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

CAMILA DE OLIVEIRA MARTINS

MODELAGEM GEOQUÍMICA DE SOLEIRAS DAS REGIÕES DE PRUDENTÓPOLIS E REBOUÇAS DA PROVÍNCIA MAGMÁTICA DO PARANÁ, ESTADO DO PARANÁ

CURITIBA
2023

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

CAMILA DE OLIVEIRA MARTINS

MODELAGEM GEOQUÍMICA DE SOLEIRAS DAS REGIÕES DE PRUDENTÓPOLIS E REBOUÇAS DA PROVÍNCIA MAGMÁTICA DO PARANÁ, ESTADO DO PARANÁ

Projeto apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (GC-132), sob orientação da Professora Doutora Eleonora Maria Gouvea Vasconcellos e coorientado pelo Dr. Marcell Leonard Besser

CURITIBA
2023

*Jogaram negros e bebês num **mar** de sangue*
*E é por isso que existe **tsunami***
Almas não tem fim elas estão aqui
***Terremotos** e **furacões** são povos massacrados sim*
Deu à luz essa nação tipo Abuk do Sudão
Evolução** retrógrada tanto que volta a ser **poeira** ou pólvora entre as **galáxias
***Big Bang** Bang é um grande tiroteio*
É o retorno constante dos que tão indo multiplicando e não morrendo
*Cravo minha espada nos seus **livros***
Que clareia o preto
Além e muito a frente
Tipo pirâmide
É eu entendo
Prefere acreditar que foi alien
Do que um preto

- Tasha e Tracie, 2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à minha mãe, por tanto amor, paciência e por sempre acreditar em mim, por mais difícil que parecesse o obstáculo, foi de você que tirei forças que nunca imaginei que teria. Aos meus irmãos Geovani e Thaís por serem sempre alegria na minha vida, ao meu tio Elcio que sempre me incentivou, à minha avó Vitalina e meu avô João por tanto que já fizeram por mim, espero um dia retribuir.

Aos meus amores que se tornaram minha segunda família, acompanharam e me deram suporte nos momentos mais difíceis: Acácio, Caroline e Jéssica, vocês são indescritíveis. Aos meus grandes irmãos que sempre me lembram das minhas verdadeiras raízes, a presença de vocês me faz ter mais vontade de continuar: Ana, Analu, Douglas, Juarez e Alisson.

Às crianças que me deram o privilégio de fazer parte de suas vidas e me instigam a ter mais esperanças na humanidade: Arthur, Isadora e Luan.

Aos meus grandes amigues da geologia por tantas trocas de experiências e aprendizados sobre “a vida, o universo e tudo mais”: Giovana, Caroline, Jun, Bárbara, Eduarda, Nathália, Rafael, João, Thomaz, Herick, Thalles, Giordano, Winicius, Júlio, Jéssica, Unger, Andreas, Ortiz, Fabiano e Lima.

Aos meus grandes mestres e professores que se dedicaram à missão de ensinar e me fizeram enxergar o mundo com outros olhos. Especialmente à minha orientadora Eleonora, pela paciência, por sempre ser inspiração e despertar meu encanto pela área de geoquímica. Agradeço também meu coorientador Marcell por ótimas correções e sugestões.

Agradeço demais a oportunidade de entrar em uma universidade pública, que infelizmente é um sonho quase impossível para a maioria dos jovens brasileiros. Me mantive firme em vários momentos difíceis por entender que este lugar é nosso, precisamos ocupar e abrir cada vez mais as portas para as próximas gerações.

Por fim, sou muito grata pelos ensinamentos que esta ciência tão fascinante me proporcionou, olhar o mundo com olhos geológicos não tem preço. Foi o encanto por este conhecimento que me manteve em muitos momentos.

RESUMO

A Província Magmática do Paraná (PMP) representa importante magmatismo que se estende por extensa área da região sudeste da América do Sul. Este magmatismo é de caráter bimodal e resultou em expressivo vulcanismo e extensas intrusões rasas (diques e soleiras) com variações composicionais e texturais entre si, que sugerem diversos processos magmáticos que devem ser estudados para auxiliar no entendimento da evolução da província. Este trabalho tem como objetivo principal realizar a modelagem geoquímica de soleiras da PMP nos municípios de Prudentópolis e Rebouças, no Estado do Paraná, para compreender os processos magmáticos que formam as soleiras e como se manifestou a evolução destes corpos. As soleiras da região de Rebouças possuem composições químicas indicativas de magma mais primitivo em relação às de Prudentópolis. Na análise petrográfica foram descritas amostras de gabros e basaltos de cada soleira, que indicam disposição no centro e na borda dos corpos, respectivamente. As amostras de basalto possuem texturas de rápido resfriamento, como esferulitos, textura em *quench*, cristais ocos e cauda de andorinha. As amostras de gabros possuem texturas indicativas de diferenciação magmática e reações entre cristal e líquido, com intercrescimentos granofíricos, pertíticos, simplectíticos (entre a augita e labradorita) e zonamentos composicionais, que evidenciam fracionamento da composição magmática durante a cristalização. Estas variações composicionais são observadas também na análise da química mineral, com maior enriquecimento de CaO nas amostras de basaltos, e, de Na_2O nas amostras de gabros e nas bordas dos fenocristais de labradorita. Os padrões de variação dos óxidos são observados em diagramas do tipo Harker, sendo as soleiras divididas em dois tipos, com comportamentos geoquímicos distintos: soleiras de baixo TiO_2 (<2%) e soleiras de alto TiO_2 (>2%), que inferem a presença de fontes mantélicas distintas. O processo de fracionamento magmático foi testado matematicamente, sendo que a maioria dos resultados obtidos nos cálculos são semelhantes aos resultados observados. Os mecanismos de fracionamento magmático inferidos com as análises são predominantemente por cristalização fracionada.

ABSTRACT

The Parana Magmatic Province (PMP) represents an important and extensive magmatism that covers a large area in the southeastern region of South America. It comprises a bimodal magmatism resulting in significant volcanism and extensive shallow intrusions (dykes and sills) with compositional and textural variations among them, which suggests several magmatic processes that must be studied to understand the province evolution. The main objective of this work is to execute a geochemical modeling of the PMP sills located in the cities of Prudentópolis and Rebouças, in the State of Paraná, to understand their magmatic and evolutionary processes. The Rebouças sills have chemical compositions indicative of more primary magma in relation to those of Prudentópolis. Gabbro and basalts specimens were sampled from the inner and outer parts of each sill, respectively, for petrographic and geochemical analysis. Basalt samples show rapid cooling textures, such as quench, skeletal and swallow-tailed crystals and spherulites. In contrast, gabbro samples show granophyric, perthitic and symplectite intergrowth textures and compositional zoning, indicating magmatic fractionation during crystallization. These compositional variations are also observed in the mineral chemistry analysis, with greater enrichment of CaO in basalts, and Na_2O in gabbros, observed on the edges of labradorite phenocrystals. The oxide variation patterns were analyzed in Harker-type diagrams, with sills divided into two groups, with different geochemical behaviors: low TiO_2 sills (<2%) and high TiO_2 sills (>2%), which infer the presence of distinct mantle sources. The magmatic fractionation process was mathematically tested, and most of the results obtained were similar to the ones in petrography, mineral and rock chemistry. The magmatic fractional controls inferred, by the analyses performed, are predominantly by fractional crystallization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo e dos pontos de amostragem 9
Figura 2: Geologia da área de estudo com localização dos pontos de amostragem 10
Figura 3: Mapa com conjuntos litogeoquímicos simplificado da PMP 12
Figura 4: Geologia local das soleiras encaixadas na Bacia do Paraná 13
Figura 5: Perfil esquemático da borda para o centro das soleiras 18
Figura 6: Detalhes dos basaltos das soleiras de Prudentópolis 19
Figura 7: Detalhes dos basaltos das soleiras de Prudentópolis 20
Figura 8: Detalhes dos gabros das soleiras de Prudentópolis 21
Figura 9: Detalhes das alterações presentes no gabro 22
Figura 10: Perfil esquemático da borda para o centro das soleiras da região de Rebouças 25
Figura 11: Detalhes dos basaltos das soleiras de Rebouças 26
Figura 12: Detalhes dos basaltos das soleiras de Rebouças 27
Figura 13: Detalhes dos gabros das soleiras de Rebouças 28
Figura 14: Detalhes dos gabros das soleiras de Rebouças 29
Figura 15: Diagramas ternários Or-Ab-An, para plagioclásios 31
Figura 16: Diagrama Quad (Ca+Mg+Fe^{2+}) vs. J (2Na) para classificação de piroxênios 33
Figura 17: Diagramas ternários Wo-En-Fs, para piroxênios 34
Figura 18: Diagrama ternário Wo-En-Fs com isotermas de Lindsley (1983) 35
Figura 19: Diagramas ternários Or-Ab-An, para plagioclásios 37
Figura 20: Diagrama Quad (Ca+Mg+Fe2+) vs. J (2Na) para classificação de piroxênios 38
Figura 21: Diagramas ternários Wo-En-Fs, para piroxênios 39
Figura 22: Diagramas ternários Wo-En-Fs com isotermas de Lindsley (1983) 40
Figura 23: Diagrama TAS de classificação de rochas vulcânicas 42
Figura 24: Diagrama AFM Irvine e Baragar (1971) 42
Figura 25: Diagramas do tipo Harker de variação para óxidos 43
Figura 26: Diagramas do tipo Harker de variação para óxidos 44
Figura 27: Diagramas do tipo Harker de variação para elementos traço 47
Figura 28: Diagrama Multielementar normalizado pelo manto primordial 48
Figura 29: Diagrama TAS de classificação de rochas vulcânicas 49
Figura 30: Diagrama AFM de classificação de rochas vulcânicas de Irvine Baragar (1971) 50
Figura 31: Diagramas do tipo Harker de variação para óxidos 50
Figura 32: Diagramas do tipo Harker de variação para óxidos 51
Figura 33: Diagramas do tipo Harker de variação para elementos traço 53
Figura 34: Diagramas do tipo Harker de variação para elementos traço 54
Figura 35: Diagrama Multielementar normalizado pelo manto primordial 55
Figura 36: Organograma dos tipos geoquímicos da PMP 57
Figura 37: Diagrama de variação de óxidos calculados da soleira ATi 61
Figura 38: Diagrama de variação de óxidos calculados da soleira BTi, etapa 1 64
Figura 39: Diagrama de variação de óxidos calculados da soleira BTi, etapa 2 64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição e textura das amostras da região de Prudentópolis 16
Tabela 2: Composição e texturas das amostras das soleiras de Rebouças 24
Tabela 3: Teores médios, mínimos e máximo dos membros finais Ab, An e Or 32
Tabela 4: Teores médios, mínimos e máximo dos membros finais Wo, En e Fs 33
Tabela 5: Teores médios, mínimos e máximo dos óxidos FeO e TiO_2 dos óxidos 35
Tabela 6: Teores médios, mínimos e máximo dos membros finais Or-Ab-An 36
Tabela 7: Teores médios, mínimos e máximo dos membros finais Wo, En e Fs 38
Tabela 8: Teores médios, mínimos e máximo dos óxidos FeO e TiO_2 dos óxidos 40
Tabela 9: Classificação para magma-tipos de basaltos segundo Peate *at al.* (1992) 55

Tabela 10: Classificação das rochas das soleiras, conforme Peate *et al.* (1992). 56
Tabela 11: Classificação das rochas das soleiras, conforme Peate *et al.* (1992). 56
Tabela 12: Classificação das amostras das soleiras conforme Licht (2018) 57
Tabela 13: Classificação das amostras das soleiras conforme Licht (2018) 57
Tabela 14: Comparação entre as fases fracionantes calculadas com dados observados 60
Tabela 15: Comparação entre as fases fracionantes calculadas com dados observados 63
Tabela 16: Comparação entre as fases fracionantes calculadas com dados observados 63

Sumário

1. INTRODUÇÃO 8
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA 8
1.2. OBJETIVOS 8
1.3. LOCALIZAÇÃO 9
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 9
2.3. PROVÍNCIA MAGMÁTICA DO PARANÁ 11
2.3. SOLEIRAS 12
3. MATERIAIS E MÉTODOS 14
3.1. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO 14
3.2. ANÁLISE PETROGRÁFICA 14
3.3. ANÁLISE LITOGEOQUÍMICA 15
3.4. ANÁLISE DA QUÍMICA MINERAL 15
3.5. MODELAGEM GEOQUÍMICA 15
4. RESULTADOS 16
4.1. ANÁLISE PETROGRÁFICA 16
4.1.1. Soleiras da região de Prudentópolis 16
4.1.2. Soleiras da região de Rebouças 23
4.2. QUÍMICA MINERAL 31
4.2.1. Soleiras da região de Prudentópolis 31
4.2.2. Soleiras da região de Rebouças 36
4.3. LITOGEOQUÍMICA 41
4.3.1. Soleiras da região de Prudentópolis 41
4.3.2. Soleiras da região de Rebouças 48
4.3.3. Classificações Geoquímicas 55
4.4. MODELAGEM GEOQUÍMICA 58
5. DISCUSSÃO 65
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 68
7. REFERÊNCIAS 71
APÊNDICES

1. INTRODUÇÃO

A Bacia do Paraná é caracterizada por depósitos de sucessões vulcanossedimentares intracontinentais que se estendem por extensa porção centro-sul do Brasil e parte da Argentina, Paraguai e Uruguai (Milani, 2004). Nestas sucessões está presente, por uma extensa área, a Província Magmática do Paraná (PMP), que evidencia intenso vulcanismo associado ao evento de ruptura do Gondwana e marca o início da abertura da Bacia Atlântica Sul no período Cretáceo (Marques e Ernesto, 2004).

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

O estudo da Província Magmática do Paraná é de extrema importância para o maior entendimento geológico do magmatismo fissural, tendo em vista que é um dos maiores já registrados no mundo. Os estudos de rochas intrusivas, na forma de diques e soleiras, são também muito importantes para o entendimento da evolução da Província. A modelagem geoquímica e comparação entre corpos intrusivos, de duas regiões (Prudentópolis e Rebouças), que possuem algumas características geoquímicas distintas, é fundamental para entender as diferenças na evolução e os processos magmáticos que formaram a PMP, bem como caracterização geoquímica das soleiras.

1.2. OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho é realizar modelagem geoquímica de soleiras da PMP, localizadas nos municípios de Prudentópolis e Rebouças, intrudidas em rochas sedimentares da Bacia do Paraná. Os objetivos específicos são: caracterização petrográfica; caracterização da química mineral de cristais de piroxênio, feldspato e opacos, e caracterização geoquímica das rochas estudadas, com análise de óxidos e elementos traço.

1.3. LOCALIZAÇÃO

A área de estudo está localizada na região sudeste do estado do Paraná, nos municípios de Prudentópolis, onde a área de amostragem abrange 71.885 hectares; e de Rebouças, com 33.421 hectares de área de amostragem, conforme os polígonos da figura 1.

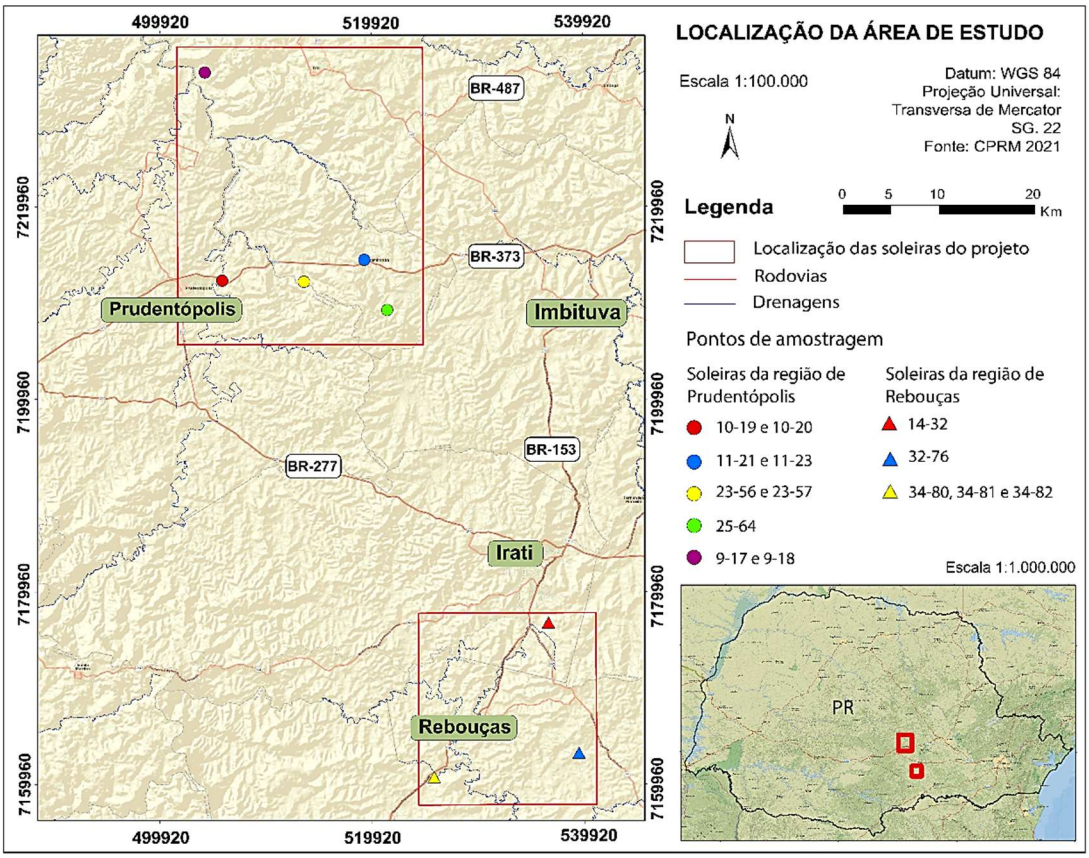


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo e dos pontos de amostragem. Fonte de dados: CPRM 2021.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. GEOLOGIA LOCAL

Os corpos de soleiras da área de estudo estão inseridos no contexto geológico da Bacia do Paraná, definida como uma bacia intracratônica, composta por uma sucessão sedimentar-magmática, localizada na plataforma Sulamericana (Milani, 2004). Segundo o mesmo autor o preenchimento da bacia ocorreu, da base para o topo, pelo empilhamento de cinco supersequências: Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Permiano), Gondwana II (Triássico) e Gondwana III (Jurássico-Cretáceo). Na Era Mesozóica (135 ± 0,6 a 133 ± 0,3 Ma.) ocorrem registros de vulcanismo básico a bimodal definido como Província Magmática

do Paraná, no qual associa-se ao evento de tafrogênese responsável pela ruptura do Supercontinente Gondwana marcando o fim da deposição na Bacia do Paraná (Gomes e Vasconcelos 2021). Por fim, sobreposta à Bacia do Paraná foram depositados os sedimentos eólicos e fluviais da Bacia Bauru, no Cretáceo superior.

As soleiras das regiões de Rebouças de Prudentópolis estão encaixadas em rochas sedimentares pertencentes aos Grupos Passa Dois, Guatá e Itararé (figura 2), que correspondem a unidades estratigráficas da Supersequência Gondwana I (Milani e Tomaz Filho, 2000; Milani, 2004). O Grupo Itararé é definido como depósito glaciogênico, composto principalmente por diamictitos, arenitos turbidíticos e conglomerados. O Grupo Guatá é composto por depósitos transgressivos de arenitos, carvão, siltitos e argilitos; já o grupo Passa Dois é composto por depósitos de regime regressivo de folhelhos, argilitos e siltitos. (Guimarães *et al*. 2007)

Conforme a figura 2, a disposição das amostragens está espaçada por uma extensa área em cada região, conforme os polígonos vermelhos. Dessa forma observa-se que os pontos de amostragem contemplam mais de um corpo de soleiras em cada região.

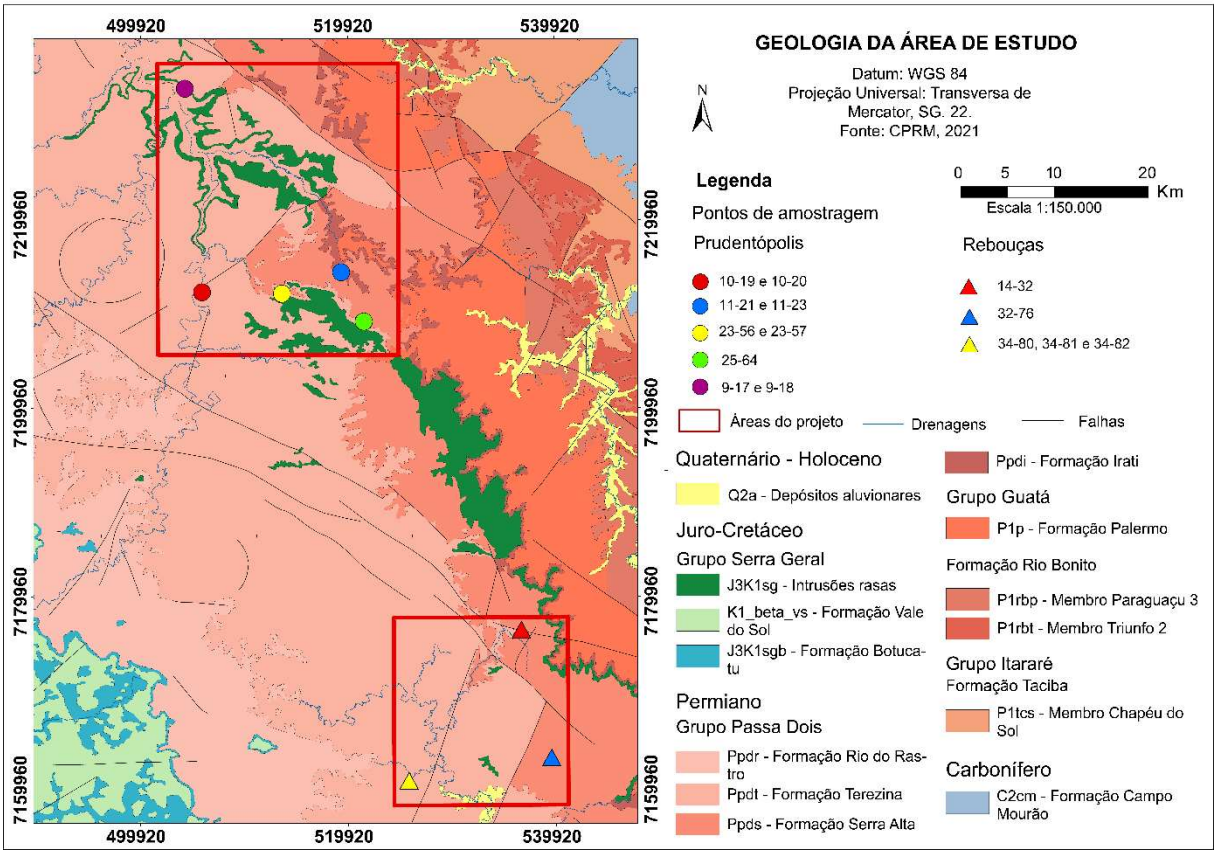


Figura 2: Geologia da área de estudo com localização dos pontos de amostragem. Fonte de dados: CPRM (2021).

2.3. PROVÍNCIA MAGMÁTICA DO PARANÁ

A Província Magmática do Paraná (PMP) ou Província Magmática Paraná-Entendeka (PMPE), que considera também a parte africana, que corresponde a 5% da PMPE, caracteriza-se predominantemente por uma sequência de extensos derrames de basalto do tipo *pahoehoe*, com constante injeções de lava que proporcionaram processos de fluxo e inflação (Waichel et al., 2006; Licht e Arioli, 2018). Ocorrem também na forma de intrusões rasas, como diques e soleiras (Fodor *et al*. 1985; Milani e Thomaz Filho, 2000; Titon, 2019). Possui extensão de aproximadamente 917.000 Km², que abrange os estados da região sul e centro-oeste do Brasil e porções de países vizinhos (Paraguai, Uruguai e Argentina) (Frank *et al*, 2009 e Licht, 2018).

Datações pelo método $^{40}Ar/^{39}Ar$ nos corpos vulcânicos e intrusivos foram amplamente realizadas e analisadas por diversos autores, como Müller *et al*. (1993), Renne *et al*. (1996), Ernesto *et al*. (1999), Thiede e Vasconcelos (2010) e Gomes e Vasconcelos (2021). As idades obtidas no trabalho mais atual (Gomes e Vasconcelos 2021), através de $^{40}Ar/^{39}Ar$ e U/Pb foram de 135 ± 0,6 até 133.2 ± 0,3 Ma. para o evento vulcânico e de 136.6 ± 0.8 e 132.4 ± 0.2 Ma. para os eventos intrusivos.

Os corpos intrusivos discordantes são compostos por enxames de diques que marcam lineamentos, como os do Arco de Ponta Grossa, e, preenchem zonas de fraqueza de direção NW (Franco-Magalhães, 2010). Já os corpos intrusivos concordantes (soleiras) ocorrem de maneira generalizada na Província, têm suas maiores concentrações em toda borda leste da província, de SC até o norte de SP, e, em sua totalidade, alcançam espessuras de até 800 metros na vertical (Mincato, 2000).

Estudos geoquímicos na PMP são registrados desde o início do século XX, quando Guimarães (1933, *apud* Gomes, 2016) identificou variações nas concentrações de titano-magnetita em rochas básicas da província. As pesquisas avançaram com Bellieni *et al.* (1984), que dividem as rochas da PMP em duas suítes toleíticas distintas, definidas pelos teores de TiO_2. A suíte de baixo TiO_2 (< 2%) possui baixos teores de Sr, P, Ba, La, Zr, Ce e Y; já a suíte de alto TiO_2 (> 2%) é caracterizada por altos teores de Rb, Th e U. Peate *et al.* (1992) e Peate (1997) dividiram a PMP em 6 unidades a partir de concentrações de elementos traços e elementos incompatíveis, como Nb, Ta, La, Sr, Nd, Pb, Ti e Y. Nestas 6 unidades, os basaltos com alto TiO_2 são

divididos em 4 tipos: Urubici, Pitanga, Paranapanema e Ribeira; os basaltos com baixo TiO_2 são divididos nos tipos Gramado e Esmeralda. Posteriormente, a partir de análise estatística de dados geoquímicos, Licht (2018) define *gaps* nos teores de SiO_2, TiO_2, P_2O_5 e Zr, com essas informações, o autor subdivide a PMP em 16 grupos distintos. Com baixos teores de SiO_2 (SiO_2 < 62,02%) ocorrem 8 grupos, as rochas com altos teores de SiO_2 (SiO_2 > 62,02%) formam os outros 8 grupos. Os litotipos mais abundantes são: tipo 1(LSi, LZr, LTi, LP) e tipo 4 (LSi, LZr, HTi, HP), onde o "H" representa os altos teores e o "L" os baixos teores (Figura 3).

