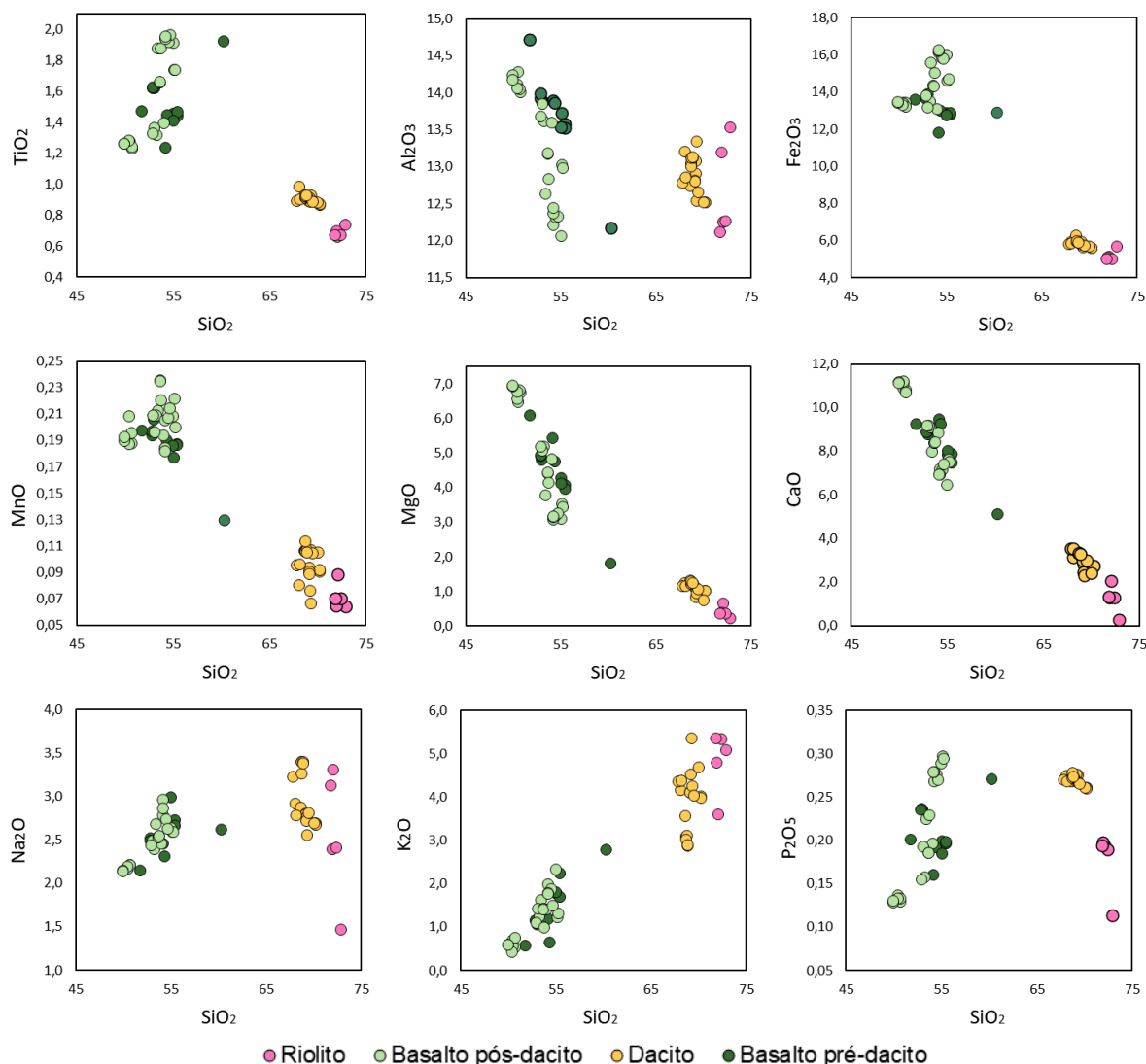


Fig. 6.11. Diagramas de variação tipo Hacker para as amostras da área de estudo, para elementos maiores e menores (% em peso) e utilizando SiO_2 (% em peso) como índice de diferenciação.

Quanto aos elementos traços (Fig. 6.12), observam-se *trends* de correlação positiva para os elementos incompatíveis Zr, Ba, Rb, enquanto há correlação negativa para os elementos compatíveis como Sr, V e Cu, características condizentes com o caráter mais evoluído dos riólitos e dos dacitos em comparação com os basaltos. Para os elementos Th, Y e Pb, os teores são semelhantes entre basaltos e dacitos, de forma que estes não se enquadram no *trend* de correlação positiva que ocorre entre as outras rochas. Como sugere Polo (2014), essa diferença pode indicar uma evolução independente dos dacitos em relação aos demais magmas-tipo. Em relação aos basaltos, nota-se a diferença de teores de Sr entre as duas unidades estudadas, de forma que os basaltos pós-dacitos apresentam teores inferiores (148-199 ppm) aos dos basaltos pré-dacitos (194-241 ppm).

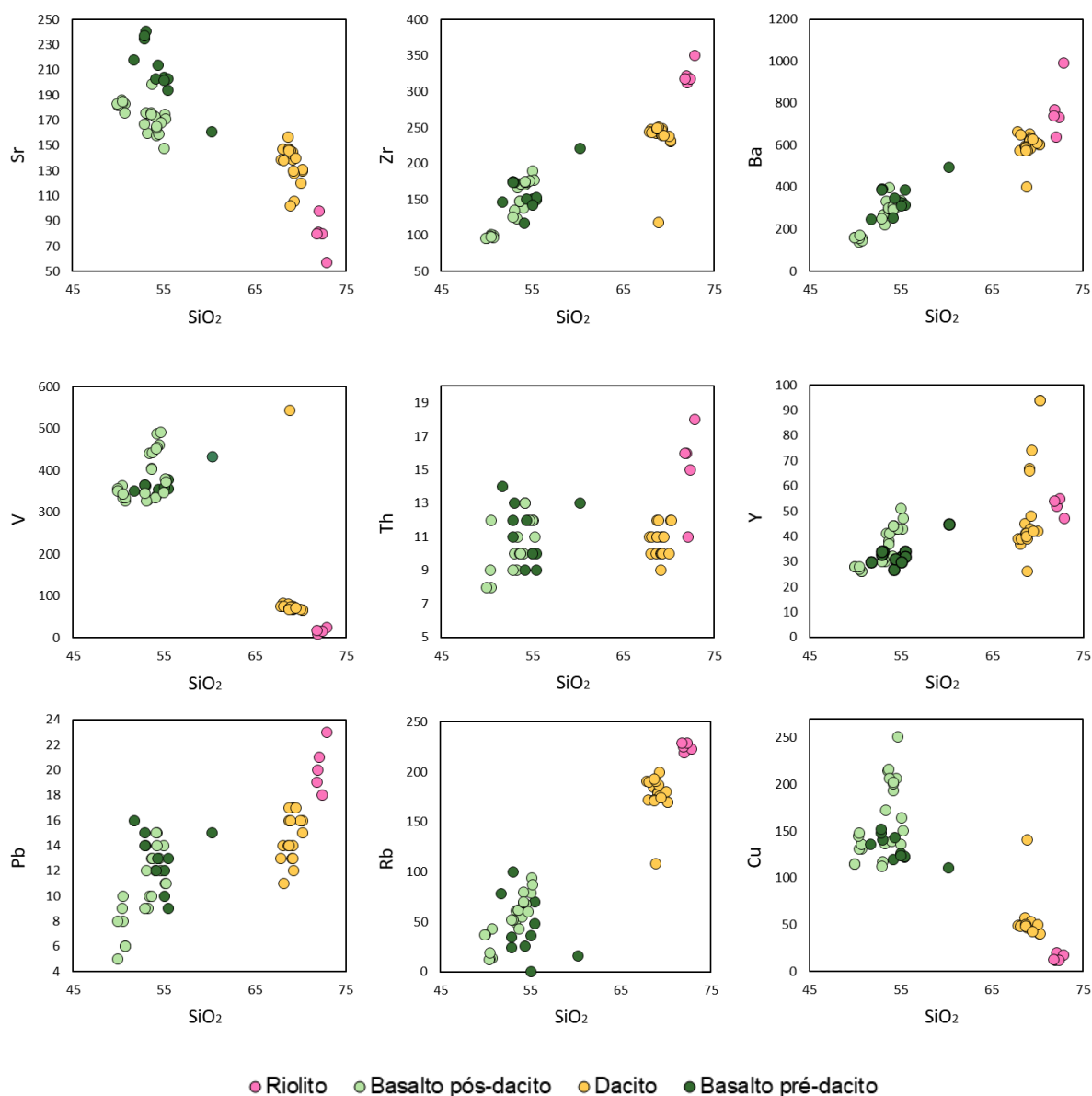


Fig. 6.12. Diagramas de variação tipo Hacker selecionados para as amostras da área de estudo, para elementos traço (em ppm) e utilizando SiO₂ (% em peso) como índice de diferenciação.

A fim de ressaltar possíveis diferenças entre as rochas basálticas analisadas, assim como observar o comportamento destas em relação às rochas ácidas, foram elaborados diagramas de variação utilizando o MgO (% em peso) como índice de diferenciação (Fig. 6.13). Nota-se um *trend* linear de correlação negativa para K₂O e Ba, e de correlação positiva para CaO e Ni. Ressalta-se o caráter menos aluminoso dos basaltos pós-dacitos, indicando um possível fracionamento anterior de plagioclásio, o qual também pode ser responsável pelas diferenças de teores de Sr, que é compatível com esse mineral. Estes apresentam também tendência de diminuição de P₂O₅, TiO₂ e Fe₂O₃ para maiores porcentagens de MgO. Observam-se também maiores teores de Y para os basaltos pós-dacitos em comparação com os basaltos pré-dacitos.

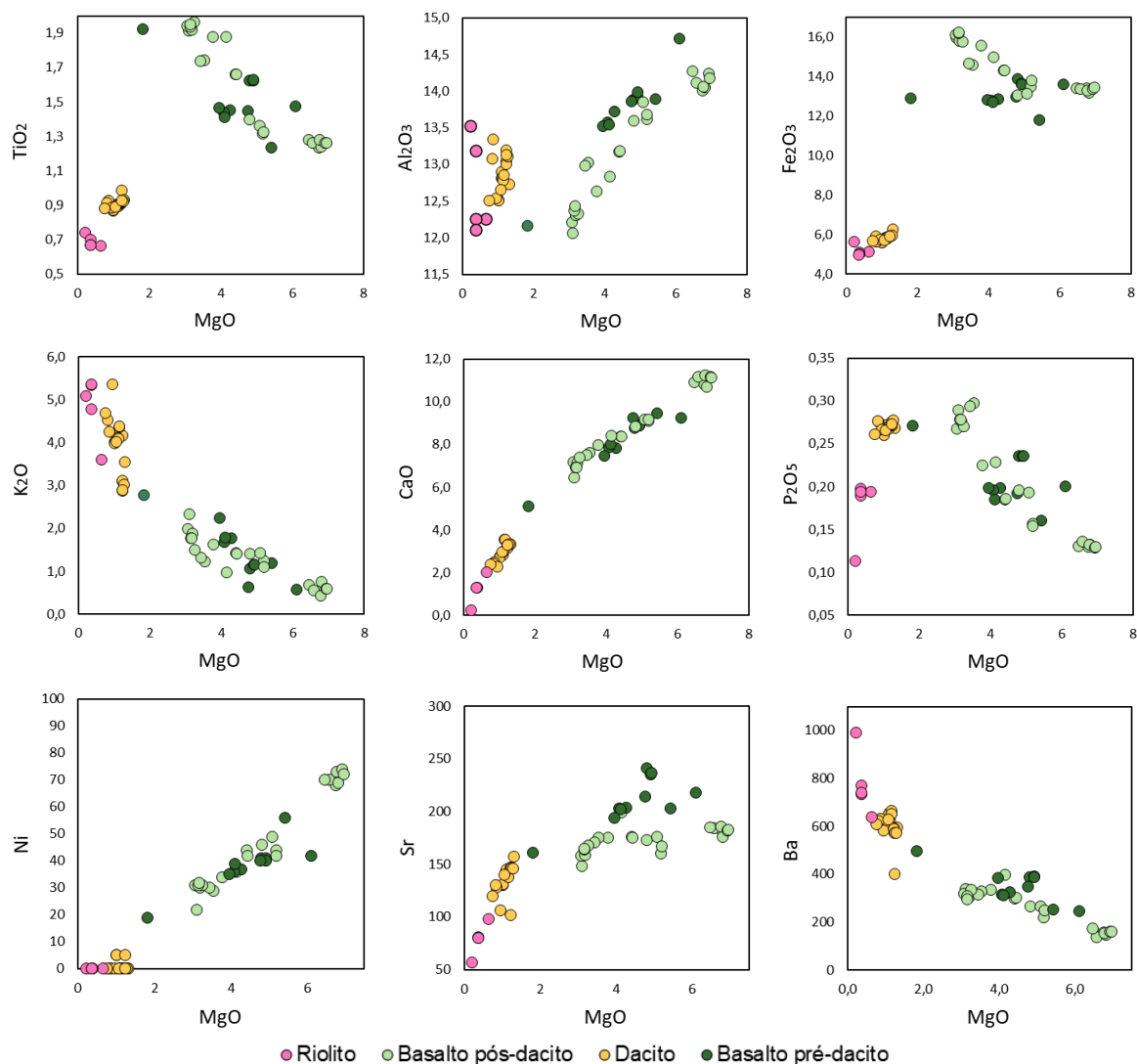


Fig. 6.13. Diagramas de variação selecionados para as amostras da área de estudo, para óxidos (% em peso) elementos traço (em ppm), utilizando MgO (% em peso) como índice de diferenciação.

7. DISCUSSÕES

7.1. Comparação geoquímica com unidades da literatura

Os resultados das análises das rochas basálticas e andesito basálticas foram plotados em diagramas com as classificações de magmas-tipo de Peate et al (1992), a fim de correlacioná-las com os magma-tipo já estabelecidos para a PMP (Fig. 7.1). Estas amostras podem ser classificadas como de baixo-Ti, com valores de Ti/Y inferiores a 330. As análises que correspondem aos basaltos pré-dacitos ocorrem no campo do magma-tipo Gramado, com Ti/Zr entre 55,6 e 63,2, enquanto os basaltos pós-dacitos podem ser classificados como do tipo Esmeralda, com valores mais altos de Ti/Zr (entre 58,6 e 78,8). Entretanto, no diagrama de variação para TiO_2 (% em peso), utilizando MgO (% em peso) como índice de diferenciação, as amostras de basaltos pós-dacitos se encontram principalmente no campo do magma-tipo Gramado, devido ao menor teor de TiO_2 dessas

rochas em comparação com o tipo Esmeralda. Também foram comparadas as relações entre razões de Zr/Y e Ti/Zr, assim como Sr e Ti/Y, as quais, segundo Peate et al. (1992), apresentam distinções para esses dois magmas-tipo. Segundo esses diagramas, os basaltos pré-dacitos se enquadram dos campos do tipo Gramado; os basaltos pós-dacitos, no campo do tipo Esmeralda.

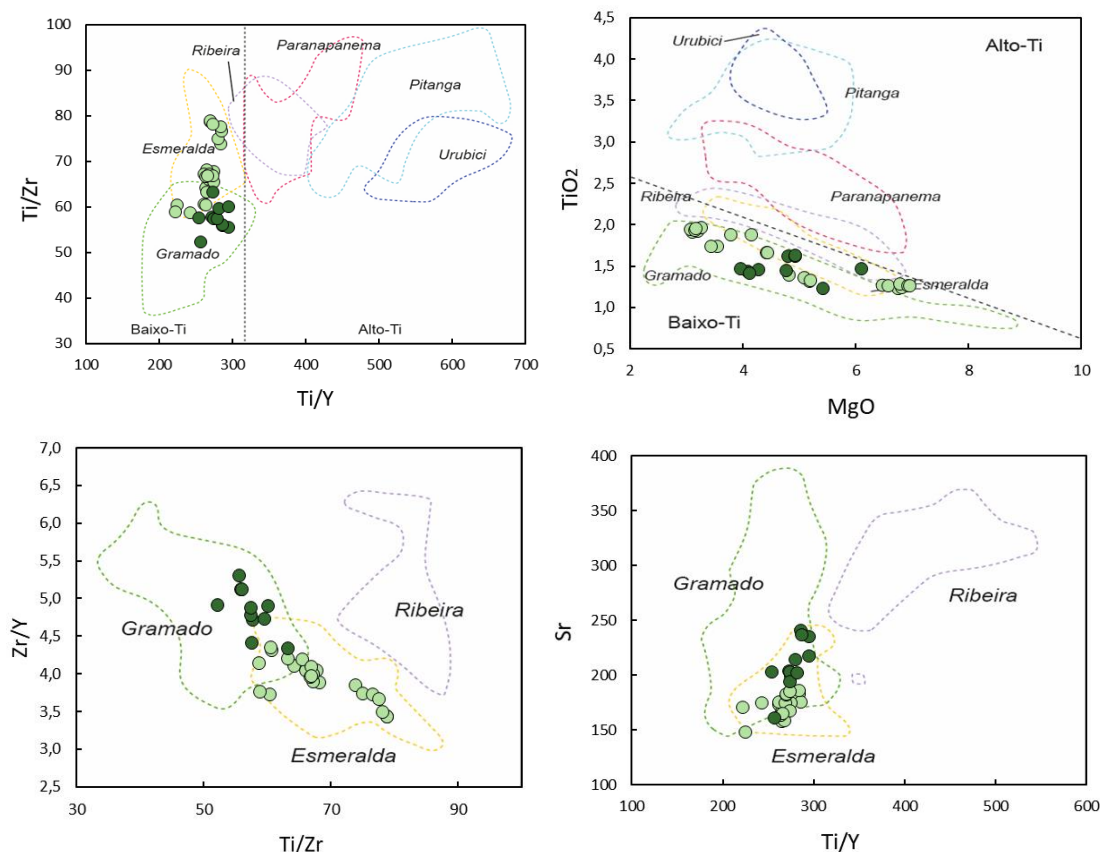


Fig. 7.1. Diagramas de variação para as amostras de basalto da área de estudo, utilizando campos desenhados a partir de dados de Peate et al. (1992) e Peate (1997).

As análises químicas dos basaltos foram comparadas também com as linhas de tendência obtidas por Rossetti et al. (2021), utilizando Mg# como índice de diferenciação, para a Formação Vale do Sol (FVS) e Formação Torres (FT), as quais correspondem ao topo e à base do magma-tipo Gramado, respectivamente (Rossetti et al., 2018). As rochas da FVS são mais evoluídas em comparação com a FT, com SiO₂ de 51,66–60,97% em peso, além de apresentarem *trend* de fracionamento diferentes, de modo que a FVS possui enriquecimento em CaO e FeO*, assim como menores concentrações de SiO₂ e elementos LIL e HFS, considerando amostras em graus semelhantes de diferenciação (Rossetti, 2021).

Se encontram na Fig. 7.2 os diagramas de variação selecionados, sendo esses de SiO₂, CaO, FeO* e Zr. Nota-se que as composições dos basaltos pré-dacitos se encontram sobre as linhas de tendência das amostras da FVS. Sendo assim, os basaltos pré-dacitos, os quais possuem composição equivalente ao magma-tipo Gramado (a partir de classificações químicas de Peate et al., 1992 e Peate, 1997), correspondem à FVS na área

de estudo. Além disso, os basaltos pós-dacitos também apresentam assinatura química semelhante.

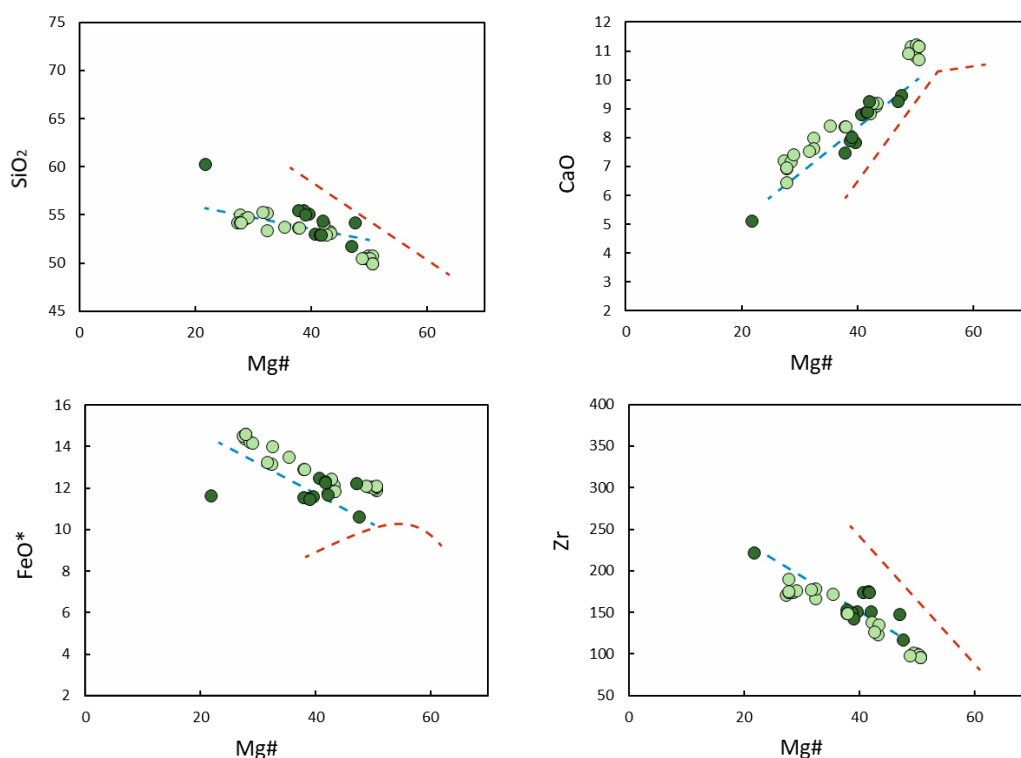


Fig. 7.2. Diagramas de variação para os basaltos da área de estudo, com linhas de tendência apresentadas por Rossetti et al. (2021) para a Formação Vale do Sol (linhas azuis) e Formação Torres (linhas vermelhas).

A fim de classificar os dacitos e os riolitos observados na área de estudo, suas análises químicas foram comparadas com os campos dos tipos Chapecó e Palmas, os quais correspondem aos grupos de magmas-tipo de composição ácida da PMP, segundo diagramas de Garland et al. (1995), de Nb/Y vs Rb/Zr, e Bellieni et al. (1986), de álcalis vs sílica (Fig. 7.3 e Fig. 7.4). Dessa forma, assim como caracterizado em demais estudos na região (e.g. Polo e Janasi, 2014; Guimarães, 2014), as rochas ácidas presentes na área são equivalentes ao tipo Palmas, com valores mais altos de Rb/Zr e de SiO₂ em comparação com o tipo Chapecó.

As rochas do tipo Palmas possuem subgrupos definidos na literatura (Peate et al., 1992; Garland, 1995; Nardy et al., 2008), os quais apresentam características geoquímicas distintas para os teores de SiO₂, P₂O₅, Cu, Ti e Zr. Dessa forma, para a correlação das rochas ácidas da área de estudo com tais subtipos, foram utilizados diagramas de variação apresentados por Nardy et al. (2008), sendo esses Rb vs Zr (ppm), P₂O₅ vs TiO₂ (% em peso) e TiO₂ vs SiO₂ (% em peso), assim como o diagrama de Cu vs TiO₂, de Garland et al. (1995).

A partir dos diagramas de variação apresentados, observa-se que os dacitos possuem composição similar ao subtipo Caxias do Sul, ao considerar os resultados de Nardy et al. (2008) para P₂O₅ vs TiO₂ e de Garland et al. (1995) para Cu vs TiO₂. Entretanto,

os dacitos possuem maior teor de Rb para os mesmos teores de Zr, em comparação com diagrama de discriminação de Nardy et al. (2008). Além disso, o TiO_2 apresenta teores inferiores ao intervalo de 0,91–1,03% definidos por estes autores, com resultados entre 0,87 e 0,98%, embora tais teores sejam compreendidos pelo intervalo de 0,85–1,1% estabelecido por Garland et al (1995). Apesar das divergências apresentadas, a geoquímica dos dacitos na área de estudo se assemelha, em geral, ao magma-tipo Caxias do Sul.