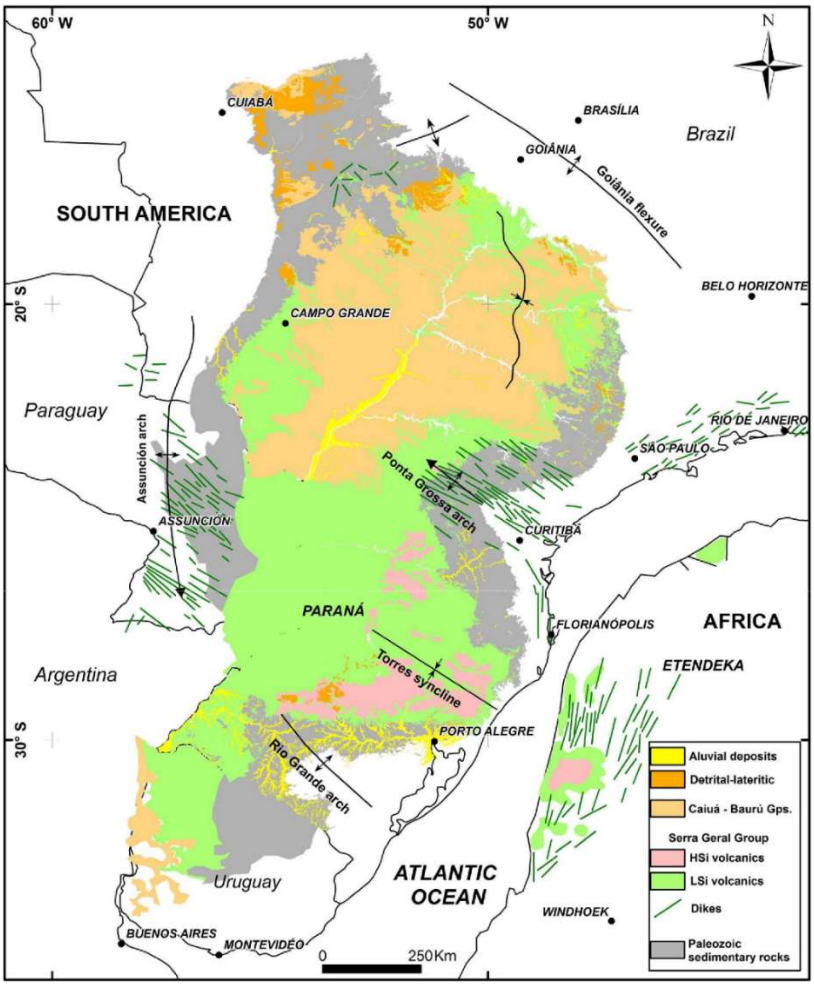


Figura 3: Mapa com conjuntos litogeoquímicos simplificado da PMP. Fonte: Licht (2018)

2.3. SOLEIRAS

Soleiras são classificadas como corpos ígneos intrusivos, formado por injeções magmáticas que preenchem planos de fraqueza, geralmente contatos entre camadas. Para esse preenchimento é necessário o soerguimento da camada sedimentar com a

força da intrusão, fazendo com que as soleiras ocorram mais comumente em níveis rasos da crosta (Petersohn e Vasconcellos, 2007).

Conforme estudado por Petersohn e Vasconcellos (2007 e 2009) as soleiras que ocorrem na Província Magmática do Paraná, encaixadas na Formação Irati (figura 4) possuem composição basáltica, com variação química conforme seu posicionamente regional. Deste modo as soleiras do grupo baixo TiO_2, que são empobrecidas em elementos incompatíveis (exceto para Rb), estão mais concentrados na região sul da Bacia do Paraná, enquanto as do grupo alto TiO_2, enriquecidas em elementos compatíveis estão concentrados na região norte da bacia.

As soleiras estudadas da Província, na região centro-oeste do Paraná, foram separadas conforme sua localização geográfica: Reserva, Prudentópolis, Rebouças, Irati e Ponta Grossa (figura 4).

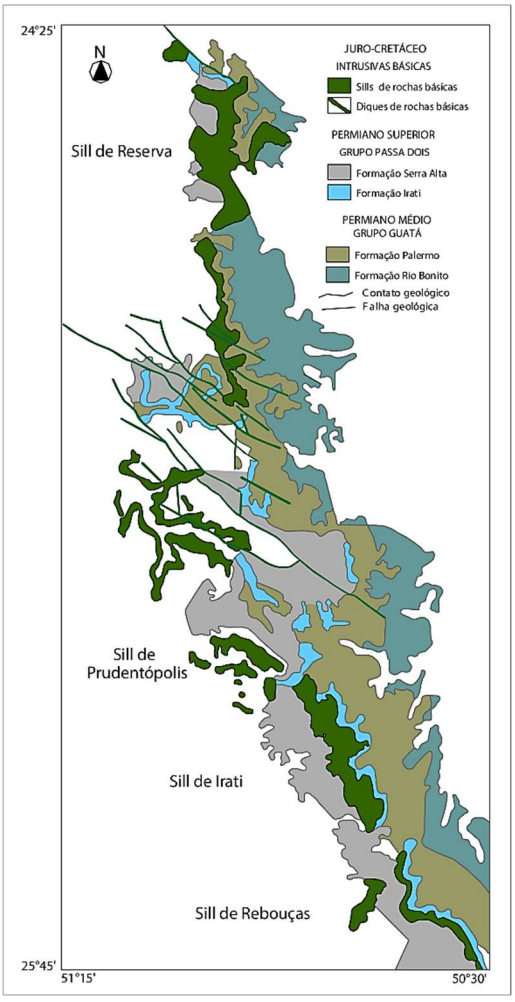


Figura 4: Geologia local das soleiras encaixadas nos Grupos Passa Dois, Guatá e Itararé, com indicação da localização das soleiras da região. Fonte: imagem - Petersohn, 2006, fonte de dados - Mineropar, 2001.

A partir da análise petrográfica, observa-se que as rochas que compõem as soleiras são compostas essencialmente por labradorita, augita, magnetita e ilmenita, e subordinadamente por olivina, quartzo e apatita como acessório, e, ocorrem em menor quantidade, como minerais secundários biotita, clorita, hornblenda, argilominerais, carbonato e epidoto; possuem texturas variando de porfiríticas, subafíricas, subofíticas a intergranulares (Petersohn e Vasconcellos, 2007).

Estudos geoquímicos das soleiras da Província Magmática do Paraná definem, no geral altos teores de Al_2O_3, Rb, Ba e Sr, bem como alto teores de $FeO+MgO+TiO_2$ e concentrações de SiO_2 que variam de 48,46 a 58,17%. As soleiras são classificadas geoquimicamente como basaltos andesíticos, andesitos e latitos, no diagrama De La Roche *et al.* (1980) e como basaltos, traquibasaltos, traquiandesitos basálticos e traquiandesitos, conforme o diagrama TAS ((Na_2O+K_2O) *vs*. (SiO_2)) de Le Maitre (1989) (Petersohn e Vasconcellos, 2007). Conforme detalha Petersohn (2006) informações da química mineral e análises geoquímicas revelam que a cristalização fracionada foi o principal processo de diferenciação durante o magmatismo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Durante o levantamento bibliográfico foram utilizados artigos e livros de trabalhos anteriores sobre o tema, bem como mapas e informações SIG disponibilizadas pela CPRM, com o objetivo de compreender o contexto geológico e geoquímico da área de estudo.

3.2. ANÁLISE PETROGRÁFICA

Foram descritas 9 lâminas delgadas da região de Prudentópolis e 4 da região de Rebouças, disponibilizadas e produzidas pelo projeto do CNPq (460430/01-7 “Modelo termal de formação das rochas ígneas da Formação Serra Geral e sua influência nos sistemas petrolíferos PG-It e I-Rb/Pb”), coordenado pela Profa. Eleonora M. G. Vasconcellos). Para as descrições foi utilizado o Microscópio Petrográfico Binocular de Luz Transmitida, disponibilizado pelo LAPEM (Laboratório de Pesquisa em Microscopia), do Departamento de Geologia da UFPR. Para as fotomicrografias foi utilizado o microscópio Zeis *Axio Imager* 2, com o programa de captura *Image Pro plus*, disponibilizado pelo LAMIR (Laboratório de Análise de Minerais e Rochas).

3.3. ANÁLISE LITOGEOQUÍMICA

A análise litogeoquímica foi realizada com resultados de dados geoquímicos, também produzidas e disponibilizadas pelo projeto CNPq. O método analítico realizado para obtenção dos óxidos e elementos traço foi a Fluorescência de raios X. As amostras selecionadas foram inicialmente preparadas no Laboratório de Análises de Minerais e Rochas (LAMIR) da Universidade Federal do Paraná, onde foram britadas, moídas e quarteadas. Com as amostras preparadas a análise foi realizada no Laboratório de Fluorescência do Instituto de Geociências da Universidade Estadual Paulista, *campus* de Rio Claro. Foram analisados 10 elementos maiores (SiO_2, TiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, MnO, MgO, CaO, K_2O, Na_2O e P_2O_5) e 10 elementos traço (Cr, Ni, Cu, Zn, Ba, Rb, Sr, Zr, Y e Nb). Os resultados foram processados com o *software Petrograph* (Petrelli *et al.,* 2005) e, posteriormente, caracterizados e interpretados através de análises em diagramas geoquímicos.

3.4. ANÁLISE DA QUÍMICA MINERAL

Para a análise da química mineral, foram utilizados dados de obtidos também no projeto CNPq citado anteriormente, nos quais foram obtidos em análise por Microssonda Eletrônica JEOL equipada com espectrômetros WDS e EDS, realizada no Laboratório do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGC/USP). Foram analisados cristais de plagioclásio, piroxênios e opacos.

3.5. MODELAGEM GEOQUÍMICA

Para realizar a modelagem geoquímica, os dados litogeoquímicos e de química mineral foram interpretados e posteriormente modelados no *software easyMelts*_V1.0.x (Ghiorso, 2002). Para a modelagem foram utilizados teores de óxidos das amostras mais primitivas de cada subgrupo individualizado, onde foram calculadas as variações nos teores durante a diferenciação magmática. Em seguida os resultados calculados são comparados com os resultados obtidos dos teores de óxidos (análise litogeoquímica) e das fases minerais (análise de química mineral e petrografia).

4. RESULTADOS

Os resultados estão separados por região (Prudentópolis e Rebouças) e a localização das amostras utilizadas está na figura 1.

4.1. ANÁLISE PETROGRÁFICA

4.1.1. Soleiras da região de Prudentópolis

A análise petrográfica das soleiras da região de Prudentópolis foi feita em 9 lâminas delgadas, conforme tabela 1. A descrição detalhada de cada lâmina está no anexo 1. As rochas são classificadas conforme a sua granulometria, resultando em 5 amostras de basalto (mais finos) e 4 amostras de gabro (mais grossos), o que define sua localização na soleira, onde os basaltos estão nas bordas, definindo condições de resfriamento mais rápido, e os gabros estão localizados no centro do corpo, em condições de resfriamento mais lento.

A partir de dados observados na análise de química mineral, apresentado no capítulo 4.2 desde trabalho, os plagioclásios estão classificados em sua maioria como labradorita, com variações para andesina, dos quais variam de 48,34-An (componente cálcico) nos gabros e 54,55-An nos basaltos, dessa forma os plagioclásios serão chamados de labradorita também na petrografia. Já os piroxênios foram em sua maioria classificados como augita, com variação de 36,13-Wo (componente cálcico) nos gabros e 36,89-Wo nos basaltos; ocorre uma variação de pigeonita que não foi observada na petrografia com 8,8-Wo, dessa forma, os clinopiroxênios são descritos como augita. Por fim, os opacos indicam composição rica em TiO_2 e FeO, compatível com as fases de Ti-magnetita e ilmenita, das quais foram observadas e individualizadas nas lâminas através de seus hábitos.

Tabela 1: Composição e textura das amostras da região de Prudentópolis

Amostra	Rocha	Mineralogia primária	Mineralogia secundária	Porção vítrea	Estrutura	Texturas
9-17	Gabro	Labradorita (45%), augita (40%), opacos (15%)	Clorita (tr) e esmectita	-	Maciça	Heterogranular, holocristalina, intergranular, granofírica e zonada
9-18	Basalto	Labradorita (45%), augita (40%), opacos (15%)	Clorita (tr)	traço	Maciça	Hipocristalina, com porções vítreas criptocristalina e intergranular
10-19	Gabro	Labradorita (45%), augita (35%), opacos (20%), apatita (tr), feldspato alcalino (tr)	Clorita (tr), biotita (tr) e esmectita (tr)	-	Maciça	Equigranular, holocristalina, intergranular, granofírica e incipientemente pertítica.

10-20	Gabro	Labradorita (45%), augita (40%), opacos (10%)	Clorita (5%)	traço	Maciça	Heretogranular, intergranular, cristalina, granofírica e incipientemente esferulítica.
11-21	Basalto	Labradorita (35%), augita (40%), opacos (20%)	Clorita (5%) e esmectita (tr)	5%	Maciça	Subafírica com porções glomeroporfiríticas, subofítica a ofítica. hipocristalina com porções vítreas criptocristalinas
11-23	Basalto	Labradorita (30%), augita (35%), opacos (20%)	Clorita (5%) e carbonato (tr)	15%	Maciça	Porfirítica, ofítica, poiquilítica, esqueletal, hipocristalina e simplectítica (augita e labradorita).
23-56	Gabro	Labradorita (45%), augita (35%), opacos (15%), quartzo (5%) e apatita (tr)	Clorita (tr) e Esmectita (tr)	-	Maciça	Porfirítica, intergranular, holocristalina, granofírica, pertítica, simplectítica (augita e labradorita) e zonada.
23-57	Basalto	Labradorita (40%), augita (40%), opacos (20%) e apatita (tr)	Esmectita (tr)	-	Maciça	Subafírica, com ocorrência de agregados glomeroporfiríticos, intergranular, poiquilítica, com feições de rápido resfriamento do tipo *quench*.
25-64	Basalto	Labradorita (40%), augita (30%), opacos (20%) e apatita (tr)	Clorita (5%), esmectita (tr) e carbonatos (tr)	5%	Maciça	Equigranular, hipocristalina, com porções criptocristalinas e intergranular

Na figura 5, é possível visualizar o perfil esquemático das amostras que representam a borda e o centro da soleira, com variações na granulometria e texturas, que possibilita estimar e observar a transição do domínio basáltico para o domínio gabróico dos corpos.

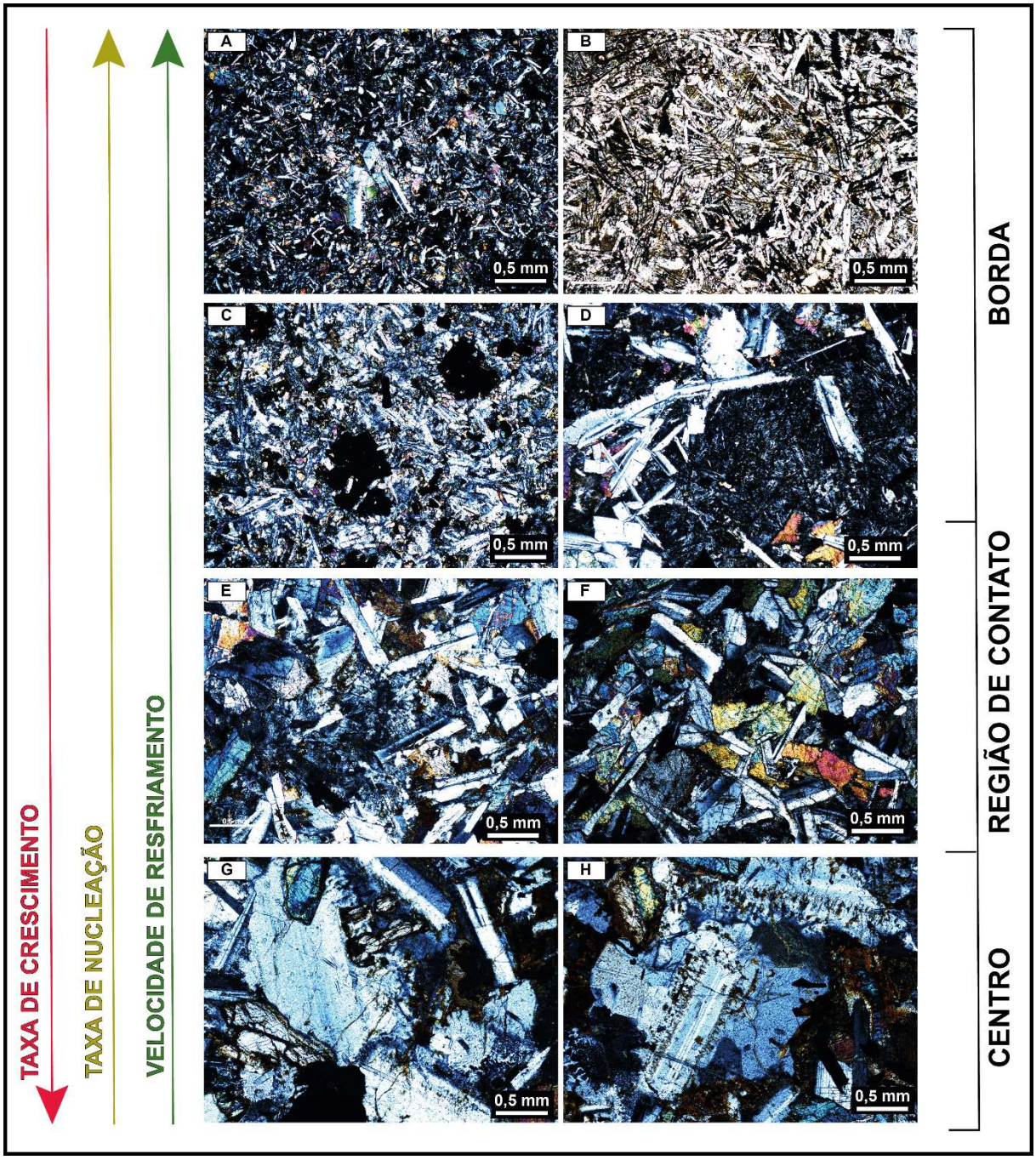


Figura 5: Perfil esquemático da borda para o centro das soleiras. Basaltos: A – 11-21; B – 25-64; C – 23-57; D – 11-23; Gabros: E – 10-20; F – 10-20; G – 23-56; H – 23-56.

Nos basaltos ocorrem texturas porfiríticas e glomeroporfiríticas, com variações subafíricas, variam de intergranulares a ofíticas (figura 6 C e 7 A), com porções subofíticas. Na maior parte das amostras ocorrem porções vítreas criptocristalinas, com teores de até 15% de vidro na amostra de basalto 11-23, texturas indicativas de rápido resfriamento como feições em *quench* (figura 6 E e F), com cristais de labradorita e augita prismáticos dispostos em agregados alongados, também são

observadas. Na figura 7 C é possível observar a alteração da augita para clorita na amostra de basalto 11-23.

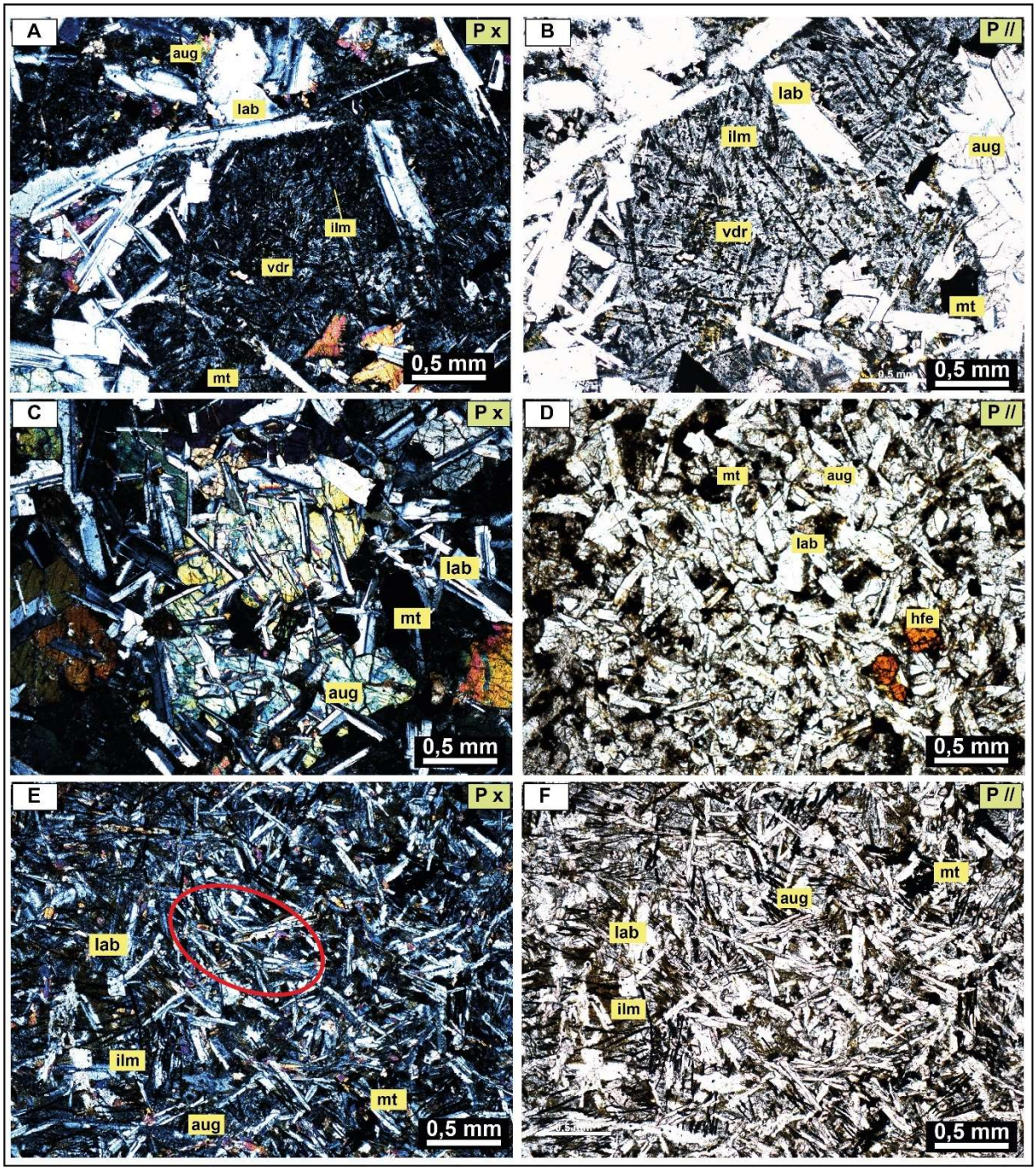


Figura 6: Detalhes dos basaltos das soleiras de Prudentópolis. A (amostra 11-23) Fenocristais de labradorita e augita em matriz vítrea com cristais de ilmenita aciculares. B (amostra 11-23) Mesma foto anterior, porém com os polarizadores paralelos para facilitar a visualização dos cristais e do vidro vulcânico. C (amostra 11-23) Textura ofítica com fenocristais de augita e inclusões de cristais de labradorita. D (amostra 9-18) – Cristais de hidróxido de ferro intersticiais. E (amostra 25-64) – basalto com textura intergranular com cristais de labradorita e augita formando textura quench (círculo vermelho). F (amostra 25-64) Mesma foto da anterior, porém com os polarizadores paralelos, para melhor visualização dos cristais aciculares de ilmenita Siglas: lab – labradorita; aug – augita; mt – magnetita; ilm - ilmenita; vdr – vidro vulcânico.

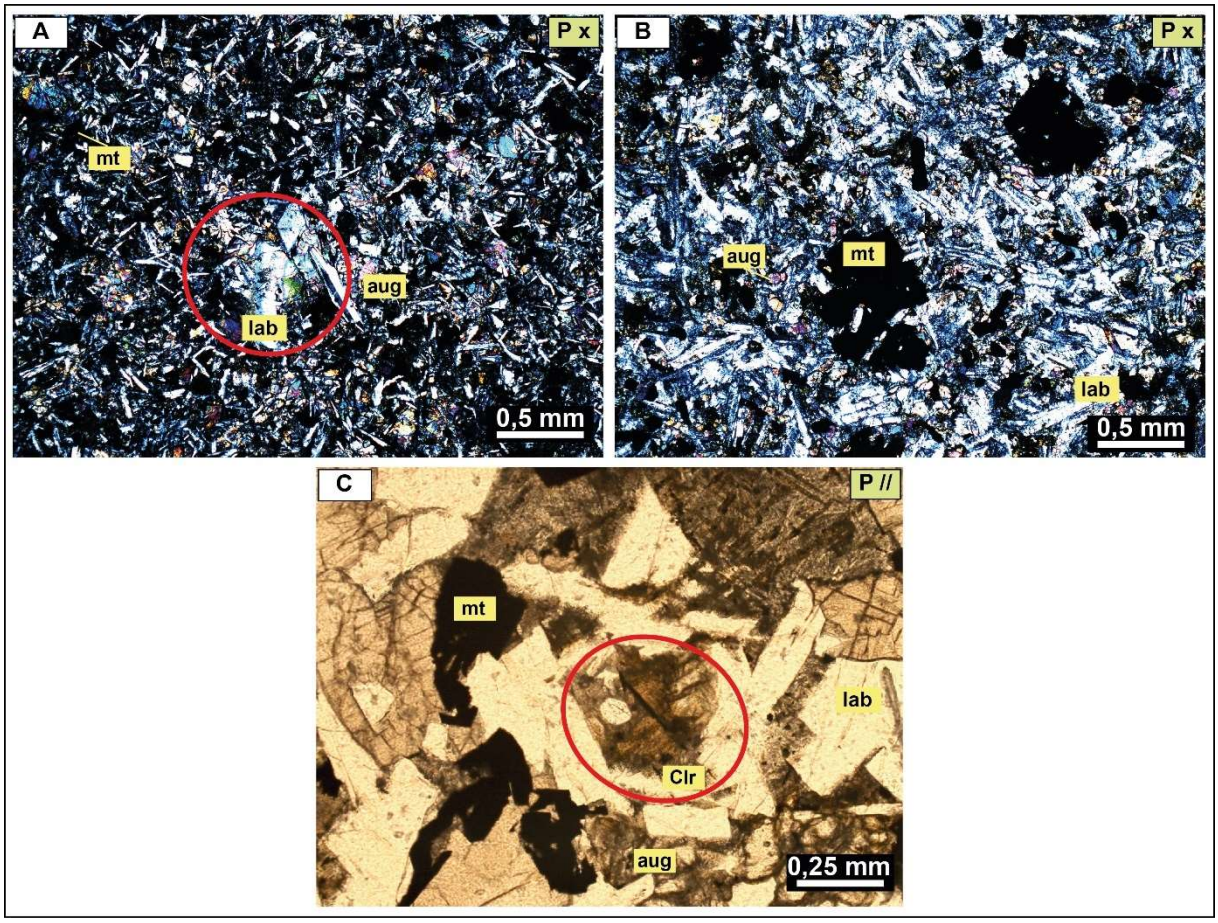


Figura 7: Detalhes dos basaltos das soleiras de Prudentópolis. A (amostra 11-21) – Textura glomeroporfirítica com fenocristais de labradorita e augita (círculo vermelho) em matriz muito fina, com a presença de vidro vulcânico. B (amostra 23-57) – Fenocristais de magnetita de hábito esqueletal com inclusões de labradorita e augita. C (amostra 11-23) – Detalhe da alteração para clorita em cristal de augita. Siglas: lab – labradorita; aug – augita; mt – magnetita; ilm – ilmenita; vdr – vidro vulcânico; clr - clorita.

Nas amostras de gabros, ocorrem texturas equigranulares a heterogranulares, intergranulares, com cristais de augita intersticiais aos cristais de labradorita. Ocorrem também, intercrescimentos granofíricos, pertíticos, simplectíticos (entre a augita e labradorita) e zonamentos composicionais, que localmente estão associados ao intercrescimento simplectítico (figura 8 D). Na amostra de gabro 10-20 ocorre, de forma incipiente, a formação de esferulíto (figura 8 F). Apesar desta amostra ser classificada como gabro, há uma fase de rápido resfriamento no final da cristalização magmática, que possibilita inferir sua localização próximo ao contato de domínio basáltico. Na figura 9 é possível observar a alteração da augita para biotita (9 A) e saussuritização da labradorita com a presença de cristais de epidoto (9 B).

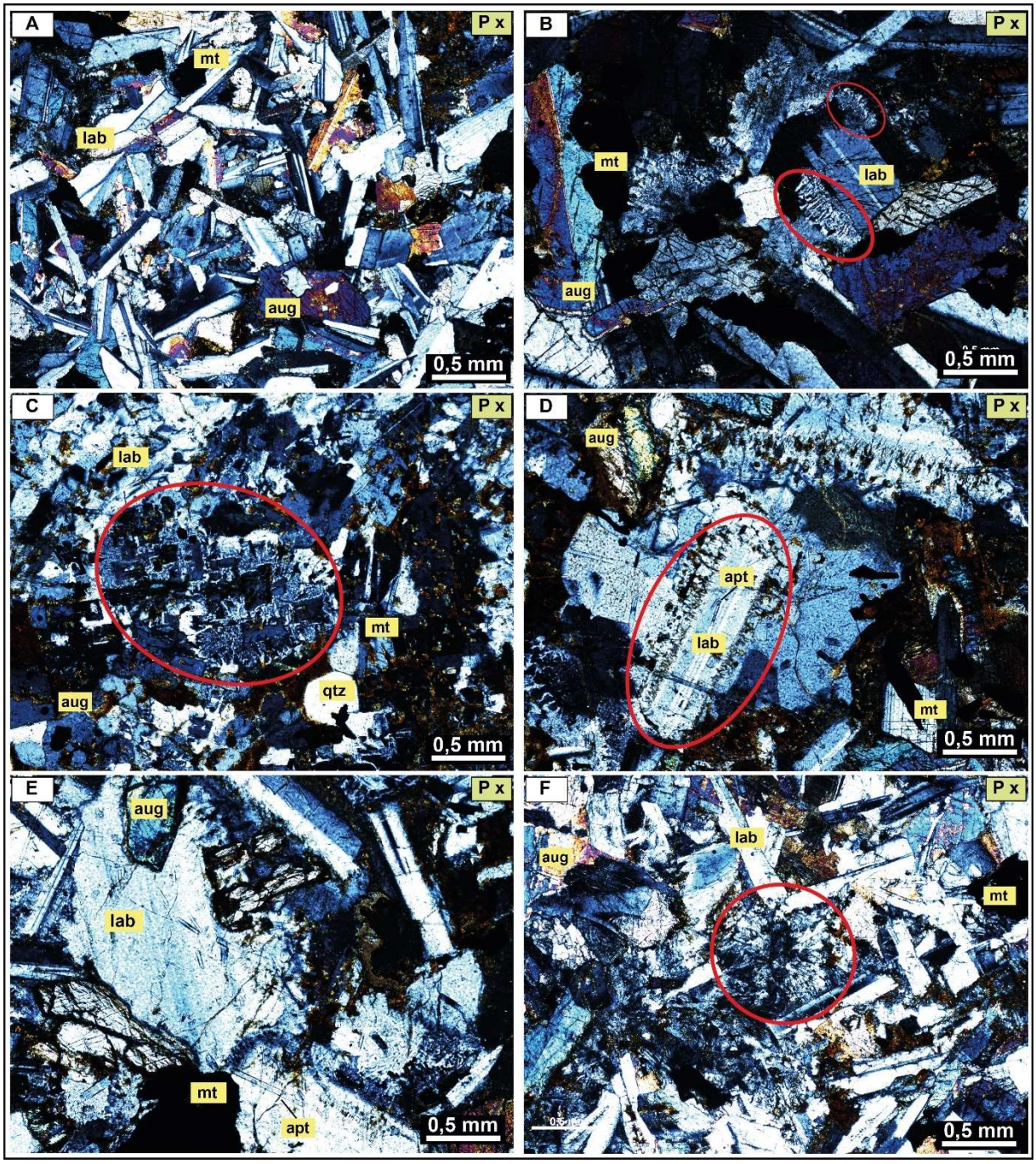


Figura 8: Detalhes dos gabros das soleiras de Prudentópolis. A (amostra 9-17) – Textura equigranular e intergranular, com cristais de augita intersticiais aos cristais de labradorita e cristais de magnetita subédricos e anédricos intersticiais. B (amostra 10-19) Intercrescimento granofírico nas bordas dos cristais de labradorita (círculo vermelho). C (amostra 23-56) Amostra com intensa formação de intercrescimentos granofíricos (círculo vermelho) e ocorrência de cristais de quartzo subédricos. D (amostra 23-56) Ocorrência de intercrescimento simplectítico entre a labradorita e augita, marcado em zonamento composicional da labradorita (círculo vermelho). E (amostra 23-56) – Ocorrência de fenocristal, com contatos engolfados entre a augita e labradorita. F (amostra 10-20) – Presença de intersticial de esferulito (círculo vermelho) em rocha gabróica. Siglas: lab – labradorita; aug – augita; mt – magnetita; apt - apatita.

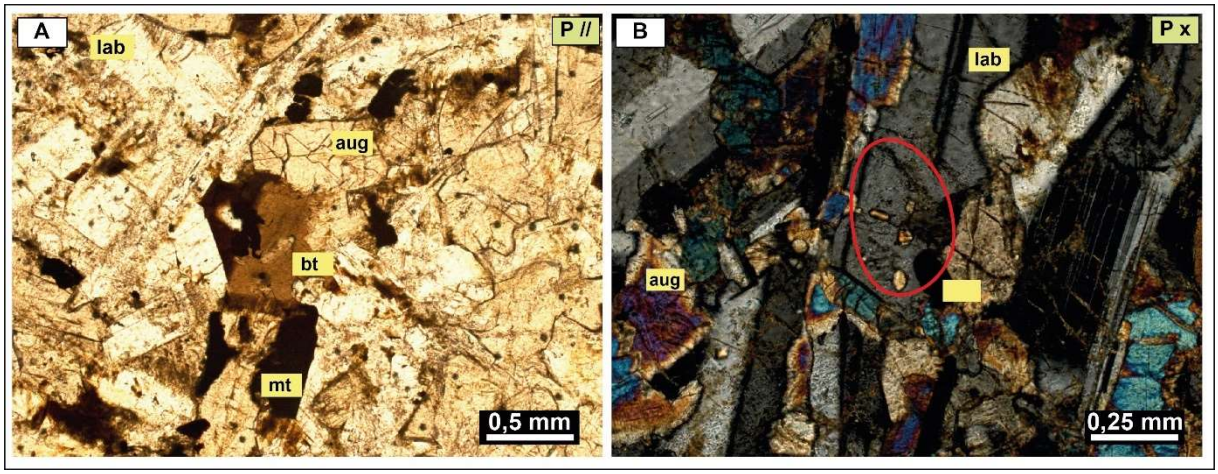


Figura 9: Detalhes das alterações presentes no gabro. A (amostra 10-19) – Detalhe para a alteração da augita para biotita localmente subédrica. B (amostra 23-56) Saussuritização do plagioclásio com cristais bem formados de epidoto (círculo vermelho).

A assembleia mineral das soleiras da região de Prudentópolis é formada por:

- **Labradorita**

A labradorita ocorre em cristais subédricos tabulares, muitas vezes como fenocristais com granulometrias de 1 a 1,5 mm, em matriz mais fina, está em contatos engolfados com a augita, em texturas intergranulares com os cristais de augita intersticiais e em texturas ofíticas e subofíticas, com a labradorita ocorre inclusa nos cristais de augita, também ocorrem inclusões de apatita.

Os cristais de labradorita nas rochas gabroicas possuem intercrescimentos granofíricos, pertíticos (que indica presença incipiente de feldspato alcalino), simplectíticos (entre a labradorita e augita) e texturas zonadas. Nos basaltos, feições de rápido resfriamento da labradorita são indicados pela textura em *quench* (figuras 6 E e F) e, pela ocorrência de porções vítreas criptocristalinas e com micrólitos (figuras 6 A e B). Localmente ocorre como agregado fibrorradiado em textura esferulítica (figura 8 F), intersticial em gabro. Estão incipiente a moderadamente saussuritizados.

- **Augita**

A augita é descrita em cristais subédricos com hábitos prismáticos e arredondados em seção basal, ocorrem como fenocristais e em algumas amostras em cristais mais finos, formando textura de rápido resfriamento do tipo *quench* (figura 6 E e F), geralmente em contatos engolfados com a labradorita em variações de textura intergranular (figura 6 F) a ofítica (figura 6 C). Localmente ocorrem em intercrescimento simplectítico com a labradorita, principalmente em cristais zonados, marcando a linha do zonamento composicional (figura 8 D). Os cristais estão

incipiente a moderadamente alterados para clorita, esmectita e localmente para biotita.

- **Opacos**

São identificados como magnetita e ilmenita. A magnetita ocorre em maior porcentagem, disseminada por todas as amostras, ocorre em duas fases: a primeira com cristais subédricos retangulares e localmente forma aspecto esqueletal com inclusões de labradorita e augita (figura 7 B) e a segunda fase como cristais anédricos intersticiais. A ilmenita está presente como cristais euédricos com hábito acicular, muitas vezes associados a porções vítreas.

- **Apatita**

A apatita ocorre como cristais euédricos com hábito acicular, de granulação fina a muito fina, inclusos nos cristais de labradorita (figura 8 E).

- **Quartzo**

Descrito na amostra (23-56), como cristais subédricos de hábito hexagonal e arredondado (figura 8 C) com granulometria de 0,5 mm, em fase de cristalização tardia.

- **Fases de Cristalização**

A fase de cristalização primária se inicia com a formação de cristais de apatita, que define uma fase acessória, seguida pela formação de fenocristais de labradorita, augita, magnetita e ilmenita e, a última fase é definida pelos cristais da matriz. Nos gabros, predomina textura equigranular, onde houve apenas uma fase de cristalização primária, localmente ocorre cristalização tardia de quartzo subédrico. Já nos basaltos é comum a presença de fenocristais, indicando duas fases de cristalização primária; com texturas de rápido resfriamento na matriz. Em seguida ocorre a formação de vidro vulcânico intersticial.

A fase de cristalização secundária hidrotermal é marcada pela presença de clorita, esmectita e biotita como alteração da augita, pela saussuritização da labradorita, que ocorre de forma incipiente a moderada, principalmente na amostra na amostra de basalto 9-18 (figura 6 D).

4.1.2. Soleiras da região de Rebouças

A análise petrográfica das amostras de soleiras da região de Rebouças foi feita em 4 lâminas delgadas, conforme tabela 2. A descrição detalhada de cada lâmina está

no anexo 1. Conforme granulometria as rochas são classificadas como gabros (mais grossos) e basaltos (mais finos), que indicam o posicionamento da amostra na soleira, sendo que os basaltos estão nas bordas da soleira, com resfriamento mais rápido, perto do contato com a encaixante e os gabros estão dispostos no centro, com resfriamento mais lento.

A partir de dados observados na análise de química mineral, apresentado no capítulo 4.2 desde trabalho, os plagioclásios estão classificados em sua maioria como labradorita, com variações para andesina e bytonita, das quais as médias dos teores variam de 70,28-An (componente cálcico) nos gabros e 52,48-An nos basaltos, dessa forma os plagioclásios serão chamados de labradorita também na petrografia. Já os piroxênios foram em sua maioria classificados como augita, com variação média de 36,18-Wo (componente cálcico) nos gabros e 36,20-Wo nos basaltos; ocorre uma variação de pigeonita que foi observada na petrografia, com 9,8-Wo, dessa forma, os clinopiroxênios são descritos como augita e um como pigeonita. Por fim, os opacos indicam composição rica em TiO_2 e FeO, compatível com as fases de Ti-magnetita e ilmenita, das quais foram observadas e individualizadas nas lâminas através de seus hábitos.

Tabela 2: Composição e texturas das amostras das soleiras de Rebouças

Amostra	Rocha	Mineralogia primária	Mineralogia secundária	Porção vítrea	Estrutura	Texturas
32-76	Basalto	Labradorita (45%), augita (35), opacos (15%), pigeonita (tr) e apatita (tr)	Clorita (tr)	5%	Maciça com porção fluidal	Porfirítica e glomeroporfirítica, zonada, subofítica, pilotaxítica, textura do tipo *quench* e hipocristalina com porções vítreas criptocristalina
34-80	Basalto e Gabro (contato)	Labradorita (45%), augita (40%), opacos (15%) e apatita (tr)	Clorita (tr)	-	Maciça	Porção gabróica: Heterogranular, intergranular e granofírica Porção basáltica: subafírica e subofítica
34-81	Basalto	Labradorita (40%), augita (35%) e opacos (15%)	Clorita (5%) e esmectita (tr)	5%	Maciça	Subafírica, intergranular a subofítica, hipocristalina, pilotaxítica, esferulítica, textura do tipo *quench* e calda de andorinha, cristalina com porções criptocristalina (vítreas).
34-82	Gabro	Labradorita (45%), augita (40%), opacos (10%) e apatita (tr)	Clorita (5%), biotita (tr) e esmectita (tr)	Traço	Maciça	Heterogranular, zonada, cristalina, intergranular e granofírica

Na figura 10 está representado um perfil esquemático das rochas de borda e centro das soleiras, que ilustra a diferença textural conforme o posicionamento das amostras.

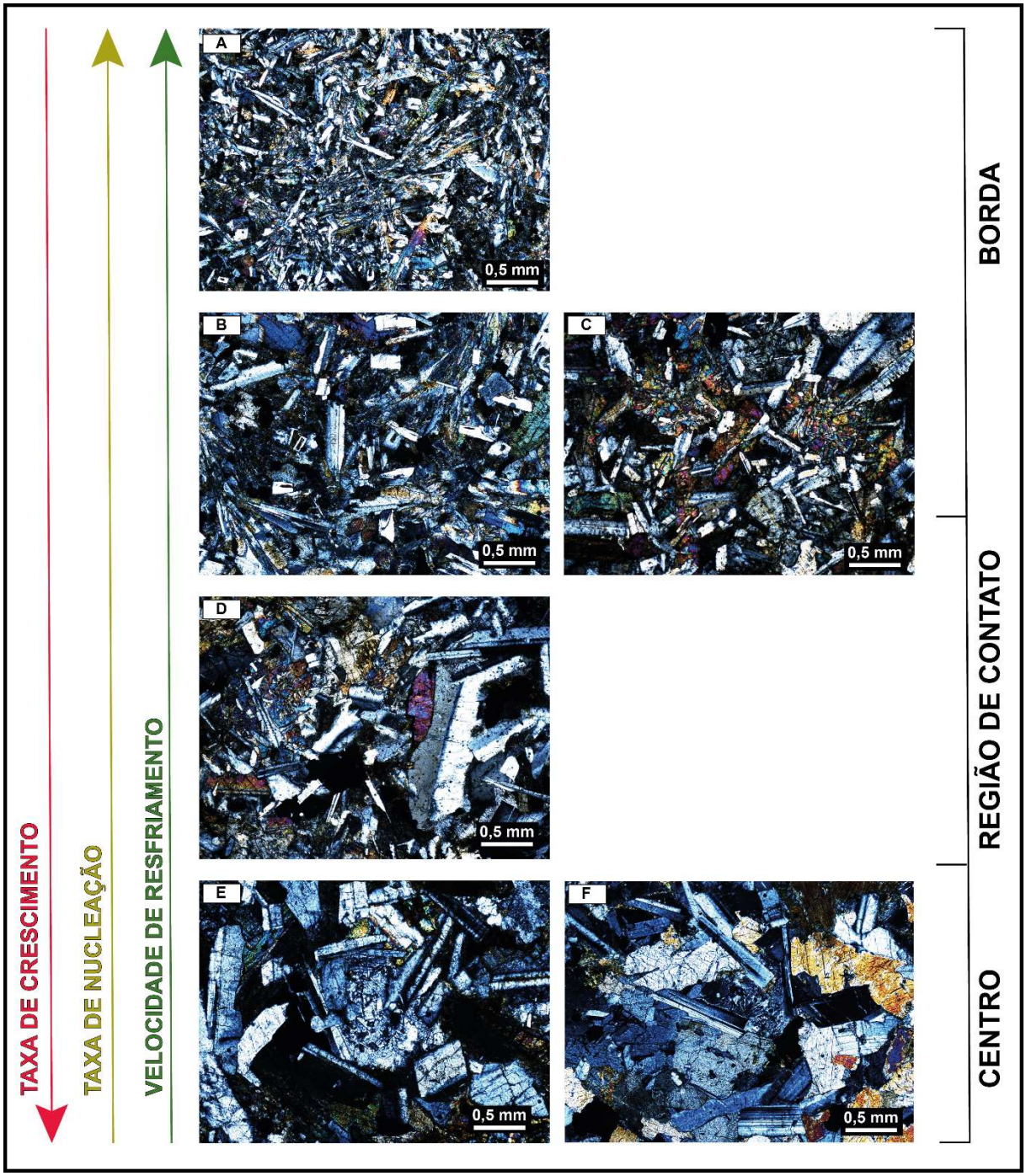


Figura 10: Perfil esquemático da borda para o centro das soleiras da região de Rebouças. Basaltos: A – 34-81; B – 34-81; Contato basalto-gabro: C – 34-80; D – 34-80; 34-80; Gabros: F – 34-82.

Com relação ao tamanho dos cristais, as texturas dos basaltos variam de inequigranular porfirítica e glomeroporfirítica a subafírica, com fenocristais de labradorita. A maior parte dos fenocristais possui zonamentos composicionais.

A relação entre piroxênio e plagioclásio define texturas de intergranular a ofítica (figura 11 B), com os contatos entre a augita e labradorita geralmente engolfados e com estes cristais inclusos um no outro. As amostras de basalto possuem feições de rápido resfriamento, com porções vítreas de aspecto criptocristalino e localmente com textura esferulítica (figura 12 C), ocorrem texturas do tipo *quench* (figura 12 A e C), com cristais prismáticos de labradorita e augita dispostos em agregados alongados, labradorita com terminações em cauda de andorinha (figura 12 B) e cristais ocos (figura 12 A e C). Localmente as rochas possuem textura pilotaxítica, com cristais isorientados em matriz hipocristalina, e, ocorre em uma amostra, teores traço de pigeonita, como fenocristal (figura 11 A).

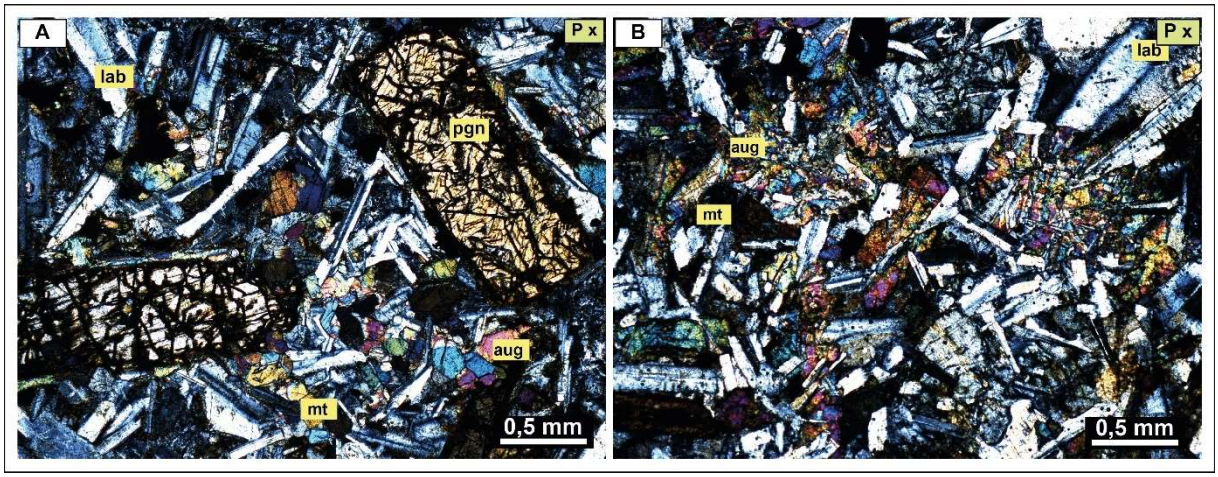


Figura 11: Detalhes dos basaltos das soleiras de Rebouças. A (32-76) – Fenocristais euédricos de pigeonita que ocorrem localmente na amostra. B (34-80) – Detalhe para ocorrência de textura subofítica. Siglas: lab – labradorita; aug – augita; mt – magnetita; vdr – vidro vulcânico; pgn – pigeonita.

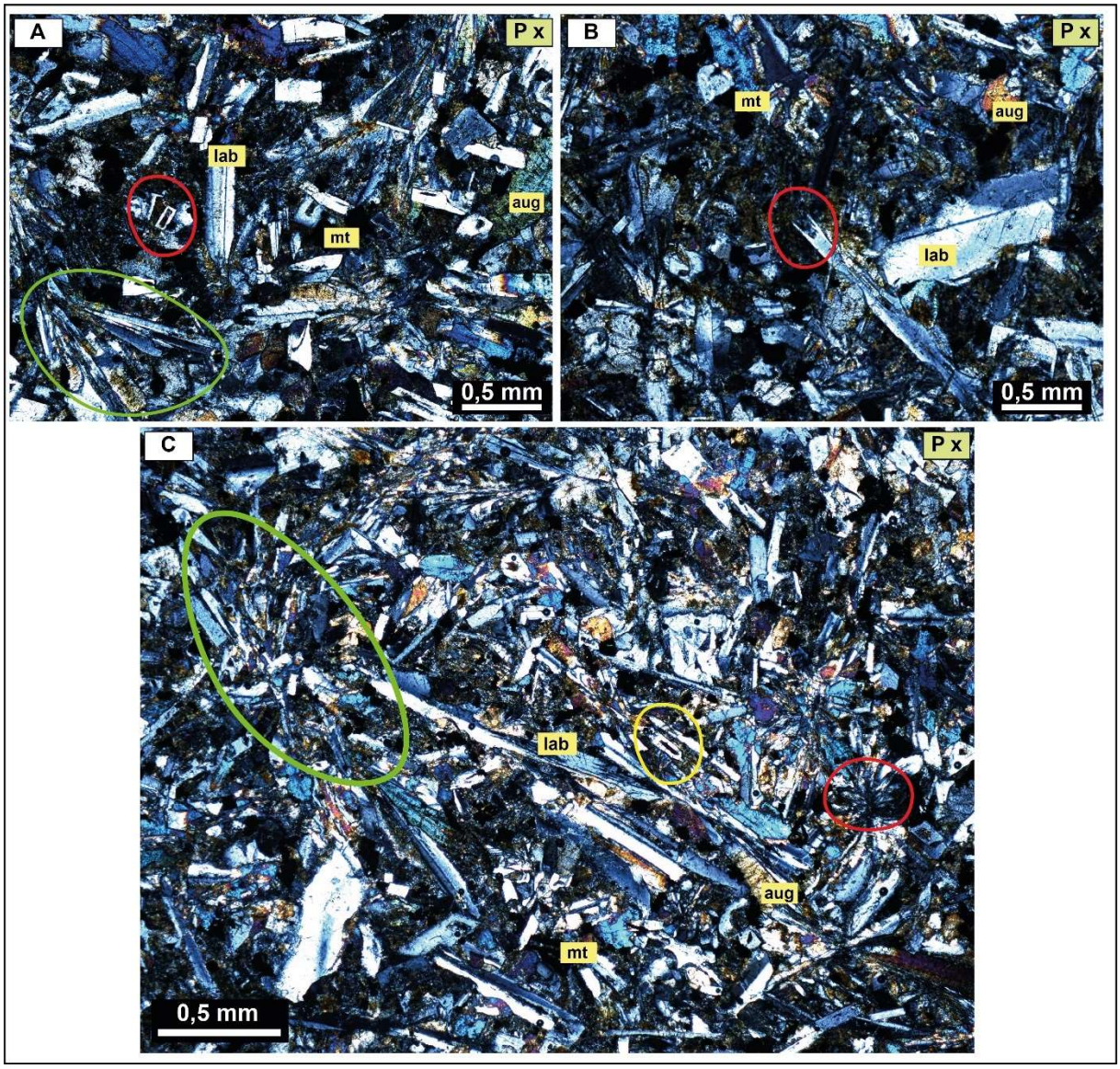


Figura 12: Detalhes dos basaltos das soleiras de Rebouças. A (34-81) - Cristais de labradorita ocos (círculo vermelho) e textura do tipo *quench* em cristais prismáticos de labradorita e augita (círculo verde). B (34-81) Cristais de labradorita com terminação em calda de andorinha (círculo vermelho). C (34-81) – Texturas subofítica, pilotaxítica *quench* (círculo verde), cristais ocos (círculo amarelo) e ocorrência de esferulito (círculo vermelho). Siglas: lab – labradorita; aug – augita; mt – magnetita; vdr – vidro vulcânico.

As texturas dos gabros variam de heterogranular a equigranular, intergranulares (figura 13), com o predomínio de cristais de labradorita e augita intersticiais. Possuem intercrescimento granofírico (figura 13 A e D) bem formado e intensamente presente nas bordas da labradorita e cristais de labradorita com zonamentos composicionais (figura 13 B). As rochas são majoritariamente holocristalinas, com ocorrência em quantidades traço de agregado de vidro vulcânico oxidado (figura 13 C).

A amostra 34-80 destaca o contato entre o centro do corpo (figura 14 A e B), de forma que metade da lâmina é composta por gabro, com granulometria variando de 0,5 a 1,5 mm, intergranular e presença de intercrescimento granofírico, enquanto a outra metade é composta por basalto, com granulometria fina, variando de 0,05 a 0,3 mm, em textura subofítica.