A assinatura geoquímica dos riolitos é semelhante ao subtipo Santa Maria, ao analisar o diagrama de Cu vs TiO_2 (Garland et al., 1995). Quanto aos diagramas de Nardy et al. (2008), as análises também se encontram próximas aos campos dos riolitos Santa Maria, mas com deslocamentos devido a teores ligeiramente menores de TiO_2 de algumas amostras, assim como maiores de SiO_2 . Entretanto, visto que Nardy et al. (2008) determina este subtipo como de baixo TiO_2 ($\leq 0,87\%$) e P_2O_5 ($\leq 0,21\%$), os teores observados nas amostras da área se enquadram nesses limites, sendo de 0,66-0,72% para TiO_2 e 0,11 a 0,20% para P_2O_5 .

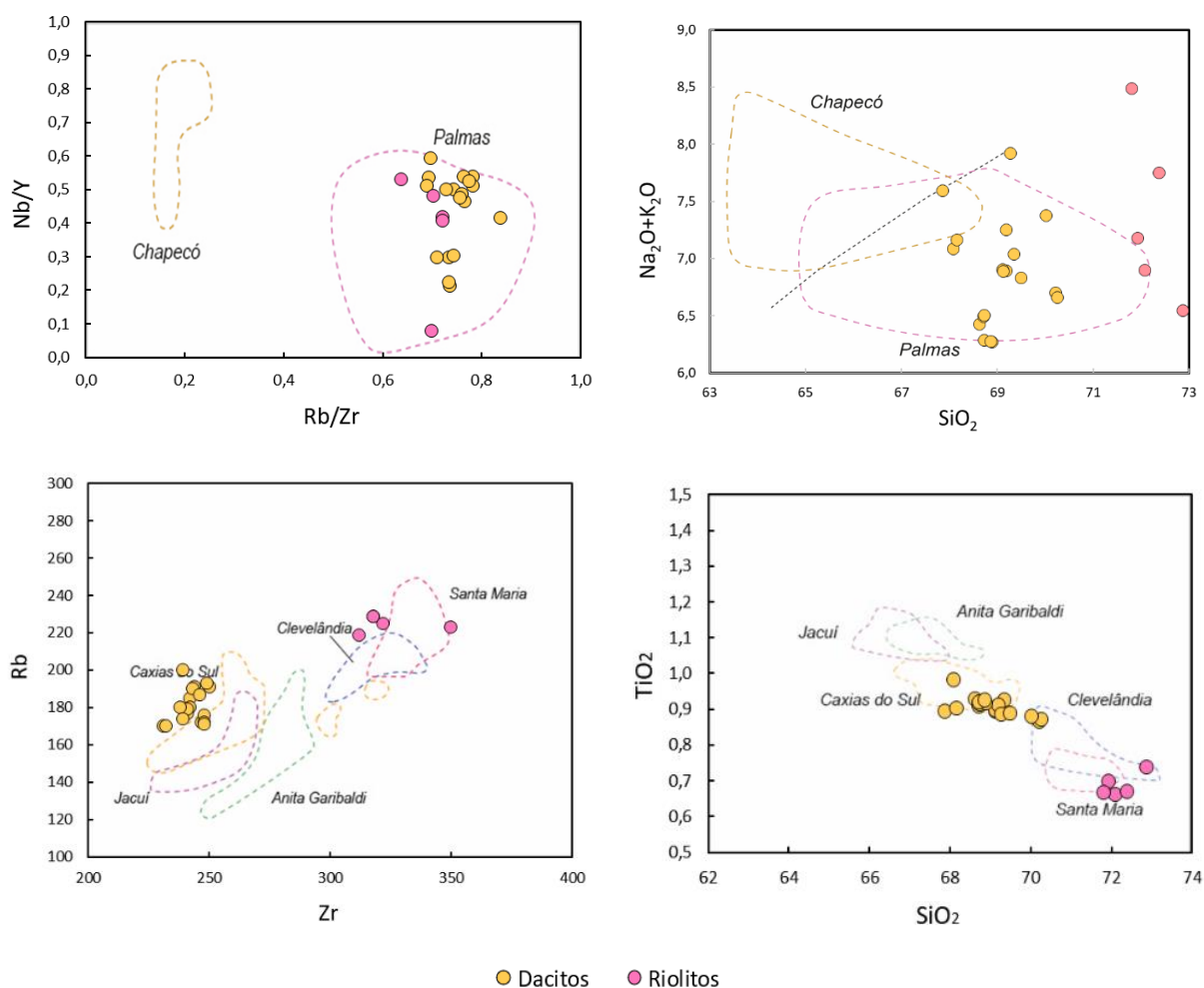


Fig. 7.3. Diagramas de variação para análises das rochas ácidas da área de estudo, considerando campos composicionais de Nardy et al. (2008), Garland et al. (1995) e Bellieni et al (1986) - parte 1.

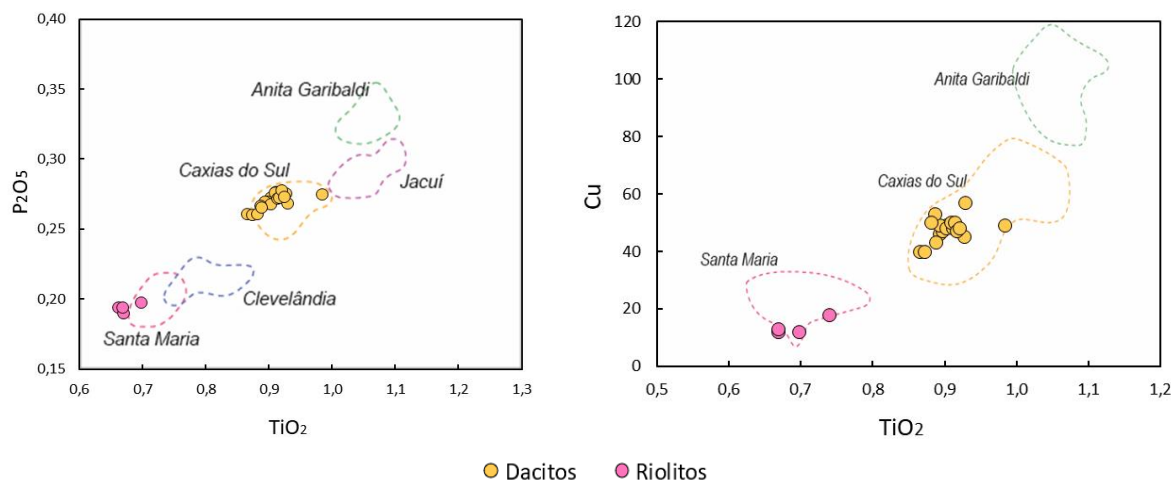


Fig. 7.4. Diagramas de variação para análises das rochas ácidas da área de estudo, considerando campos composicionais de Nardy et al. (2008), Garland et al. (1995) e Bellieni et al (1986) - parte 2.

Ao observar o diagrama de TAS (Le Bas et al., 1986), com campos composicionais a partir de Garland et al. (1995), Nardy et al. (2008) e Polo e Janasi (2014), apresentado na Fig. 7.5, nota-se a predominância das amostras de dacitos no campo do tipo Caxias do Sul, enquanto os riolitos apresentam semelhança com o tipo Santa Maria. Os basaltos pré e pós-dacitos possuem composição variada, ocorrendo nos campos dos basaltos e andesitos basálticos Esmeralda, Gramado e Barros Cassal.

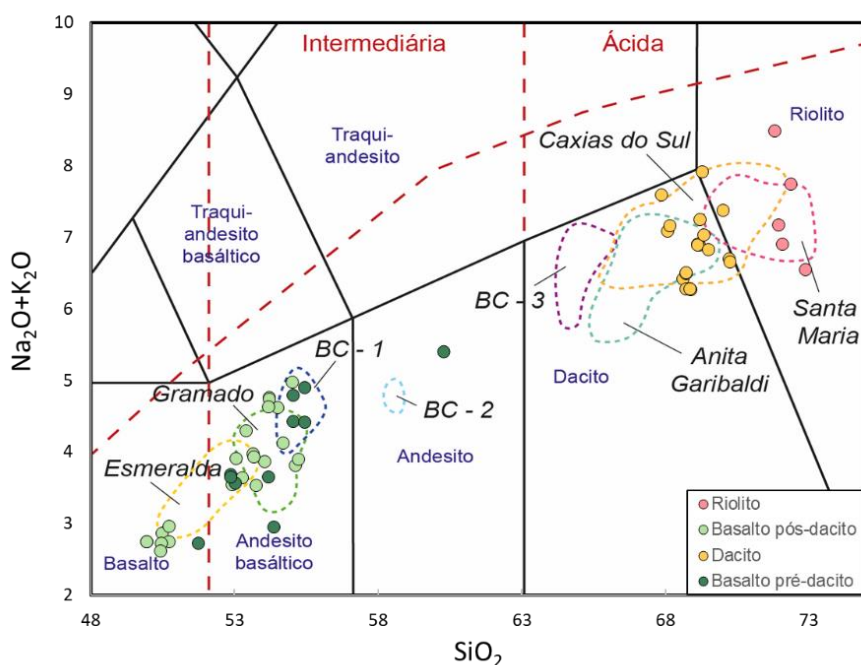


Fig. 7.5. Diagrama TAS (Total Alkali vs. Silica) para classificação geoquímica das rochas vulcânicas da área em estudo (Le Bas et al., 1986), em comparação com campos desenhados a partir de análises de Garland et al. (1995), Nardy et al (2008) e Polo e Janasi (2014). BC – 1: andesitos basálticos Barros Cassal; BC – 2: andesito Barros Cassal; BC – 3: dacitos Barros Cassal.

7.2. Correlação Estratigráfica

De acordo com mapeamento realizado por Polo e Janasi (2014), a sequência de rochas vulcânicas intermediárias a ácidas na região a sudoeste da área de estudo, entre os municípios de Barros Cassal e Gramado Xavier (RS), corresponde às seguintes feições e composições: na base, ocorrem lava-domos e fluxos de lava dacítica, do magma-tipo Caxias do Sul, os quais atingem espessura máxima de 140 m nessa região e cujos últimos derrames podem apresentar intercalações com sedimentos. A sequência intermediária, denominada Barros Cassal, é formada por derrames laminares de andesitos basálticos, andesitos e dacitos, cujas espessuras dependem fortemente da paleotopografia formada pela sequência inferior (Caxias do Sul), ocorrendo também intercalações com depósitos de arenito; no caso dos andesitos basálticos, foram observadas feições características de lavas *pahoehoe*, com sobreposição de pequenos lobos. No topo, se encontram fluxos riolíticos do tipo Santa Maria, que podem atingir até 400 m de espessura e possuem estruturas que indicam fluxo efusivo.

Os basaltos pós-dacitos caracterizados no presente estudo podem ser correspondentes aos andesitos basálticos da sequência Barros Cassal, considerando sua posição estratigráfica (recobrando os dacitos Caxias do Sul e sob os riolitos Santa Maria) e localização. Entretanto, diferentemente da região de Gramado Xavier, as lavas que sobrepõem os dacitos Caxias do Sul também apresentam, em sua base, rochas de composição basáltica, sendo menos evoluídas em comparação com os andesitos basálticos. Dessa forma, pode-se inferir que a sequência Barros Cassal é formada por fluxos de composição basáltica, andesito basáltica, andesítica e dacítica, dos quais apenas os basaltos e andesitos basálticos são observados na área de estudo.

7.2.1. Seções Arvorezinha-Guaporé e União da Serra-Anta Gorda

Conforme as correlações sugeridas entre os tipos de rocha presentes na área e as unidades estabelecidas na literatura, foram elaboradas duas seções geológicas com direções distintas, a fim de ilustrar o comportamento da pilha vulcânica na região (Fig. 7.6). A seção Arvorezinha-Guaporé (AR-GU) apresenta direção WSW-ENE, enquanto a seção União da Serra-Anta Gorda (US-AG) tem direção NNW-SSE; ambas compreendem as regiões entre as cidades com os respectivos nomes. Na base da pilha vulcânica em ambas as seções, se encontram os basaltos pré-dacitos, que correspondem aos andesitos basálticos da Formação Vale do Sol (Rossetti et al., 2018) e ao magma-tipo Gramado (Peate et al., 1992), conforme as semelhanças geoquímicas observadas. Sobre essas rochas, em contatos entre as cotas de 340 e 400 m, ocorrem os derrames dacíticos Caxias do Sul, com espessura mínima aproximada de 70 m (inferida; US-AG) e máxima de 130 m (AR-GU), os quais apresentam camadas de obsidiana. Recobrando-os em contatos entre as cotas de aproximadamente 430 m e 510 m, se encontram basaltos e andesitos basálticos da

sequência Barros Cassal (definida por Polo e Janasi, 2014), com espessura totalizando entre 200 m (AR-GU) e 290 m (US-AG), da qual cerca de 40 a 50 m correspondem às lavas de composição basáltica, na base, enquanto os derrames superiores são andesitos basálticos. Também ocorrem arenitos intercalados com tais basaltos, os quais, de acordo com Polo (2014), indicam o caráter intermitente do vulcanismo Barros Cassal. Os derrames riolíticos do tipo Santa Maria recobrem esta sequência, com base entre as cotas de 660 e 670 m nestas seções. Entretanto, como será discutido no próximo item, não foram observados riolitos a leste do rio Guaporé, de forma que estes podem estar limitados à região oeste da área.

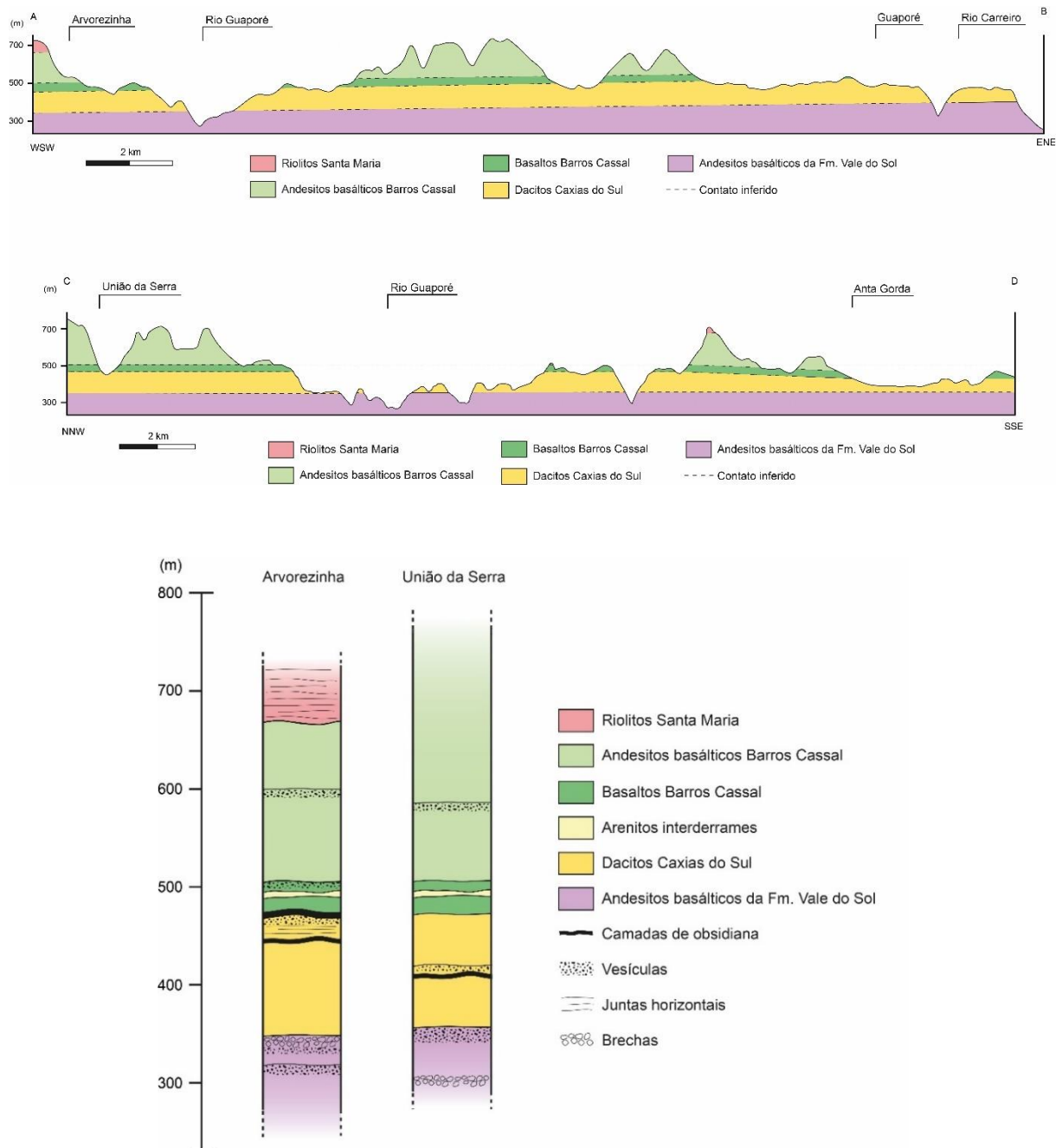


Fig. 7.6. Seção Arvorezinha-Guaporé (WSW-ENE), seção União da Serra-Anta Gorda (NNW-SSE) e colunas estratigráficas para a região de Arvorezinha e de União da Serra. Ressalta-se o exagero vertical nas seções. São apresentadas em maior definição no Anexo D.

7.2.2. Mapa geológico

Foram elaborados mapas de altimetria, declividade e sombreamento (Fig. 7.7) por meio do *software* livre de geoprocessamento QGIS 3.10.4, a partir de modelo digital de elevação obtido pelo satélite ALOS Palsar (JAXA/METI, 2011), disponibilizado na plataforma *Alaska Satellite Facility*. O mapa de declividade foi produzido com interpolação por método discreto, com a definição de 10 classes de intervalos de ângulos. O mapa altimétrico também foi elaborado a partir de interpolação por método discreto e foram utilizadas 20 classes de cores para intervalos de cotas, a fim de diferenciar visualmente os vales dos morros e platôs. No mapa de sombreamento, foi utilizado azimuth de insolação de 315° e altitude da insolação de 45°. Além disso, com o objetivo de salientar os declives, foi utilizado o exagero vertical (fator Z) de 1,5. Os mapas são apresentados em maior definição no Anexo E. A avaliação dos aspectos geomorfológicos e topográficos da região foram dados auxiliares na elaboração do mapa geológico.

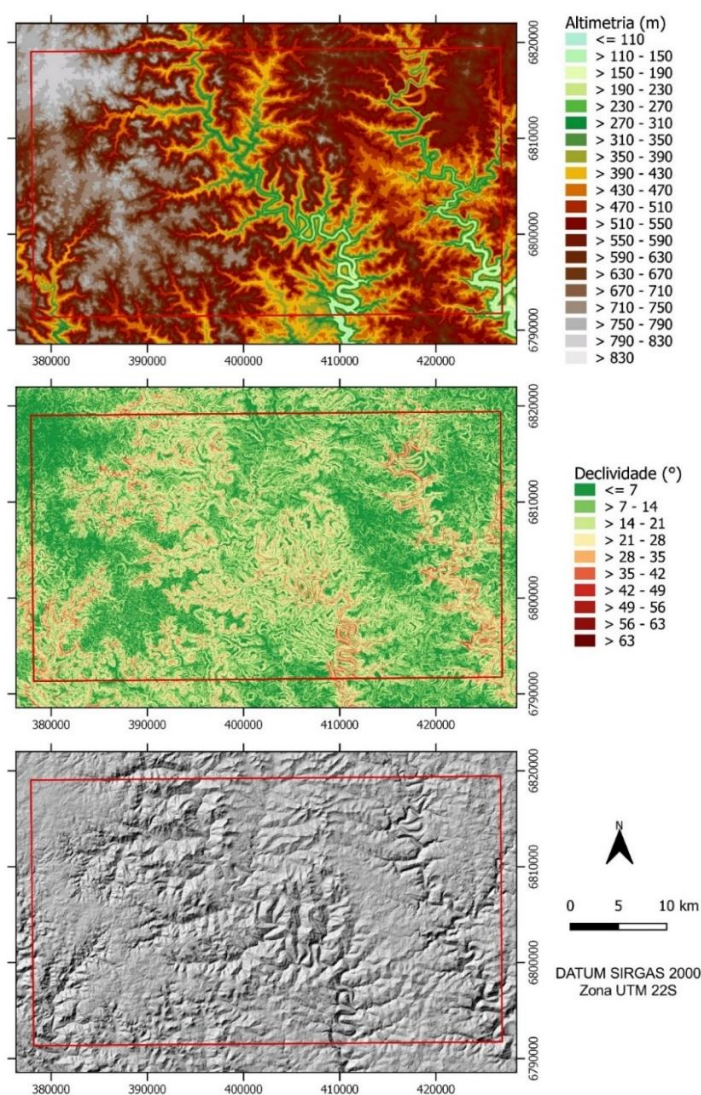


Fig. 7.7. Mapas de altimetria, declividade e sombreamento, respectivamente, elaborados por meio do *software* livre QGIS 3.10.4, a partir de modelo digital de elevação (JAXA/METI, 2011). O polígono vermelho delimita a área de estudo.

A partir dos resultados obtidos, foi elaborado o mapa geológico da região de Arvorezinha e Guaporé em escala de semi-detálhe (1:100.000), no *software* livre QGIS 3.18.2 (Fig. 7.8 e Anexo F). A delimitação das unidades geológicas foi realizada a partir da análise geomorfológica da área, com os mapas de declividade, altimétrico e de sombreamento, assim como os dados de campo e geoquímicos obtidos em trabalhos anteriores do orientador e no presente estudo. Os contatos foram estimados considerando que os derrames são tipicamente sub-horizontais, como ocorre com a maioria das rochas que compõem as grandes províncias ígneas (Tolan et al., 1989).

Os andesitos basálticos da Fm. Vale do Sol são encontrados restritos às margens das drenagens principais, áreas de cotas topográficas mais baixas, representando a base da pilha vulcânica que aflora na região. Sendo assim, o contato destas rochas com os dacitos Caxias do Sul foi estimado, além de cotas de contato observadas em afloramentos, por mapa de declividade e altimétrico, auxiliando na localização desses vales, os quais apresentam altas declividades.

Os dacitos Caxias do Sul afloram principalmente nas porções central e leste, recobrando os andesitos basálticos. Os basaltos da sequência Barros Cassal foram observados no centro da área e na região de Anta Gorda, entretanto, estes aparentemente não se estendem até Vista Alegre do Prata, a leste, visto que as amostras deste local foram classificadas como andesitos basálticos, embora estejam próximas ao contato inferido com os dacitos. Já os andesitos basálticos Barros Cassal afloram em diferentes locais e possuem maiores espessuras em comparação com os basaltos.

As rochas vulcânicas ácidas, devido ao maior teor de sílica, apresentam maior resistência a processos erosivos, de modo que tipicamente formam-se relevos em platôs. Além disso, a alimentação por fissuras e a proximidade entre os canais de alimentação dos riolitos possivelmente favoreceu a coalescência de lava domos, formando planaltos na região central do Rio Grande do Sul (Polo e Janasi, 2014). Sendo assim, a delimitação das rochas riolíticas na área foi definida, além das informações de afloramentos, a partir da análise dos mapas de altimetria, declividade e sombreamento, a partir dos quais é possível notar o platô que ocupa boa parte da região oeste da área, apresentando baixas declividades e maiores altitudes. A leste do rio Guaporé, não foram encontrados afloramentos de riolito, de modo que, na confecção do mapa, estes se encontram restritos na porção oeste. No extremo leste da área, essas rochas possivelmente foram erodidas. Ressalta-se que os contatos observados e inferidos das demais litologias apresentam, a leste e a norte, cotas mais altas em comparação com a porção oeste e sul.