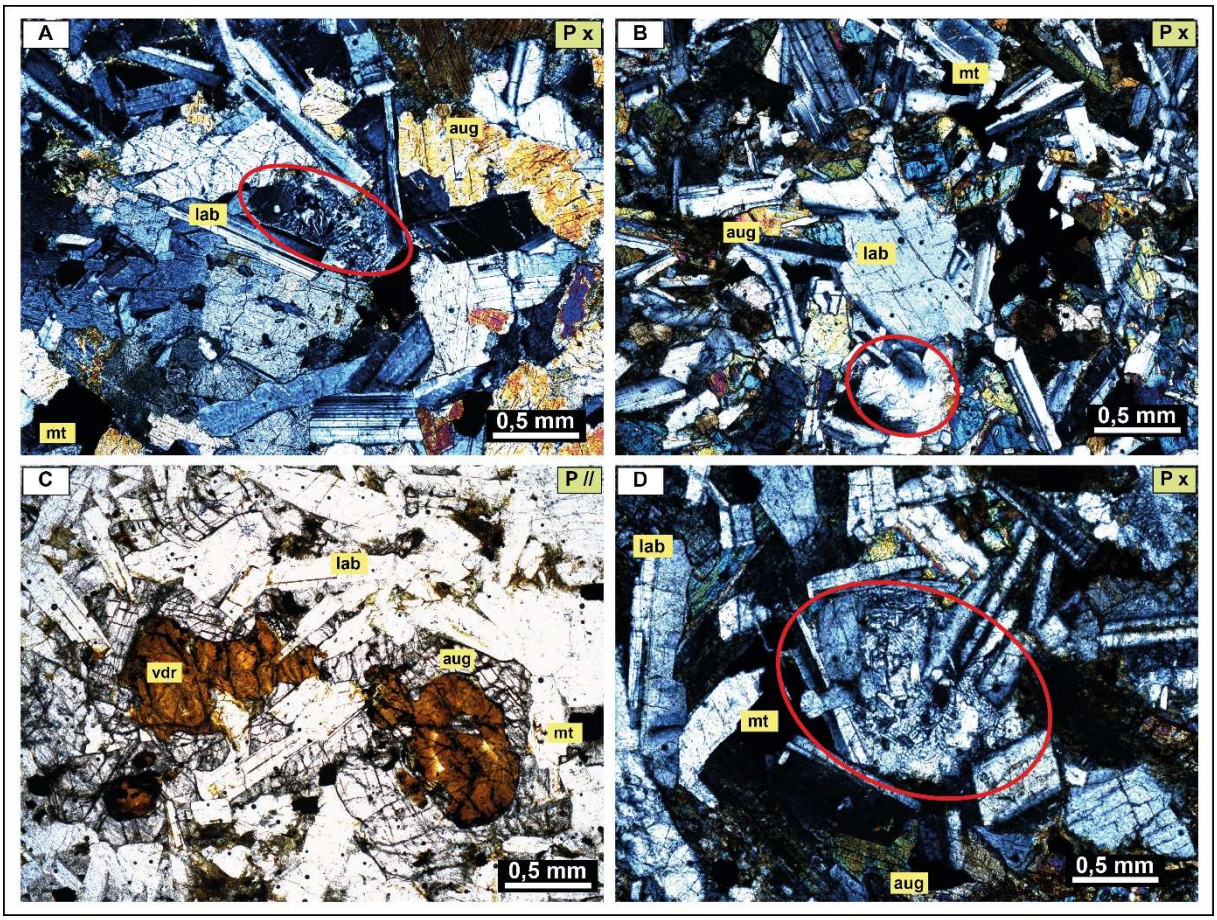


Figura 13**:** Detalhes dos gabros das soleiras de Rebouças. A (34-82) – Intercrescimento granofírico na borda da labradorita em textura intergranular (círculo vermelho); B (34-82) – Textura porfirítica, com fenocristal de labradorita e zonamento composicional (círculo vermelho); C (34-82) – Agregados de vidro vulcânico oxidado; D (34-80) – Intercrescimento granofírico nas bordas de cristais de labradorita (círculo vermelho). Siglas: lab – labradorita; aug – augita; mt – magnetita; vdr– vidro vulcânico oxidado.

Na figura 14 C e D observam-se detalhe das alterações da augita para clorita, que sua presença é mais proeminente, e, para biotita que ocorre localmente em agregados com a clorita e por vezes formam cristais subédricos nas bordas da augita.

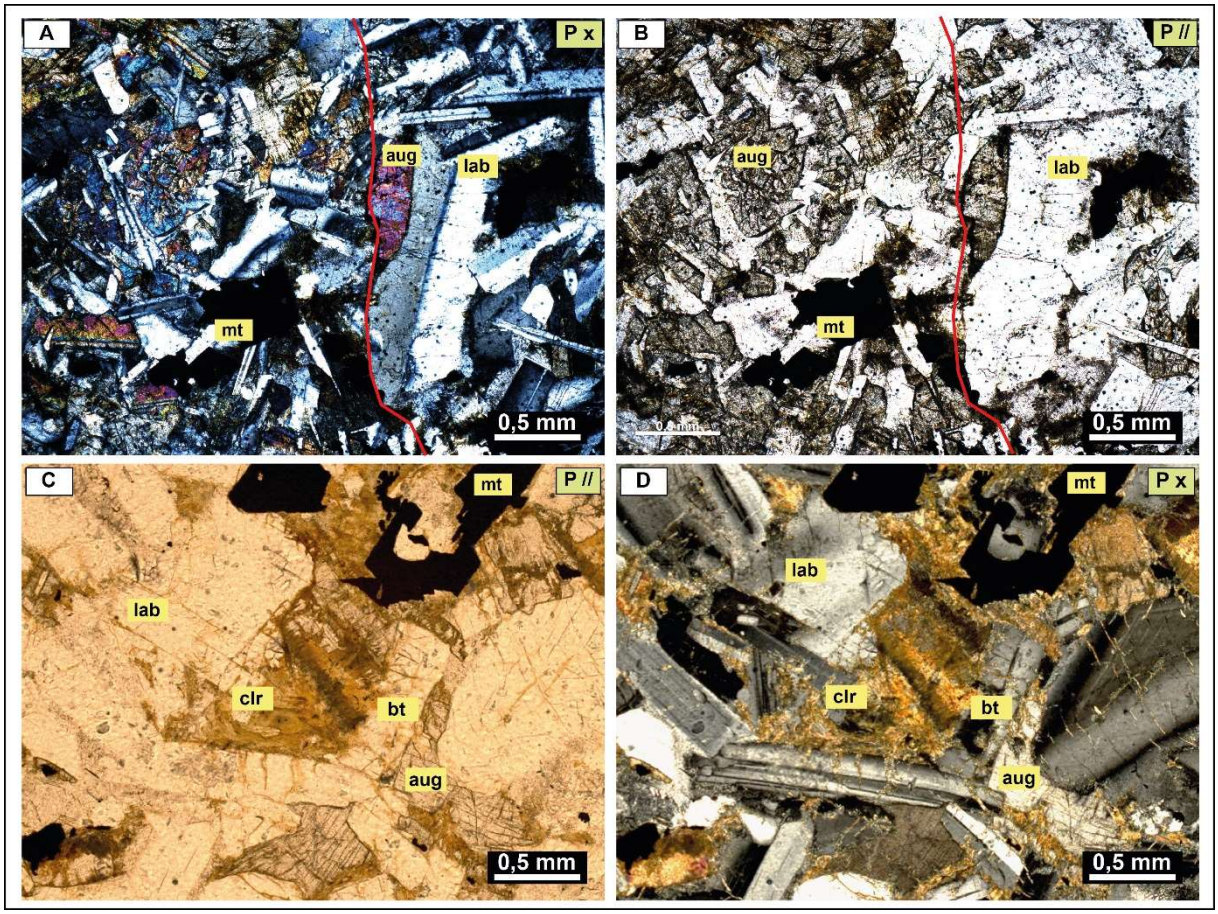


Figura 14: Detalhes dos gabros das soleiras de Rebouças. A (34-80) – Contato indicado em vermelho, entre basalto (à esquerda) e gabro (à direita); B (34-80) - Mesma imagem da anterior, porém com luz plano polarizada; C (34-82) – Detalhe para a alteração da augita para clorita e viotita; D (34-82) – Mesma imagem da anterior, porém com luz plano polarizada. Siglas: lab – labradorita; aug – augita; mt – magnetita; vdr– vidro vulcânico oxidado.

A assembleia mineral das rochas das soleiras Rebouças é composta por:

- **Labradorita**

Ocorre como cristais subédricos, tabulares a prismáticos em contatos engolfados com a augita, comumente com zonamentos composicionais (figura 13 B). Nas amostras de gabros é marcante a presença de intercrescimento granofírico (figura 13 A e D). Já nos basaltos ocorrem em texturas do tipo *quench* (figura 12 A e C), terminação em calda de andorinha (figura 12 B), alguns cristais ocos (figura 12 A e C) e localmente em agregados esferulíticos (figura 12 C). Estão incipiente a moderadamente saussuritizados.

- **Augita**

A augita ocorre em cristais subédricos a anédricos, com hábitos prismáticos e arredondados em sua seção basal, geralmente intersticial e de forma incipiente como fenocristais, em contatos engolfados com a labradorita, na maioria das vezes

intersticial, porém ocorre também englobando estes cristais, em porções com textura subofítica a ofítica (figura 11 B). Os cristais estão incipiente a moderadamente alterados para clorita, esmectita e localmente por biotita nas bordas.

- **Opacos**

Os minerais opacos são identificados como cristais primários de magnetita e ilmenita. A magnetita ocorre de forma disseminada nas amostras, presente em porções intersticiais, em cristais anédricos e subédricos com formas retangulares, geralmente em contatos engolfados com os cristais de labradorita e augita. Localmente demonstram feições de oxidação nas bordas e nos contatos com outros cristais. A ilmenita ocorre de forma incipiente, como cristais euédricos com hábitos aciculares.

- **Apatita**

Ocorre em porcentagem subordinada, como cristais euédricos, finos a muito finos, inclusos nos cristais de labradorita.

- **Pigeonita**

É descrita em apenas uma amostra de basalto (figura 11 A), como fenocristais de granulometria de 1,6 mm, bem formados, com hábitos subédricos tabulares.

- **Fases de Cristalização**

A fase de cristalização primária magmática se inicia com a cristalização de pigeonita, augita, magnetita e labradorita. As rochas gabroicas, com texturas equigranulares, indicam apenas uma fase de cristalização primária, com granulometrias variando de 0,5 a 1,5 mm. Nos basaltos as texturas variam de inequigranular porfirítica e glomeroporfirítica e subafírica, onde a cristalização primária ocorre em duas fases distintas, com fenocristais (principalmente de labradorita). A primeira fase, ocorre com alta taxa de crescimento e baixa taxa de nucleação, indicando condições de resfriamento mais lento, é formada pelos fenocristais com granulometrias de 0,5 a 1,5 mm. A segunda fase ocorre com alta taxa de nucleação e baixa taxa de crescimento, como cristais mais finos na matriz, com granulometrias variando de 0,1 a 0,5 mm, onde formam texturas características desta condição.

Posteriormente à fase de cristalização magmática ocorre a formação de vidro vulcânico intersticial.

A fase secundária de cristalização hidrotermal é marcada pela presença de clorita, esmectita e biotita como alteração da augita, e saussuritização da labradorita.

4.2. QUÍMICA MINERAL

4.2.1. Soleiras da região de Prudentópolis

- **Plagioclásio**

Para o estudo da química mineral dos plagioclásios, foram utilizadas um total de 13 análises de amostras de gabro e basalto, sendo 2 de cristais da matriz e 11 de fenocristais, divididos em 3 amostras. Na tabela 1 do Apêndice 2 estão contidos os resultados das análises, com a fórmula estrutural calculada para 32 oxigênios, juntamente com as proporções dos membros finais Ab (Na_2O), An (CaO) e Or (K_2O). Os dados foram projetados no diagrama ternário Or-Ab-Na (figura 15).

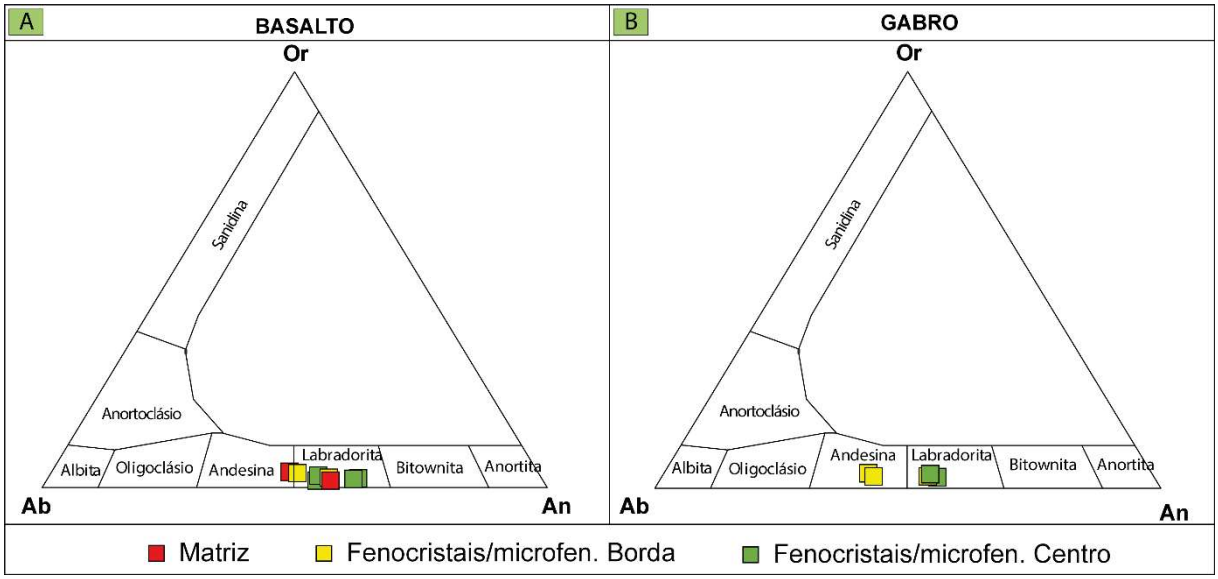


Figura 15: Diagramas ternários Or-Ab-An, para plagioclásios, com amostras das soleiras de Prudentópolis. Cada vértice indica 100% dos componentes, sendo Or (ortoclásio) representa o componente K_2O; Ab (albita) o componente Na_2O e a An (anortita) o componente CaO.

No diagrama Or-Ab-An da figura 15, é possível observar a diferença de comportamento dos plagioclásios nos gabros e nos basaltos da soleira, nesta primeira observação, em ambas as rochas os cristais estão normalmente zonados, com composições labradoríticas nos núcleos que grada para andesítica nas bordas.

Entretanto as análises dos cristais nas amostras de basalto se mostram, de forma geral, mais ricas em cálcio que os cristais analisados no gabro (tabela 3). Nas amostras de basalto, a maior parte dos cristais são projetados no campo da labradorita, com variações nos teores de sódio e cálcio, com excessão de uma análise da borda de fenocristal e uma da matriz ficam no campo entre a andesina e a labradorita, que indicam maior enriquecimento em sódio com relação às análises do centro dos fenocristais.

Tabela 3: Teores médios, mínimos e máximo dos membros finais Ab, An e Or das análises em cristais de plagioclásio, das amostras de gabro e basalto nas soleiras de Prudentópolis.

Plagioclásios (%)		GABRO	BASALTO
Albita (Na_2O)	Mínima	42,80	36,30
	Média	48,50	42,91
	Máxima	56,20	49,10
Anortita (CaO)	Mínima	40,40	47,10
	Média	48,38	54,55
	Máxima	54,50	61,40
Ortoclásio (K_2O)	Mínima	2,70	1,70
	Média	3,12	2,54
	Máxima	3,60	3,80

Nas amostras de gabro a separação entre o campo da andesina e da labradorita é clara, de forma que as duas análises do centro dos fenocristais são projetadas no campo da labradorita e as duas análises da borda estão no campo da andesina.

O enriquecimento em sódio nas bordas dos cristais é evidenciado na petrografia com a formação de zonamentos e intercrescimentos granofíricos nas bordas dos cristais de labradorita (figura 8 B e C).

- **Piroxênio**

Para realizar a análise de química mineral foram utilizados 9 cristais, dentre eles, 2 da matriz da rocha e 7 de microfenocristais e fenocristais, divididos entre borda e centro do cristal, dos quais tiveram seus cálculos estruturais feitos com base em 6 oxigênios. Os resultados das análises e dos cálculos estão na tabela 2 do Apêndice 2, junto com os teores dos membros finais Wo (wollastonita), En (enstatita), Fs (ferrossilita), Jd (jadeíta) e Eg (egirina), calculados conforme a metodologia proposta

por Morimoto *et al*. (1988). Na tabela 4 são indicados os teores mínimos médios e máximos de cada componente.

Tabela 4: Teores médios, mínimos e máximo dos membros finais Wo, En e Fs das análises em cristais de piroxênios das amostras de gabro e basalto das soleiras de Prudentópolis.

Piroxênios (%)		GABRO	BASALTO
Wollastonita (CaO)	Mínima	8,80	34,01
	Média	29,49	36,90
	Máxima	37,13	40,29
Enstatita (MgO)	Mínima	41,81	42,98
	Média	45,67	44,92
	Máxima	54,39	47,65
Ferrossilita (FeO)	Mínima	18,96	15,79
	Média	24,85	18,18
	Máxima	36,81	20,30

A classificação dos piroxênios foi realizada inicialmente com o diagrama Quad ($Ca+Mg+Fe^{2+}$) – J (2Na) de Morimoto *et al*. (1988), (figura 16), utilizando o total de cátions nas posições octaédricas M1 e M2. No diagrama, todas as amostras estão classificadas no campo *Quad*, dessa forma as análises estão compatíveis com o diagrama Wo-En-Fs, onde foram projetadas posteriormente.

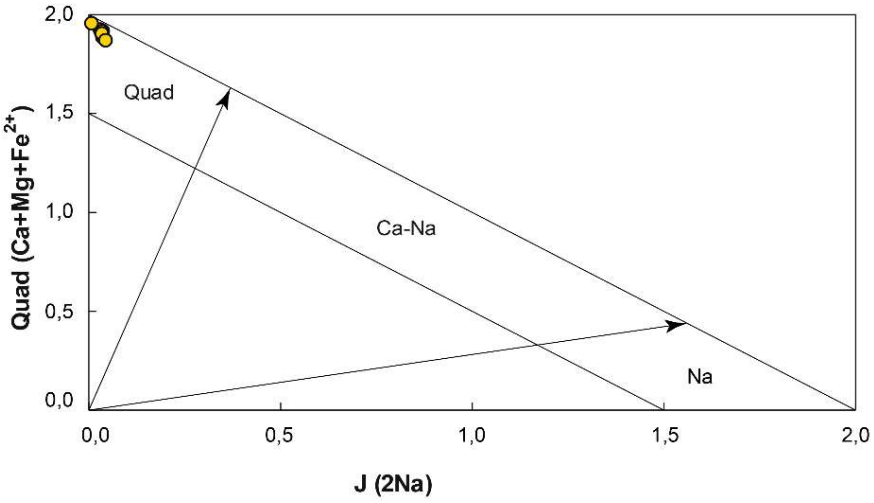


Figura 16: Diagrama Quad ($Ca+Mg+Fe^{2+}$) vs. J (2Na) para classificação de piroxênios (Morimoto *et al*., 1988).

No diagrama Wo-En-Fs (figura 17), é possível visualizar a diferença de comportamento dos piroxênios nos basaltos e nos gabros, que são em sua maioria classificados como augita, com pequenas variações entre si.

Na figura 17 observa-se que os cristais de augita presentes no basalto se mostram mais ricos em cálcio (Wo) e mais empobrecidos em ferro (Fs) em comparação com as rochas de gabro, como indicado também na tabela 4. No diagrama de gabros, ocorre a presença de dois piroxênios, a augita, que abrange a maior parte das amostras, e, uma amostra de pigeonita, que indica composição pobre em cálcio e rica em ferro e magnésio (8,80 Wo – 54,39 En – 36,80 Fs).

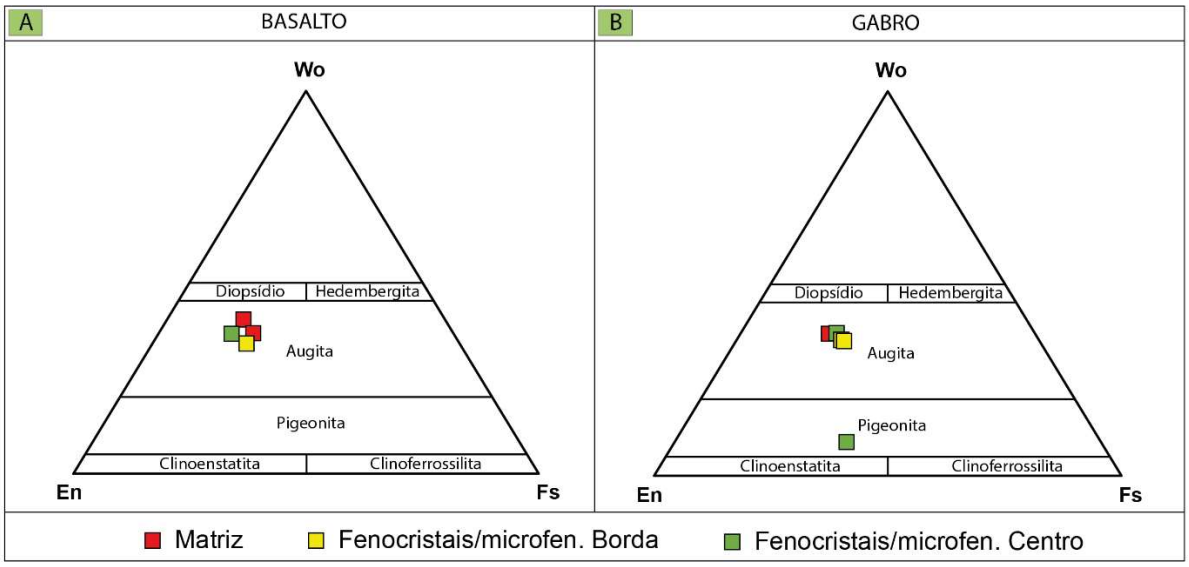


Figura 17: Diagramas ternários Wo-En-Fs, para piroxênios, com amostras das soleiras de Prudentópolis. Cada vértice indica 100% dos componentes, dos quais o Wo (Wollastonita) representa o componente CaO; En (enstatita) o componente MgO e a Fs (ferrossilita) o componente FeO.

Devido a coexistência das duas fases, todas as amostras do corpo foram projetadas no diagrama Wo-En-Fs com as isotermas de Lindsley (1983), para estimar a temperatura de cristalização da augita e da pigeonita (figura 18). Conforme as isotermas, a temperatura de coprecipitação da augita e da pigeonita foi estimada entre 1000° e 1100°C, em um intervalo composicional aproximado de En 54% - 43%. Segundo Wager e Brown (1968, *apud* Faria, 2008), a cristalização da pigeonita em conjunto com o enriquecimento em FeO da augita, é característica de rochas toleíticas.

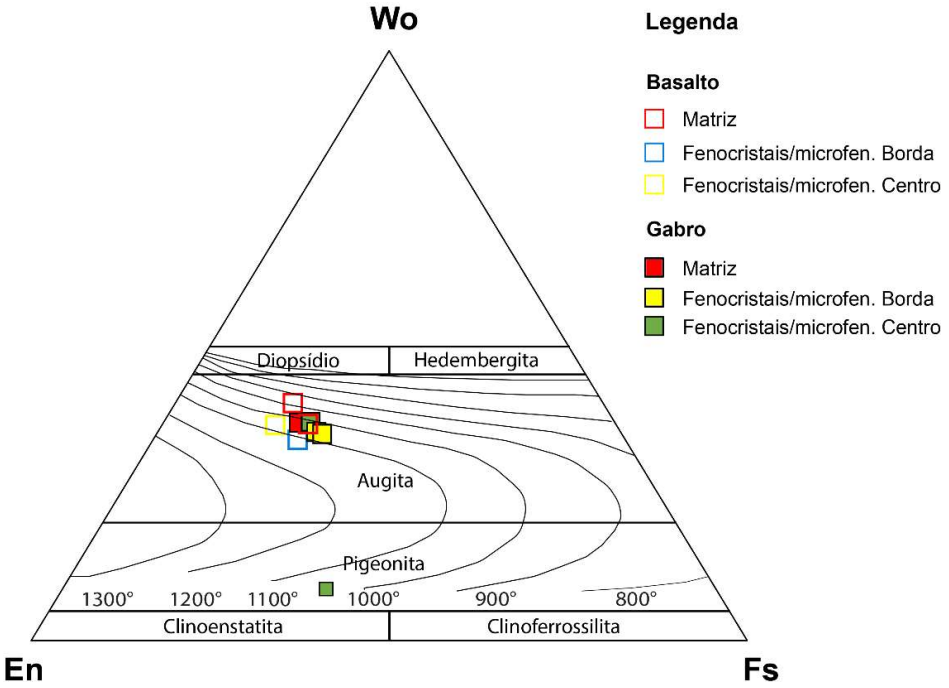


Figura 18: Diagrama ternário Wo-En-Fs com isotermas de Lindsley (1983) para as amostras das soleiras de Prudentópolis.

➢ Opacos

Foram analisados um total de quatro cristais de minerais opacos, sendo dois de amostras de gabro e dois de basalto, os teores adquiridos estão na tabela 3 Apêndice 2. Os minerais analisados pertencem a fases compostas essencialmente por FeO, Fe_2O_3 e TiO_2. As análises indicam altos teores desses óxidos (tabela 5), com pequenas quantidades de MgO e MnO, com teores médios de 0,94 e 0,49% respectivamente. Desta forma, os minerais são classificados como Ti-magnetita e ilmenita, estas fases são confirmadas pela petrografia, com teores de 10 a 20% de opacos nas amostras, bem como nos cálculos da norma CIPW (tabela 1 anexo 3), que também indica a sua presença.

Tabela 5: Teores médios, mínimos e máximo dos óxidos FeO e TiO_2 dos óxidos analisados nas soleiras de Prudentópolis.

Óxidos (%)		
FeO	Mínima	48,62
	Média	49,39
	Máxima	50,97
TiO_2	Mínima	46,06
	Média	47,00
	Máxima	48,04

4.2.2. Soleiras da região de Rebouças

- **Plagioclásios**

Para o estudo de química mineral nos plagioclásios, foram realizadas 19 análises de amostras de gabros e basaltos, das quais 5 são de cristais da matriz e 14 de fenocristais e microfenocristais. Os resultados das análises, com a fórmula calculada para 32 oxigênios e as proporções dos membros finais Ab, An e Or estão na tabela 4 do Apêndice 2. Os valores foram projetados no diagrama ternário Or-Ab-Na, dos quais Or corresponde ao componente potássico, a Ab ao componente sódico e a An ao componente cálcico.

Na tabela 6 é possível observar que todos os teores dos cristais da amostra de contato são valores medianos em relação aos teores de cristais de basalto e gabro.

Tabela 6: Teores médios, mínimos e máximo dos membros finais Or-Ab-An das análises em cristais de plagioclásio das amostras de gabro e basalto das soleiras de Rebouças.

Plagioclásios (%)		GABRO	BASALTO	CONTATO (gabro e basalto)
Albita (Na_2O)	Mínima	24,50	41,00	34,50
	Média	29,10	44,74	39,90
	Máxima	33,90	54,30	47,80
Anortita (CaO)	Mínima	65,20	41,50	50,80
	Média	70,28	52,49	58,95
	Máxima	75,10	57,20	64,70
Ortoclásio (K_2O)	Mínima	0,50	1,80	0,80
	Média	0,62	2,76	1,18
	Máxima	0,90	4,20	1,50

No diagrama Or-Ab-An, as amostras de basalto e gabro foram classificadas separadamente, entretanto uma amostra que corresponde ao contato entre as duas rochas está com os teores dos cristais projetados no diagrama dos basaltos. Estes cristais possuem uma distribuição mais espaçada de teores de sódio e cálcio em relação aos demais. Os cristais analisados são classificados no campo da labradorita, entretanto possuem dispersão com 2 análises de fenocristais próximas ao campo da andesina e o restante dos cristais, mais ricos em cálcio, com um cristal incluso na augita, são projetados mais próximo no campo da bitownita.

Os cristais do basalto e do gabro possuem considerável diferença nos teores de sódio e cálcio, no diagrama Or-Ab-An da figura 19 é possível observar que os

cristais da amostra de gabro são mais ricos em cálcio, dos quais duas análises estão projetadas no campo da labradorita, uma de cristal da matriz e outra do centro de fenocristal, enquanto dois pontos de borda de fenocristal estão no campo da bitownita.

No diagrama com as amostras de basalto a maior parte dos pontos estão projetados no campo da labradorita e 1 análise da borda de fenocristal está no campo da andesina. A variação de cálcio e sódio é menor, entretanto as bordas dos fenocristais apresentam composição mais rica em sódio em relação ao centro e aos cristais da matriz.

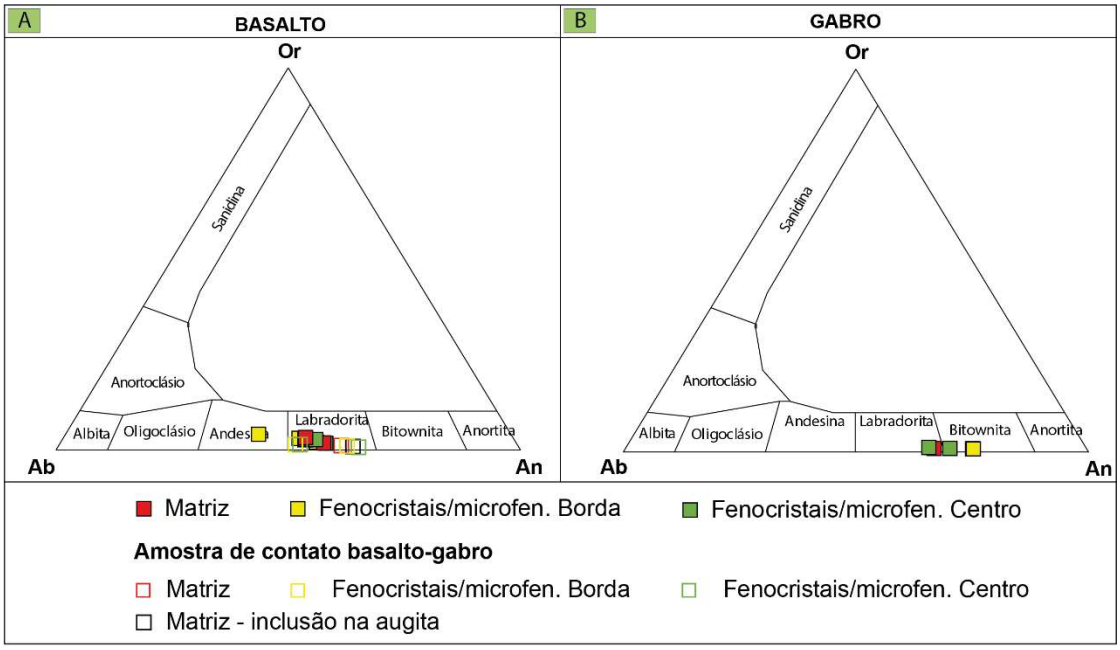


Figura 19: Diagramas ternários Or-Ab-An, para plagioclásios, com as amostras das soleiras de Rebouças. Cada vértice indica 100% dos componentes, dos quais o Or (ortoclásio) representa o componente K2O; Ab (albita) o componente Na2O e a An (anortita) o componente CaO.

- **Piroxênio**

Na análise de química mineral das soleiras de Rebouças, foram utilizados 13 cristais, dentre eles, 4 da matriz da rocha e 9 de microfenocristais e fenocristais, divididos entre borda e centro do cristal. Os cálculos estruturais foram feitos com base em 6 oxigênios. Os resultados das análises estão na tabela 5 do Apêndice 2, junto com os teores dos membros finais Wo, En, Fs, Jd e Eg, calculados conforme a metodologia proposta por Morimoto *et al*. (1988). Na tabela 7 estão listados os teores mínimos médios e máximo de cada componente nas amostras de basalto, gabro e do contato.

Tabela 7: Teores médios, mínimos e máximo dos membros finais Wo, En e Fs das análises em cristais de piroxênios das amostras de gabro, basalto e do contato.

Piroxênios (%)		GABRO	BASALTO	CONTATO (gabro e basalto)
Wollastonita (CaO)	Mínima	33,33	35,69	9,83
	Média	36,19	36,21	28,95
	Máxima	37,74	37,17	38,81
Enstatita (MgO)	Mínima	47,38	46,35	34,94
	Média	49,01	47,09	46,81
	Máxima	51,27	47,63	62,06
Ferrossilita (FeO)	Mínima	13,19	16,47	14,98
	Média	14,80	16,70	24,24
	Máxima	16,74	16,95	33,95

Para realizar a análise da química mineral dos piroxênios, inicialmente os dados foram projetados no diagrama Quad (Ca+Mg+Fe2+) – J (2Na) de Morimoto et al. 1988 (figura 20), com o total de cátions nas posições octaédricas M1 e M2. Todas as amostras estão projetadas no campo Quad, dessa forma as análises são compatíveis com o diagrama Wo-En-Fs.

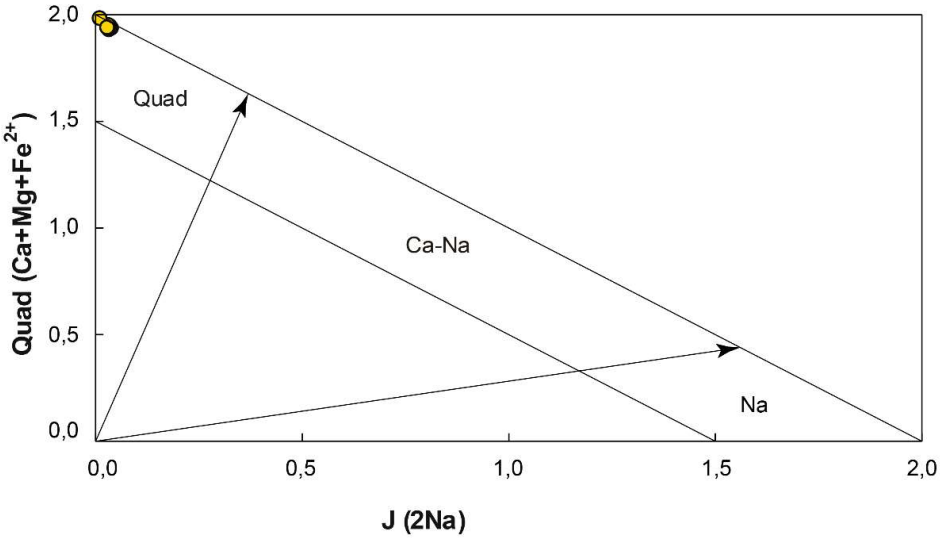


Figura 20: Diagrama Quad (Ca+Mg+Fe2+) vs. J (2Na) para classificação de piroxênios (Morimoto et al. 1988).

Nos diagramas Wo-En-Fs da figura 21, estão classificadas as análises de basaltos e gabros separadas para a melhor visualização e comparação. Dentre os cristais analisados, 2 são de amostra que representa o contato entre o gabro e o basalto e estão indicados no diagrama de basalto.

A maior parte dos cristais analisados tanto nos gabros, quanto nos basaltos estão projetadas no campo da augita e um cristal da amostra de contato está projetada no campo da pigeonita (figura 21). Os cristais desta amostra possuem maior dispersão com alta variação nos teores de cálcio, ferro e magnésio, de forma que uma amostra da matriz e uma de borda de fenocristal estão no campo da augita, das quais a borda do cristal indica maior enriquecimento em magnésio, enquanto outra amostra da matriz está no campo da pigeonita, com baixos teores de cálcio e altos teores de magnésio, com En-62,06 e Wo-9,83.

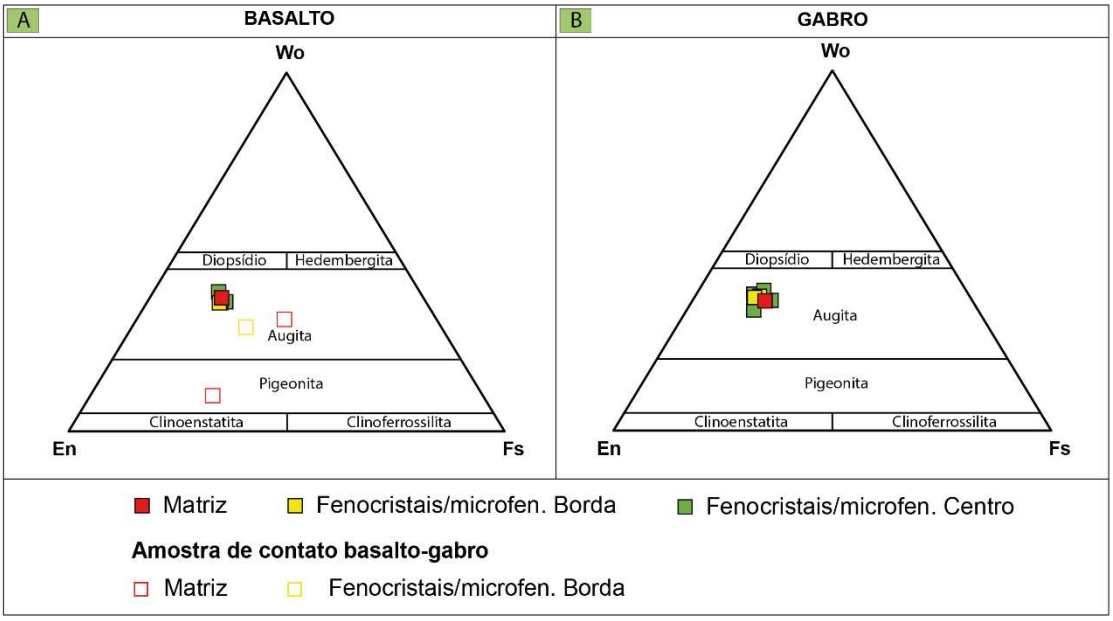


Figura 21: Diagramas ternários Wo-En-Fs, para piroxênios. Cada vértice indica 100% dos componentes, dos quais o Wo (Wollastonita) representa o componente CaO; En (enstatita) o componente MgO e a Fs (ferrossilita) o componente FeO.

Os cristais analisados em basalto possuem baixa variação dos componentes Wo, En e Fs, entretanto ocorre leve diferença entre a borda e o centro dos fenocristais, com a borda mais pobre em cálcio em relação ao centro dos cristais. Já no gabro, a dispersão e variação química dos cristais de piroxênio são maiores, ocorrem em uma análise de centro de fenocristal mais pobre em cálcio em relação as outras, incluindo as amostras da borda e da matriz.

Como ocorre a coexistência das duas fases de piroxênios (augita e pigeonita), as amostras foram projetadas no diagrama Wo-Em-Fs com as isotermas de Lindsley (1983), para estimar a temperatura de cristalização da augita e da pigeonita (figura 22). Conforme as isotermas, a temperatura estimada da coprecipitação das duas

fases é em torno de 1100°C, em um intervalo composicional de aproximadamente 34,94% – 62,06% de enstatita.

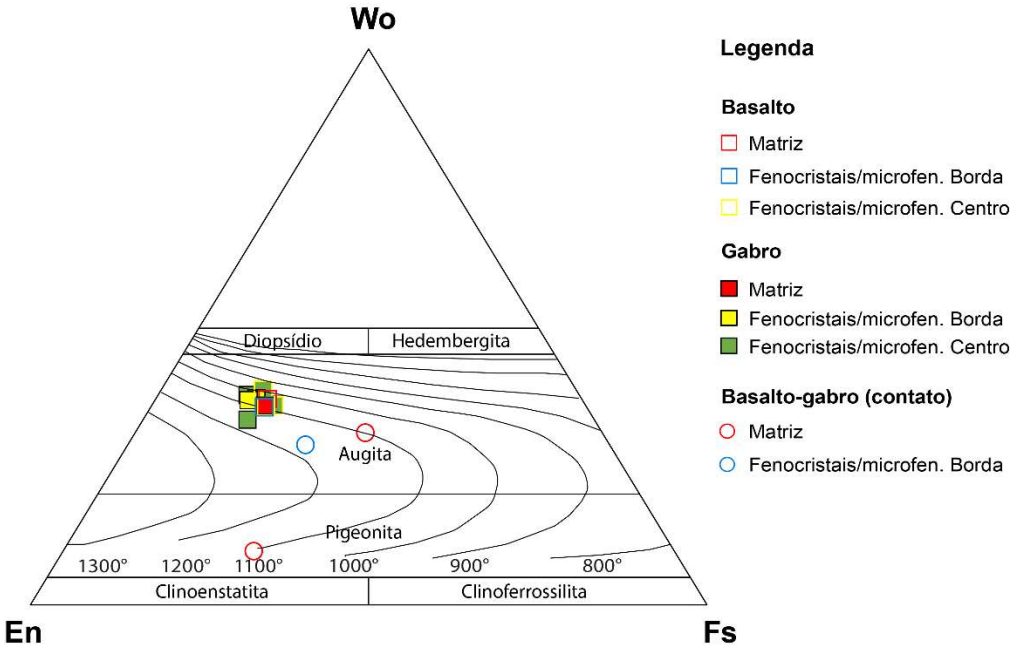


Figura 22: Diagramas ternários Wo-En-Fs com isotermas de Lindsley (1983) e todas as amostras da soleira plotadas.

➢ Opacos

Foram analisados dois cristais de minerais opacos, com resultados na tabela 6 do Apêndice 2, um cristal de amostra de gabro e outra da amostra de contato, a média, mínima e máxima dos principais óxidos estão na tabela 8.

Tabela 8: Teores médios, mínimos e máximo dos óxidos FeO e TiO_2 dos óxidos analisados nas soleiras de Rebouças.

Óxidos (%)		
FeO	Mínima	65,79
	Média	68,36
	Máxima	70,93
TiO_2	Mínima	19,69
	Média	19,91
	Máxima	20,12

Os minerais analisados pertencem a fases compostas essencialmente por FeO e TiO_2, entretanto com teores menores de titânio em relação ao ferro, com os valores médios de 68,36% de FeO e 19,91% de TiO_2 e com pequenos teores de SiO_2, CaO, Al_2O_3, MnO e MgO. O cristal da amostra de contato possui elevados teores de SiO_2 (2,21%) e CaO (2,60%) em relação ao cristal da amostra de gabro que possui teores

de SiO_2 e CaO de 0,67 e 0,04% respectivamente. Apesar destas pequenas variações nos outros óxidos, as fases presentes são Ti-magnetita e ilmenita. Estas fases são observadas na petrografia, com teores de 10 e 15% nas amostras, bem como nos cálculos CIPW (tabela 2, anexo 3).

4.3. LITOGEOQUÍMICA

4.3.1. Soleiras da região de Prudentópolis

Com a análise litogeoquímica as amostras foram individualizadas em duas soleiras distintas devido a grande diferença nos teores de TiO_2 e no comportamento geoquímico das rochas. Serão denominadas, neste trabalho, de soleiras de alto TiO_2 (ATi, $TiO_2 \geq 2\%$), que inclui 3 amostras e soleira de baixo TiO_2 (BTi, $TiO_2 < 2\%$), que inclui 6 amostras. Esta separação é feita conforme classificação proposta no trabalho Bellieni *et* al. (1984), que indica, com as análises geoquímicas, que estes dois grupos possuem fontes distintas, desta forma não podem ser modelados juntos, sendo assim ocorrem 2 corpos de soleiras na região de Prudentópolis.

Foram utilizados os diagramas TAS de Le Maitre *et al*. (1989), para rochas vulcânicas, o diagrama AFM de Irvine e Baragar (1971), para classificação de litotipos máficos-ultramáficos. Do ponto de vista geoquímico, as rochas são classificadas como: basaltos, traquibasaltos, traquiandesito basáltico e andesito basáltico. Na tabela 1 do anexo 3 estão todos os teores de óxidos utilizados para a análise.

No diagrama TAS de Le Maitre *et al*. (1989), na figura 23, as amostras da soleira de baixo TiO_2 estão no campo do basalto, com variações pequenas nos teores de SiO_2 e álcalis. A soleira de alto TiO_2 possui maiores teores de SiO_2 e álcalis em relação à soleira BTi, da qual a amostra de basalto 25-64 está no campo dos traquibasaltos, a amostra de gabro 23-56 está no campo do traquiandesito basáltico e a amostra de basalto 23-57 no campo de andesito basáltico.

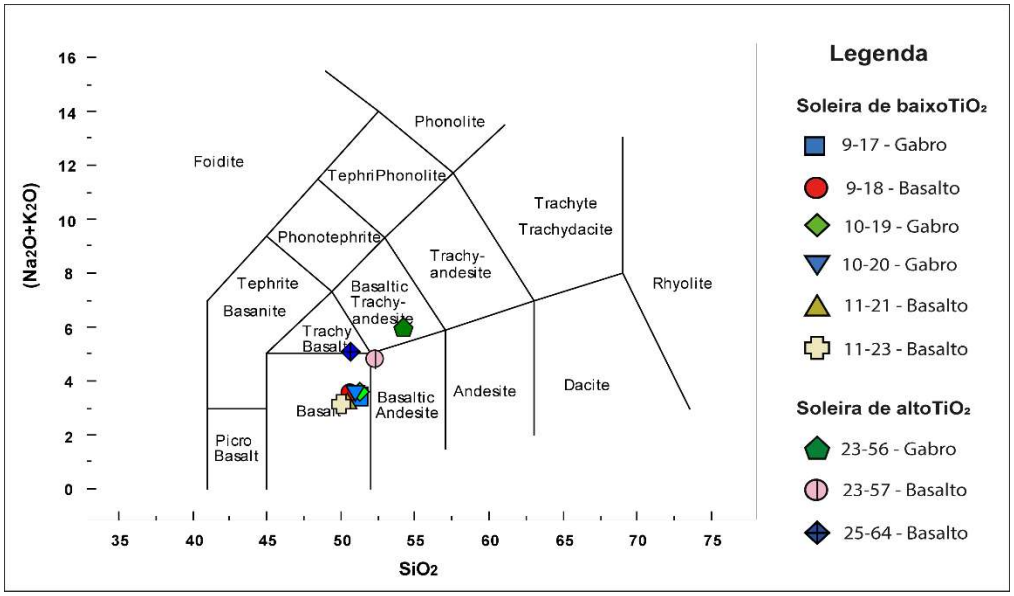


Figura 23: Diagrama TAS de classificação de rochas vulcânicas de Le Maitre et al. (1989), com as análises das amostras das soleiras de Prudentópolis.

No diagrama ternário AFM (figura 24) de Irvine e Baragar (1971), que utiliza os teores de A (Na_2O+K_2O), F (FeO) e M (MgO), todas as amostras são classificadas como toleíticas.

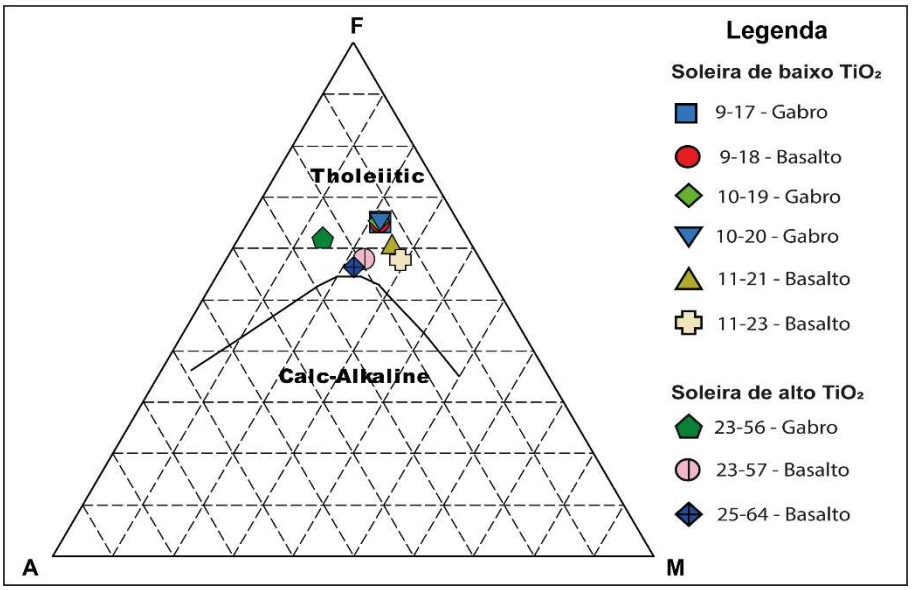


Figura 24: Diagrama AFM Irvine e Baragar (1971), com as análises das amostras das soleiras de Prudentópolis.

As análises das amostras foram plotadas em diagrama do tipo Harker (figuras 25 e 26), tendo a SiO_2 como índice de diferenciação para análise de óxidos e elementos traço.

Na relação de SiO_2 com os álcalis (figura 25), ocorre o aumento do teor de K_2O e Na_2O em função do aumento da SiO_2, tanto na soleira BTi quanto na soleira ATi,

entretanto, a tendência é quase constante dos teores de Na_2O em cada soleira. A partir destes diagramas define-se maior enriquecimento em sílica, potássio e sódio nas amostras da soleira de alto titânio.

No gráfico de SiO_2 e Al_2O_3 a correlação é negativa, de forma que o teor de Al_2O_3 decresce com o aumento da SiO_2 nas duas soleiras. A amostra de basalto 11-23 é a mais enriquecida em Al_2O_3, com 13,72% e a mais empobrecida em SiO_2, com teor de 50,11%.

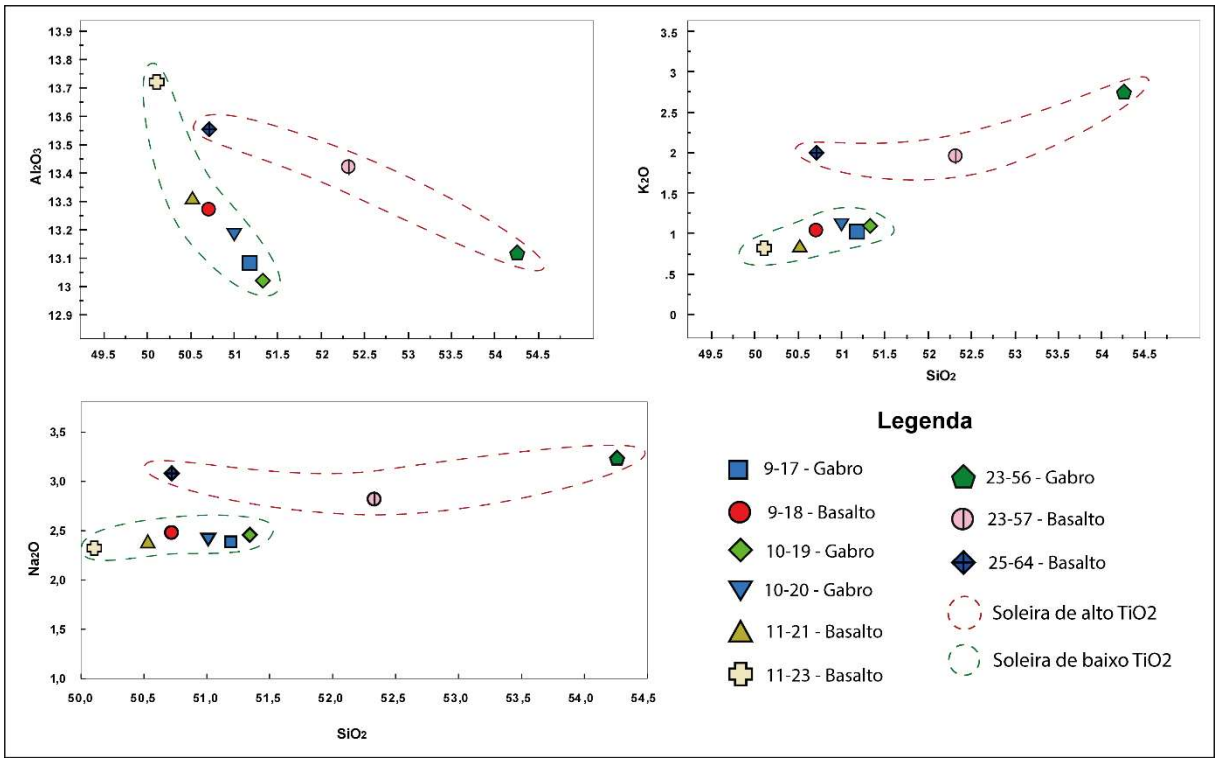


Figura 25: Diagramas do tipo Harker de variação para óxidos, com a SiO_2 como índice de diferenciação em relação aos álcalis. Soleiras da região de Prudentópolis.

No gráfico de TiO_2 *versus* SiO_2 (figura 26) é visível a diferença nos teores de titânio em relação às duas soleiras. Na soleira de alto TiO_2 a correlação com a SiO_2 é negativa, de forma que o teor de TiO_2 decresce com o aumento da SiO_2. A amostra de basalto 25-64 possui o maior teor de TiO_2 e menor de SiO_2, com 4,04 e 50,72%, respectivamente, o alto teor de óxido de titânio na amostra é evidenciado com a intensa presença de ilmenita observada em lâmina petrográfica (figura 6 F), a amostra de gabro 23-56 possui o menor teor de TiO_2 e maior de SiO_2 do grupo, com 2,98 e 54,26% respectivamente, esta amostra é marcada pela intensa presença de intercrescimentos granofíricos, simplectíticos (entre augita e labradorita) e pertíticos

observados em lâmina petrográfica (figura 8 D). Na soleira de BTi a tendência do TiO_2 é positiva em relação ao aumento da SiO_2.