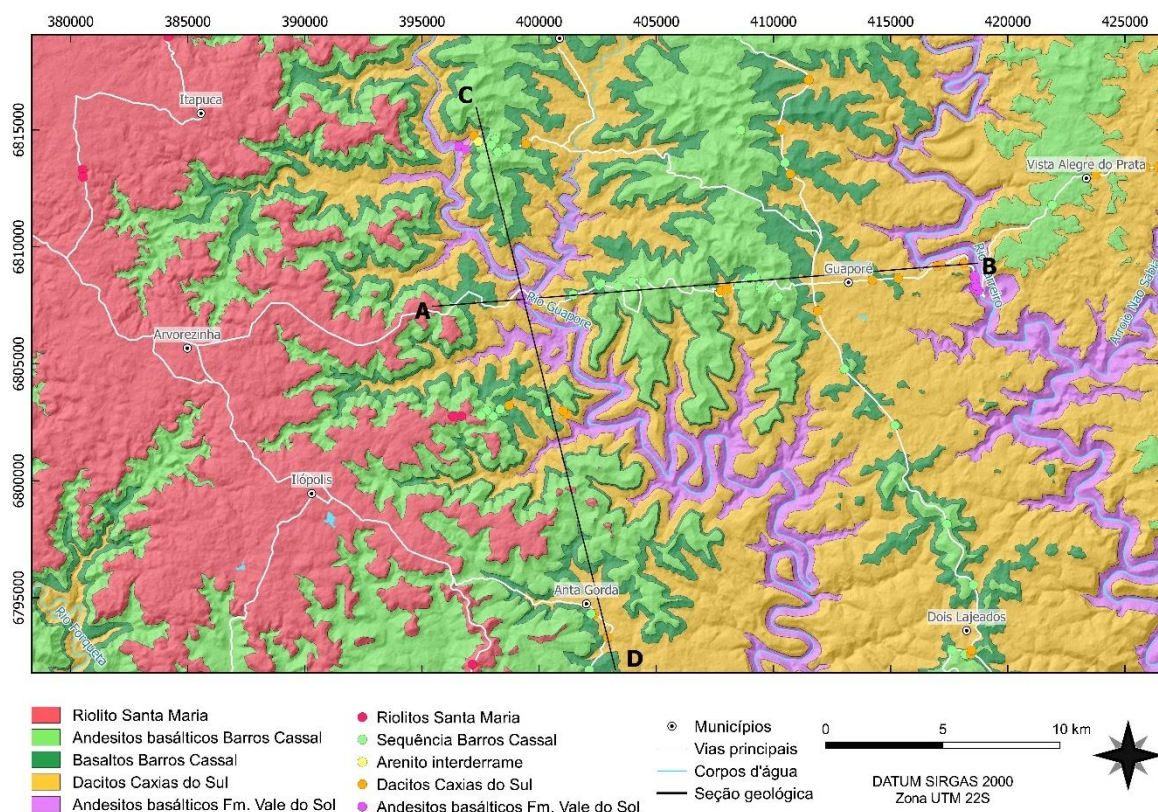


Fig. 7.8. Mapa geológico de semi-detalhe da área de estudo, elaborado por meio do *software* livre QGIS 3.10.4, com base em dados de campo, análises geoquímicas e em mapas de altimetria, declividade e sombreamento. O mapa se encontra também no Anexo F.

8. CONCLUSÕES

Na região que compreende as cidades de Arvorezinha e Guaporé, localizadas na porção central do estado do Rio Grande do Sul, foi identificada a ocorrência de derrames básicos a ácidos de baixo-Ti que puderam ser relacionados com unidades já definidas na literatura, a partir especialmente da ferramenta de geoquímica, considerando que, quanto à petrografia, os dois conjuntos de rochas básicas (basaltos e andesitos basálticos) identificados não apresentaram características consistentes e sistemáticas que viabilizassem sua distinção, visto que possuem mineralogia e texturas semelhantes entre si.

Dentre os resultados geoquímicos, destacam-se os teores mais baixos de Sr e Al_2O_3 nos basaltos superiores, sugerindo um efeito de fracionamento de plagioclásio no magma que originou estas rochas, em comparação com os basaltos mais antigos. Outra característica identificada foram os teores mais altos de Y nos basaltos pós-dacitos, em comparação com os basaltos pré-dacitos. Foram observados, em geral, *trends* de correlação positiva para os elementos incompatíveis nos diagramas de Harker, enquanto os elementos compatíveis apresentam *trends* de correlação negativa. Para os elementos Th, Y e Pb, os teores são semelhantes entre basaltos e dacitos, de forma que estes não se enquadram no *trend* de correlação positiva que ocorre entre as outras rochas, podendo indicar uma evolução independente dos dacitos em relação aos demais magmas-tipo.

As amostras que correspondem à base do pacote superior de basaltos apresentam composição mais primitiva em comparação com as posicionadas no topo deste pacote, de forma que esta sequência, na área, compreende basaltos e andesitos basálticos. Este caráter menos evoluído pode ser inferido a partir dos teores mais baixos de SiO₂, K₂O e Ba, e mais altos de MgO, Ni e CaO para estas amostras.

As rochas que compõem a base da pilha vulcânica que aflora na área, denominadas inicialmente neste trabalho como basaltos pré-dacitos, correspondem às lavas *rubblly pahoehoe* da Formação Vale do Sol definida por Rossetti et al. (2018) e ao magma-tipo Gramado (Peate et al., 1992). Essas rochas possuem composição andesito basáltica, com apenas uma amostra no campo dos andesitos (GX531), apresentando teores de SiO₂ entre 51,7 e 60,35%. São encontradas exclusivamente no fundo das drenagens principais, nos rios Guaporé e Carreiro e em seus afluentes. Quanto à petrografia, possuem textura afanítica a subfanerítica, inequigranular fina e intergranular, com grãos de clinopiroxênio entre ripas de plagioclásio; contêm também cristais de óxidos Fe-Ti, microvesículas e vidro intersticial geralmente alterado para argilominerais.

Os fluxos dacíticos que ocorrem sobre a Formação Vale do Sol correspondem aos dacitos Caxias do Sul, do magma tipo Palmas (Nardy et al., 2008), e têm espessuras entre 70 e 130 m nas seções elaboradas. Possuem entre 67,9 e 70,3% de SiO₂ e apresentam textura afanítica a fanerítica fina; são hipohialinos a hipocristalinos, com matriz composta por vidro e/ou material de desvitrificação, plagioclásio, clinopiroxênio, óxidos Fe-Ti, e fenocristais dos mesmos minerais e de ortopiroxênio. Foram observadas texturas vítrea, “sal e pimenta” e granofírica, assim como textura *quenching* de resfriamento rápido e poucas microvesículas.

Os basaltos e andesitos basálticos pós-dacitos podem ser relacionados à Sequência Barros Cassal (Polo e Janasi, 2014) e possuem entre 49,9 e 55,2% de SiO₂. Intercalados com as rochas básicas na base da sequência, podem ocorrer pacotes de arenito. Estas lavas formam pacotes de 200 a 290 m nas seções elaboradas, e possuem texturas e mineralogia semelhante aos basaltos pré-dacitos, sendo afaníticas a subfaneríticas, inequigranulares finas, com textura intergranular predominante, vidro intersticial e com microvesículas. Em amostras de basalto da região de Anta Gorda foram identificados fenocristais de plagioclásio.

Os riolitos, correspondentes ao tipo Santa Maria (Nardy et al., 2008), recobrem a Sequência Barros Cassal na região oeste do mapa de modo que, a leste, não foram observados, o que deve refletir a erosão dessas rochas nessa porção da área. Apresentam teores de SiO₂ de 71,8 e 72,9% e, quanto à petrografia, são formadas por micrólitos e fenocristais de plagioclásio, clinopiroxênio e óxidos Fe-Ti, em meio a matriz predominantemente vítrea, com fraturas perlíticas e vesículas.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto apresentou limitações quanto ao volume dados de pontos descritos em campo e caracterização de feições vulcânicas, visto que as atividades de campo inicialmente previstas não puderam ser realizadas por conta da pandemia decorrente da COVID-19. As análises por ICP-MS também não puderam ser realizadas a tempo de serem inclusas no trabalho. De todo modo, os dados obtidos por FRX foram plenamente suficientes para caracterizar as rochas estudadas, e permitiram boas correlações com as unidades da literatura. Dessa forma, recomenda-se a realização de atividades de campo para obtenção de maior quantidade de pontos de controle, pontos de contato e caracterização física das rochas, informações que poderão ser utilizadas para refinar o mapa geológico e as seções estratigráficas. Além disso, recomenda-se o mapeamento em semi-detulhe de regiões adjacentes à área de estudo, a fim de avaliar o comportamento da sequência Barros Cassal e a presença de riolitos, especialmente a leste, assim como a integração do mapa elaborado no presente trabalho com mapas futuros.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, F.R.D.d., Polo, L.A., Janasi, V.d.A., Carvalho, F.M.d.S., 2018, Volcanic glass in Cretaceous dacites and rhyolites of the Paraná Magmatic Province, southern Brazil: Characterization and quantification by XRD-Rietveld. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 355: 219-231 <10.1016/j.jvolgeores.2017.08.008>.
- Bellieni, G., Comín, P., Marques, L., Melfi, A., Piccirillo, E., Nardy, A., and Rosemberg, A., 1984, High- and low-TiO₂ flood basalts from the Paraná plateau (Brasil): Petrology and geochemical aspects bearing on thier mantle origin: *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen*, v. 150, p. 273–306.
- Bellieni, G., Comin, P., Marques, L.S., Melfi, A.J., Nardy, A.J.R., Papatrechas, C., Piccirillo, E.M., Roisenberg, A., and Stofa, D., 1986, Petrogenetic aspects of acid and basaltic lavas from the paraná plateau (Brazil): Geological, mineralogical and petrochemical relationships: *Journal of Petrology*, v. 27, p. 915–944, doi:10.1093/petrology/27.4.915.
- Bryan, S.E., and Ernst, R.E., 2008, Revised definition of Large Igneous Provinces (LIPs): *Earth-Science Reviews*, v. 86, p. 175–202, doi:10.1016/j.earscirev.2007.08.008.
- Campbell, I.H. & Griffiths, R.W., 1990, Implications of mantle plume structure for the evolution of flood basalts. *Earth and Planetary Science Letters*, 99: 79–93.
- De La Roche, H., Leterrier, J., Grandclaude, P., Marchal, M., 1980, A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2-diagram and major element analyses – its relationships with current nomenclature. *Chemical Geology*, Volume 29, Issues 1–4, 1980, Pages 183-210, ISSN 0009-2541, doi: 10.1016/0009-2541(80)90020-0.

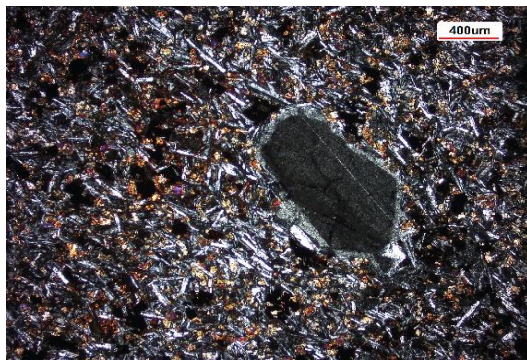
- Elkins-Tanton, L.T., 2005, Continental magmatism caused by lithospheric delamination. In Foulger, G.R., Natland, J.H., Presnall, D.C., & Anderson, D.L. (eds.), *Plates, Plumes, and Paradigms*. Boulder, CO: Geological Society of America, Special Paper 388, pp. 449–461.
- Ernesto M., Raposo, M.I.B., Marques, L.S., Renne, P.R., Diogo, L.A., De Min, A., 1999, Paleomagnetism, geochemistry and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the North-eastern Paraná Magmatic Province: tectonic implications. *J. Geodyn.* 28, 321–340. [https://doi.org/10.1016/s0264-3707\(99\)00013-7](https://doi.org/10.1016/s0264-3707(99)00013-7).
- Ernst, R.E., 2014, *Large Igneous Provinces*: Cambridge, Cambridge University Press, doi: 10.1017/CBO9781139025300.
- Frank, H., Elisa Boscato Gomes, M., Luiz Laquintinie Formoso, M., 2009, Review of the areal extent and the volume of the Serra Geral Formation, Paraná Basin, South America: *Pesquisas em Geociências*, v. 36, p. 49–57, <https://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/17874> (acesso em maio de 2021).
- Garland, F., Hawkesworth, C.J., Mantovani, M.S.M., 1995, Description and Petrogenesis of the Paraná Rhyolites [sic], Southern Brazil. *Journal of Petrology*, 36(5), 1193-1227.
- Gomes, A.S., Vasconcelos, P.M., 2021, Geochronology of the Paraná-Etendeka large igneous province, *Earth-Science Reviews*, Volume 220, 103716, ISSN 0012-8252, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103716>.
- Guimarães, L., 2014, Características físicas e químicas e modelo eruptivo para os riolitos tipo Santa Maria (Província Magmática Paraná) na região de Gramado Xavier, RS [Dissertação de Mestrado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências.
- Hales, T.C., Abt, D.L., Humphreys, E.D., & Roering, J.J., 2005, A lithospheric instability origin for Columbia River flood basalts and Wallowa Mountains uplift in northeast Oregon. *Nature*, 438: 842–845.
- Irvine, T.N.; Baragar, W.R.A., 1971, A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523-548, doi: 10.1139/e71-055.
- Janasi, V. de A., de Freitas, V.A., and Heaman, L.H., 2011, 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, p. 147–153, doi:10.1016/j.epsl.2010.12.005.
- JAXA/METI, 2011, ALOS PALSAR Radiometric Terrain Corrected High Resolution, Includes Material © JAXA/METI, Disponível em ASF DAAC 11 <<https://asf.alaska.edu/>>, acesso em maio de 2021, doi: 10.5067/Z97HFCNKR6VA.

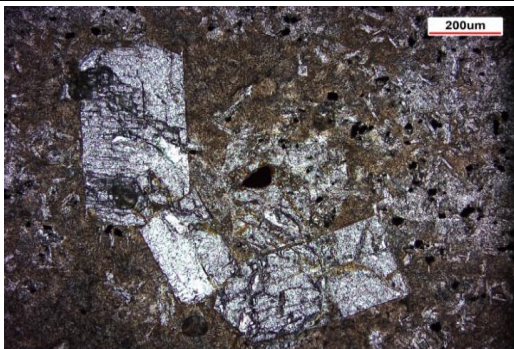
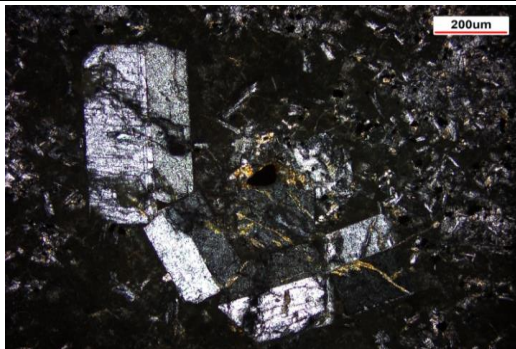
- Le Bas, M.J.; Le Maitre, R.W.; Streckisen, A.; Zanettin, B., 1986, A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27: 745-750.
- Leinz, V.; Bartorelli, A.; Sadowski, G.R., and Isotta, C.A.L., 1966, Sobre o comportamento espacial do Trapp basáltico da Bacia do Paraná. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, V. 15, N ° 4.
- Luchetti, A.C.F., Nardy, A.J.R., Madeira, J., 2018, Silicic, high- to extremely high-grade ignimbrites and associated deposits from the Paraná Magmatic Province, southern Brazil. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 355: 270-286 <<https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.11.010>>.
- Maniar, P.D.; Piccoli, P.M., 1989, Tectonic discrimination of Granitoids - *Geological Society of America Bulletin*, 101: 635-643.
- Middlemost, E., 1975, The Basalt Clan, *Earth-Science Reviews*, 11, 337-564, doi: 10.1016/0012-8252(75)90039-2.
- Milani, E.J., Faccini, U.F., Scherer, C.M., Araújo, L.M., and Cupertino, J.A., 1998, Sequences and stratigraphic hierarchy of the Parana Basin (Ordovician Cretaceous), Southern Brazil: <http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/bigsc/article/view/4294> (acesso em maio de 2021), doi: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-8986.v29i0p125-173>.
- Milner, S.C., Duncan, A.R., and Ewart, A., 1992, Quartz latite rheoignimbrite flows of the Etendeka Formation, north-western Namibia: *Bulletin of Volcanology*, v. 54, p. 200–219, doi:10.1007/BF00278389.
- Mori, P. E., Reeves, S., Correia, C. T., Haukka, M., 1999, Development of a fused glass disc XRF facility and comparison with the pressed powder pellet technique at Instituto de Geociências, Sao Paulo University. *Revista Brasileira de Geociências*, 29(3), 441-446.
- Nardy, A.J.R., 1996, Geologia e petrologia do vulcanismo Mesozóico da região central da Bacia do Paraná. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciência Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro.
- Nardy, A.J.R., Machado, F.B., and Oliveira, M.A.F. de, 2008, As rochas vulcânicas mesozóicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímico-estratigráficas: *Revista Brasileira de Geociências*, v. 38, p. 178–195, doi:10.25249/0375-7536.2008381178195.
- Peate, D.W., 1997, The Paraná-Etendeka Province. *Large Igneous Prov. Cont. Ocean. Planet. Flood Volcanism* 100, 217–245.
- Peate, D.W., Hawkesworth, C.J., and Mantovani, M.S.M., 1992, Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution:

- Bulletin of Volcanology, v. 55, p. 119–139, <http://link.springer.com/10.1007/BF00301125> (acesso em maio de 2021), doi: 10.1007/BF00301125.
- Peate, D.W., Hawkesworth, C.J., Mantovani, M.S.M., Rogers, N.W., Turner, S.P., 1999, Petrogenesis and stratigraphy of the high Ti/Y Urubici magma type in the Paraná flood basalt province and implications for the nature of the “Dupal”-type mantle in the South Atlantic region. *Journal of Petrology*, 40, 451-473.
- Piccirillo, E.M., Raposo, M.I.B., Melfi, A.J., Comin- Chiaramonti, P., Bellieni, G., Cordani, U.G., and Kawashita, K., 1987, Bimodal fissural volcanic suites from the Parana basin (Brazil): K-Ar age, Sr-isotopes and geochemistry.: *Geochimica Brasiliensis*, v. 1, p. 53–69, doi:10.21715/gb.v1i1.3.
- Polo, L.A., 2014, O vulcanismo ácido da Província Magmática Paraná-Etendeka na região de Gramado Xavier, RS: estratigrafia, estruturas, petrogênese e modelo eruptivo. Tese (Doutorado em Petrologia Ígnea e Metamórfica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. doi:10.11606/T.44.2014.tde-26092014-101255.
- Polo, L.A., Janasi, V.A., 2014, Vulcano-estratigrafia das rochas intermediárias a ácidas ao sul da Província Magmática Paraná, Brasil: *Geologia USP - Serie Científica*, v. 14, p. 83–100, doi:10.5327/Z1519-874X201400020005.
- Polo, L.A., Janasi V.A., Giordano D., Lima E.F., Cañon-Tapia E., Roverato M., 2018, Effusive silicic volcanism in the Paraná Magmatic Province, South Brazil: Evidence for locally-fed lava flows and domes from detailed field work, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 355, doi:10.1016/j.jvolgeores.2017.08.007.
- Rocha, B.C., Davies, J.H.F.L., Janasi, V.A., Schaltegger, U., Nardy, A.J.R., Greber, N.D., Lucchetti, A.C.F., Polo, L.A., 2020. Rapid eruption of silicic magmas from the Paraná magmatic province (Brazil) did not trigger the Valanginian event. *Geology*, 48(12): 1174-1178 <10.1130/g47766.1>.
- Rossetti, L. M. M., Hole, M. J., de Lima, E. F., Simões, M. S., Millett, J. M., & Rossetti, M. M. M., 2021, Magmatic evolution of Low-Ti lavas in the southern Paraná-Etendeka Large Igneous Province. *Lithos*, 400–401. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2021.106359>
- Rossetti, L., Lima, E.F., Waichel, B.L., Hole, M.J., Simões, M.S., and Scherer, C.M.S., 2018, Lithostratigraphy and volcanology of the Serra Geral Group, Paraná-Etendeka Igneous Province in Southern Brazil: Towards a formal stratigraphical framework: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 355, p. 98–114, doi:10.1016/j.jvolgeores.2017.05.008.
- Shand, S.J., 1943, *Eruptive Rocks. Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite*. New York: John Wiley & Sons.

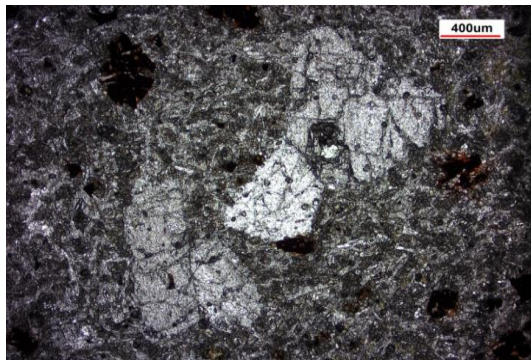
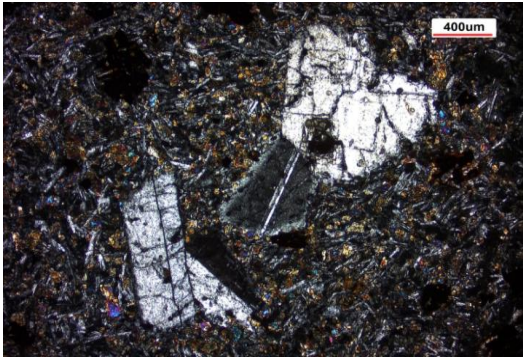
- Stewart, K., Turner, S., Kelley, S., Hawkesworth, C., Kirstein, L., Mantovani, M., 1996. 3-D, ^{40}Ar – ^{39}Ar geochronology in the Parana continental flood basalt province. *Earth Planet. Sci. Lett.* 143, 95–109.
- Thordarson, T., Self, S., Óskarsson, N., and Hulsebosch, T., 1996, Sulfur, chlorine, and fluorine degassing and atmospheric loading by the 1783-1784 AD Laki (Skaftár Fires) eruption in Iceland: *Bulletin of Volcanology*, v. 58, p. 205–225, doi:10.1007/s004450050136.
- Tolan, T., Reidel, S., Beeson, M., Anderston, J., Fecht, K., Swanson, D., 1989, Revisions to the estimates of areal extent and volume of the Grande Ronde Basalt Group, Special Paper of the Geological Society of America. Special Paper 239. 1-20. 10.1130/SPE239-p1.
- White, R.S. & McKenzie, D., 1989, Magmatism at rift zones – the generation of volcanic continental margins and flood basalts. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth and Planets*, 94: 7685–7729.
- Wilson, M. 1993, Magmatism and the geodynamics of basin formation. *Sedimentary Geology*, 86: 5-29.

ANEXO A – Fichas de descrição petrográfica

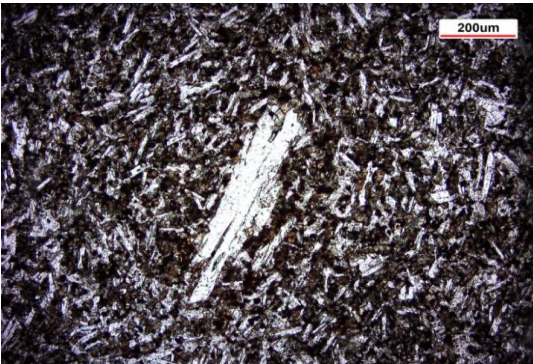
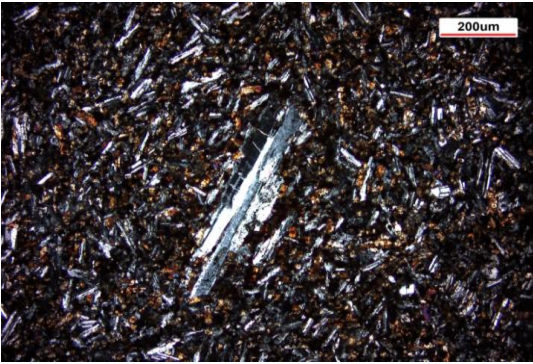
Identificação			
Amostra:	GX-486		
Procedência:	Anta Gorda - RS		
Unidade em campo:	Basalto pós-dacito		
Descrição microscópica			
Textura:	Subfanerítica, hipidiomórfica, intergranular, porfírica		
Microestruturas:	Vesículas preenchidas por vidro alterado para argilominerais verdes e calcedônia (0,7 mm)		
Cristalinidade:	Hipocristalina		
Granularidade:	Inequigranular fina		
Intervalo de tamanho de cristal:	0,05 - 0,40 mm (matriz) e 0,70 - 1,40 mm (fenocristais)		
Rocha/matriz:	Basalto com matriz de plagioclásio, piroxênio e opacos		
Fenocristais:	Plagioclásio		
Mineralogia e estimativa modal			
Mineral/Vidro	%	Tamanho (mm)	Aspectos texturais
Plagioclásio	55	Matriz: 0,05 - 0,45 Fenocristais: 0,7 - 1,4	Matriz: ripiforme, subédrico, maclados com lei da albita; Fenocristais: subédricos, tabulares a prismáticos, alguns apresentam zoneamento
Clinopiroxênio	35	0,05 - 0,40	Subédrico, prismas curtos a granulares, coloração bege clara, textura intergranular entre ripas de plagioclásio
Opacos	6	0,05 - 0,4	Subédrico, granular, alguns ocorrem em intercrescimento com plagioclásio
Óxidos/hidróxidos de ferro	1	0,05 - 0,1	Amorfos, coloração laranja, associados a opacos e a clinopiroxênios, intersticial
Vidro	3	Vítreo	Amorfo, intersticial, alterado para argilominerais amarelos
Síntese textural			
Basalto com textura porfírica, inequigranular fino, subfanerítico, hipidiomórfico e com microvesículas. Possui matriz composta por plagioclásio ripiforme e subédrico, maclado com lei da albita, e clinopiroxênio subédrico em prismas crutos a granulares, compondo trama intergranular, além de minerais opacos (magnetita/ilmenita). Há presença subordinada de vidro configurando textura intersertal, ocorrendo em interstícios entre os cristais da matriz. Os óxidos ocorrem associados aos clinopiroxênios e aos minerais opacos.			
Classificação da rocha			
Basalto			
Sequência de cristalização e eventos			
Mineral	Pré-eruptivos	Sin-eruptivos	Pós-eruptivos
Plagioclásio	-----	-----	
Clinopiroxênio		-----	
Opacos		-----	
Óxidos/hidróxidos de ferro			-----
Vidro		-----	
Fotografias			
Nicolis descruzados		Nicolis cruzados	
			
Lente	4x		
Legenda	Fenocristal de plagioclásio com zoneamento		

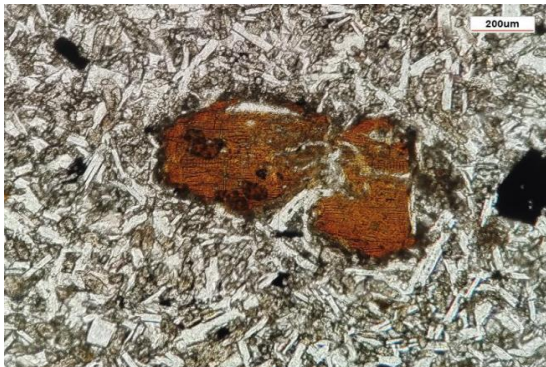
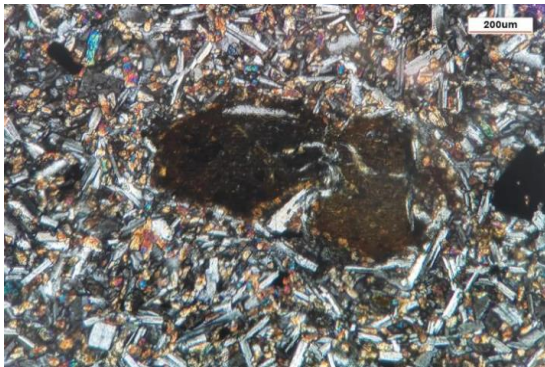
Identificação			
Amostra:	GX-487		
Procedência:	Anta Gorda - RS		
Unidade em campo:	Dacito		
Descrição microscópica			
Textura:	Subfanerítica, porfírica, hipidiomórfica, glomeroporfírica		
Microestruturas:	Vesículas de até 1,6 mm preenchidas por quartzo		
Cristalinidade:	Hipocristalina		
Granularidade:	Inequigranular fina		
Intervalo de tamanho de cristal:	0,05 - 0,8 mm		
Rocha/matriz:	Dacito com matriz formada por vidro, plagioclásio acicular e opacos		
Fenocristais:	Plagioclásio, ortopiroxênio, clinopiroxênio e opacos		
Mineralogia e estimativa modal			
Mineral/Vidro	%	Tamanho (mm)	Aspectos texturais
Plagioclásio	30	Fenocristais: 0,3 - 0,8; Matriz: 0,05	Fenocristais: subédrico a anédrico, tabular, concentrados em alguns locais, podem apresentar textura esquelética; alguns maclados em carlsbad e lei da albita. Matriz: cristais aciculares, dispersos; localmente em textura subofítica com ortopiroxênio; alguns cristais apresentam textura "cauda de andorinha"
Ortopiroxênio	2,5	0,2 - 0,8	Subédricos, coloração verde e leve pleocroísmo, hábito prismático, clivagem em linhas unidirecionais; localmente em textura subofítica com plagioclásio;
Clinopiroxênio	0,5	Fenocristais: 0,2 - 0,3; Matriz: 0,05	Fenocristais: subédricos, hábito prismático; na matriz, possui hábito granular e coloração bege
Opacos (mag/ilm)	6	Fenocristais: 0,2 - 0,3; Matriz: 0,01 - 0,03	Subédricos, ocorrem na matriz em menor tamanho e como fenocristais de hábito granular
Vidro	40	Vítreo	Coloração marrom, texturas de desvitrificação aciculares e em esferulitos
Quartzo	20	0,05 - 0,7	Preenchendo vesículas, resultado de desvitrificação
Óxidos/hidróxidos de ferro	1	0,05 - 0,1	Anédrico, coloração laranja a vermelha, associados aos opacos; ocorrem também associados a fraturas dos ortopiroxênio
Síntese textural			
Dacito com matriz subfanerítica, hipidiomórfica, glomeroporfírica, inequigranular fina, apresentando textura subofiolítica local, textura de desvitrificação e esferulitos. Possui vesículas preenchidas por quartzo e fenocristais de plagioclásio, ortopiroxênio, clinopiroxênio e opacos. Matriz composta por vidro e porções desvitrificadas, plagioclásio com textura de resfriamento "cauda de andorinha", clinopiroxênio e minerais opacos.			
Classificação da rocha			
Dacito			
Sequência de cristalização e eventos			
Mineral	Pré-eruptivos	Sin-eruptivos	Pós-eruptivos
Plagioclásio	-----	-----	
Clinopiroxênio	-----	-----	
Ortopiroxênio	-----	-----	
Opacos	-----	-----	
Óxidos/hidróxidos de ferro			-----
Vidro		-----	
Fotografias			
Nícois descruzados		Nícois cruzados	
			
Lente	10x		
Legenda	Fenocristais de plagioclásio em textura gloreroporfírica		

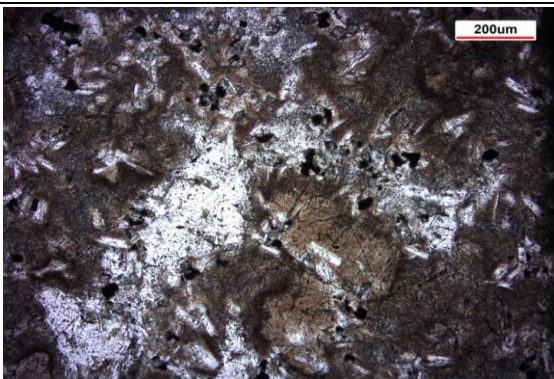
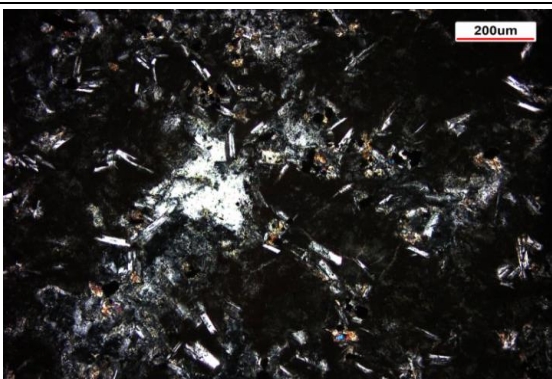
Identificação			
Amostra:	GX488		
Procedência:	Anta Gorda - RS		
Unidade em campo:	Obsidiana - Dacito		
Descrição microscópica			
Textura:	Matriz afanítica com fenocristais, hialofítica, glomeroporfírica		
Microestruturas:	Vesículas preenchidas por calcedônia e vidro alterado para argilominerais verdes, 0,3 a 2 mm		
Cristalinidade:	Hipohialina		
Granularidade:	Inequigranular muito fina a fina		
Intervalo de tamanho de cristal:	0,01 - 0,1 mm (matriz) e 0,2 - 2,0 mm (fenocristais)		
Rocha/matriz:	Vitróforo com fenocristais de plagioclásio, piroxênios e minerais opacos		
Fenocristais:	Plagioclásio, piroxênios e opacos (mag/ilm)		
Mineralogia e estimativa modal			
Mineral/Vidro	%	Tamanho (mm)	Aspectos texturais
Vidro	70	Vítreo	Incolor, apresenta cristálitos aciculares; ocorre também alterado para argilomineral verde na matriz e em borda de vesículas
Plagioclásio	17	Matriz: 0,02 - 0,10 Fenocristais: 0,20 - 0,90	Matriz: ripiformes, subédricos. Fenocristais: euédricos a subédricos, alguns maclados em carlsbad e/ou lei da albita; ocorrem isolados ou em aglomerados (text. glomeroporfírica), ocorrendo também com fenocristais de cpx; alguns apresentam fraturas preenchidas por óxido laranja; An70; alteração local para argilominerais beges
Ortopiroxênio	3	0,20 - 2,0	Ocorre como fenocristais prismáticos a granulares, com pleocroísmo esverdeado a bege/rosado claro; ocorre em aglomerados com fenocristais de plg e cpx; textura subofítica local com inclusões totais e parciais de plg; alguns apresentam fraturas preenchidas por argilominerais verdes; alguns possuem cpx na borda
Clinopiroxênio	6	Matriz: 0,02 a 0,1 Fenocristais: 0,25 - 0,60	Matriz: prismas curtos a granulares, coloração bege claro; Fenocristais: coloração bege claro, granular a prismas curtos, subédricos, podem ocorrer fraturas preenchidas por óxido laranja; ocorrem isolados ou em aglomerados com plg ou outros cpx e opx (text. glomefoporfírica); alguns apresentam textura parcialmente esqueletal
Opacos (mag/ilm)	4	Matriz: 0,01 - 0,03 Fenocristais: 0,20 - 0,45	Subédrico, granular, podem ocorrer bordeados por clinopiroxênio
Óxidos/hidróxidos de ferro	<0,01	0,1	Anédrico, coloração laranja, preenche fraturas
Síntese textural			
Dacito com matriz afanítica e com fenocristais, textura glomeroporfírica, hialofítica (com cristais de plagioclásio e clinopiroxênio em matriz vítrea), inequigranular fina , holocristalina e com vesículas preenchidas por calcedônia e vidro alterado para argilominerais verdes. Composto por matriz vítrea e cristais de plagioclásio, clinopiroxênio, ortopiroxênio e opacos.			
Classificação da rocha			
Dacito			
Sequência de cristalização e eventos			
Mineral	Pré-eruptivos	Sin-eruptivos	Pós-eruptivos
Vidro			
Plagioclásio			
Ortopiroxênio			
Clinopiroxênio			
Opacos (mag/ilm)			
Óxidos/hidróxidos de ferro			
Fotografias			
Nícois descruzados		Nícois cruzados	
			
Lente		10x	
Legenda		Fenocristais de plagioclásio em textura glomeroporfírica	

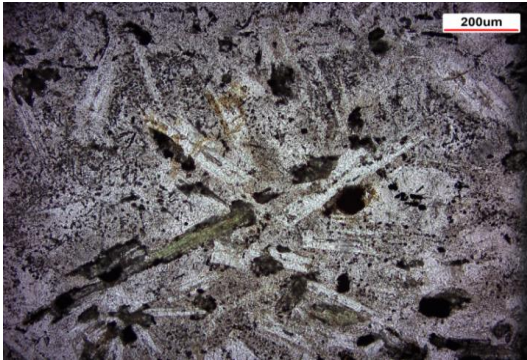
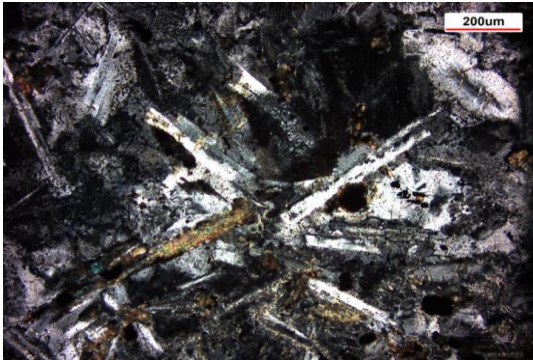
Identificação			
Amostra:	GX-489		
Procedência:	Anta Gorda		
Unidade em campo:	Basalto pós-dacito		
Descrição microscópica			
Textura:	Subfanerítica, hipidiomórfica, intergranular, intersetal		
Microestruturas:	-		
Cristalinidade:	Hipocristalina		
Granularidade:	Inequigranular fina		
Intervalo de tamanho de cristal:	0,05 - 0,30 mm (matriz) e 0,50 - 1,20 mm (fenocristais)		
Rocha/matriz:	Basalto com matriz de plagioclásio, clinopiroxênio e opacos		
Fenocristais:	Plagioclásio		
Mineralogia e estimativa modal			
Mineral/Vidro	%	Tamanho (mm)	Aspectos texturais
Plagioclásio	50	Matriz: 0,10 - 0,30 Fenocristais: 0,65 - 1,20	Matriz: subédrico, ripiforme, maclado em lei da albita. Fenocristais: subédricos, tabulares a prismáticos; maclados em lei da albita e carlsbad; An60 - An65; ocorrem isolados ou em aglomerados (text. glomeroporfírica); alguns se encontram zonados;
Clinopiroxênio	37	0,05 - 0,20	Subédrico, granular a prismas curtos, textura intergranular com cristais entre ripas de plagioclásio, cor bege clara
Opacos	9	Matriz: 0,05 - 0,15; Fenocristais: 0,5 - 0,85	Subédrico a anédrico, granular, pode apresentar inclusões de cpx e plg, possuem as bordas alteradas para óxidos, parcialmente esqueletais
Óxidos/hidróxidos de ferro	1	0,05 - 0,15	Amorfo, associados aos opacos, coloração laranja
Vidro	3	Vítreo	Amorfo, intersticial, alterado para argilominerais amarelos a esverdeados
Síntese textural			
Basalto subfanerítico, hipidiomórfico, holocristalino, inequigranular fina com textura intergranular de grãos de clinopiroxênio entre ripas de plagioclásio, além de localmente intersetal com a presença argilominerais amarelos a esverdeados, produtos de alteração de vidro. Apresenta também textura glomeroporfírica com fenocristais de plagioclásio. A matriz é composta por plagioclásio, clinopiroxênio, minerais opacos e vidro, com óxidos sendo produtos de alteração,			
Classificação da rocha			
Basalto			
Sequência de cristalização e eventos			
Mineral	Pré-eruptivos	Sin-eruptivos	Pós-eruptivos
Plagioclásio	-----	-----	
Clinopiroxênio		-----	
Opacos		-----	
Óxidos/hidróxidos de ferro			-----
Vidro		-----	
Fotografias			
Nícois descruzados		Nícois cruzados	
			
Lente	4x		
Legenda	Fenocristais de plagioclásio em textura glomeroporfírica		

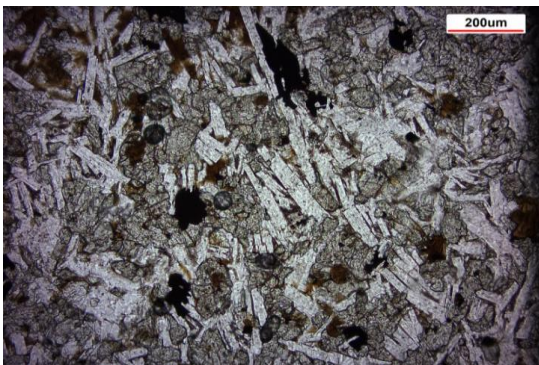
Identificação			
Amostra:	GX493		
Procedência:	Soledade - RS		
Unidade em campo:	Riolito		
Descrição microscópica			
Textura:	Porfírica, subfanerítica		
Microestruturas:	Vesículas (0,2 - 4 mm) preenchidas principalmente por calcedônia, carbonato e zeólita		
Cristalinidade:	Hipohialina		
Granularidade:	Inequigranular muito fina a fina		
Intervalo de tamanho de cristal:	0,03 - 0,65 mm		
Rocha/matriz:	Riolito formado por matriz vítrea com micrólitos e microfenocristais de plagioclásio, clinopiroxênio opacos		
Fenocristais:	Principalmente plagioclásio; também piroxênio e opacos (mag/ilm)		
Mineralogia e estimativa modal			
Mineral/Vidro	%	Tamanho (mm)	Aspectos texturais
Vidro	75	Vítreo	Predominantemente incolor a bege com feição de devitrificação em quebras perlíticas, com porções marrons desvitrificadas; também preenche bordas de vesículas e podem ocorrer maclados em carlsbad
Plagioclásio	15	Matriz: 0,05 - 0,15 Fenocristais: 0,30 - 0,70	Matriz: subédrico, ripiforme. Fenocristais: subédricos, tabulares a granulares, localmente aglomerados em textura glomeroporfírica; alguns apresentam fraturas, podendo ser preenchidas por óxidos;
Clinopiroxênio	5	Matriz: 0,05 - 0,30 Fenocristais: 0,60	Acicular a prismático, subédrico, coloração bege
Opacos (mag/ilm)	3	Matriz: 0,03 - 0,1 Fenocristais: 0,3 - 0,5	Matriz: granular, subédricos, associados a clinopiroxênios. Ocorre também em fase criptocristalina na matriz. Fenocristais: subédricos a anédricos, alguns apresentam cpx na borda
Óxidos	<1	0,05 - 0,1	Anédricos, cor laranja, associados aos opacos (mag/ilm) e à fraturas em plg, localmente
Zeólita	<1	0,05 - 0,3	Subédrica a anédrica, ocorre preenchendo vesícula
Calcedônia	2	Criptocristalino	Incorlor, anédrico, ocorre preenchendo vesículas
Carbonato	<1	<0,01	Anédrico, coloração bege claro, ocorre preenchendo vesículas
Síntese textural			
Rocha de matriz vítrea, hipohialina, com micrólitos e fenocristais de plagioclásio, clinopiroxênio e opacos. Apresenta também amígdalas preenchidas por carbonato, calcedônia ou zeólitas.			
Classificação da rocha			
Vitrófiro			
Sequência de cristalização e eventos			
Mineral	Pré-eruptivos	Sin-eruptivos	Pós-eruptivos
Vidro			
Plagioclásio			
Clinopiroxênio			
Opacos (mag/ilm)			
Óxidos			
Calcedônia			
Carbonato			
Fotografias			
Nicóis descruzados		Nicóis cruzados	
			
Lente	4x		
Legenda	Amígdala em meio à matriz vítrea com micrólitos		

Identificação			
Amostra:	GX497		
Procedência:	Guaporé - RS		
Unidade em campo:	Basalto pré-dacito		
Descrição microscópica			
Textura:	Subfanerítica, hipidiomórfica, intergranular (plg e cpx)		
Microestruturas:	Poucas vesículas de até 0,85 mm preenchidas por quartzo criptocristalino		
Cristalinidade:	Holocristalina		
Granularidade:	Inequigranular fina		
Intervalo de tamanho de cristal:	0,01 - 1,05 mm		
Rocha/matriz:	Basalto com matriz composta por plagioclásio, clinopiroxênio e opacos		
Fenocristais:	Poucos cristais de plagioclásio		
Mineralogia e estimativa modal			
Mineral/Vidro	%	Tamanho (mm)	Aspectos texturais
Plagioclásio	45	Matriz: 0,03 - 0,2 Microfenocristais: 0,35 - 1,05	Subédricos, ripiformes, An65, maclas de lei da albida mal desenvolvidas, textura intergranular com cpx; disposição heterogênea na lâmina, mais presente em algumas porções e com tamanho médio dos cristais menores ou maiores a depender da posição na lâmina; aparente orientação por fluxo localmente
Piroxênio	30	0,01 - 0,1	Subédricos, hábito granular a prismas curtos, textura intergranular com grãos entre ripas de plg, coloração bege, diversas alterações para óxidos laranjas
Opacos (mag/ilm)	20	<0,01 - 0,1	Subédricos, granulares, os maiores ocorrem alterados para óxido avermelhado
Óxidos/hidróxidos de ferro	3	0,05 - 0,10	Anédricos, cor laranja a avermelhado, associados aos cpx e aos opacos (mag/ilm)
Quartzo	2	0,10 - 0,20	Anédrico, contatos irregulares; ocorre em fração criptocristalina preenchendo vesícula
Síntese textural			
Basalto subfanerítico, hipidiomórfico, inequigranular fino, holocristalino, com poucos fenocristais de plagioclásio, vesículas e textura intergranular com grãos de clinopiroxênio entre ripas de plagioclásio. A matriz é formada por plagioclásio, clinopiroxênio, minerais opacos, óxidos como produto de alteração e quartzo preenchendo vesículas.			
Classificação da rocha			
Basalto			
Sequência de cristalização e eventos			
Mineral	Pré-eruptivos	Sin-eruptivos	Pós-eruptivos
Plagioclásio	-----	-----	
Piroxênio		-----	
Opacos (mag/ilm)		-----	
Óxidos/hidróxidos de ferro			-----
Quartzo		-----	-----
Fotografias			
Nícois descruzados		Nícois cruzados	
			
Lente	10x		
Legenda	Fenocristal de plagioclásio em matriz inequigranular fina		

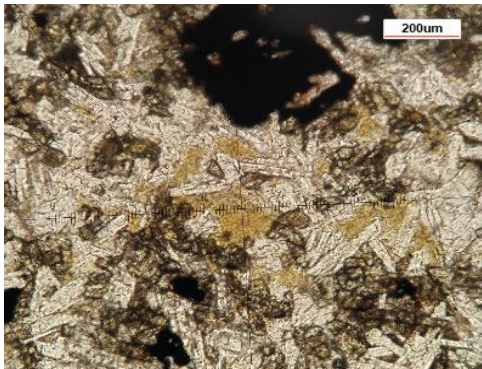
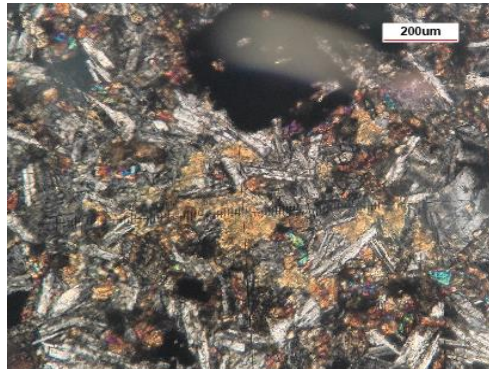
Identificação			
Amostra:	GX-499		
Procedência:	Guaporé - RS		
Unidade em campo:	Basalto pré-dacito		
Descrição microscópica			
Textura:	Subfanerítica, hipidiomórfica, intergranular		
Microestruturas:	Microvesicular, vesícula de aproximadamente 0,25 mm preenchida por quartzo criptocristalino		
Cristalinidade:	Hipocristalina		
Granularidade:	Inequigranular fina seriada		
Intervalo de tamanho de cristal:	0,06 a 0,8 mm		
Rocha/matriz:	Basalto com matriz de plagioclásio, piroxênio e opacos		
Fenocristais:	Biotita		
Mineralogia e estimativa modal			
Mineral/Vidro	%	Tamanho (mm)	Aspectos texturais
Plagioclásio	47	0,03 - 0,6	Ripiforme, subédrico, maclado com carlsbad e em menor prop.; lei da albita; apresenta inclusões de cpx além de intercrescimento com cpx; alguns cristais com zoneamento; incluso na biotita; An60
Clinopiroxênio	35,5	0,03 - 0,2	Hábito principalmente granular; com poucos prismas curtos arredondados, subédrico a anédrico, cor levemente marrom claro; incluso em cristais maiores de plg; text. Intergranular entre ripas de plg
Opacos (mag/ilm)	5	0,03 - 0,4	Subédrica, apresenta inclusões de plg e cpx, algumas com hábito cúbico e outros hexagonais; algumas esqueléticas
Vidro	2	0,2	Coloração amarelada a bege, amorfo, disposto de forma heterogênea na lâmina; apresenta nas bordas de vesículas, intersertal; alterado para argilominerais amarelos/verdes
Quartzo criptocristalino	Traço	Criptocristalino	Ocorre preenchendo microvesículas
Óxidos/hidróxidos de ferro	0,25	0,05	Cor alaranjada, associados às bordas dos opacos, anédricos
Biotita	1	0,3 - 0,8	Coloração laranja a amarelada, pleocróico, alongação negativa, relevo baixo a médio; subédrica a anédrica; px nas bordas; inclusões de plg
Síntese textural			
Basalto subfenarítico, hipidiomórfico, holocristalino, com poucas microvesículas, inequigranular fino seriado e com textura intergranular de grãos de clinopiroxênio entre ripas de plagioclásio. A matriz é composta por plagioclásio, clinopiroxênio, opacos, com poucos cristais de biotita e vidro intersticial com alteração para argilominerais.			
Classificação da rocha			
Basalto			
Sequência de cristalização e eventos			
Mineral	Pré-eruptivos	Sin-eruptivos	Pós-eruptivos
Plagioclásio		-----	
Clinopiroxênio		-----	
Opacos (mag/ilm)		-----	
Vidro		-----	
Quartzo criptocristalino			-----
Óxidos/hidróxidos de ferro			-----
Biotita	-----		
Fotografias			
Nícois descruzados		Nícois cruzados	
			