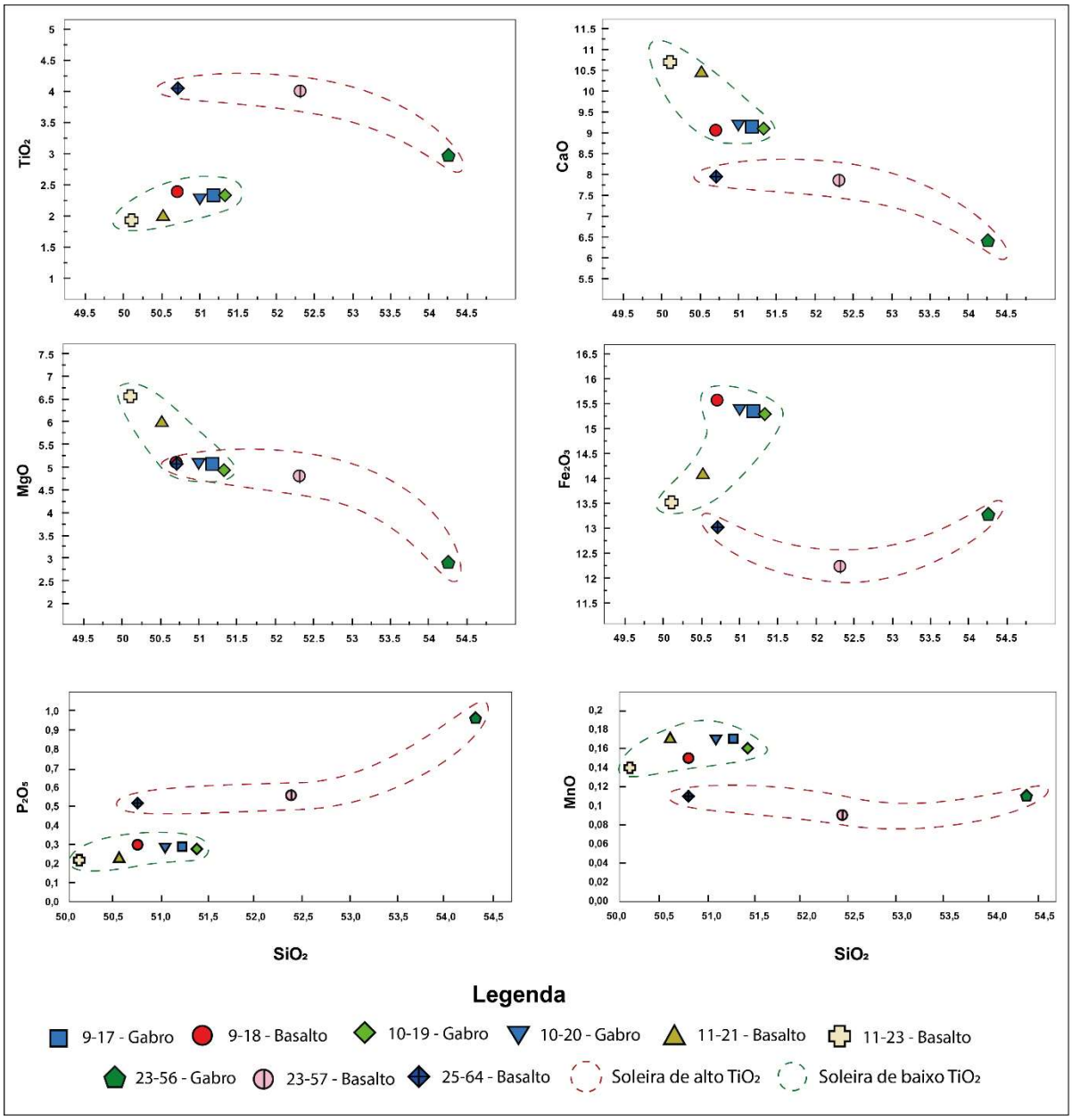


Figura 26: Diagramas do tipo Harker de variação para óxidos, com a SiO_2 como índice de diferenciação em função dos óxidos de cálcio, ferro, magnésio, titânio, manganês e fósforo.

Nos gráficos de SiO_2 *versus* CaO e MgO (figura 26), a correlação é negativa nas duas soleiras, comportamento compatível com o modelo de cristalização fracionada proposto por Bowen (1928). Desta forma é possível inferir quais são as rochas mais primitivas e quais são as mais evoluídas de cada corpo. Na soleira BTi a amostra mais primitiva é a 11-23 (basalto), com 50,11% de SiO_2 e a mais evoluída é a 10-19 (gabro), com 51,34% de SiO_2. Na soleira ATi a amostra mais primitiva é a 25-

64 (basalto), com 50,72% e a mais evoluída é a 23-56 (gabro), com 54,26% de SiO_2. De forma geral, o maior enriquecimento em CaO e MgO ocorre na soleira de baixo TiO_2.

No gráfico de SiO_2 *versus* Fe_2O_3 (figura 26), a soleira BTi possui no geral correlação positiva, com o aumento de Fe_2O_3 em função do aumento da SiO_2, entretanto ocorre inflexão formando dois subgrupos com comportamentos diferentes. As amostras de basaltos 11-23 e 11-21 com o restante das amostras da soleira BTi seguem correlação positiva, já as amostras 9-18 (basalto), 10-20 (gabro), 9-17 (gabro) e 10-19 (gabro) formam, nesta sequência, uma correlação negativa com um ponto de inflexão de Fe_2O_3, com 15,55% na amostra de basalto 9-18 a aproximadamente 50,72% de SiO_2. Na soleira ATi a correlação do Fe_2O_3 com a sílica é constante, com uma baixa no teor de ferro na amostra de basalto 23-57.

No gráfico de P_2O_5 em função de SiO_2 (figura 26), o conjunto de amostras da soleira de alto TiO_2 tem correlação positiva, com o aumento do teor de P_2O_5 em função do aumento da SiO_2, no qual a amostra de gabro 23-56 possui os maiores teores de SiO_2 e P_2O_5 de todo o conjunto de amostras, com 54,26 e 0,96% respectivamente, que são evidenciados na petrografia com a presença de quartzo subédrico tardio e cristais de apatita bem formados. Já na soleira BTi a correlação é, no geral, constante em relação aos teores de P_2O_5, com pequena inflexão na amostra de basalto 9-18, com o maior teor de P_2O_5 da soleira, que contempla 0,30% da amostra.

- **Elementos Traço**

Na análise dos elementos traço foram utilizados os resultados da análise por flourescência de raios X (FRX), com os teores em ppm de cada elemento, indicados na tabela 1 do anexo 3.

Para a visualização do comportamento dos elementos traço foram utilizados diagramas do tipo Harker, que utiliza a SiO_2 como índice de diferenciação (Figura 27). São utilizados os termos de elementos “compatíveis e incompatíveis” conforme definição de Rollinson (1993), onde a correlação positiva nos gráficos Harkers indica elementos incompatíveis com a fase sólida, de forma que entram nas estruturas cristalinas em fases finais de cristalização. Já a correlação negativa segundo o mesmo autor, indica elementos compatíveis com a fase cristalina, se forma que entram na estrutura dos cristais na fase inicial de cristalização.

Nos gráficos de Nb e Y em função da SiO_2, a correlação é positiva nas duas soleiras, de forma que as amostras mais empobrecidas nestes elementos são representadas pelos basaltos e as mais enriquecidas pelos gabros, dessa forma indicam comportamento incompatível com a fase sólida. Na soleira BTi, as amostras de basalto11-23 e 9-18 têm os teores mais elevados de Y, formando um *trend* acima do restante do conjunto.

De forma geral, os outros elementos com comportamento incompatível com a fase sólida nas duas soleiras são: Ba, Zr e Zn, dos quais os menores teores são representados pelas rochas mais primitivas (basaltos) e os maiores teores estão nas rochas mais evoluídas (gabros). Entretando o Zn tem comportamento mais complexo na soleira de baixo TiO_2, sendo compatível com a fase sólida entre os teores de 64 a 70 ppm, onde forma inflexão e passa a ter comportamento incompatível até 82 ppm. O Ba também possui dispersão, de forma que na soleira ATi ocorre uma inflexão na amostra de basalto 23-56, com redução no teor de Ba em relação à SiO_2, já na soleira BTi ocorre inflexão positiva do Ba na amostra de basalto 9-18 e negativa na amostra de gabro 9-17.

Os elementos que possuem comportamento compatível em ambos as soleiras são o Sr e o Cr, nos quais os maiores teores estão nas rochas mais primitivas e os menores teores nas rochas mais evoluídas. Na soleira BTi as amostras de basalto 11-23 e 11-21 possuem maior enriquecimento nestes elementos que o restante.

Os gráficos de Ni e Cu têm comportamento mais dispersos. No gráfico de Cu as amostras da soleira ATi possuem comportamento incompatível enquanto as amostras da soleira BTi apresentam comportamento compatível. No gráfico de Ni ambos as soleiras são compatíveis de forma geral, entretanto, na soleira de baixo titânio, a amostra de gabro 9-17 possui teor anômalo de Ni, com 605 ppm, enquanto a maioria das amostras possuem teores menores que 100 ppm. Na soleira ATi ocorre inflexão na amostra de basalto 25-64, com teor mais baixo de Ni em relação as outras amostras do conjunto.

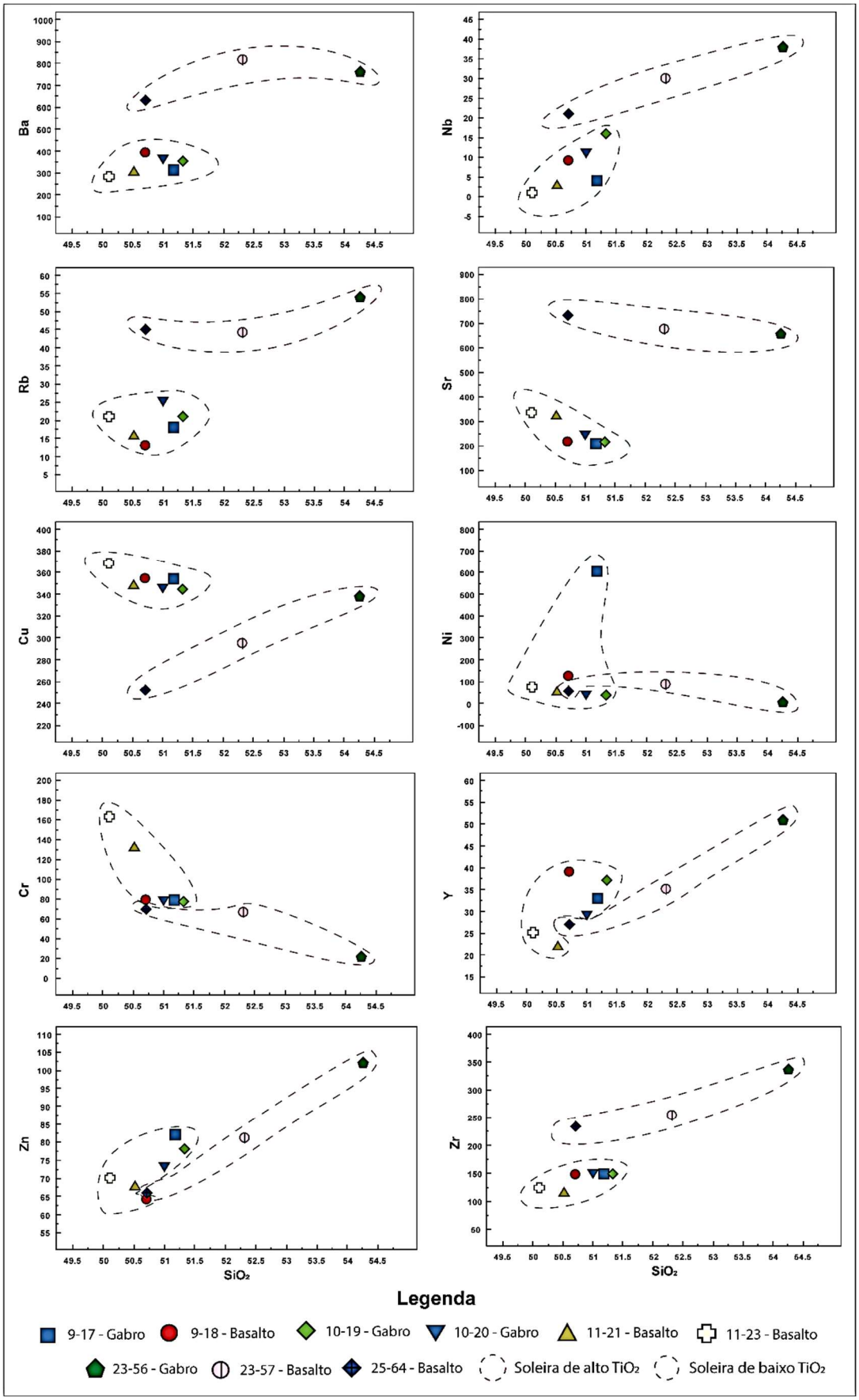


Figura 27: Diagramas do tipo Harker de variação para elementos traço (em ppm), com a SiO_2 como índice de diferenciação. Soleiras da região de Prudentópolis.

Os dados das duas soleiras (ATi e BTi) foram projetados em diagrama multielementar normalizado para o manto primitivo de Wood *et al.* (1979).

No diagrama (figura 28) observa-se que as rochas possuem assinaturas geoquímicas semelhantes entre si dentro de cada soleira, na soleira BTi todas as amostras de gabro e uma amostra de basalto (9-18) possuem anomalias negativas suaves para Sr, que indica o fracionamento do plagioclásio. Na soleira ATi a amostra de gabro (23-56) possui assinatura diferente do restante do grupo, com anomalia para Sr, como os gabros da soleira BTi e maior enriquecimento em P, evidenciado na petrografia com altos teores de apatita. Quando comparados, os diagramas da soleira ATi com os diagramas da soleira BTi, é evidente a diferença de assinatura entre as duas, sendo a soleira ATi mais enriquecida em todos os elementos traço, principalmente os elementos LILE (*large ion lithofile elements*), como Ba e K, e, indica maior grau de fracionamento.

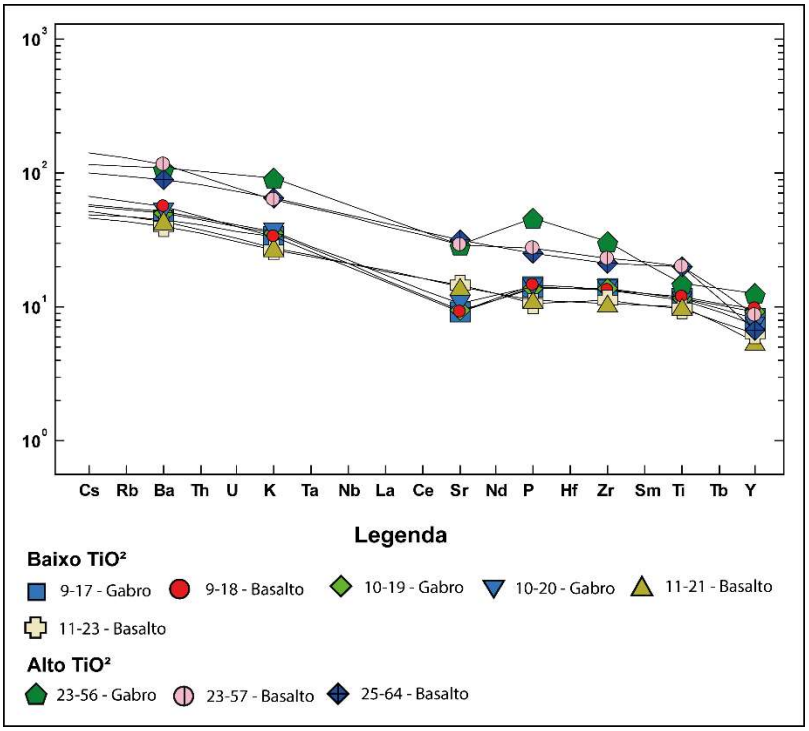


Figura 28: Diagrama Multielementar normalizado pelo manto primordial Wood *et al*. (1979) para rochas da soleira Prudentópolis de alto e baixo TiO_2.

4.3.2. Soleiras da região de Rebouças

Com a análise geoquímica, as amostras são divididas em duas soleiras diferentes, da mesma forma que na região de Prudentópolis, conforme os teores de TiO_2. A soleira de alto TiO_2 (ATi) é composta pelas amostras de basalto 14-32 e 32-

76, com 3,15 e 3,85% de TiO_2, respectivamente. A soleira de baixo TiO_2 (BTi) é composta pelas amostras 34-80 (gabro/basalto), 34-81 (basalto) e 34-82 (gabro), com teores de TiO_2 que variam de 0,97 a 1,32%. Esta separação segue a classificação de Bellieni *et al*. (1986), na qual a soleira ATi possui teores de $TiO_2 \geq 2\%$ e a soleira BTi com $TiO_2 < 2\%$. Os teores de óxidos e elementos traço estão com os valores indicados na tabela 2 anexo 3.

Os dados obtidos nas amostras da região de Rebouças foram projetados nos diagramas TAS (total álcalis vs. Sílica) de Le Maitre *et al*. (1989) (figura 29), para rochas vulcânicas e o diagrama AFM (álcalis-FeO-MgO) de Irvine e Baragar (1971) (figura 30), para classificação de litotipos máficos-ultramáficos.

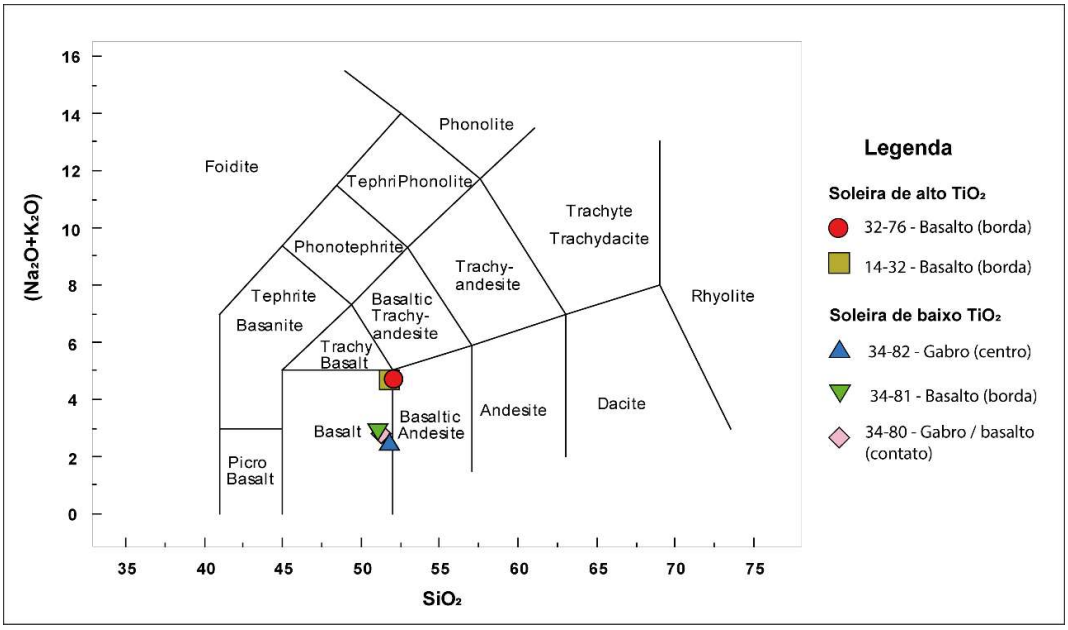


Figura 29: Diagrama TAS de classificação de rochas vulcânicas de de Le Maitre et al. (1989), com as análises das amostras das soleiras de Rebouças.

No diagrama TAS de Le Maitre *et al*. (1989), as amostras da soleira de baixo TiO_2 são projetadas no campo de basaltos, com detalhe para a amostra 34-82 (petrograficamente um gabro) que está na linha entre o campo do basalto e do basalto andesítico. As amostras da soleira de alto TiO_2 possuem composição mais rica em SiO_2 e álcalis, das quais estão projetadas próximo aos campos entre as classificações de basalto, basalto andesítico e traqui-basaltos. De forma geral, apesar das diferenças composicionais, todas as amostras são classificadas como basaltos.

No diagrama ternário AFM de Irvine e Baragar (1971), que utiliza os teores de A (Na_2O+K_2O), F (FeO) e M (MgO), todas as amostras são classificadas no campo do basalto toleítico, (Figura 30).

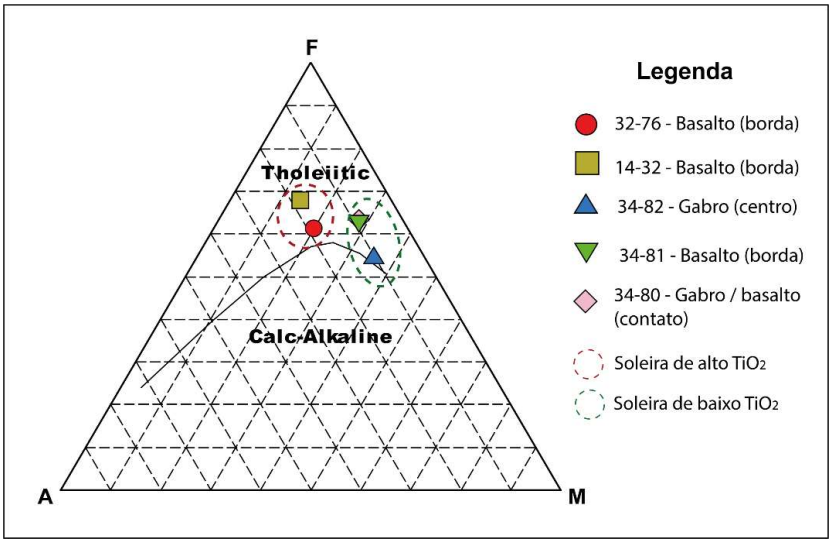


Figura 30: Diagrama AFM de classificação de rochas vulcânicas de Irvine Baragar (1971), com as análises das amostras das soleiras de Rebouças.

Para analisar a variação geoquímica durante a cristalização, os dados foram projetados em diagramas do tipo Harker (figuras 31 e 32), que utiliza a SiO_2 como índice de diferenciação para análise de óxidos e elementos traço.

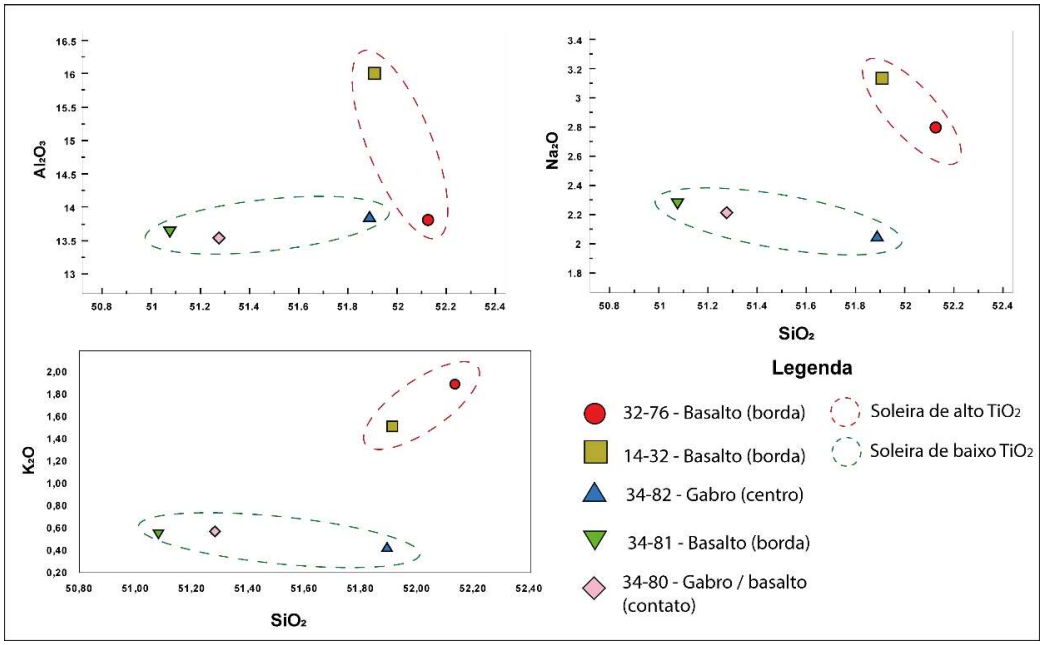


Figura 31: Diagramas do tipo Harker de variação para óxidos, com a SiO_2 como índice de diferenciação em relação aos álcalis.

Na relação de SiO_2 com os álcalis (figura 31), o diagrama de SiO_2 *vs.* Al_2O_3 define correlação positiva na soleira BTi, e correlação negativa na soleira ATi. Já na relação SiO_2 *vs.* Na_2O a correlação é negativa nas duas soleiras. A soleira de alto TiO_2 possui maiores teores de sódio e alumínio em relação à de baixo TiO_2, além de maiores teores de SiO_2 também.

No diagrama SiO_2 *vs.* K_2O, as amostras da soleira BTi possui correlação negativa e a soleira ATi define correlação positiva com elevados teores de potássio.

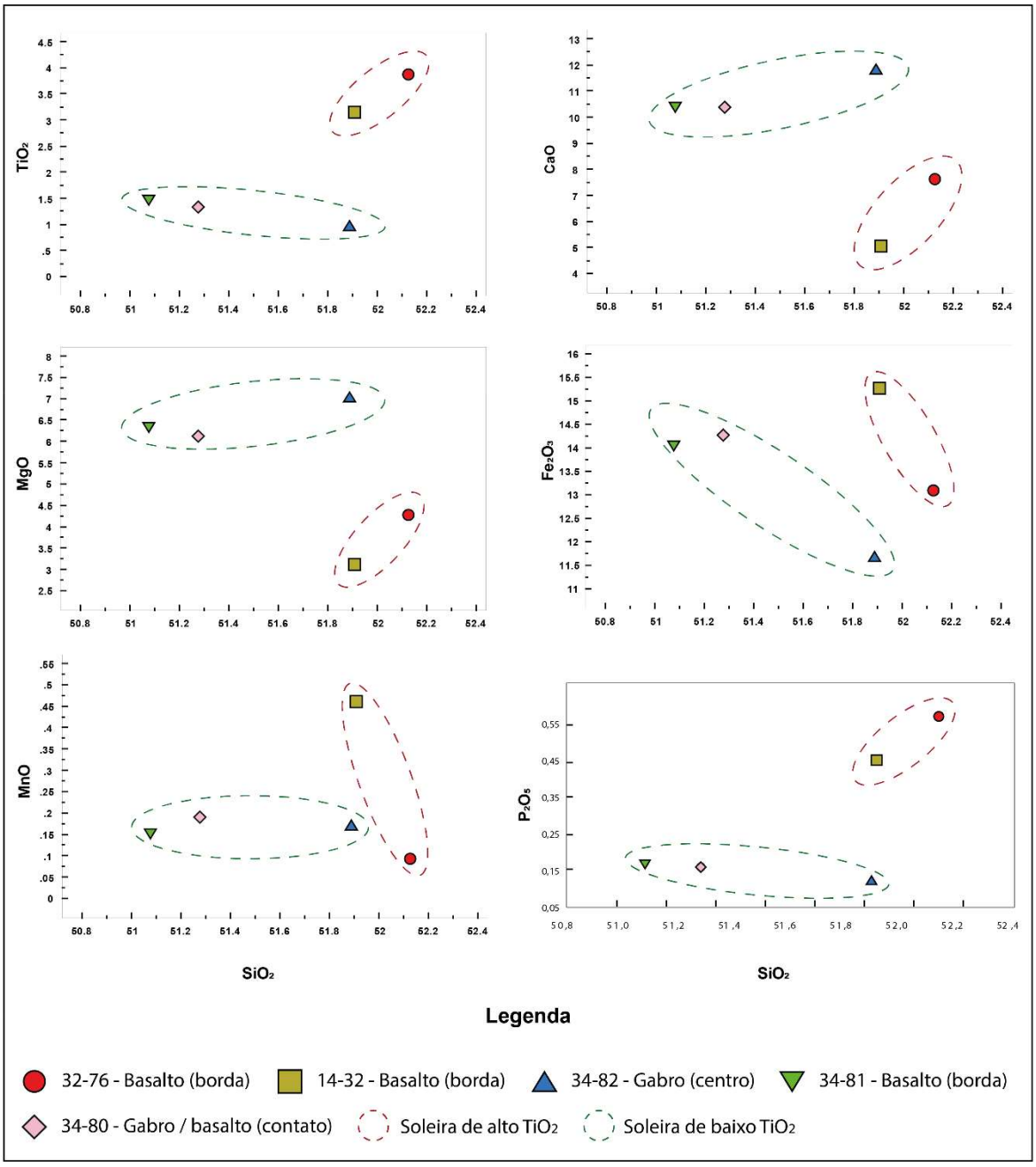


Figura 32: Diagramas do tipo Harker de variação para óxidos, com a SiO_2 como índice de diferenciação em aos óxidos de cálcio, ferro, magnésio, titânio, manganês e fósforo. Amostras da região de Rebouças.