Lente	10x		
Legenda	Fenocristal de biotita em matriz de plagioclásio, clinopiroxênio e opacos		

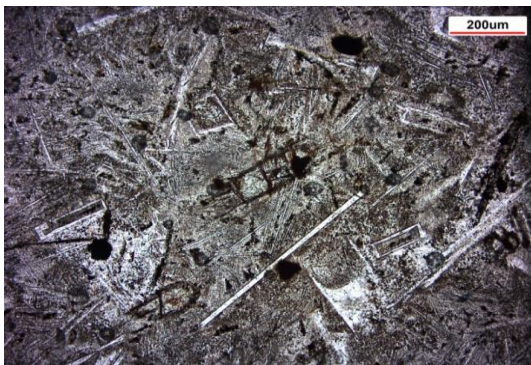
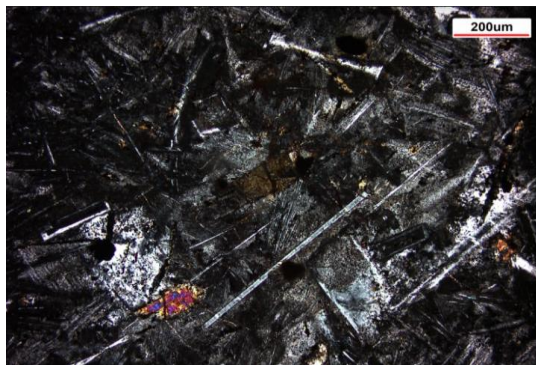
Identificação			
Amostra:	GX500		
Procedência:	Guaporé - RS		
Unidade em campo:	Dacito		
Descrição microscópica			
Textura:	Afanítica, hipidiomórfica, textura sal e pimenta		
Microestruturas:	-		
Cristalinidade:	Hipohialina		
Granularidade:	Inequigranular fina		
Intervalo de tamanho de cristal:	<0,01 - 0,3 mm		
Rocha/matriz:	Dacito com matriz formada por matriz desvitrificada e com plagioclásio, piroxênio e opacos		
Fenocristais:	Não possui		
Mineralogia e estimativa modal			
Mineral/Vidro	%	Tamanho (mm)	Aspectos texturais
Vidro	52	Vítreo	Amorfo, textura sal e pimenta com porções desvitrificadas marrons e porções incolores; fraturas perlíticas formando estruturas arredondadas; presença de cristálitos aciculares formados por desvitrificação; localmente ocorre alterado para argilomineral verde claro ou bege claro
Plagioclásio	15	0,03 - 0,12	Subédrico, ripiforme, poucos apresentam textura de "cauda de andorinha"; um cristal apresenta zonamento
Clinopiroxênio	6	0,03 - 0,2	Anédrico a subédrico, granular a prismas curtos, cor bege claro
Opacos (mag/ilm)	5	0,02 - 0,15	Euédricos a subédricos, granular; ocorre também em forma criptocristalina na matriz vítrea
Quartzo	22	<0,01 - 0,3	Anédrico, ocorre na matriz devido à devitrificação; ocorre também concentrado em "bolsões" e em forma criptocristalina
Síntese textural			
Dacito com matriz vítrea em textura "sal e pimenta", fraturas perlíticas formando estruturas arredondadas e cristálitos aciculares. Rocha afanítica, hipidiomórfica, hipocristalina e com cristais inequigranulares finos de plagioclásio, clinopiroxênio, minerais opacos (magnetita/ilmenita) e quartzo gerado por devitrificação.			
Classificação da rocha			
Dacito			
Sequência de cristalização e eventos			
Mineral	Pré-eruptivos	Sin-eruptivos	Pós-eruptivos
Vidro		-----	
Plagioclásio		-----	
Clinopiroxênio		-----	
Opacos (mag/ilm)		-----	
Quartzo		-----	
Fotografias			
Nícois descruzados		Nícois cruzados	
			
Lente		10x	
Legenda		Matriz com textura "sal e pimenta", com cristálitos e poções desvitrificadas marrons	

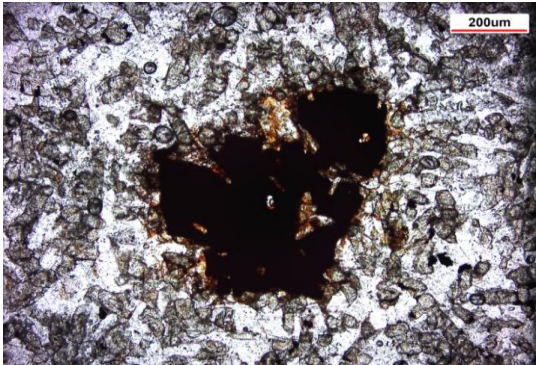
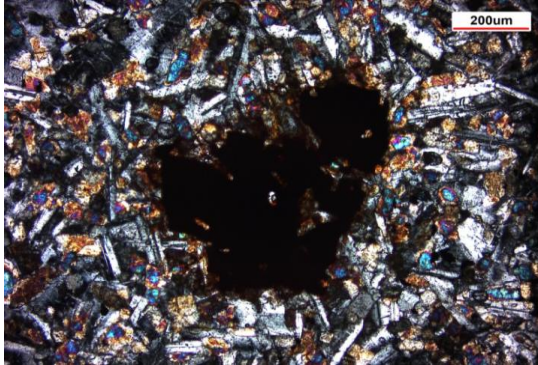
Identificação			
Amostra:	GX-501		
Procedência:	Guaporé - RS		
Unidade em campo:	Dacito		
Descrição microscópica			
Textura:	Afanítica, hipidiomórfica, granofírica		
Microestruturas:	-		
Cristalinidade:	Hipocristalina		
Granularidade:	Inequigranular fina		
Intervalo de tamanho de cristal:	0,05-0,50 mm		
Rocha/matriz:	Dacito de matriz composta majoritariamente por plagioclásio, quartzo e vidro.		
Fenocristais:	Não possui		
Mineralogia e estimativa modal			
Mineral/Vidro	%	Tamanho (mm)	Aspectos texturais
Vidro	20	Vítreo	Principalmente incolor por desvitrificação, com algumas porções de cor marrom
Ortopiroxênio	4	0,5	Subédrico, prismático, leve pleocroísmo de verde claro a amarelo esverdeado
Clinopiroxênio	3	0,25	Subédrico, prismas curtos
Plagioclásio	37	0,05 - 0,3	Subédrico, ripiforme, feição de cauda de andorinha, alguns maclados em carlsbad
Opacos	4	0,05 - 0,1	Subédricos, granulares a aciculares na matriz, sendo esse produto da desvitrificação e retirada de ferro do vidro
Quartzo	25	0,1 - 0,4	Anédrico, intercrescimento com K-feldspato (text. granofírica)
K-feldspato	7	0,1 - 0,3	Anédrico, intercrescimento com quartzo (text. granofírica)
Síntese textural			
Dacito com matriz majoritariamente desvitrificada e com cristais inequigranulares finos de plagioclásio com textura em cauda de andorinha, ortopiroxênio, clinopiroxênio, opacos e quartzo.			
Classificação da rocha			
Dacito			
Sequência de cristalização e eventos			
Mineral	Pré-eruptivos	Sin-eruptivos	Pós-eruptivos
Vidro		-----	
Ortopiroxênio		-----	
Clinopiroxênio		-----	
Plagioclásio		-----	
Opacos		-----	
Quartzo		-----	
Fotografias			
Nícois descruzados		Nícois cruzados	
			
Lente	10x		
Legenda	Cristais de plagioclásio em cauda de andorinha, ortopiroxênio, vidro e minerais opacos		

Identificação			
Amostra:	GX-502		
Procedência:	Guaporé - RS		
Unidade em campo:	Basalto pós-dacito		
Descrição microscópica			
Textura:	Afanítica, hipidiomórfica, intergranular		
Microestruturas:	Microvesículas de até 0,45 mm preenchidas por argilomineral marrom		
Cristalinidade:	Hipocristalina		
Granularidade:	Inequigranular fina		
Intervalo de tamanho de cristal:	0,03 - 0,5 mm		
Rocha/matriz:	Basalto com matriz composta por plagioclásio, clinopiroxênio e minerais opacos		
Fenocristais:	Não possui		
Mineralogia e estimativa modal			
Mineral/Vidro	%	Tamanho (mm)	Aspectos texturais
Plagioclásio	51	0,05 - 0,5	Subédrico, ripiforme a tabular, alguns cristais com zoneamento, apresenta maclas em lei da albita;
Clinopiroxênio	40	0,03 - 0,2	Subédrico, granular, prismático a em "massa", cor bege clara, ocorre entre ripas de plg e, subordinadamente, intercrescido com plg; bordas irregulares
Opacos	5	0,03 - 0,3	Subédrico a anédrico, bordas irregulares, inclusões de plg, textura esqueletal localmente
Vidro	4	0,05 - 0,3	Coloração marrom, anédrico, textura intersticial; concentrados em algumas partes da lâmina, distribuição heterogênea, ocorrem também alterados para argilominerais e preenchendo microvesículas
Síntese textural			
Basalto com matriz afanítica, hipidiomórfica, intergranular, holocristalina, inequigranular fina e com microvesículas. Apresenta, localmente, textura intersertal (vidro/argilominerais) e de intercrescimento (plagioclásio e clinopiroxênio). A matriz é composta principalmente por plagioclásio e clinopiroxênio, com presença subordinada de minerais opacos (mag/ilm) e vidro/argilominerais.			
Classificação da rocha			
Basalto			
Sequência de cristalização e eventos			
Mineral	Pré-eruptivos	Sin-eruptivos	Pós-eruptivos
Plagioclásio		-----	
Clinopiroxênio		-----	
Opacos		-----	
Vidro		-----	
Fotografias			
Nícois descruzados		Nícois cruzados	
			
Lente	10x		
Legenda	Matriz com plagioclásio, clinopiroxênio, opacos e vidro intersticial alterado para argilominerais		

Identificação			
Amostra:	GX-504		
Procedência:	Guaporé - RS		
Unidade em campo:	Basalto pós-dacitos		
Descrição microscópica			
Textura:	Afanítica, hipidiomórfica		
Microestruturas:	Microvesículas de até 0,5 mm preenchidas por quartzo		
Cristalinidade:	Holocristalina		
Granularidade:	Inequigranular fina		
Intervalo de tamanho de cristal:	0,01 - 0,15 mm		
Rocha/matriz:	Basalto com matriz formada por plagioclásio, clinopiroxênio e opacos		
Fenocristais:	Não possui		
Mineralogia e estimativa modal			
Mineral/Vidro	%	Tamanho (mm)	Aspectos texturais
Plagioclásio	40	0,03 - 0,15	Subédricos, ripiformes, maclas em lei da albita mal desenvolvidas
Clinopiroxênio	32	0,02 - 0,15	Subédrico a anédrico, granular a prismático,
Opacos	25	<0,01 - 0,03	Anédrico a subédrico
Quartzo	Traço	0,05 - 0,15	Anédrico, preenchendo vesícula
Óxidos/hidróxidos de ferro	3	0,03	Coloração avermelhada, associados aos cpx e opacos, amorfos; distribuídos de forma heterogênea
Síntese textural			
Basalto afanítico, hipidiomórfico, com microvesículas, inequigranular fino (mais fino em relação às demais amostras) e com matriz composta por plagioclásio, clinopiroxênio e minerais opacos. As microvesículas ocorrem preenchidas por quartzo.			
Classificação da rocha			
Basalto			
Sequência de cristalização e eventos			
Mineral	Pré-eruptivos	Sin-eruptivos	Pós-eruptivos
Plagioclásio		-----	
Clinopiroxênio		-----	
Opacos		-----	
Quartzo			-----
Óxidos/hidróxidos de ferro			-----
Fotografias			
Nícois descruzados		Nícois cruzados	
			
Lente	10x		
Legenda	Matriz composta por plagioclásio, clinopiroxênio e minerais		

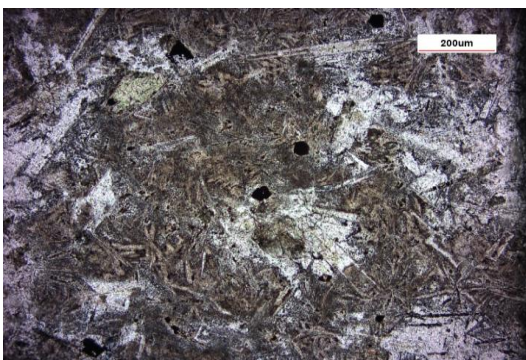
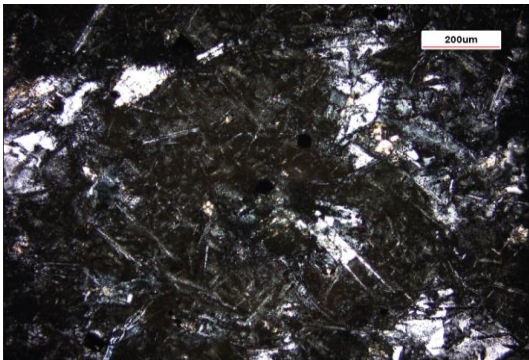
Identificação			
Amostra:	GX-515		
Procedência:	Vista Alegre - RS		
Unidade em campo:	Basalto pós-dacito		
Descrição microscópica			
Textura:	Afanítica, hipidiomórfica, intergranular		
Microestruturas:	Microvesículas (até 0,7 mm)		
Cristalinidade:	Hipocristalina		
Granularidade:	Inequigranular fina		
Intervalo de tamanho de cristal:	0,03 - 0,7 mm		
Rocha/matriz:	Basalto com matriz de plagioclásio, clinopiroxênio e opacos		
Fenocristais:	Não possui		
Mineralogia e estimativa modal			
Mineral/Vidro	%	Tamanho (mm)	Aspectos texturais
Plagioclásio	38	0,1 - 0,4	Ripiforme, subédrico, intercrescimento de cristais, maclas polissintéticas (lei da albita); altera para argilominerais
Clinopiroxênio	53	0,03 - 0,4	Hábito granular a prismático arredondado, subédrico a anédrico, cor marrom claro, intergranular
Opacos (magnetita/ilmenita)	6	0,03 - 0,7	Subédrica a anédrica, inclusões de plg, alguns com hábito hexagonal e outros cúbicos; alguns apresentam textura esquelética
Vidro	3	0,05 - 0,3	Amorfo, alterado para argilominerais de coloração verde clara a amarelo claro, intersetal
Óxidos/hidróxidos de ferro	Traço	0,05	Amorfos, presentes nas bordas de opacos devido, produtos de alteração destes
Síntese textural			
Basalto afanítico, hipidiomórfico, holocristalino, inequigranular fino, textura intergranular e com vesículas. É composto por plagioclásio, que ocorre alterado em alguns locais para argilominerais, clinopiroxênio e minerais opacos com seções típicas de magnetita/ilmenita, além de vidro alterado para argilominerais e, apenas em algumas porções, óxido/hidróxidos de ferro associados aos minerais opacos.			
Classificação da rocha			
Basalto			
Sequência de cristalização e eventos			
Mineral	Pré-eruptivos	Sin-eruptivos	Pós-eruptivos
Plagioclásio		-----	
Clinopiroxênio		-----	
Opacos		-----	
Óxidos/hidróxidos de ferro			-----
Vidro		-----	
Fotografias			
Nícois descruzados		Nícois cruzados	
			
Lente	10x		
Legenda	Matriz com plagioclásio, clinopiroxênio, mineral opaco (magnetita/ilmenita) e vidro alterado para argilomineral amarelo esverdeado		

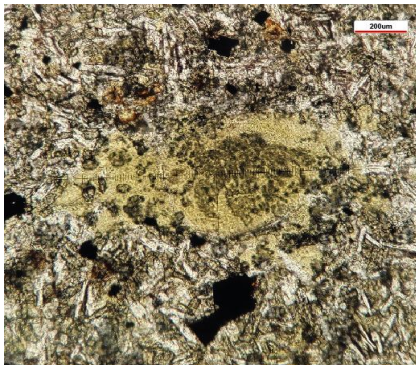
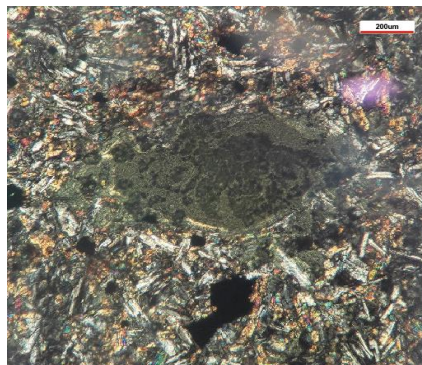
Identificação			
Amostra:	GX-516		
Procedência:	Vista Alegre do Prata - RS		
Unidade em campo:	Dacito		
Descrição microscópica			
Textura:	Afanítica		
Microestruturas:	-		
Cristalinidade:	Hipocristalina		
Granularidade:	Inequigranular fina		
Intervalo de tamanho de cristal:	0,05 - 0,7 mm		
Rocha/matriz:	Dacito com matriz de plagioclásio, vidro e quartzo		
Fenocristais:	Não possui		
Mineralogia e estimativa modal			
Mineral/Vidro	%	Tamanho (mm)	Aspectos texturais
Vidro	43	Vítreo	Possui coloração bege devido à desvitrificação e com pequenas porções incolores
Plagioclásio	28	0,1 - 0,7	Subédrico, ripiforme a acicular, apresentam textura de "cauda de andorinha"
Opacos (mag/ilm)	3	0,05 - 0,3	Subédrico, granular, apresenta alteração para óxidos laranjas
Quartzo	18	0,1 - 0,6	Anédrico, contatos irregulares;
Ortopiroxênio	2	0,1 - 0,35	Subédrico, com hábito em prismas prismático e coloração levemente esverdeada
Clinopiroxênio	5	0,05 - 0,45	Subédrico com hábito em grãos a prismas curtos; coloração bege
Óxidos/hidróxidos de ferro	1	0,05 - 0,1	Anédrico, coloração laranja, associado aos opacos e aos piroxênios
Síntese textural			
Dacito afanítico, inequigranular fino, hipocristalino, formado por vidro, plagioclásio com textura de resfriamento em cauda de andorinha, e subordinadamente po clinopiroxênio, ortopiroxênio e minerais opacos.			
Classificação da rocha			
Dacito			
Sequência de cristalização e eventos			
Mineral	Pré-eruptivos	Sin-eruptivos	Pós-eruptivos
Vidro		-----	
Plagioclásio		-----	
Opacos (mag/ilm)		-----	
Quartzo		-----	
Ortopiroxênio		-----	
Clinopiroxênio		-----	
Óxidos/hidróxidos de ferro			-----
Fotografias			
Nícois descruzados		Nícois cruzados	
			
Lente	10x		
Legenda	Matriz com plagioclásio com textura de cauda de andorinha, clinopiroxênio, vidro, quartzo e opacos		

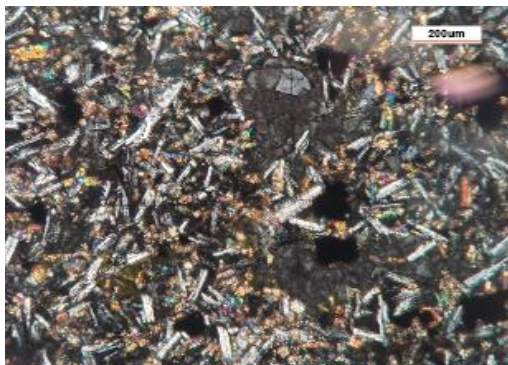
Identificação			
Amostra:	GX-517		
Procedência:	Vista Alegre - RS		
Unidade em campo:	Basalto pós-dacito		
Descrição microscópica			
Textura:	Subfanerítica, hipidiomórfica, intergranular		
Microestruturas:	-		
Cristalinidade:	Hipocristalina		
Granularidade:	Inequigranular fina		
Intervalo de tamanho de cristal:	0,02 - 0,95 mm		
Rocha/matriz:	Basalto com matriz de plagioclásio, piroxênio e opacos		
Fenocristais:	Microfenocristais de opacos (ilmenita/magnetita)		
Mineralogia e estimativa modal			
Mineral/Vidro	%	Tamanho (mm)	Aspectos texturais
Plagioclásio	50	0,05 - 0,4	Ripiforme em geral, anédrico a subédrico, alteração em argilominerais; apresenta algumas inclusões de cpx além de intercrescimento com cpx; An60; alteração para argilominerais localmente
Clinopiroxênio	41	0,05 - 0,3	Hábito principalmente granular; com poucos prismas curtos arredondados, subédrico a anédrico, cor levemente marrom claro; incluso em alguns cristais de plg; textura intergranular
Opacos (magnetita/ilmenita)	7	Matriz: 0,02 - 0,2; Fenocristais: 0,95	Subédrica a anédrica, apresenta inclusões de plg e cpx, algumas com hábito cúbico e outras hexagonais
Vidro	2	Vítreo	Coloração marrom, intersetal, alterados para argilominerais
Óxidos/hidróxidos de ferro	1	0,05 - 0,1	Cor alaranjada a avermelhada, associados aos opacos, anédricos
Síntese textural			
Basalto subfanerítico, hipidiomórfico, holocristalino, inequigranular fino com textura intergranular de grãos de clinopiroxênio entre ripas de plagioclásio e possui fenocristais de minerais opacos. Possui matriz formada por plagioclásio, clinopiroxênio e opacos, apresentando também vidro intersticial alterado para argilominerais e óxidos associados à alteração dos opacos.			
Classificação da rocha			
Basalto			
Sequência de cristalização e eventos			
Mineral	Pré-eruptivos	Sin-eruptivos	Pós-eruptivos
Plagioclásio		-----	
Clinopiroxênio		-----	
Opacos (magnetita/ilmenita)	-----	-----	
Vidro		-----	
Óxidos			-----
Fotografias			
Nícois descruzados		Nícois cruzados	
			
Lente		10x	
Legenda		Fenocristal de mineral opaco (magnetita/ilmenita) com alteração para óxidos/hidróxidos de ferro	

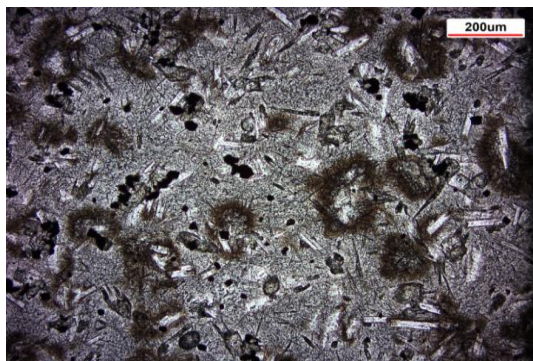
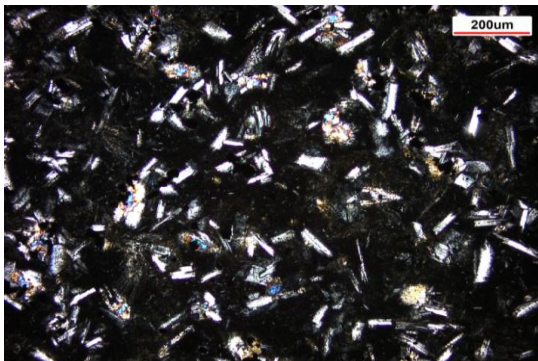
Identificação			
Amostra:	GX-519		
Procedência:	Itapuca - RS		
Unidade em campo:	Basalto pré-dacito		
Descrição microscópica			
Textura:	Afanítica, hipidiomórfica		
Microestruturas:	Microvesículas de até 1,2 mm		
Cristalinidade:	Holocristalina		
Granularidade:	Inequigranular muito fina a fina		
Intervalo de tamanho de cristal:	<0,01 - 0,2 mm		
Rocha/matriz:	Basalto formado por plagioclásio, clinopiroxênio e opacos		
Fenocristais:	Não possui		
Mineralogia e estimativa modal			
Mineral/Vidro	%	Tamanho (mm)	Aspectos texturais
Plagioclásio	47	0,03 - 0,2	Subédrico, ripiforme, An50, apresenta maclas em lei da albita não muito desenvolvidas; alterado para argilomineral (caulinita) em diversos locais
Clinopiroxênio	33	0,02 - 0,15	Anédrico a subédrico, principalmente granular, podendo estar em prismas arredondados, textura intergranular entre cristais de plg
Opacos	15	0,02 - 0,05	Anédricos a subédricos, apresentam alteração para óxidos/hidróxidos de ferro nas bordas
Argilominerais	3	0,03 - 0,2	Coloração verde, anédrico, possui pleocroísmo de verde amarelado a verde; intersticial; possível produto de alteração de vidro
Quartzo	1	0,05	Anédrico, preenchendo vesículas, contato interlobado, microcristalino em alguns locais
Óxidos/hidróxidos de ferro	1	0,03	Anédricos, avermelhados, associados aos cpx, concentrado em algumas partes da lâmina
Síntese textural			
Basalto afanítico, hipidiomórfico, inequigranular fino, holocristalino e com microvesículas. Possui matriz formada principalmente por plagioclásio, clinopiroxênio e minerais opacos.			
Classificação da rocha			
Basalto			
Sequência de cristalização e eventos			
Mineral	Pré-eruptivos	Sin-eruptivos	Pós-eruptivos
Plagioclásio		-----	
Clinopiroxênio		-----	
Opacos		-----	
Argilominerais			-----
Quartzo		-----	
Óxidos/hidróxidos de ferro			-----
Fotografias			
Nícois descruzados		Nícois cruzados	
			
Lente		10x	
Legenda		Matriz com plagioclásio, clinopiroxênio, opacos, com quartzo e argilominerais no centro da imagem	

Identificação			
Amostra:	GX-527		
Procedência:	União da Serra - RS		
Unidade em campo:	Basalto pós-dacitos		
Descrição microscópica			
Textura:	Afanítica, hipidiomórfica, intergranular		
Microestruturas:	Microvesículas (localmente; 0,1 mm)		
Cristalinidade:	Hipocristalina		
Granularidade:	Inequigranular muito fina a fina		
Intervalo de tamanho de cristal:	<0,01 - 0,3		
Rocha/matriz:	Basalto com matriz de plagioclásio, piroxênio e opacos		
Fenocristais:	Não possui		
Mineralogia e estimativa modal			
Mineral/Vidro	%	Tamanho (mm)	Aspectos texturais
Plagioclásio	42	0,03 - 0,25	Subédrico, ripiforme, An70, maclados com lei da albita e carlsbad
Clinopiroxênio	30	0,02 - 0,3	Subédrico, coloração bege, hábito granular a prismas curtos arredondados ou em massa, textura intergranular entre as ripas de plg, ocorre também incluso no plg
Opacos (mag/ilm)	20	<0,01 - 0,2	Subédricos a anédricos, hábito granular
Óxidos/hidróxidos de ferro	5	0,01 - 0,05	Anédricos, coloração laranja a vermelha, associados aos opacos e aos cpx; dispostos de modo heterogêneo, concentrados em estruturas lineares
Vidro	2	Vítreo	Intersticial, ocorre localmente e alterado para argilominerais de coloração amarela a marrom
Quartzo	1	0,05 - 0,1	Anédrico, preenchendo microvesículas
Síntese textural			
Basalto afanítico, hipidiomórfico, holocristalino, inequigranular fino (granulometria mais fina em comparação com demais amostras), com microvesículas e textura intergranular com grãos de clinopiroxênio entre ripas de plagioclásio. Possui matriz formada majoritariamente por plagioclásio, clinopiroxênio e minerais opacos.			
Classificação da rocha			
Basalto			
Sequência de cristalização e eventos			
Mineral	Pré-eruptivos	Sin-eruptivos	Pós-eruptivos
Plagioclásio		-----	
Clinopiroxênio		-----	
Opacos (mag/ilm)		-----	
Vidro		-----	
Óxidos/hidróxidos de ferro			-----
Quartzo			-----
Fotografias			
Nícois descruzados		Nícois cruzados	
			
Lente	10x		
Legenda	Matriz com plagioclásio, clinopiroxênio, minerais opacos		

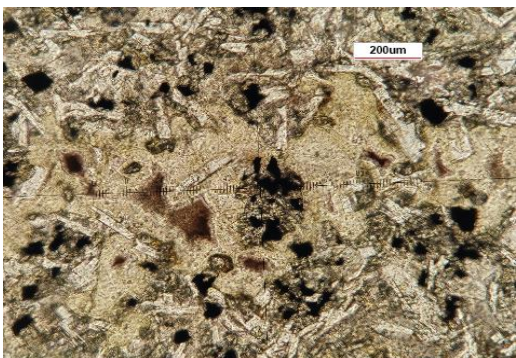
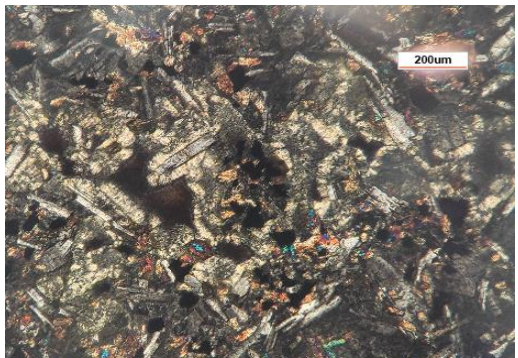
Identificação			
Amostra:	GX-528		
Procedência:	União da Serra - RS		
Unidade em campo:	Dacito		
Descrição microscópica			
Textura:	Afanítica, hipidiomórfica, "sal e pimenta"		
Microestruturas:	Vesículas (até 2,7 mm)		
Cristalinidade:	Hipohialina		
Granularidade:	Inequigranular fina		
Intervalo de tamanho de cristal:	0,02 - 0,8 mm		
Rocha/matriz:	Dacito, matriz formada principalmente por vidro e plagioclásio		
Fenocristais:	Não possui		
Mineralogia e estimativa modal			
Mineral/Vidro	%	Tamanho (mm)	Aspectos texturais
Plagioclásio	30	0,8	Subédrico, hábito ripiforme a acicular, textura "cauda de andorinha", maclas pouco desenvolvidas, ocorrendo em carlsbad e em menor proporção lei da albita
Ortopiroxênio	5	0,1 - 0,8	Subédrico, hábito prismático a acicular, coloração verde clara, clivagem linear em uma direção, localmente incluso em plagioclásio
Vidro	51	Vítreo	Coloração marrom devido à desvitrificação, feições de desvitrificação aciculares, compõe a matriz; textura em "sal e pimenta"
Clinopiroxênio	1	0,2	Subédrico, hábito prismático, cor bege clara,
Quartzo	10	0,1 - 1,2	Preenchendo vesículas, anédrico, contatos irregulares
Óxidos/hidróxidos de ferro	1	0,02 - 0,1	Coloração laranja, anédrico, preenchendo fraturas em plagioclásios
Opacos (mag/ilm)	2	0,03 - 0,1	Subédricos a anédricos, hábito granular
Síntese textural			
Dacito com matriz vítrea em textura "sal e pimenta", afanítico, hipidiomórfico, hipocristalino, inequigranular fino e com vesículas de até 2,7 mm. É formado principalmente por vidro, plagioclásio, quartzo e, subordinadamente, por clinopiroxênio e opacos (mag/ilm).			
Classificação da rocha			
Dacito			
Sequência de cristalização e eventos			
Mineral	Pré-eruptivos	Sin-eruptivos	Pós-eruptivos
Plagioclásio		-----	
Ortopiroxênio		-----	
Vidro		-----	
Clinopiroxênio		-----	
Quartzo		-----	
Óxidos/hidróxidos de ferro			-----
Opacos (mag/ilm)		-----	
Fotografias			
Nícois descruzados		Nícois cruzados	
			
Lente	10x		
Legenda	Matriz vítrea de coloração marrom com porções desvitrificadas incolores, plagioclásio em cauda de andorinha, ortopiroxênio e opacos		

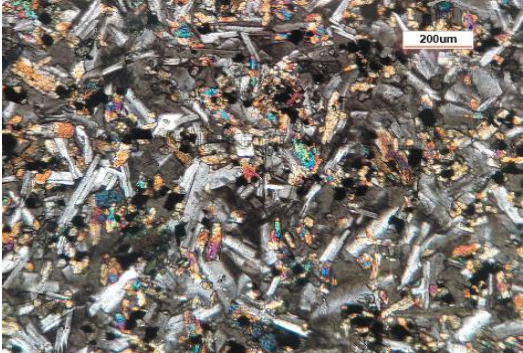
Identificação			
Amostra:	GX-530		
Procedência:	Guaporé - RS		
Unidade em campo:	Basalto pré-dacito		
Descrição microscópica			
Textura:	Afanítica, hipidiomórfica, intergranular		
Microestruturas:	Vesículas (até 1,1 mm)		
Cristalinidade:	Holocristalina		
Granularidade:	Inequigranular fina		
Intervalo de tamanho de cristal:	0,03 - 0,3 mm		
Rocha/matriz:	Basalto com matriz de plagioclásio, piroxênio e opacos		
Fenocristais:	Não possui		
Mineralogia e estimativa modal			
Mineral/Vidro	%	Tamanho (mm)	Aspectos texturais
Plagioclásio	47	0,05 - 0,3	Ripiforme, subédrico, maclado com lei da albita e carlsbad em menor proporção; alteração incipiente na bordas, gerando argilominerais; An60 Labradorita
Clinopiroxênio	40	0,03 - 0,2	Principalmente granular, podendo ocorrer em prismas curtos subédricos; cor levemente marrom claro;
Opacos (magnetita/ilmenita)	7	0,03 a 0,3	Subédrico a euédrico, hábito granular
Argilomineral	5	0,3	Coloração amarela a verde, amorfo, intersticial, preenche vesículas, possivelmente alteração de vidro
Óxidos/hidróxidos de ferro	1	0,1	Cor alaranjada, associados aos piroxênios
Síntese textural			
Rocha máfica afanítica holocristalina, hipidiomórfica, textura intergranular, com grãos de piroxênio entre ripas de plagioclásio (An60). Apresenta minerais opacos, sendo esses provavelmente magnetita e/ou ilmenita, de caráter subédrico a euédrico, assim como argilominerais intersticiais de coloração verde, óxidos/hidróxidos de ferro como alteração de piroxênios. Possui vesículas de até 1,1 mm.			
Classificação da rocha			
Basalto			
Sequência de cristalização e eventos			
Mineral	Pré-eruptivos	Sin-eruptivos	Pós-eruptivos
Plagioclásio		-----	
Clinopiroxênio		-----	
Opacos (magnetita/ilmenita)		-----	
Argilomineral			-----
Óxidos/hidróxidos de ferro			-----
Fotografias			
Nícois descruzados		Nícois cruzados	
			
Lente	10x		
Legenda	Vesícula preenchida com argilomineral amarelo esverdeado.		

Identificação			
Amostra:	GX-533		
Procedência:	Guaporé - RS		
Unidade em campo:	Basalto pós-dacitos		
Descrição microscópica			
Textura:	Afanítica, hipidiomórfica		
Microestruturas:	Vesículas (até 0,7 mm)		
Cristalinidade:	Holocristalina		
Granularidade:	Inequigranular fina		
Intervalo de tamanho de cristal:	0,03 - 0,4 mm		
Rocha/matriz:	Basalto com matriz de plagioclásio, piroxênio e opacos		
Fenocristais:	Não possui		
Mineralogia e estimativa modal			
Mineral/Vidro	%	Tamanho (mm)	Aspectos texturais
Plagioclásio	47	0,05 - 0,4	Ripiforme, subédrico, maclado com lei da albite e carlsbad em menor proporção; alteração gerando opacidade nas bordas de alguns cristais devido à formação de argilominerais; An60 Labradorita
Clinopiroxênio	43	0,03 - 0,2	Principalmente granular, podendo ocorrer em prismas curtos subédricos; cor levemente marrom claro; textura intergranular
Opacos	6	0,03 - 0,2	Subédrica a euédrica, hábito granualr
Óxidos/hidróxidos de ferro	0,5	0,1	Cor alaranjada, anédrico, associados aos piroxênios
Argilominerais	2	<0,01 - 0,1	Coloração verde, amorfa, associada principalmente às bordas de vesículas e à magnetita/opacos
Quartzo	1,5	<0,01 - 0,1	Preenche vesículas, anédrico
Síntese textural			
Basalto afanítico, hipidiomórfico, holocristalino, inequigranular fino e com vesículas até 0,7 mm. Possui textura intergranular, com grãos de clinopiroxênio entre ripas de plagioclásio, além de minerais opacos e minerais secundários como óxido/hidróxidos de ferro, argilominerais e quartzo.			
Classificação da rocha			
Basalto			
Sequência de cristalização e eventos			
Mineral	Pré-eruptivos	Sin-eruptivos	Pós-eruptivos
Plagioclásio		-----	
Clinopiroxênio		-----	
Opacos		-----	
Óxidos/hidróxidos de ferro			-----
Argilominerais			-----
Quartzo			-----
Fotografias			
Nícois descruzados		Nícois cruzados	
			
Lente	10x		
Legenda	Microvesículas preenchidas por quartzo em matriz com plagioclásio, clinopiroxênio e opacos.		

Identificação			
Amostra:	GX-535F		
Procedência:	Guaporé - RS		
Unidade em campo:	Dacito		
Descrição microscópica			
Textura:	Afanítica, hipidiomórfica		
Microestruturas:	Microvesículas (até 0,7 mm)		
Cristalinidade:	Hipohialina		
Granularidade:	Inequigranular fina		
Intervalo de tamanho de cristal:	0,01 - 0,4 mm		
Rocha/matriz:	Dacito		
Fenocristais:	Não possui		
Mineralogia e estimativa modal			
Mineral/Vidro	%	Tamanho (mm)	Aspectos texturais
Plagioclásio	17	0,05 - 0,3	Ripiforme a tabular, subédrico, pode apresentar maclas polissintéticas
Clinopiroxênio	12	0,05 - 0,3	Hábito principalmente prismático, subédrico a anédrico, cor marrom claro
Vidro	65	Vítreo	Coloração levemente bege na maior parte da matriz devido á desvitrificação; ocorre em coloração marrom próximo a alguns cristais; apresenta alterações locais para argilominerais verdes a amarelos
Opacos (magnetita/ilmenita)	5	0,01 - 0,4	Subédrica a anédrica, hábito granular a acicular na matriz vítrea devido ao processo de desvitrificação
Quartzo e K-feldspato	1	-	Amorfos, configuram textura granofírica
Óxidos/hidróxidos de ferro	Traço	0,05	Amorfos, presentes nas bordas de opacos devido, produtos de alteração destes
Síntese textural			
Dacito afanítico, hipidiomórfico, hipocristalino, com cristais inequigranulares finos e microvesículas de até 0,7 mm. A matriz vítrea apresenta cristais aciculares de minerais opacos devido ao processo de desvitrificação, exceto as porções de coloração marrom. É composto principalmente por vidro, plagioclásio, clinopiroxênio e opacos.			
Classificação da rocha			
Dacito			
Sequência de cristalização e eventos			
Mineral	Pré-eruptivos	Sin-eruptivos	Pós-eruptivos
Plagioclásio		-----	
Clinopiroxênio		-----	
Vidro		-----	
Opacos		-----	
Quartzo		-----	
Óxidos/hidróxidos de ferro			-----
Fotografias			
Nicóis descruzados		Nicóis cruzados	
			
Lente	10x		
Legenda	Matriz vítrea com cristais de plagioclásio, clinopiroxênio e opacos		

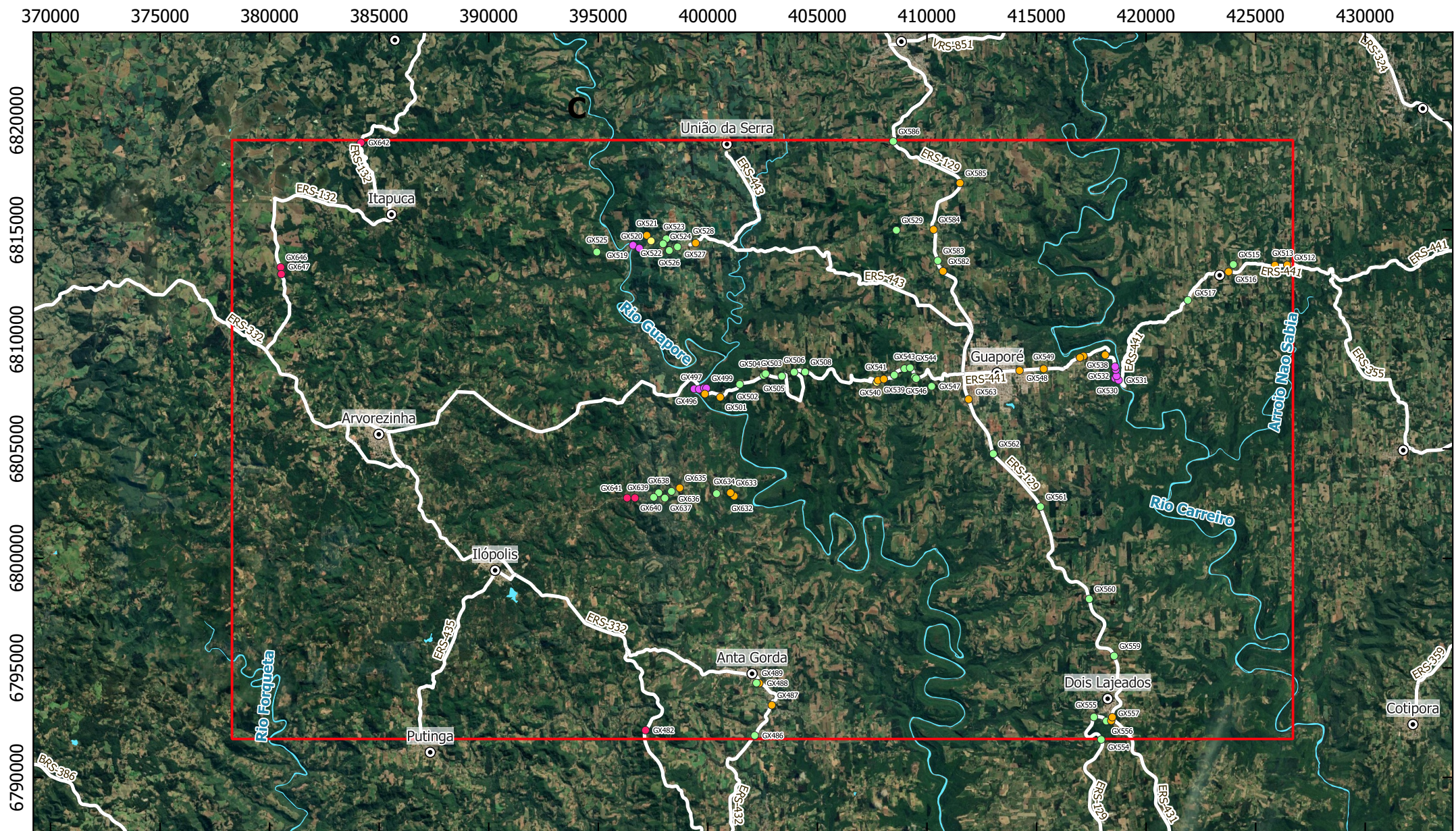
Identificação			
Amostra:	GX-543		
Procedência:	Guaporé - RS		
Unidade em campo:	Basalto pós-dacito		
Descrição microscópica			
Textura:	Subfanerítica, hipidiomórfica, intergranular		
Microestruturas:	Vesículas (0,1 a 1 ,6 mm)		
Cristalinidade:	Hipocristalina		
Granularidade:	Inequigranular fina		
Intervalo de tamanho de cristal:	0,01 - 0,4 mm		
Rocha/matriz:	Basalto com matriz formada por plagioclásio, clinopiroxênio e minerais opacos		
Fenocristais:	Não possui		
Mineralogia e estimativa modal			
Mineral/Vidro	%	Tamanho (mm)	Aspectos texturais
Plagioclásio	46	0,03 - 0,4	Subédrico, contatos em geral planos entre si e irregulares com os cpx; inclusões de cpx; textura de intercrescimento com cpx; apresenta maclas polissintéticas principalmente em lei da albita. Apresenta concentração mais alta em algumas porções
Clinopiroxênio	42	0,03 - 0,2	Subeuédricos a amorfos, hábito principalmente granular , mas apresenta prismas curtos arredondados ou também em massa. Textura intergranular, com grãos entre ripas de plg. Altera para óxidos avermelhados. Distribuição homogênea.
Opacos (mag/ilm)	6	0,01 - 0,2	Subeuédricos, hábito triangular, romboétrico e hexagonal. Distribuição homogênea.
Óxidos/hidróxidos de ferro	2	0,03 - 0,1	Coloração laranja a avermelhada, amorfos, associados à alteração de minerais opacos
Calcedônia	1	0,05 - 0,4	Ocorre preenchendo vesículas
Vidro	3	Vítreo	Intersticial, amorfo, coloração marrom e ocorre alterado para argilominerais verdes em algumas porções. Distribuição heterogênea;
Síntese textural			
Basalto com textura subfanerítica, hipidiomórfica, intergranular e intergranular (plagioclásio e clinopiroxênio). A matriz é composta por plagioclásio, clinopiroxênio e minerais opacos. Apresenta vesículas de até 1,6 mm preenchidas por calcedônia.			
Classificação da rocha			
Basalto			
Sequência de cristalização e eventos			
Mineral	Pré-eruptivos	Sin-eruptivos	Pós-eruptivos
Plagioclásio		-----	
Clinopiroxênio		-----	
Opacos (mag/il)		-----	
Óxidos			-----
Calcedônia			-----
Vidro		-----	
Fotografias			
Nícois descruzados		Nícois cruzados	
			
Lente	4x		
Legenda	Vesícula preenchida por calcedônia		

Identificação			
Amostra:	GX-544		
Procedência:	Guaporé - RS		
Unidade em campo:	Basalto pós-dacito		
Descrição microscópica			
Textura:	Afanítica, hipidiomórfica, intersetal, intergranular e de intercrescimento		
Microestruturas:	Microvesículas/cavidades (até 1 mm)		
Cristalinidade:	Hipocristalina		
Granularidade:	Inequigranular fina		
Intervalo de tamanho de cristal:	0,03 - 0,5 mm		
Rocha/matriz:	Basalto com matriz de plagioclásio, piroxênio, opacos		
Fenocristais:	Não possui		
Mineralogia e estimativa modal			
Mineral/Vidro	%	Tamanho (mm)	Aspectos texturais
Plagioclásio	40	0,05 - 0,5	Ripiforme, subédrico, alteração em sericita/argilominerais, textura de intercrescimento com cpx localmente
Clinopiroxênio	30,5	0,05 - 0,4	Hábito granular a prismático, subédrico a anédrico, cor levemente marrom claro, textura intergranular com plagioclásio
Opacos (magnetita/ilmenita)	8	0,03 - 0,1	Subédrica a anédrica, geralmente associado ao cpx
Vidro	12	-	Incolor a marrom, intersticial (textura intersetal), desvitrificação com feições aciculares
Argilominerais	9	0,05	Amorfo, coloração verde clara a amarelo claro, preenche vesículas/cavidades, distribuição heterogênea na lâmina, intersticial
Óxidos/hidróxidos de ferro	0,5	0,05	Cor alaranjada a avermelhada, associados aos opacos e aos cpx, anédricos
Síntese textural			
Basalto afanítico, hipidiomórfico, hipocristalino, inequigranular fino, com microvesículas/cavidades irregulares de até 1 mm preenchidas por argilominerais e vidro. Possui textura intergranular, com grãos de clinopiroxênio entre ripas de plagioclásio, além de textura intersetal do vidro/argilomineral. É composto por plagioclásio, clinopiroxênio, minerais opacos, vidro, argilominerais e apresenta alteração também para óxidos/hidróxidos de ferro.			
Classificação da rocha			
Basalto			
Sequência de cristalização e eventos			
Mineral	Pré-eruptivos	Sin-eruptivos	Pós-eruptivos
Plagioclásio		-----	
Piroxênio		-----	
Opacos (magnetita/ilmenita)		-----	
Vidro		-----	
Argilominerais			-----
Óxidos/hidróxidos de ferro			-----
Fotografias			
Nícois descruzados		Nícois cruzados	
			
Lente	10x		
Legenda	Cavidades preenchidas por argilominerais e vidro marrom.		