Os teores de SiO_2 variam de 52,13 % a 51,08 %, os gráficos com os teores dos óxidos que formam os minerais máficos, como piroxênios e opacos, (CaO, Fe_2O_3, MgO, MnO e TiO_2) definem algumas variações (figura 32). Na relação entre SiO_2 e CaO, observa-se um decréscimo nos teores de cálcio para as amostras da soleira BTi,

com pequena inflexão negativa na amostra de contato (gabro/basalto) 34-80, com o menor teor de cálcio deste conjunto. Na soleira ATi a correlação também é positiva e possui teores menores de CaO em relação à soleira BTi.

No diagrama de TiO_2 *vs*. SiO_2 a soleira de baixo TiO_2 define correlação negativa, com o maior teor de TiO_2 em amostra de basalto e menor teor em amostra de gabro. Já na soleira de alto TiO_2 a correlação é positiva e fica claro o maior enriquecimento de titânio em relação à de baixo TiO_2.

No diagrama de SiO_2 *vs*. Fe_2O_3 a correlação é negativa em ambas as soleiras, nas quais a soleira BTi possui inflexão positiva na amostra de contato 34-80 (gabro/basalto) com teor mais elevado de Fe_2O_3 em relação ao restante das amostras do conjunto, com 14,27%. No diagrama de SiO_2 *versus* MgO, a soleira BTi segue uma correlação positiva, com leve inflexão negativa também na amostra de contato 34-80 com o menor teor de MgO do conjunto (6,12%). A soleira ATi também segue correlação positiva, entretanto com teores menores de MgO em relação à soleira BTi.

A relação MnO *vs*. SiO_2 define, no geral, *trend* constante na soleira BTi, com leve inflexão na amostra de contato 34-80 com maior enriquecimento de MnO. Já na soleira ATi a correlação é negativa, com teor anômalo de MnO na amostra de basalto 14-32 (0,46%).

O diagrama da relação entre P_2O_5 e SiO_2 a soleira BTi define *trend* negativo, já a soleira ATi define *trend* positivo, com teores mais elevados de fósforo em relação à BTi (figura 32).

- **Elementos Traço**

Na análise dos elementos traço foram utilizados os resultados obtidos por flourescência de raios X (FRX), com os teores em ppm de cada elemento, indicados na tabela 2 do Apêndice 3.

Para a visualização do comportamento dos elementos traço das soleiras de Rebouças, foram utilizados diagramas do tipo Harker, com a SiO_2 como índice de diferenciação (figura 33 e 34).

Com base em observação dos diagramas, os elementos com comportamento compatível na soleira BTi são Ba, Y e Zr, que apresentam maiores teores nas amostras de basalto e menores teores nas amostras de gabro. O Cr e o Nb possuem comportamento incompatível nas rochas da soleira BTi, com leve inflexão negativa na amostra de contato 34-80 (gabro/basalto) mais empobrecida nestes dois elementos.

Os diagramas de SiO_2 *vs.* Sr e Cu, a relação é constante, de forma que o teor destes elementos não muda com o aumento da SiO_2.

Já na relação Ni e Zn com a SiO_2 o comportamento é disperso na soleira BTi, no diagrama de Ni *vs.* SiO_2 o comportamento é compatível até a amostra de contato gabro/basalto (34-80), formando um ponto de inflexão em 49 ppm de Ni, no qual a próxima amostra do *trend* (34-82) é um gabro que possui teor de 68 ppm, de forma a definir uma tendência positiva. No diagrama de Zn *vs.* SiO_2, o comportamento é incompatível até a amostra de contato 34-80, onde forma ponto de inflexão em 77 ppm e passa a ter comportamento compatível, com queda no teor de Zn na amostra de gabro 34-82 (48 ppm).

Na soleira ATi a relação da SiO_2 com os elementos traço segue comportamento compatível nos diagramas de SiO_2 *vs.* Rb, Cu, Cr, Y e Zn. Nos diagramas de SiO_2 *vs.* Ba, Nb, Sr, Ni e Zr o comportamento é incompatível e forma correlação positiva com o aumento no teor da sílica.

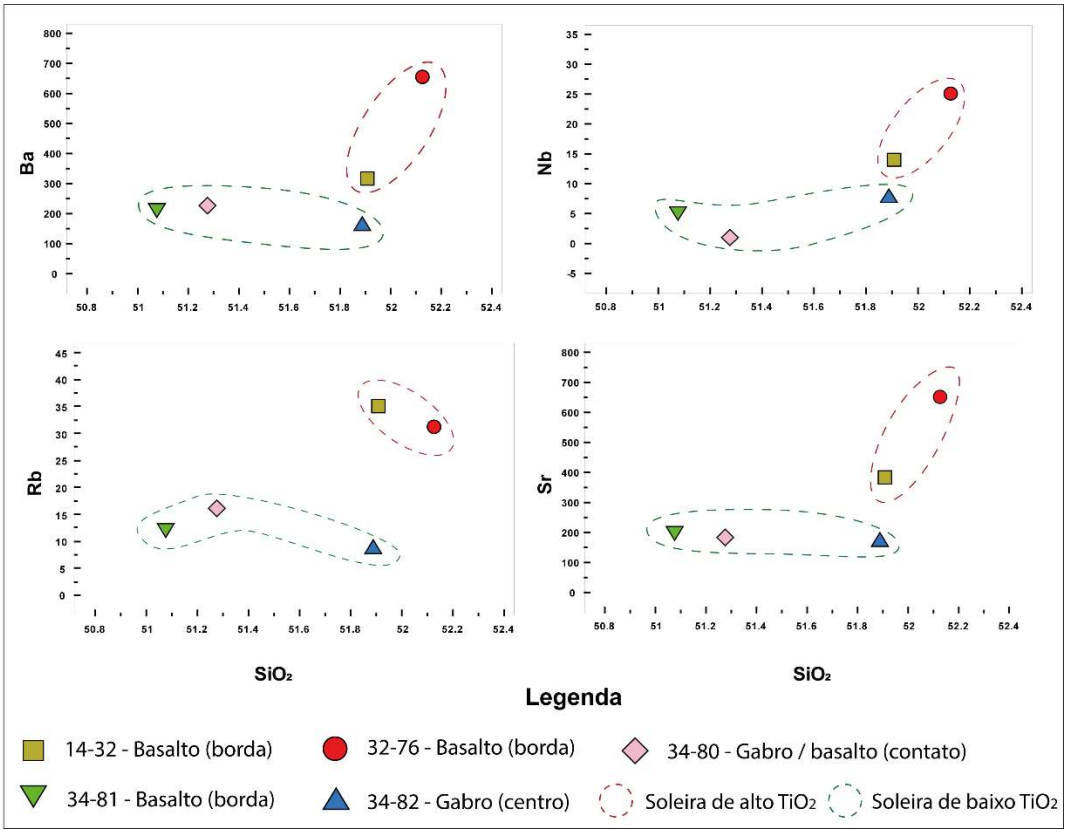


Figura 33: Diagramas do tipo Harker de variação para elementos traço (em ppm), com a SiO_2 como índice de diferenciação. Amostras da região de Rebouças.

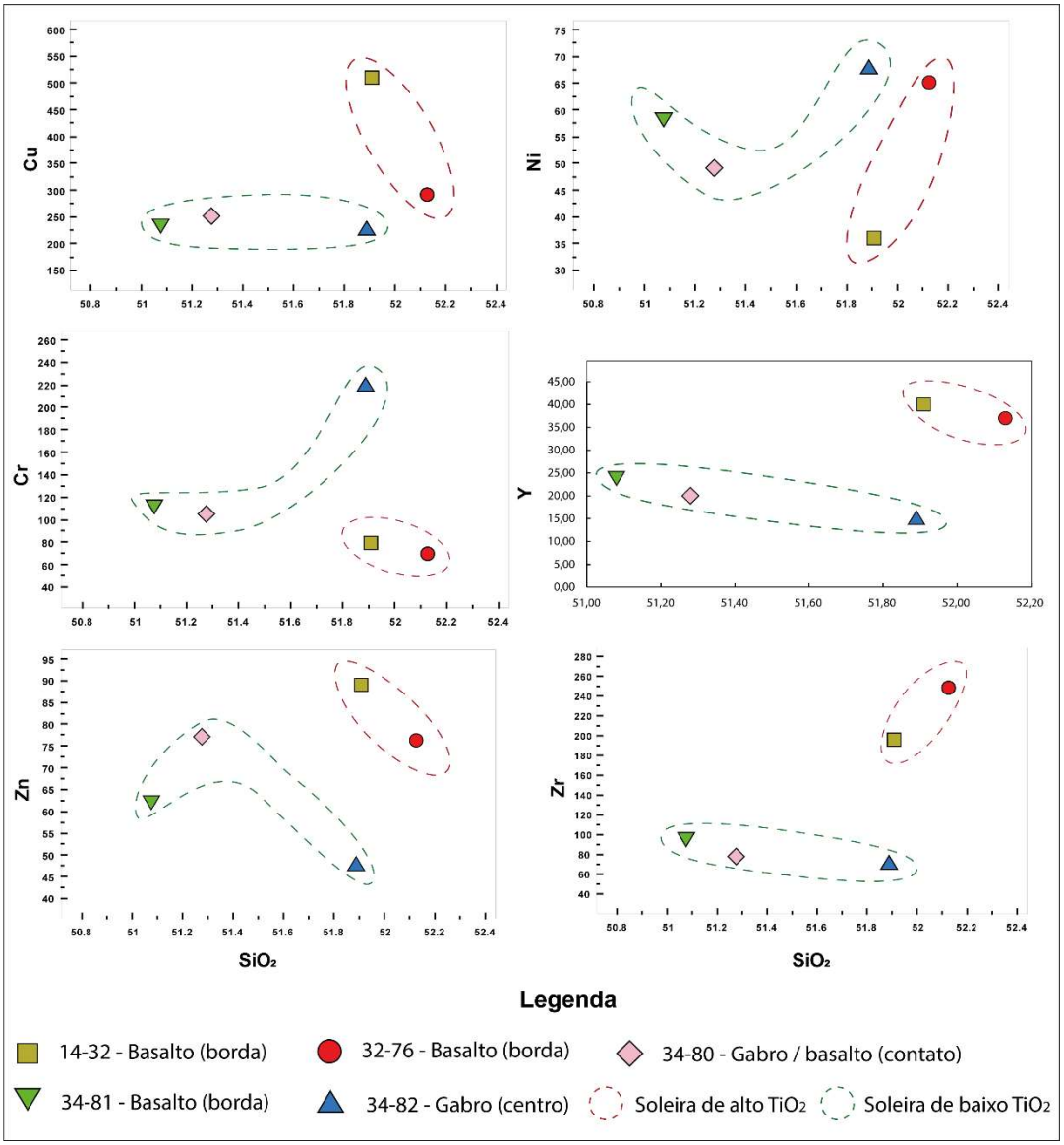


Figura 34: Diagramas do tipo Harker de variação para elementos traço (em ppm), com a SiO_2 como índice de diferenciação. Amostras da região de Rebouças.

Os dados das duas soleiras (ATi e BTi) foram projetados em diagramas multielementares normalizados para o manto primitivo de Wood *et al.* (1979).

No diagrama observa-se que as rochas possuem assinaturas geoquímicas semelhantes dentro de cada soleira (ATi e BTi). Na soleira ATi, a amostra de basalto 14-32 define leve anomalia negativa no Sr e Ba, indicando o fracionamento do plagioclásio. Na soleira BTi, a amostra 34-82 (gabro) define leve anomalia negativa em P e leve anomalia positiva em Zr, junto com a amostra de basalto 34-81. Quando comparados os diagramas das duas soleiras (ATi e BTi), fica clara a diferença de fracionamento entre elas, sendo a soleira de baixo TiO_2 mais enriquecida em todos os elementos traço (figura 35).

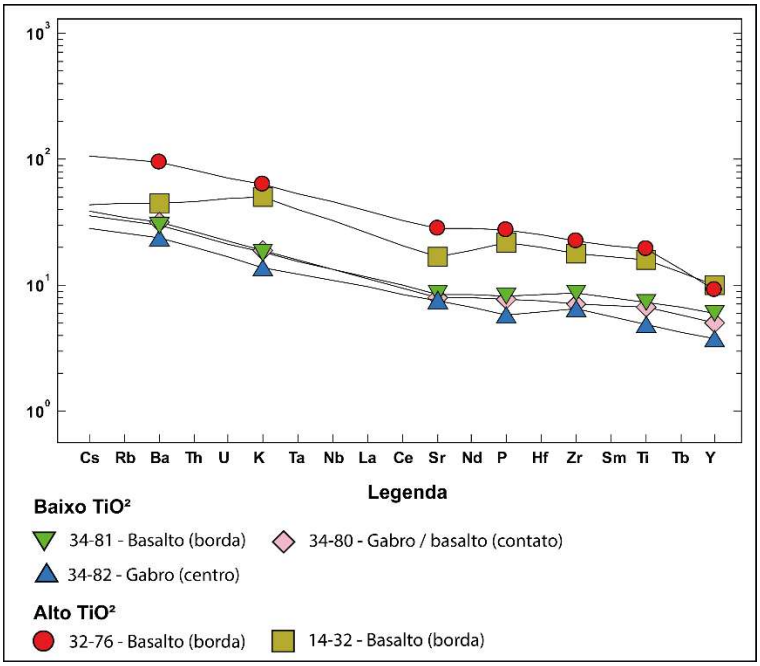


Figura 35 - Diagrama Multielementar normalizado pelo manto primordial Wood *et al*. (1979) para rochas das soleiras de Rebouças.

4.3.3. Classificações Geoquímicas

➢ **Classificação conforme Peate *et. al.* (1992)**

Com o objetivo de compreender a variação geoquímica que ocorre na Província Ígnea do Paraná, Peate *et. al.* (1992) subdividiram as rochas da província em grupos distintos, com base em teores de elementos maiores e traço, bem como algumas razões entre eles. Os elementos utilizados para esta subdivisão são: TiO_2, SiO_2, P_2O_5, Fe_2O_3, Sr, Ba, Zr e Y, onde são utilizadas razões entre estes elementos também. A partir da observação do comportamento destes óxidos e elementos em amostras analisadas, Peate *et. al.* (1992) definiram 6 magma-tipos divididos principalmente com relação ao teor de TiO_2, onde os magma-tipo de alto titânio são: Urubici, Pitanga e Paranapanema, e, os magma-tipo de baixo titânio são: Ribeira, Esmeralda e Gramado (tabela 9)

Tabela 9: Classificação para magma-tipos de basaltos segundo Peate *at al.* (1992)

	Alto - Ti			**Baixo - Ti**		
	Urubici	**Pitanga**	**Paranapanema**	**Ribeira***	**Esmeralda**	**Gramado**
SiO_2	> 49	> 47	48 - 53	49 - 52	48 - 55	49 - 60
TiO_2	> 3.3	> 2.8	1.7- 3.2	1. 5 - 2.3	1.1- 2.3	0.7 - 2.0
P_2O_5	> 0.45	> 0.35	0.2- 0.8	0.15- 0.50	0.1- 0.35	0.05- 0.40
Fe_2O_3	< 14.5	12.5 - 18	12.5- 17	12 - 16	12 - 17	9 – 16
Sr	> 500	> 350	200 -450	200 -375	<250	140 -400
Ba	> 500	> 200	200 -650	200 -600	90 - 400	100 -700

Zr	> 250	> 200	120 -250	100 -200	65 -210	65 -275
Ti / Zr	> 57	> 60	> 65	> 65	> 60	< 70
Ti / Y	> 500	> 350	> 350	> 300	< 330	< 330
Zr / Y	> 6.5	> 5.5	4.0- 7.0	3.5 - 7.0	2.0- 5.0	3.5 - 6.5
Sr / Y	> 14	> 8	4.5- 15	5 - 17	< 9	< 13
Ba/ Y	> 14	> 9	5 – 19	6 - 1 9	< 12	< 19

Devido algumas inconsistências neste modelo, os autores atualizaram a classificação (Peate *et. al.*, 1997), onde passaram a considerar magmas-tipo de alto e baixo Ti/Y, ao invés de considerar apenas o titânio, dessa forma o magma-tipo Ribeira passou a ser considerado alto Ti/Y. A partir dessa classificação, os magma-tipo de cada soleira estão listados nas tabelas 10 e 11 abaixo:

Tabela 10: Classificação das rochas das soleiras de Prudentópolis, conforme Peate *et al.* (1992).

Soleiras de Prudentópolis														
Amostra	**SiO_2**	**TiO_2**	**P_2O_5**	**Fe_2O_{3t}**	**Sr**	**Ba**	**Zr**	**Ti/Zr**	**Ti/Y**	**Zr/Y**	**Sr/Y**	**Ba/Y**	**Y**	**Classificação (Peate *et al.* 1992)**
E-9/17	51,19	2,32	0,29	15,34	210	313	149	93,34	421,45	4,52	6,36	9,48	33	Paranapanema
E-9/18	50,72	2,37	0,30	15,55	214	391	147	96,65	364,31	3,77	5,49	10,03	39	Paranapanema
E-10/19	51,34	2,33	0,28	15,29	216	355	149	93,74	377,51	4,03	5,84	9,59	37	Paranapanema
E-10/20	51,01	2,26	0,29	15,36	243	359	148	91,54	467,17	5,10	8,38	12,38	29	Paranapanema / Ribeira
E-11/21	50,53	2,01	0,23	14,09	326	307	116	103,87	547,68	5,27	14,82	13,95	22	Ribeira
E-11/23	50,11	1,92	0,22	13,51	336	281	124	92,82	460,40	4,96	13,44	11,24	25	Paranapanema / Ribeira
E-23/56	54,26	2,98	0,96	13,29	659	762	336	53,17	350,29	6,59	12,92	14,94	51	Urubici/Pitanga
E-23/57	52,33	3,99	0,56	12,21	676	816	254	94,17	683,43	7,26	19,31	23,31	35	Urubici
E-25/64	50,72	4,04	0,52	13,01	733	632	233	103,94	897	8,63	27,15	23,41	27	Urubici

Tabela 11: Classificação das rochas das soleiras de Rebouças, conforme Peate *et al.* (1992).

Soleiras de Rebouças														
Amostra	**SiO_2**	**TiO_2**	**P_2O_5**	**Fe_2O_{3t}**	**Sr**	**Ba**	**Zr**	**Ti/Zr**	**Ti/Y**	**Zr/Y**	**Sr/Y**	**Ba/Y**	**Y**	**Classificação (Peate *et al.* 1992)**
E-14/32	51,91	3,15	0,45	15,26	383	316	196	96,35	472,10	4,90	9,58	7,90	40	Paranapanema
E-32/76	52,13	3,85	0,57	13,07	648	652	248	93,06	623,78	6,70	17,51	17,62	37	Paranapanema/ Pitanga
E-34/80	51,28	1,32	0,16	14,27	182	224	78	101,45	395,65	3,90	9,10	11,20	20	Ribeira
E-34/81	51,08	1,45	0,17	14,03	196	209	95	91,49	362,17	3,96	8,17	8,71	24	Ribeira
E-34/82	51,89	0,97	0,12	11,67	174	166	72	80,76	387,67	4,80	11,60	11,07	15	Ribeira

- **Classificação conforme Licht (2018)**

A partir da observação de *gaps* nos teores SiO_2, Zr, TiO_2 e P_2O_5, Licht (2018) sugeriu a classificação das rochas da PMP em 16 subconjuntos que possuem duas principais tendências: Alta sílica (HSi) e baixa sílica (LSi), das quais se ramificam com variações nos teores dos demais elementos analisados (figura 36). Esta classificação

associada a datações de $^{40}Ar/^{39}Ar$ e U/Pb pré-existentes na literatura resultou em modelo 4-D (espacial e temporal) para a PMP.

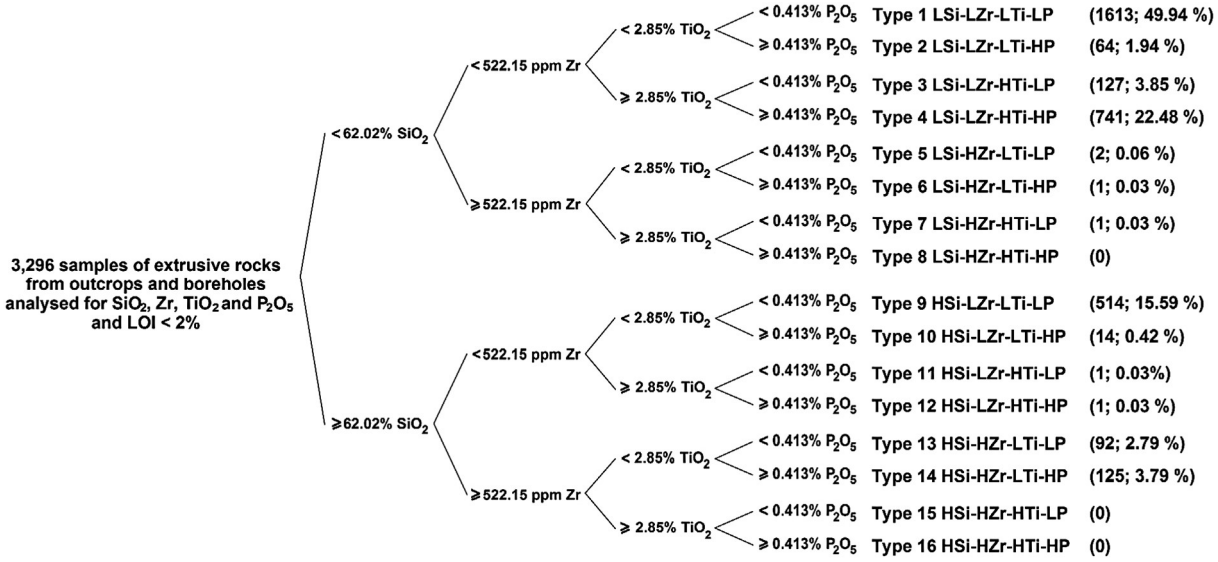


Figura 36: Organograma dos tipos geoquímicos da Província Magmática do Paraná. Entre parênteses está a quantidade de amostras e sua frequência relativa. (Licht, 2018)

As amostras das soleiras de Rebouças e Prudentópolis foram classificadas conforme o modelo de Licht (2018), com suas respectivas classificações nas tabelas 12 e 13.

Tabela 12: Classificação das amostras das soleiras de Prudentópolis conforme Licht (2018)

Soleiras de Prudentópolis						
Amostra	**SiO_2**	**Zr**	**TiO_2**	**P_2O_5**	**Tipo**	**Associação**
E-9/17	51,19	149	2,32	0,290	Tipo 1	LSi-LZr-LTi-LP
E-9/18	50,72	147	2,37	0,300	Tipo 1	LSi-LZr-LTi-LP
E-10/19	51,34	149	2,33	0,280	Tipo 1	LSi-LZr-LTi-LP
E-10/20	51,01	148	2,26	0,290	Tipo 1	LSi-LZr-LTi-LP
E-11/21	50,53	116	2,01	0,230	Tipo 1	LSi-LZr-LTi-LP
E-11/23	50,11	124	1,92	0,220	Tipo 1	LSi-LZr-LTi-LP
E-23/56	54,26	336	2,98	0,960	Tipo 4	LSi-LZr-HTi-HP
E-23/57	52,33	254	3,99	0,560	Tipo 4	LSi-LZr-HTi-HP
E-25/64	50,72	233	4,04	0,520	Tipo 4	LSi-LZr-HTi-HP

Tabela 13: Classificação das amostras das soleiras de Rebouças conforme Licht (2018)

Soleiras de Rebouças						
Amostra	**SiO_2**	**Zr**	**TiO_2**	**P_2O_5**	**Tipo**	**Associação**
E-14/32	51,91	196	3,15	0,450	Tipo 4	LSi - LZr - HTi - HP
E-32/76	52,13	248	3,85	0,570	Tipo 4	LSi - LZr - HTi - HP
E-34/80	51,28	78	1,32	0,160	Tipo 1	LSi - LZr - LTi - LP
E-34/81	51,08	95	1,45	0,170	Tipo 1	LSi - LZr - LTi - LP
E-34/82	51,89	72	0,97	0,120	Tipo 1	LSi - LZr - LTi - LP

4.4. MODELAGEM GEOQUÍMICA

Nas soleiras da região de Rebouças a modelagem geoquímica não é possível de ser realizada, devido à presença de duas soleiras que devem ser modeladas separadamente (soleiras ATi e BTi), sendo que uma possui apenas 2 amostras, e a modelagem não seria representativa.

Nas soleiras da região de Prudentópolis, os resultados das análises petrográficas, de química mineral e de litogeoquímica, mostram variações nos teores de minerais e elementos químicos e consequentemente da composição do magma que formou as rochas. Estas mudanças ocorrem de forma contínua, com tendências que possibilitam inferir que o processo de diferenciação magmática foi a cristalização fracionada. No trabalho de Petersohn (2006), a cristalização fracionada foi definida como o principal mecanismo de diferenciação que atuou nas soleiras da região.

Na análise petrográfica, a diferenciação magmática é evidenciada principalmente pelas diferenças composicionais entre as amostras do centro do corpo (gabros) e da borda do corpo (basaltos). Nas rochas gabróicas, as porcentagens de cristais de labradorita são maiores em comparação com as rochas basálticas e possuem texturas características de mudanças na composição magmática, como zonamentos composicionais na labradorita, intercrescimentos granofíricos, pertíticos e simplectíticos (entre augita e labradorita) nas bordas dos cristais.

Na química mineral, os plagioclásios variam de andesina a labradorita, de forma que nos gabros as análises das bordas dos fenocristais são projetadas no campo da andesina e as análises do centro estão no campo da labradorita. As análises dos cristais de labradorita nas amostras basálticas são no geral mais ricas em cálcio e mais empobrecidas em sódio, com apenas uma análise de borda no campo da andesina. As análises nos cristais de piroxênio estão em sua maioria no campo da augita, com maiores teores de CaO nas amostras basálticas com exceção de um fenocristal de pigeonita em amostra de gabro.

Estas variações minerais acompanham os *trends* contínuos nos diagramas do tipo Harker nas duas soleiras de alto e baixo TiO_2, com decréscimos de CaO, Sr e MgO que indicam o fracionamento do plagioclásio e da augita. O decréscimo do TiO_2 na soleira de alto TiO_2 pode indicar também a magnetita como fase fracionante.