Identificação			
Amostra:	GX-545		
Procedência:	Guaporé - RS		
Unidade em campo:	Basalto pós-dacito		
Descrição microscópica			
Textura:	Afanítica, hipidiomórfica; intersertal, intergranular		
Microestruturas:	Vesículas de até 2mm, preenchidas por argilomineral amarelo ou vazias		
Cristalinidade:	Hipocristalina		
Granularidade:	Inequigranular fina		
Intervalo de tamanho de cristal:	0,01 - 0,5 mm		
Rocha/matriz:	Basalto vesicular com matriz de plagioclásio, clinopiroxênio, opacos e vidro		
Fenocristais:	Não possui		
Mineralogia e estimativa modal			
Mineral/Vidro	%	Tamanho (mm)	Aspectos texturais
Plagioclásio	45	0,05 - 0,5	Subeuédrico, hábito tabular, compõe a matriz e também ocorre concentrado em algumas porções; textura de intercrescimento com cpx; ocorre alterado em diversos cristais (possivelmente para caulinita); An50; maclas geralmente em lei da albita não muito desenvolvidas
Clinopiroxênio	36	0,03 - 0,3	Subédrico, hábito granular a prismático em menor proporção, textura intergranular (grãos entre cristais de plg) e de intercrescimento, ocorrendo também incluso no plg; coloração bege clara; localmente apresenta inclusões de opacos
Opacos (magnetita/ilmenita)	10	0,01 - 0,1	Subédrico, hábito granular, associado ao cpx,
Vidro	4	Vítrico	Incolor a bege, intersertal; ocorrem localmente textura de desvitrificação acicular
Óxidos/hidróxidos de ferro	2	0,01 - 0,1	Anédrico, coloração alaranjada, intersticial, associado ao cpx e aos opacos; concentrados em uma porção da lâmina
Argilominerais	3	-	Coloração amarela a verde; em geral, preenche vesículas ou ocorre de forma intersticial; anédrico
Síntese textural			
Basalto afanítico, holocristalino, inequigranular fino, hipidiomórfico, com vesículas de até 2 mm. Possui textura intergranular (plagioclásio e clinopiroxênio), intersertal (vidro e argilominerais) e de intercrescimento entre plagioclásio e clinopiroxênio. A matriz é composta principalmente por plagioclásio, clinopiroxênio e opacos; subordinadamente, ocorre vidro/argilominerais e óxidos/hidróxidos de ferro			
Classificação da rocha			
Basalto			
Sequência de cristalização e eventos			
Mineral	Pré-eruptivos	Sin-eruptivos	Pós-eruptivos
Plagioclásio		-----	
Clinopiroxênio		-----	
Opacos		-----	
Vidro		-----	
Óxidos			-----
Argilominerais			-----
Fotografias			
Nicóis descruzados		Nicóis cruzados	
			
Lente	10x		
Legenda	Matriz formada por plagioclásio, clinopiroxênio, minerais opacos e vidro		

ANEXO B – Tabela e mapa de pontos

Ponto	Longitude	Latitude	Altitude	Rocha	
GX482	397154	6792157	688	Riolito - deslocamento horizontal	Riolito
GX486	402138	6791917	463	Basalto	Basalto pós-dacito
GX487	402918	6793303	401	Dacito	Dacito
GX488	402347	6794305	402	Obsidiana	Dacito
GX489	402217	6794313	428	Basalto	Basalto pós-dacito
GX493	370069	6811605	620	Riolito	Riolito
GX496	399372	6807741	280	Basalto	Basalto pré-dacito
GX497	399600	6807728	319	Basalto	Basalto pré-dacito
GX498	399835	6807785	337	Basalto	Basalto pré-dacito
GX499	399935	6807777	340	Basalto	Basalto pré-dacito
GX500	399862	6807512	380	Dacito	Dacito
GX501	400564	6807363	430	Dacito	Dacito
GX502	401454	6807951	490	Basalto	Basalto pós-dacito
GX503	402542	6808362	528	Basalto	Basalto pós-dacito
GX504	402635	6808436	531	Basalto	Basalto pós-dacito
GX505	403375	6808323	583	Basalto	Basalto pós-dacito
GX506	403937	6808508	560	Basalto	Basalto pós-dacito
GX508	404436	6808516	670	Basalto	Basalto pós-dacito
GX512	426441	6813404	448	Dacito - vesículas grandes	Dacito
GX513	425880	6813390	488	Dacito - placoso	Dacito
GX515	423982	6813423	561	Basalto - junção colunar	Basalto pós-dacito
GX516	423765	6813091	545	Dacito	Dacito
GX517	421904	6811791	579	Basalto	Basalto pós-dacito
GX519	396583	6814300	297	Basalto - maciço e vesicular	Basalto pré-dacito
GX520	396874	6814167	336	Basalto - vesicular	Basalto pré-dacito
GX521	397215	6814752	413	Dacito- vesicular	Dacito
GX522	397411	6814500	480	Arenito	Arenito
GX523	398102	6814597	621	Basalto - fino	Basalto pós-dacito
GX524	397955	6814365	653	Basalto	Basalto pós-dacito
GX525	395114	6814122	605	Basalto - fino	Basalto pós-dacito
GX526	398239	6814064	585	Basalto - vesicular piroclástico	Basalto pós-dacito
GX527	398616	6814228	528	Basalto	Basalto pós-dacito
GX528	399443	6814401	479	Dacito - vesicular	Dacito
GX529	408604	6814989	682	Basalto fino	Basalto pós-dacito
GX530	418579	6808224	264	Basalto	Basalto pré-dacito
GX531	418745	6808143	239	Basalto	Basalto pré-dacito
GX532	418651	6808335	272	Basalto	Basalto pré-dacito
GX533	418617	6808617	309	Basalto	Basalto pré-dacito
GX534	418587	6808758	305	Basalto	Basalto pré-dacito
GX535	418134	6809293	378	Basalto brechado e dacito	Dacito
GX537	417142	6809240	471	Obsidiana - vesiculada	Dacito
GX538	416981	6809174	460	Dacito	Dacito
GX539	407709	6808044	491	arenito	Arenito
GX540	407764	6808134	477	Obsidiana - vesiculada	Dacito
GX541	408030	6808191	451	Obsidiana	Dacito
GX542	408507	6808374	511	Basalto - fino	Basalto pós-dacito
GX543	408975	6808667	555	Basalto	Basalto pós-dacito
GX544	409229	6808707	592	Basalto - vesículas esparsas	Basalto pós-dacito
GX545	409438	6808285	628	Basalto	Basalto pós-dacito
GX546	409505	6808215	660	Basalto	Basalto pós-dacito
GX547	410213	6807859	649	Basalto	Basalto pós-dacito
GX548	414224	6808582	502	Dacito - vesiculado	Dacito
GX549	415326	6808657	500	Dacito	Dacito
GX554	417949	6791731	583	Basalto - venulado	Basalto pós-dacito
GX555	417618	6792759	544	Basalto	Basalto pós-dacito
GX556	418189	6792577	532	Basalto	Basalto pós-dacito
GX557	418410	6792595	519	Obsidiana	Dacito
GX558	418458	6792753	518	Obsidiana	Dacito
GX559	418541	6795549	538	Basalto	Basalto pós-dacito
GX560	417404	6798152	619	andesito	Basalto pós-dacito
GX561	415179	6802364	501	Basalto	Basalto pós-dacito
GX562	413027	6804778	513	Basalto - vesicular, brechado	Basalto pós-dacito
GX563	411899	6807268	473	Dacito - placoso	Dacito
GX582	410731	6813116	524	Dacito	Dacito
GX583	410495	6813595	555	Basalto alterado	Basalto pós-dacito
GX584	410301	6815016	512	Obsidiana - vesicular	Dacito
GX585	411505	6817143	531	Dacito - maciço	Dacito
GX586	408458	6819046	682	Basalto	Basalto pós-dacito
GX632	401199	6802848	427	Dacito	Dacito
GX633	401030	6803001	468	Dacito	Dacito
GX634	400396	6802959	473	Basalto	Basalto pós-dacito
GX635	398717	6803221	459	Dacito	Dacito
GX636	398338	6803064	505	Dacito	Basalto pós-dacito
GX637	398037	6802758	549	Basalto	Basalto pós-dacito
GX638	397754	6803000	589	Basalto	Basalto pós-dacito
GX639	397525	6802792	621	Basalto	Basalto pós-dacito
GX640	396673	6802765	662	Riolito	Riolito
GX641	396314	6802763	698	Riolito	Riolito
GX642	384164	6818988	669	Riolito	Riolito
GX645	386931	6823546	641	Riolito	Riolito
GX646	380506	6813295	780	Riolito	Riolito
GX647	380533	6812983	767	Riolito	Riolito



- Riolitos
- Basaltos pós-dacitos
- Arenitos
- Dacitos
- Basaltos pré-dacitos

- Municípios
- Vias principais
- Corpos d'água
- Área de estudo

0 5 10 km

DATUM SIRGAS 2000
Zona UTM 22S



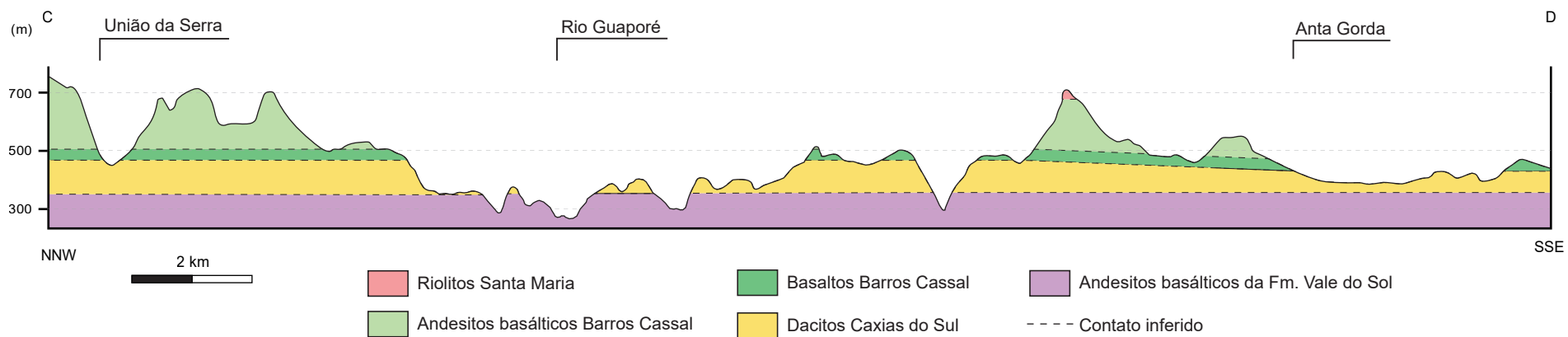
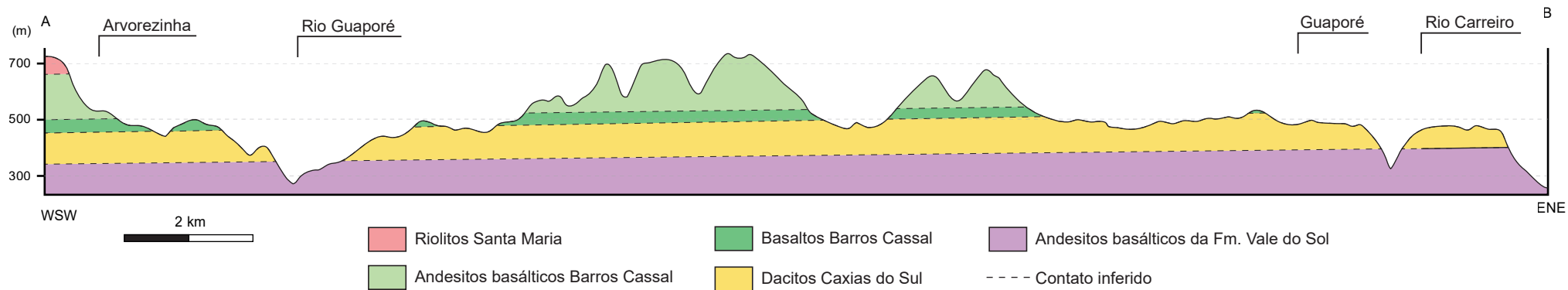
**ANEXO C – Resultados de análises químicas de rocha total por
FRX**

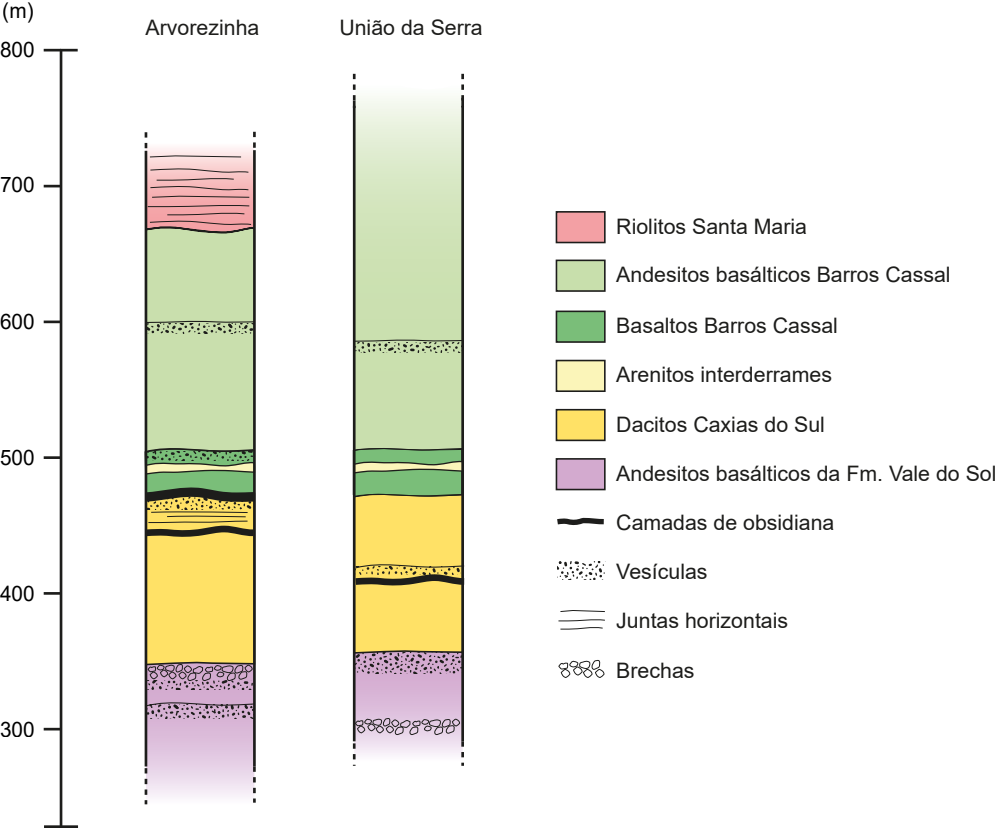
Ponto	Código	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Loi	Ba
GX486	17/167a	49,71	1,21	13,73	13,14	0,18	6,62	10,60	2,17	0,52	0,13	0,52	156,00
GX486b	17/167b	50,33	1,26	14,08	13,34	0,19	6,56	11,12	2,16	0,56	0,14	0,51	138,00
GX487	17/168	66,90	0,97	12,97	5,81	0,08	1,21	3,10	2,87	4,09	0,27	1,19	574,00
GX488	17/169	66,02	0,89	12,25	6,02	0,10	1,26	3,22	2,76	3,42	0,26	2,35	597,00
GX489	17/170	50,02	1,22	13,86	13,01	0,19	6,72	10,55	2,18	0,74	0,13	0,48	147,00
GX493	17/174	69,17	0,64	11,76	4,92	0,09	0,62	1,96	3,17	3,45	0,19	2,79	639,00
GX-496	18/053	54,51	1,44	13,59	12,76	0,18	4,23	7,74	2,63	1,75	0,20	0,06	325,00
GX-497	18/054	55,17	1,43	13,51	12,71	0,19	4,06	7,84	2,71	1,68	0,20	0,02	316,00
GX-499	18/055	54,04	1,23	13,86	11,78	0,18	5,41	9,45	2,45	1,19	0,16	0,00	253,00
GX-500	18/056	67,83	0,89	12,65	5,73	0,09	1,07	2,76	2,73	4,03	0,27	1,04	654,00
GX-501	18/057a	68,97	0,85	12,29	5,50	0,09	0,99	2,69	2,64	3,94	0,26	1,17	601,00
GX-501b	18/057b	68,89	0,86	12,27	5,50	0,09	0,99	2,68	2,62	3,91	0,26	1,13	601,00
GX-502	18/058	50,10	1,27	13,97	13,20	0,21	6,73	11,15	2,18	0,42	0,13	0,36	155,00
GX-504	18/059	52,78	1,86	12,49	15,40	0,21	3,74	7,90	2,65	1,60	0,22	0,22	334,00
GX-505	18/060	54,19	1,71	12,80	14,37	0,22	3,48	7,48	2,55	1,20	0,29	1,42	329,00
GX-506	18/061	52,49	1,30	13,42	13,31	0,21	5,11	8,96	2,36	1,23	0,16	0,52	221,00
GX-513A	18/062a	67,89	0,88	12,59	5,72	0,09	1,09	2,93	2,75	4,03	0,26	0,98	635,00
GX-513b	18/062b	67,95	0,88	12,58	5,72	0,09	1,10	2,94	2,74	4,03	0,27	0,99	629,00
GX-515	18/063	53,47	1,38	13,45	12,92	0,19	4,76	8,74	2,43	1,39	0,19	0,35	266,00
GX-516	18/064	67,71	0,91	13,03	5,52	0,07	0,84	2,43	2,71	4,16	0,27	1,40	633,00
GX-517	18/065	53,04	1,36	13,84	13,15	0,20	5,08	9,18	2,49	1,42	0,19	0,02	267,00
GX-519A	18/066	54,76	1,45	13,36	12,69	0,18	3,91	7,38	2,63	2,21	0,20	0,26	385,00
GX-521	18/067a	66,22	0,87	12,47	5,68	0,09	1,12	3,45	3,15	4,26	0,26	1,76	665,00
GX-521b	18/067b	66,70	0,88	12,58	5,74	0,09	1,13	3,47	2,72	4,29	0,26	1,74	651,00
GX-524A	18/069	54,41	1,89	11,93	15,81	0,21	3,07	6,38	2,61	2,31	0,29	0,57	338,00
GX-525	18/070	53,84	1,93	12,13	16,02	0,20	3,05	7,14	2,76	1,97	0,27	0,45	319,00
GX-526	18/071	52,46	1,32	13,56	13,68	0,21	5,15	9,10	2,42	1,09	0,15	0,64	250,00
GX-527	18/072a	53,24	1,65	13,07	14,22	0,23	4,38	8,31	2,52	1,42	0,18	0,64	298,00
GX-527b	18/072b	53,20	1,65	13,07	14,20	0,23	4,40	8,30	2,51	1,39	0,18	0,64	302,00
GX-528	18/073	67,36	0,89	12,73	5,78	0,07	0,81	2,38	2,65	4,41	0,27	1,77	622,00
GX-529	18/074	53,97	1,90	12,19	15,66	0,21	3,16	7,09	2,71	1,86	0,27	0,47	303,00
GX-530	18/075	52,22	1,60	13,67	13,67	0,20	4,73	8,65	2,46	1,05	0,23	0,97	389,00
GX-531T	18/076	59,37	1,90	11,99	12,71	0,13	1,79	5,03	2,58	2,74	0,27	0,70	495,00
GX-532	18/077a	52,02	1,60	13,70	13,44	0,19	4,84	8,74	2,48	1,14	0,23	0,90	390,00
GX-532b	18/077b	52,05	1,60	13,77	13,41	0,19	4,85	8,75	2,45	1,14	0,23	0,98	388,00
GX-533	18/078	52,94	1,41	13,50	12,65	0,19	4,64	9,01	2,25	0,62	0,19	2,19	348,00
GX-534	18/079	55,07	1,41	13,55	12,73	0,19	4,12	8,03	2,99	1,80	0,19	0,04	312,00
GX-535A	18/080	50,03	1,43	14,23	13,15	0,19	5,90	8,93	2,08	0,55	0,19	2,38	247,00
GX-535C	18/081	68,05	0,87	12,32	5,65	0,11	0,94	2,25	2,51	5,27	0,26	0,91	583,00
GX-535D	18/082a	66,80	0,88	12,68	5,76	0,10	1,19	3,21	3,30	3,01	0,27	2,22	591,00
GX-535Db	18/082b	66,56	0,89	12,59	5,74	0,10	1,19	3,21	3,29	3,01	0,26	2,26	589,00
GX-535E	18/083	68,73	0,87	12,28	5,58	0,10	0,74	2,36	2,64	4,60	0,26	0,70	610,00
GX-535F	18/084	67,58	0,90	12,87	5,79	0,11	1,22	3,22	3,33	2,82	0,27	2,45	574,00
GX-536A	18/085	66,61	0,89	12,71	5,78	0,11	1,24	3,22	3,16	2,93	0,27	2,50	573,00
GX-538	18/086	68,36	0,87	12,45	5,62	0,10	1,05	2,93	2,76	3,96	0,26	0,77	627,00
GX-542	18/087a	49,26	1,24	14,04	13,21	0,19	6,83	11,00	2,12	0,59	0,13	1,13	159,00
GX-542b	18/087b	49,21	1,24	13,97	13,26	0,19	6,86	10,98	2,11	0,59	0,13	1,09	161,00
GX-543	18/088	53,13	1,86	12,69	14,84	0,22	4,10	8,30	2,52	0,97	0,23	0,73	397,00
GX-544	18/089	53,96	1,70	12,68	14,35	0,20	3,36	7,34	2,53	1,28	0,29	1,47	314,00
GX-545	18/090	54,52	1,96	12,29	15,72	0,21	3,25	7,37	2,62	1,49	0,27	0,20	334,00
GX-547	18/091	67,02	0,90	12,78	5,75	0,10	1,20	3,20	3,29	2,82	0,27	1,69	401,00
GX-636A	19/351	49,57	1,26	14,02	13,18	0,19	6,35	10,70	2,13	0,68	0,13	0,81	172,00
GX-639	19/352a	53,28	1,90	12,16	15,93	0,18	3,10	6,82	2,91	1,75	0,27	0,63	308,00
GX-639b	19/352b	53,63	1,93	12,31	16,07	0,18	3,13	6,87	2,83	1,75	0,28	0,59	294,00
GX640	21/515	71,25	0,72	13,23	5,53	0,06	0,21	0,25	1,43	4,97	0,11	2,98	993,00
GX642	21/516	69,86	0,68	12,81	4,94	0,06	0,36	1,25	2,32	4,65	0,19	2,03	770,00
GX645	21/517a	70,91	0,66	12,01	4,91	0,07	0,36	1,28	2,36	5,23	0,19	1,45	733,00
GX645	21/517b	71,43	0,67	12,05	4,97	0,07	0,36	1,30	3,11	5,33	0,19	1,44	741,00

Ponto	Código	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	La	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	Sc
GX486	17/167a	< 35	43,00	89,00	131,00	18,00	< 28	< 9	< 14	68,00	6,00	14,00	36,00
GX486b	17/167b	< 35	42,00	94,00	131,00	19,00	< 28	< 9	14,00	70,00	8,00	13,00	37,00
GX487	17/168	83,00	11,00	< 13	49,00	18,00	52,00	22,00	38,00	< 5	14,00	172,00	< 14
GX488	17/169	90,00	10,00	< 13	57,00	18,00	60,00	21,00	42,00	< 5	14,00	185,00	< 14
GX489	17/170	< 35	42,00	91,00	136,00	19,00	< 28	< 9	< 14	69,00	6,00	43,00	36,00
GX493	17/174	100,00	6,00	< 13	20,00	18,00	54,00	25,00	46,00	< 5	21,00	219,00	< 14
GX-496	18/053	63,00	38,00	13,00	126,00	22,00	< 28	12,00	30,00	37,00	12,00	70,00	24,00
GX-497	18/054	50,00	36,00	< 13	122,00	21,00	< 28	12,00	25,00	36,00	13,00	59,00	31,00
GX-499	18/055	< 35	40,00	64,00	120,00	19,00	< 28	9,00	23,00	56,00	12,00	48,00	30,00
GX-500	18/056	90,00	7,00	< 13	49,00	18,00	43,00	21,00	47,00	< 5	17,00	180,00	< 14
GX-501	18/057a	118,00	8,00	< 13	40,00	17,00	82,00	20,00	98,00	5,00	15,00	170,00	< 14
GX-501b	18/057b	125,00	8,00	< 13	40,00	17,00	79,00	21,00	105,00	5,00	16,00	170,00	< 14
GX-502	18/058	< 35	48,00	93,00	145,00	19,00	< 28	< 9	< 14	73,00	9,00	12,00	29,00
GX-504	18/059	70,00	39,00	< 13	172,00	20,00	< 28	10,00	35,00	34,00	10,00	61,00	29,00
GX-505	18/060	49,00	38,00	< 13	164,00	20,00	29,00	14,00	24,00	29,00	11,00	94,00	27,00
GX-506	18/061	< 35	40,00	16,00	137,00	19,00	< 28	< 9	21,00	44,00	9,00	50,00	29,00
GX-513A	18/062a	84,00	8,00	< 13	46,00	17,00	62,00	20,00	55,00	< 5	13,00	177,00	16,00
GX-513b	18/062b	78,00	9,00	< 13	47,00	18,00	50,00	20,00	49,00	< 5	13,00	179,00	< 14
GX-515	18/063	38,00	39,00	49,00	139,00	20,00	< 28	10,00	20,00	46,00	12,00	55,00	26,00
GX-516	18/064	109,00	8,00	< 13	45,00	18,00	58,00	22,00	69,00	< 5	17,00	176,00	< 14
GX-517	18/065	40,00	37,00	54,00	117,00	20,00	< 28	10,00	20,00	49,00	12,00	52,00	26,00
GX-519A	18/066	61,00	36,00	< 13	123,00	22,00	< 28	12,00	35,00	35,00	9,00	100,00	24,00
GX-521	18/067a	83,00	9,00	13,00	49,00	18,00	42,00	21,00	34,00	< 5	13,00	191,00	14,00
GX-521b	18/067b	70,00	8,00	< 13	48,00	18,00	42,00	20,00	33,00	< 5	11,00	190,00	18,00
GX-524A	18/069	49,00	35,00	< 13	136,00	20,00	< 28	14,00	24,00	22,00	14,00	79,00	25,00
GX-525	18/070	45,00	39,00	< 13	193,00	21,00	< 28	12,00	29,00	31,00	15,00	80,00	27,00
GX-526	18/071	37,00	38,00	14,00	112,00	18,00	< 28	< 9	20,00	42,00	9,00	52,00	28,00
GX-527	18/072a	< 35	39,00	31,00	214,00	19,00	< 28	9,00	16,00	44,00	13,00	62,00	27,00
GX-527b	18/072b	< 35	38,00	29,00	216,00	21,00	< 28	9,00	24,00	42,00	10,00	62,00	26,00
GX-528	18/073	84,00	8,00	< 13	48,00	19,00	47,00	21,00	40,00	< 5	14,00	187,00	15,00
GX-529	18/074	60,00	40,00	< 13	206,00	21,00	< 28	13,00	35,00	30,00	13,00	68,00	20,00
GX-530	18/075	54,00	41,00	15,00	141,00	21,00	42,00	17,00	30,00	41,00	14,00	35,00	27,00
GX-531T	18/076	67,00	32,00	< 13	111,00	21,00	38,00	18,00	31,00	19,00	15,00	113,00	23,00
GX-532	18/077a	71,00	42,00	14,00	148,00	21,00	< 28	16,00	30,00	41,00	14,00	24,00	28,00
GX-532b	18/077b	61,00	41,00	16,00	152,00	21,00	< 28	16,00	23,00	40,00	15,00	26,00	29,00
GX-533	18/078	41,00	39,00	< 13	143,00	20,00	32,00	13,00	20,00	40,00	13,00	36,00	26,00
GX-534	18/079	59,00	39,00	< 13	124,00	20,00	< 28	11,00	34,00	39,00	10,00	78,00	24,00
GX-535A	18/080	45,00	42,00	15,00	136,00	21,00	< 28	13,00	24,00	42,00	16,00	16,00	31,00
GX-535C	18/081	94,00	10,00	< 13	53,00	17,00	52,00	20,00	38,00	< 5	12,00	200,00	< 14
GX-535D	18/082a	75,00	9,00	< 13	50,00	18,00	43,00	22,00	40,00	< 5	16,00	172,00	< 14
GX-535Db	18/082b	80,00	9,00	< 13	50,00	18,00	53,00	21,00	38,00	< 5	17,00	171,00	< 14
GX-535E	18/083	104,00	9,00	< 13	50,00	18,00	39,00	20,00	51,00	< 5	16,00	180,00	< 14
GX-535F	18/084	94,00	10,00	< 13	47,00	18,00	35,00	21,00	41,00	5,00	16,00	191,00	< 14
GX-536A	18/085	90,00	9,00	< 13	48,00	18,00	41,00	21,00	36,00	< 5	14,00	193,00	16,00
GX-538	18/086	102,00	8,00	< 13	43,00	18,00	41,00	21,00	51,00	< 5	17,00	174,00	14,00
GX-542	18/087a	< 35	47,00	93,00	115,00	19,00	< 28	< 9	< 14	74,00	8,00	37,00	31,00
GX-542b	18/087b	< 35	45,00	94,00	115,00	18,00	< 28	< 9	16,00	72,00	5,00	37,00	32,00
GX-543	18/088	56,00	41,00	< 13	206,00	23,00	< 28	11,00	26,00	36,00	13,00	43,00	33,00
GX-544	18/089	48,00	35,00	< 13	150,00	19,00	32,00	14,00	36,00	30,00	11,00	87,00	21,00
GX-545	18/090	43,00	43,00	< 13	251,00	22,00	< 28	14,00	22,00	31,00	12,00	60,00	27,00
GX-547	18/091	< 35	89,00	< 13	141,00	15,00	29,00	< 9	25,00	< 5	< 4	108,00	24,00
GX-636A	19/351	< 35	47,00	93,00	148,00	18,00	< 28	10,00	19,00	70,00	10,00	19,00	40,00
GX-639	19/352a	41,00	39,00	< 13	201,00	21,00	42,00	15,00	26,00	31,00	14,00	69,00	33,00
GX-639b	19/352b	59,00	39,00	< 13	202,00	21,00	< 28	16,00	38,00	32,00	15,00	70,00	35,00
GX640	21/515	103,00	2,00	16,00	18,00	20,00	52,00	25,00	62,00	-2,00	23,00	223,00	13,00
GX642	21/516	150,00	4,00	4,00	12,00	18,00	96,00	21,00	123,00	0,00	20,00	225,00	12,00
GX645	21/517a	105,00	0,00	24,00	12,00	18,00	50,00	23,00	53,00	-3,00	18,00	229,00	12,00
GX645	21/517b	86,00	0,00	22,00	13,00	19,00	54,00	22,00	47,00	-3,00	19,00	229,00	13,00

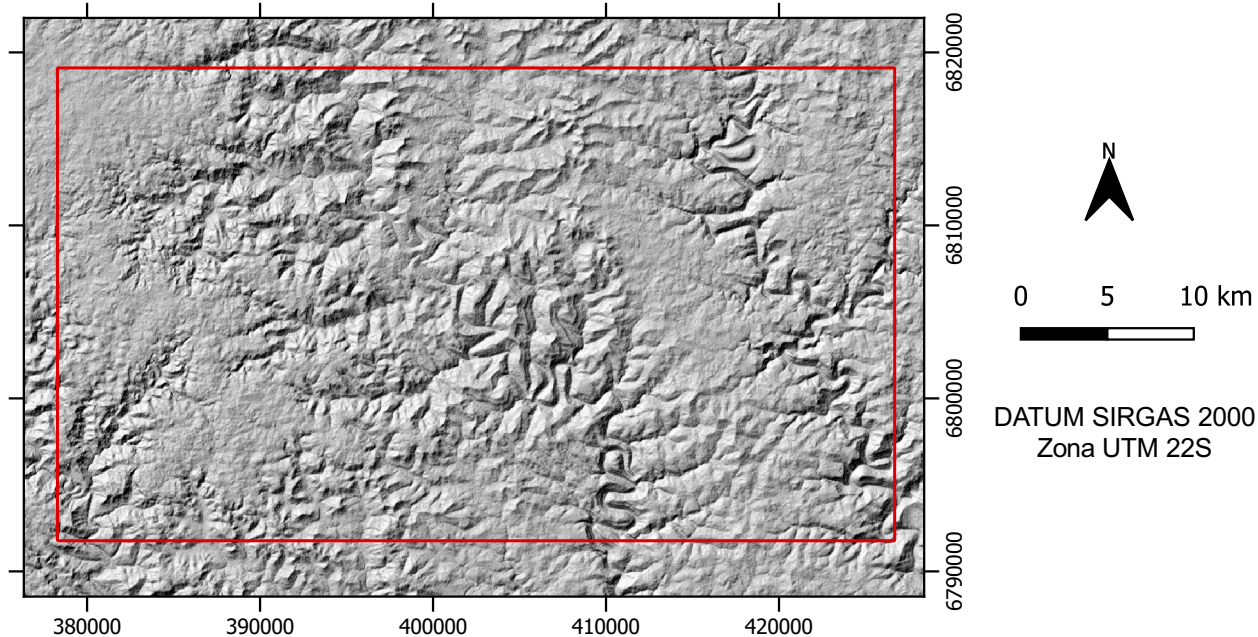
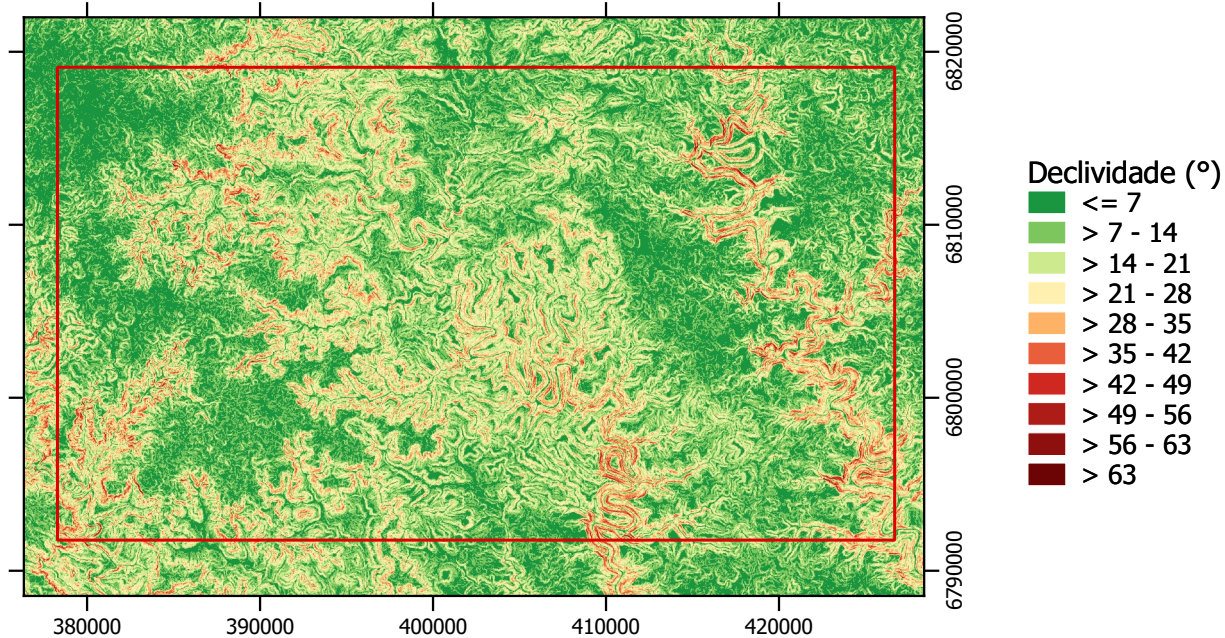
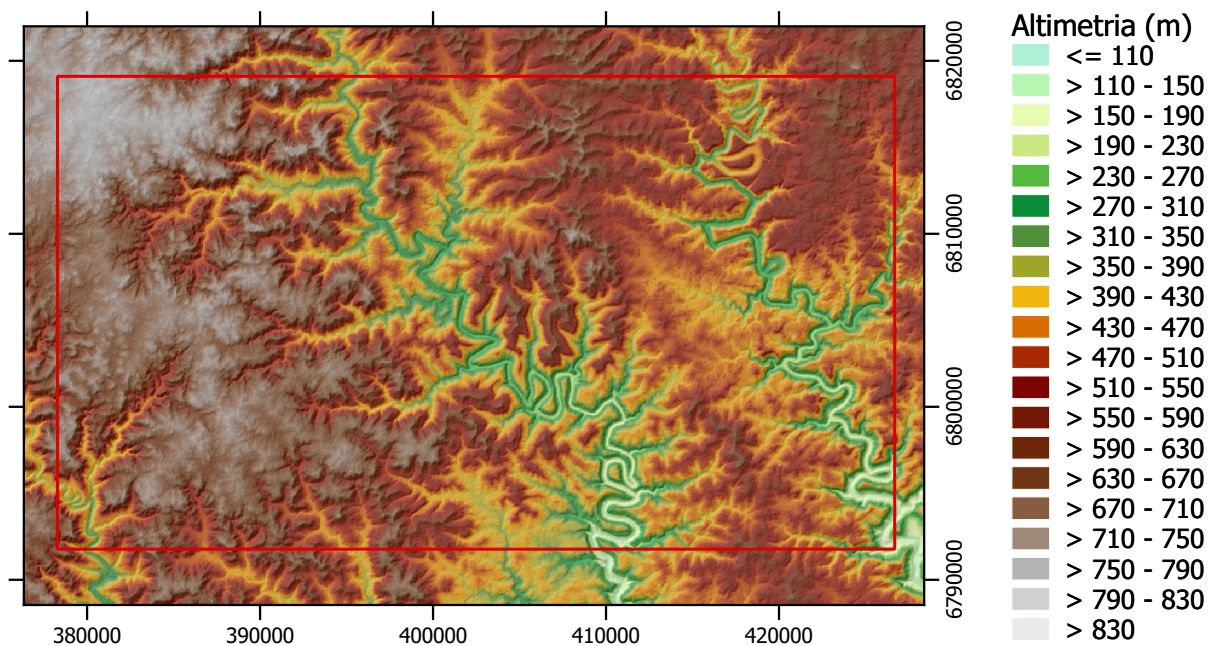
Ponto	Código	Sr	Th	U	V	Y	Zn	Zr	Cl	F	S
GX486	17/167a	183,00	< 7	6,00	328,00	26,00	86,00	100,00	< 500	147,00	< 550
GX486b	17/167b	184,00	8,00	7,00	335,00	27,00	88,00	101,00	< 500	246,00	< 550
GX487	17/168	147,00	10,00	5,00	83,00	37,00	77,00	247,00	< 500	710,00	< 550
GX488	17/169	157,00	10,00	5,00	81,00	45,00	77,00	242,00	< 500	435,00	< 550
GX489	17/170	176,00	< 7	5,00	334,00	26,00	86,00	97,00	< 500	210,00	< 550
GX493	17/174	98,00	11,00	4,00	17,00	52,00	76,00	312,00	< 500	732,00	< 550
GX-496	18/053	204,00	10,00	6,00	357,00	32,00	98,00	151,00	< 500	335,00	< 550
GX-497	18/054	203,00	10,00	6,00	357,00	34,00	99,00	150,00	< 500	368,00	< 550
GX-499	18/055	203,00	9,00	6,00	338,00	27,00	89,00	117,00	< 500	275,00	< 550
GX-500	18/056	139,00	11,00	6,00	74,00	42,00	72,00	242,00	< 500	543,00	< 550
GX-501	18/057a	130,00	12,00	6,00	66,00	94,00	71,00	231,00	< 500	598,00	< 550
GX-501b	18/057b	131,00	12,00	6,00	66,00	94,00	71,00	232,00	< 500	584,00	< 550
GX-502	18/058	186,00	9,00	6,00	363,00	27,00	88,00	99,00	< 500	147,00	< 550
GX-504	18/059	175,00	11,00	6,00	440,00	41,00	116,00	166,00	< 500	464,00	< 550
GX-505	18/060	175,00	12,00	6,00	380,00	43,00	113,00	178,00	< 500	280,00	< 550
GX-506	18/061	160,00	9,00	6,00	329,00	30,00	94,00	123,00	< 500	218,00	< 550
GX-513A	18/062a	143,00	10,00	6,00	72,00	67,00	77,00	241,00	< 500	565,00	< 550
GX-513b	18/062b	145,00	9,00	5,00	69,00	66,00	77,00	241,00	< 500	565,00	< 550
GX-515	18/063	173,00	10,00	6,00	334,00	32,00	99,00	138,00	< 500	395,00	< 550
GX-516	18/064	128,00	11,00	6,00	71,00	74,00	74,00	248,00	< 500	680,00	< 550
GX-517	18/065	176,00	10,00	6,00	328,00	31,00	97,00	135,00	< 500	220,00	< 550
GX-519A	18/066	194,00	9,00	6,00	377,00	32,00	102,00	153,00	< 500	376,00	< 550
GX-521	18/067a	139,00	11,00	6,00	76,00	39,00	71,00	244,00	< 500	656,00	< 550
GX-521b	18/067b	138,00	11,00	6,00	75,00	39,00	71,00	243,00	< 500	642,00	< 550
GX-524A	18/069	148,00	12,00	6,00	348,00	51,00	130,00	190,00	< 500	468,00	< 550
GX-525	18/070	158,00	13,00	7,00	488,00	44,00	123,00	171,00	< 500	546,00	< 550
GX-526	18/071	167,00	9,00	6,00	346,00	30,00	96,00	126,00	< 500	328,00	< 550
GX-527	18/072a	176,00	10,00	6,00	405,00	38,00	109,00	148,00	< 500	345,00	< 550
GX-527b	18/072b	175,00	10,00	6,00	403,00	37,00	109,00	148,00	< 500	331,00	< 550
GX-528	18/073	130,00	10,00	6,00	75,00	43,00	79,00	246,00	< 500	599,00	< 550
GX-529	18/074	159,00	12,00	6,00	461,00	43,00	123,00	174,00	< 500	557,00	< 550
GX-530	18/075	241,00	13,00	6,00	364,00	34,00	105,00	174,00	< 500	290,00	< 550
GX-531T	18/076	161,00	13,00	6,00	434,00	45,00	110,00	221,00	< 500	590,00	< 550
GX-532	18/077a	235,00	12,00	7,00	366,00	33,00	105,00	175,00	< 500	288,00	< 550
GX-532b	18/077b	237,00	11,00	6,00	365,00	34,00	106,00	174,00	< 500	262,00	< 550
GX-533	18/078	214,00	12,00	6,00	354,00	31,00	98,00	151,00	< 500	540,00	< 550
GX-534	18/079	202,00	10,00	6,00	359,00	30,00	97,00	142,00	< 500	311,00	< 550
GX-535A	18/080	218,00	14,00	7,00	350,00	30,00	105,00	147,00	< 500	645,00	< 550
GX-535C	18/081	106,00	10,00	6,00	73,00	48,00	77,00	239,00	< 500	713,00	< 550
GX-535D	18/082a	147,00	11,00	6,00	70,00	41,00	73,00	248,00	< 500	748,00	< 550
GX-535Db	18/082b	147,00	12,00	6,00	70,00	41,00	73,00	248,00	< 500	693,00	< 550
GX-535E	18/083	120,00	10,00	6,00	69,00	42,00	75,00	238,00	< 500	690,00	< 550
GX-535F	18/084	146,00	12,00	6,00	73,00	39,00	74,00	250,00	< 500	324,00	< 550
GX-536A	18/085	146,00	11,00	6,00	68,00	40,00	73,00	249,00	< 500	176,00	< 550
GX-538	18/086	140,00	11,00	6,00	72,00	42,00	74,00	239,00	< 500	512,00	< 550
GX-542	18/087a	182,00	8,00	7,00	356,00	28,00	87,00	96,00	< 500	201,00	< 550
GX-542b	18/087b	183,00	< 7	6,00	351,00	28,00	87,00	96,00	< 500	151,00	< 550
GX-543	18/088	199,00	10,00	6,00	443,00	41,00	121,00	172,00	< 500	262,00	< 550
GX-544	18/089	171,00	11,00	6,00	373,00	47,00	112,00	177,00	< 500	296,00	< 550
GX-545	18/090	168,00	12,00	6,00	491,00	43,00	124,00	176,00	< 500	296,00	< 550
GX-547	18/091	102,00	< 7	0,00	544,00	26,00	85,00	118,00	< 500	316,00	< 550
GX 636A	19/351	185,00	12,00	12,00	344,00	28,00	90,00	98,00	< 500	274,00	< 550
GX 639	19/352a	164,00	13,00	12,00	456,00	44,00	122,00	174,00	< 500	1035,00	< 550
GX 639b	19/352b	165,00	13,00	12,00	451,00	44,00	122,00	175,00	< 500	1081,00	< 550
Gx640	21/515	57,00	18,00	6,00	26,00	47,00	82,00	350,00	59,00	-1392,00	-20,00
Gx642	21/516	81,00	16,00	4,00	9,00	262,00	87,00	322,00	60,00	311,00	-26,00
Gx645	21/517a	80,00	15,00	4,00	16,00	55,00	70,00	318,00	50,00	16,00	-12,00
Gx645	21/517b	80,00	16,00	4,00	18,00	54,00	70,00	318,00	35,00	42,00	-10,00

ANEXO D – Perfis e colunas estratigráficas

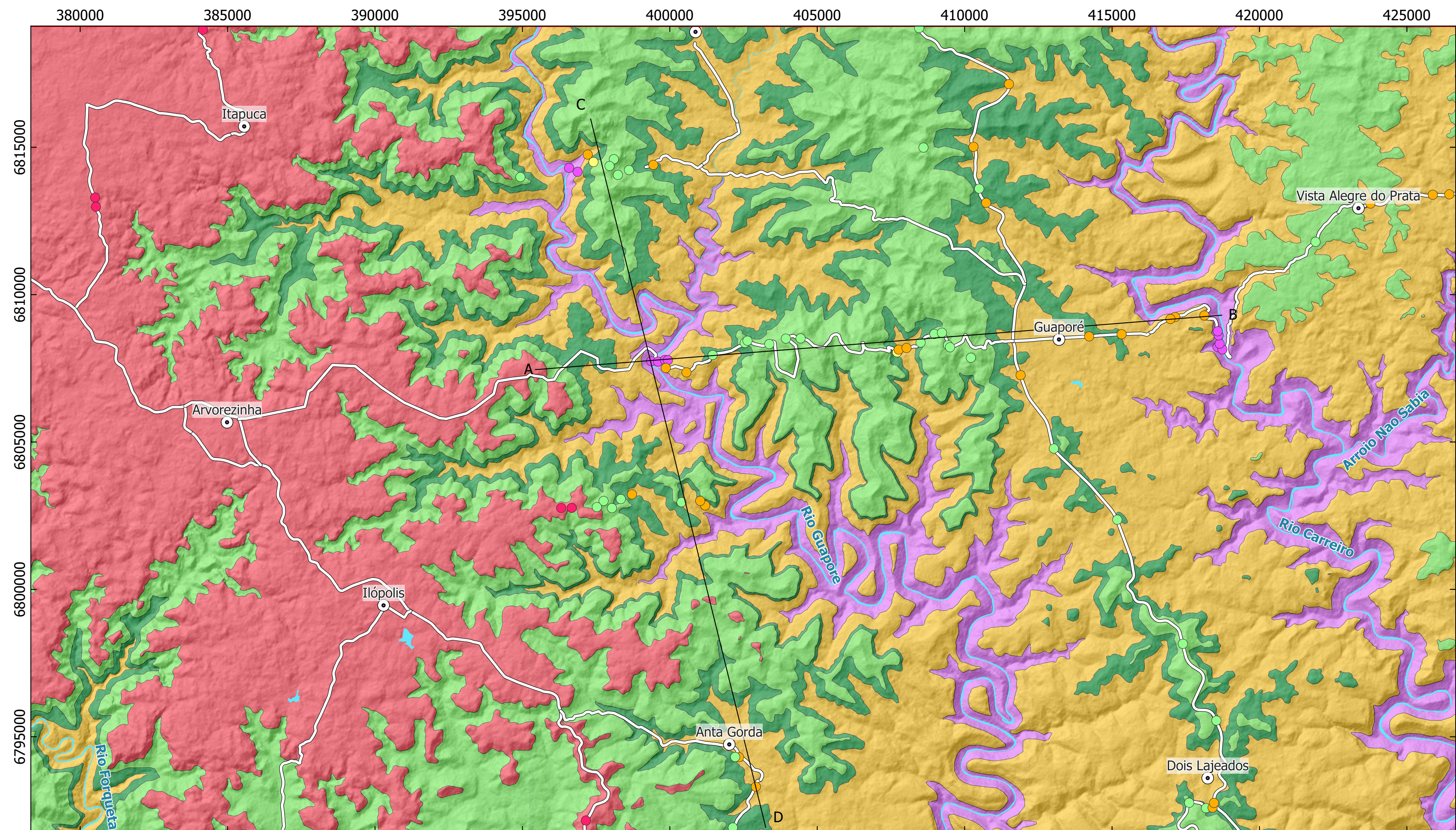




**ANEXO E – Mapa altimétrico, de declividade e de
sombreamento**



ANEXO F – Mapa geológico



■ Riolito Santa Maria

■ Andesitos basálticos Barros Cassal

■ Basaltos Barros Cassal

■ Dacitos Caxias do Sul

■ Andesitos basálticos Fm. Vale do Sol

● Riolitos Santa Maria

● Sequência Barros Cassal

● Arenito interderrame

● Dacitos Caxias do Sul

● Andesitos basálticos Fm. Vale do Sol

⊙ Municípios

— Vias principais

— Corpos d'água

— Seção geológica

0 5 10 km

DATUM SIRGAS 2000
Zona UTM 22S