Para testar de forma quantitativa a viabilidade do processo de cristalização fracionada, a soleira ATi foi modelada em uma etapa e a soleira BTi foi modelada em

duas etapas. Na soleira ATi a amostra que representa magma mais primitivo é um basalto, com altas porcentagens de minerais máficos e principalmente de ilmenita, que é refletida na litogeoquímica com altos teores de TiO_2, Ca e MgO (amostra 25-64), na qual foi iniciada a modelagem. A amostra que representa o magma mais evoluído é um gabro, com altas porcentagens de minerais félsicos, ocorrência de quartzo subédrico tardio e com intercrescimentos presentes de forma proeminente, na geoquímica indica o maior teor de SiO_2 do conjunto de amostra (amostra 23-56). Na soleira BTi a amostra mais primitiva é um basalto, com presença marcante de ilmenita e minerais máficos (amostra 11-23) e a mais evoluída é um gabro marcado por intercrescimentos e maior enriquecimento em SiO_2 (amostra 10-19).

A modelagem foi feita no *software easyMelts_V1.0.x*, no qual foram inseridos os teores de óxidos das amostras mais primitivas de cada soleira, entretanto, no caso da soleira BTi, que foi feita em duas etapas, foram utilizadas as amostras mais primitivas de cada subgrupo. Com os teores do líquido primitivo escolhido, o *software* executa o cálculo de balanço de massa, estima as fases fracionantes e o teores dos óxidos de cada fase fracionada conforme intervalo de temperatura e pressão colocados, bem como da quantidade de s*teps* escolhida. Com estas informações cada amostra analisada é correlacionada com os teores de cada *step*. Para a modelagem das duas soleiras foram utilizados como parâmetros: 1180°C de temperatura e 500 bar de pressão. O valor de temperatura foi definido com base no trabalho de Petersohn (2006) e com base no diagrama de Lindsley (1983) para piroxênios. Os valores de pressão definidos por Petersohn (2006) não proporcionaram resultados satisfatórios, com pressões que variam de 3.000 bar a 8.000 bar. Diminuindo-se a pressão, os melhores resultados são obtidos a 500 bar.

- **Soleira de alto TiO_2**

A modelagem da soleira ATi foi feita em 4 *steps* com diminuição de 20°C entre eles. Esta modelagem foi feita com 3 amostras. As composições utilizadas estão na tabela 1 do Apêndice 4, em conjunto com os resultados calculados.

Os resíduos foram calculados na correlação das amostras com seus respectivos *Steps* que foram definidos conforme a maior semelhança nos teores de óxidos. Na amostra 23-57 (basalto) o resíduo é de $\sum R^2 = 1{,}76$ e na razão calculado/observado a maioria dos óxidos possuem valores próximos a 1, com maior

variação no teor de MgO que pode indicar alto fracionamento de piroxênio rico em magnésio (pigeonita), fase observada na química mineral. Já para a amostra de gabro 23-56 o resultado não foi satisfatório e indica alto resíduo ($\sum R^2$=38,124), desta forma, o fracionamento a partir da amostra mais primitiva não explica a variação composicional nesta amostra. Estes resultados em conjunto com os *trends* observados nos diagramas Harker, que mostram padrões em hipérbole, sendo que essa amostra geralmente está fora da tendência principal, podem indicar processo de diferenciação magmática que envolve cristalização residual cumulática.

Com relação aos teores das fases minerais calculados em cada *step*, a correlação com a petrografia e química mineral de cada amostra estão na tabela 14.

Tabela 14: Comparação entre as fases fracionantes calculadas com dados da petrografia e da química mineral. Soleira de alto TiO_2

	Dados calculados			Dados observados	
	Fases fracionantes	**Fórmula**	**Teores**	**Petrografia**	**Química mineral**
Amostra 23-57	Clinopiroxênio (MgO)	Na0.01Ca0.24Fe"0.47Mg1.19 Fe'"0.04Ti0.01Al0.13Si1.91O6	27,82%	40%	36,72**Wo**-43**En**-20,30**Fs**
	Clinopiroxênio (CaO)	Na0.02Ca0.73Fe"0.26Mg0.85 Fe'"0.06Ti0.04Al0.19Si1.85O6	12,56%		
	Plagioclásio	K0.03Na0.43Ca0.54Al1.54 Si2.46O8	40,26%	40%	42,1**Ab**-56,2**An**-1,7**Or**
	Espinélio (magnetita)	Fe"1.18Mg0.42Fe'"0.61 Al0.18Cr0.00Ti0.61O4	19,36%	20%	Mg - 0,103; Fe2 - 2,13; Al - 0”“3; Cr - 0”“1; Ti - 1,87
Amostra 23-56	Clinopiroxênio (MgO)	Na0.01Ca0.24Fe"0.52Mg1.16 Fe'"0.03Ti0.01Al0.11Si1.92O6	3,86%	30%	8,8**Wo**-54,4**En**-36,81**Fs** (**pigeonita**)
	Clinopiroxênio (CaO)	Na0.02Ca0.74Fe"0.28Mg0.84 Fe'"0.06Ti0.03Al0.17Si1.86O6	30,25%		37,13**Wo**-42,38**En**-20,49**Fs**
	Plagioclásio	K0.04Na0.49Ca0.47Al1.47 Si2.53O8	44,44%	50%	54,60**Ab**-41,80**An**-3,60**Or**
	Espinélio (magnetita)	Fe"1.26Mg0.36Fe'"0.61 Al0.14Cr0.00Ti0.62O4	21,44%	15%	Mg - 0,05; Fe2 - 2,14; Al - 0”“3; Cr - 0; Ti - 1,89

Na tabela 14 observa-se, de forma geral, que as porcentagens de labradorita, augita e magnetita observadas na análise petrográfica estão próximas às calculadas. Na fórmula calculada para as fases minerais, o clinopiroxênio com maior teor de MgO e menor teor de CaO dos dois *steps* são correlacionáveis com a fase da pigeonita observada na química mineral.

Na química mineral (tabela 14), os teores de cada componente dos cristais de plagioclásios (Ab-An-Or) e piroxênios (Wo-En-Fs) possuem concentrações semelhantes aos cátions que os representam na fórmula mineral calculada. Os teores dos elementos observados nas análises de magnetita estão distantes dos teores calculados, sendo a magnetita observada e analisada definida por Ti-magnetita, com altos teores de titânio.

O diagrama de variação da composição magmática conforme o decréscimo de temperatura (figura 37-A), mostra tendência evolutiva de cada óxido semelhante às tendências das análises geoquímicas em diagramas Harker, com redução nos teores de CaO e MgO, por exemplo, em relação ao aumento da SiO_2. O único óxido calculado que não acompanha o tendência dos dados observados é o Fe_2O_3, esta diferença pode ser resultado da utilização do FeO e Fe_2O_3 do software, enquanto as análises só possuem dados de Fe_2O_3, o que possibilita cálculo com maior margem de erro.

O diagrama da relação das massas das fases minerais em função da temperatura (figura 37-B), indica a presença de clinopiroxênio, labradorita e magnetita como fases fracionantes, em proporções entre si semelhantes às observadas em análise petrográfica.

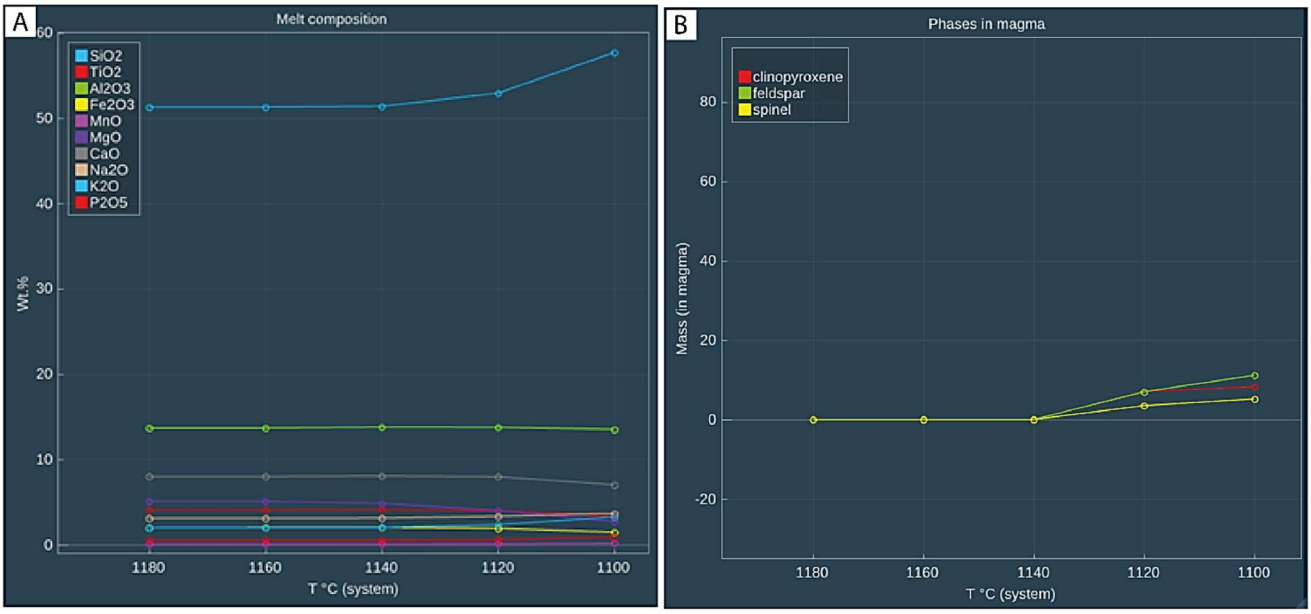


Figura 37: A - Diagrama de variação de óxidos calculados da soleira ATi; B - Diagrama de variação das fases fracionantes calculadas. Diagramas gerados no *software* easyMelts_V1.0.x.

- **Soleira de baixo TiO_2**

A modelagem da soleira BTi foi feita em duas etapas, a primeira é da amostra 11-23 (basalto) até a 9-18 (basalto), que contempla 3 amostras, em 4 *steps* com diminuição de temperatura a cada 10°C. A segunda etapa foi feita da amostra 9-18 (basalto) até a 10-19 (gabro), com 4 amostras, em 10 *steps* também em intervalos de 10°C entre eles, nesta etapa, todas as amostras evoluídas a partir do basalto da amostra 9-18 são de gabro. As composições utilizadas estão na tabela 2 do Apêndice 4, em conjunto com os resultados calculados.

Os resíduos foram calculados na correlação das amostras com seus respectivos s*teps* que foram definidos conforme a maior semelhança nos teores de óxidos. Na primeira etapa a amostra 11-21 (basalto) ficou com resíduo bom ($\sum R^2 = 1,50$), com maiores variações nos teores de Fe_2O_3. A amostra 9-18 (basalto) apresenta um resíduo melhor, com $\sum R^2$ de 0,67. Na segunda etapa as amostras de gabro 10-20 e 9-17 resultam em ótimo resíduo, com $\sum R^2$ de 0,39 e 0,73 respectivamente; a amostra de gabro 10-19 apresenta resíduo bom, com $\sum R^2$ de 1,73, também devido a variações maiores de Fe_2O_3. Em todos os s*teps* os valores da razão entre resultados calculados e observados ficaram próximos ou igual a 1.

As variações composicionais entre as amostras da soleira BTi são contínuas, porém pequenas, e, indicam que a cristalização fracionada, apesar de presente, ocorre de forma menos intensa, comparada à soleira ATi.

Com relação aos teores das fases minerais calculados em cada *step*, a correlação com a petrografia de cada amostra está na tabela 10. Esta soleira não possui análise da química mineral para ser comparada, dessa forma são comparados apenas com dados da análise petrográfica.

Nas tabelas 15 e 16 estão as comparações entres as proporções das fases minerais fracionantes calculadas e observadas na análise petrográfica. As porcentagens calculadas e observadas de labradorita e augita estão relativamente próximas, entretanto o cálculo não considerou a magnetita como fase fracionante e afetou a porcentagem das demais fases. O *step* correlacionado com a amostra de basalto 9-18, foi o único que indicou a presença de pigeonita, com o clinopiroxênio mais rico e MgO e empobrecido em CaO. Na amostra de gabro 10-20, a única fase cristalizada no cálculo no *step* que a representa é a labradorita, entretanto, por possuir os teores dos óxidos próximos se manteve a correlação. Esta anomalia pode ter sido

proporcionada por *gap* causado no intervalo entre as duas etapas, pois é o primeiro *step* da segunda etapa.

Tabela 15: Comparação entre as fases fracionantes calculadas com dados da petrografia e da química mineral. Soleira de baixo TiO_2, etapa 1.

	Fases fracionantes	Fórmula	Teores calculados	Petrografia
Amostra 11-21	Clinopiroxênio (MgO)	Na0.01Ca0.69Fe"0.25Mg0.93Fe'"0.05Ti0.01Al0.17Si1.88O6	56,36%	40%
	Plagioclásio	K0.01Na0.31Ca0.68Al1.68Si2.32O8	44%	35%
	Espinélio (magnetita)	-	-	20%
Amostra 9-18	Clinopiroxênio (MgO)	Na0.01Ca0.28Fe"0.44Mg1.18Fe'"0.04Ti0.01Al0.13Si1.91O6	25,41%	40%
	Clinopiroxênio (CaO)	Na0.01Ca0.69Fe"0.27Mg0.91Fe'"0.05Ti0.01Al0.17Si1.88O6	27,20%	
	Plagioclásio	K0.01Na0.33Ca0.65Al1.65Si2.35O8	47,38/%	45%
	Espinélio (magnetita)	-	-	15%

Tabela 16: Comparação entre as fases fracionantes calculadas com dados da petrografia e da química mineral. Soleira de baixo TiO_2, etapa 2.

	Fases fracionantes	Fórmula	Teores calculados	Petrografia
Amostra 10-20	Clinopiroxênio (MgO)	-	-	40%
	Plagioclásio	K0.01Na0.33Ca0.66Al1.66Si2.34O8	100%	45%
	Espinélio (magnetita)	-	-	10%
Amostra 9-17	Clinopiroxênio (MgO)	Na0.01Ca0.24Fe"0.49Mg1.18Fe'"0.04Ti0.01Al0.13Si1.91O6	39,22%	45%
	Plagioclásio	K0.01Na0.34Ca0.65Al1.65Si2.35O8	60,78%	40%
	Espinélio (magnetita)	-	-	15%
Amostra 10-19	Clinopiroxênio (MgO)	Na0.01Ca0.25Fe"0.50Mg1.15Fe'"0.04Ti0.01Al0.13Si1.91O6	44,64%	45%
	Plagioclásio	K0.01Na0.35Ca0.63Al1.63Si2.37O8	55,36%	35%
	Espinélio (magnetita)	-	-	20%

O diagrama de variação da composição magmática conforme o decréscimo de temperatura (figura 38 e 39 A), mostra tendência evolutiva de cada óxido semelhante às tendências das análises geoquímicas observadas em diagramas Harker com redução nos teores de CaO e MgO, por exemplo, em relação ao aumento da SiO_2. O único óxido calculado que não acompanha a tendência dos dados observados é o

Fe_2O_3, esta diferença pode ser resultado da utilização do FeO e Fe_2O_3 do *software*, conforme mencionado no subtópico anterior. As variações se mostram menores neste diagrama comparado com a soleira ATi, evidenciando menor grau de fracionamento.

O diagrama da relação das massas das fases minerais em função da temperatura (figura 38 e 39 B), indica a presença de clinopiroxênio e labradorita como fases fracionantes, em proporções entre si semelhantes às observadas em análise petrográfica. A magnetita presente na observação petrográfica não é contemplada no diagrama, dessa forma não faz parte da assembleia fracionante da soleira.

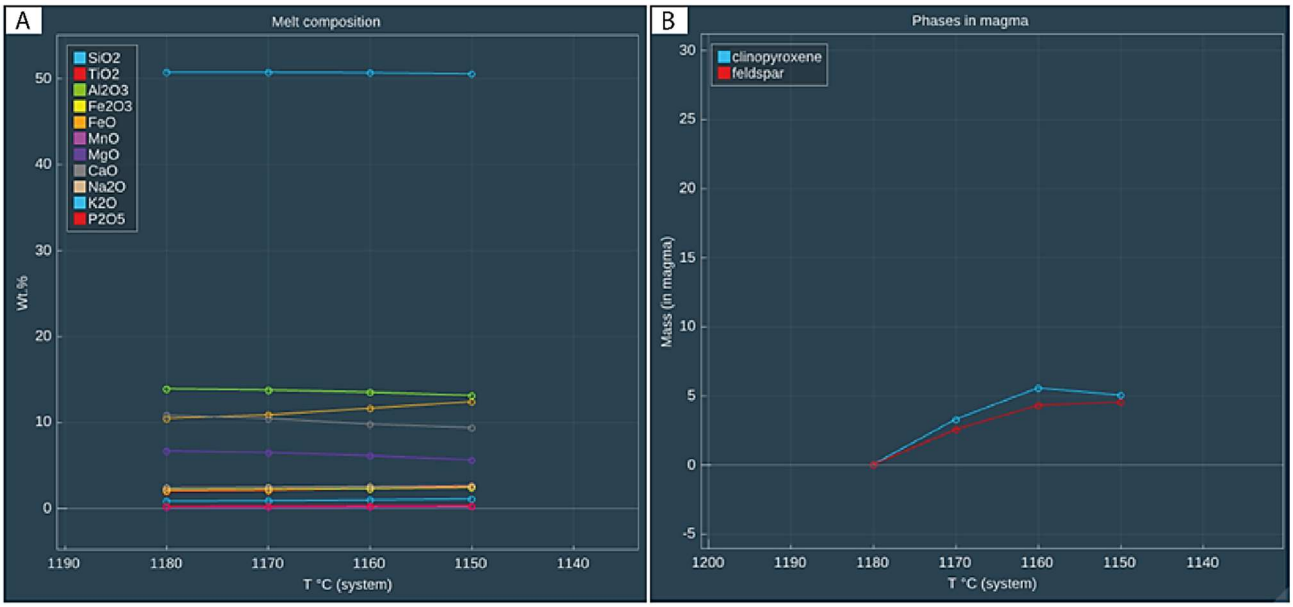


Figura 38: A - Diagrama de variação de óxidos calculados da soleira BTi, etapa 1; B - Diagrama de variação das fases fracionantes calculadas. Diagramas gerados no *software* easyMelts_V1.0.x

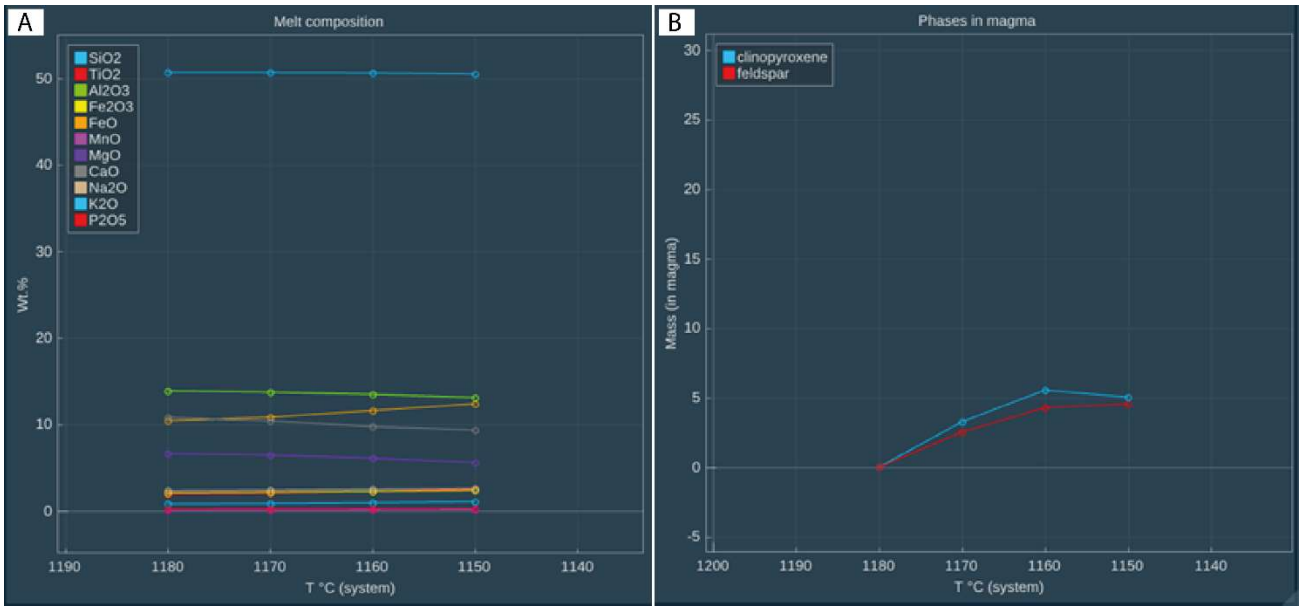


Figura 39: Diagrama de variação de óxidos calculados da soleira BTi, etapa 2; B - Diagrama de variação das fases fracionantes calculadas. Diagramas gerados no *software* easyMelts_V1.0.x

5. DISCUSSÃO

Nas duas regiões estudadas, as rochas são divididas em duas soleiras distintas, com base nos teores de TiO_2, principalmente. Esta separação, além de ficar evidente nos diagramas de variação, segue a divisão proposta inicialmente por Bellieni *et* al. (1986), que definiram rochas de alto titânio com teores >2% para este óxido e rochas de baixo titânio, com teores =<2%. Os autores mostram que estes dois grupos possuem fontes distintas, não sendo possível modelar os dois juntos, pois não é comum ocorrer diferenças tão grandes de TiO_2 em rochas de mesma fonte e, consequentemente na mesma soleira.

As amostras foram classificadas geoquímicamente conforme dois trabalhos diferentes, o de Peate *et. al.* (1992) e de Licht (2018). No trabalho de Peate *et. al.* (1992) todas as amostras foram classificadas em magma-tipos do grupo de alto Ti/Y, entretanto com padrões semelhantes à separação feita neste trabalho. Nas soleiras de Prudentópolis, as amostras da soleira ATi foram classificadas como magmas-tipo Urubici e Pitanga, enquanto as amostras da soleira BTi foram classificadas como magmas-tipo Paranapanema e Ribeira. Já nas soleiras de Rebouças, as amostras da soleira ATi foram classificadas como magmas-tipo Paranapanema e Pitanga, e, as amostras da soleira BTi foram classificadas como magma-tipo Ribeira.

Na classificação de Licht (2018) fica mais clara e mais consistente a divisão realizada neste trabalho e anteriormente proposta por Belliene *et al.* (1986), que subdividem as rochas em alto TiO_2 e baixo TiO_2. Todas as amostras das soleiras das duas regiões mostram o mesmo padrão na classificação, sendo as amostras de alto TiO_2 classificadas como tipo 4 (LSi-LZr-HTi-LP) e as amostras de baixo TiO_2 classificadas como tipo 1 (LSi-LZr-LTi-LP).

Tanto na região de Prudentópolis quanto na região de Rebouças, as amostras das soleiras de alto TiO_2 possuem maior enriquecimento em SiO_2 e álcalis em relação às soleiras de baixo TiO_2, conforme observa-se nos diagramas do tipo Harker e diagrama TAS de Le Maitre (1989), características já apontadas em trabalhos anteriores sobre estes dois grupos (Bellienni *et* al., 1986; Piccirillo e Melfi, 1988 e Peate, 1997).

Tanto as amostras das soleiras de Prudentópolis, quanto as amostras das soleiras de Rebouças são classificadas no campo do basalto toleítico. Análise da química mineral das soleiras das duas regiões apontam a presença de pigeonita, que

também é indicativa de rochas toleíticas (Wager e Brown (1968, *apud* Faria, 2008)), desta forma foi utilizado o diagrama Wo-En-Fe com as isotermas de Lindsley (1983), em que a temperatura estimada para a co-precipitação das duas fases é de 1.000°C nas soleiras de Rebouças e 1.100°C nas soleiras de Prudentópolis.

Os valores de temperatura obtidos no trabalho de Petersohn (2006) estão próximos ao intervalo adquirido nas isotermas de Lindsley (1983), entretanto os valores de pressão indicados no trabalho de Petersohn (2006), que estimou a termobarometria para as soleiras da região, estão muito altos (~5.000 bar) e a modelagem só é viável com pressão de 500 bar.

5.1. SOLEIRAS DA REGIÃO DE PRUDENTÓPOLIS

- **Processos de diferenciação magmática**

Nas soleiras de Prudentópolis, as amostras da soleira ATi estão localizadas na região sul da área, enquanto as amostras da soleira BTi estão dispostas mais ao norte (figura 1 e 2). As amostras destas soleiras possuem variações composicionais mineralógicas e geoquímicas, principalmente entre os basaltos (borda do corpo) e os gabros (centro do corpo). Nos basaltos ocorrem texturas de rápido resfriamento, plagioclásios de composição mais cálcica (labradorita) e piroxênios mais ricos em MgO e CaO (augita), além de porcentagens maiores da augita. Já nas amostras gabróicas a composição mineral é, no geral, mais rica em Na_2O, empobrecidas em CaO e MgO e ricas em Fe_2O_3 e estão presentes texturas de reação cristal-líquido, como zonamentos composicionais e intercrescimentos granofíricos, pertíticos e simplectíticos entre a augita e labradorita, que indicam avanço da evolução magmática. Estas variações evidenciam processo de diferenciação magmática em relação ao domínio borda-centro, que foi definida a partir da análise litogeoquímica e da modelagem como processo de fracionamento magmático.

Comportamentos compatíveis nos teores de CaO, MgO, Sr, Cr e Ni, que ocorrem tanto na soleira ATi quanto na soleira BTi, indicam que o fracionamento magmático foi controlado por piroxênio e plagioclásio principalmente. Entretanto na soleira ATi a modelagem indica fracionamento também da magnetita, que acompanha o *trend* negativo do TiO_2 em relação à SiO_2.

Na soleira ATi a cristalização fracionada foi testada e comprovada entre as duas amostras de basalto (25-64 e 23-57), que apresentam baixo resíduo na

comparação entre os teores observados e calculados. Já na amostra de gabro da soleira (23-56) o fracionamento a partir do basalto mais primitivo (25-64) não foi comprovado, com altas variações dos resultados observados em relação aos calculados. Estas variações acompanham *gaps* composicionais nos diagramas do tipo Harker, sendo que esta amostra geralmente está dispersa da tendência principal e forma padrões em hipérboles, o que pode indicar mudança de assembleia fracionante ou contaminação.

Já na soleira BTi a cristalização fracionada foi testada e comprovada em todas as amostras, que apresentam baixos valores de resíduos. Entretanto o grau de fracionamento é baixo quando comparado com a soleira ATi.

O processo de cristalização fracionada determinado para as amostras de basalto das soleiras ATi e BTi ocorre com mecanismos de filtragem por pressão e de zonamento *in situ*, conforme definição de Bowen (1928), em ambos os casos ocorrem reações entre cristal e líquido. O gabro da soleira ATi, que apresenta comportamento distinto, possui os maiores teores de SiO_2 e Fe_2O_3 do conjunto e na petrografia é intensa a presença de intercrescimentos, além de possuir cristais subédricos de quartzo, indicando fase residual mais evoluída.

Com estas características, o gabro da soleira ATi pode ser inferido como fase residual, que cristalizou em meio mais viscoso e ocorreu o processo de imiscibilidade líquida, onde o processo de filtragem por pressão não é mais efetivo e o fracionamento continua com a extração de líquido evoluído intersticial, podendo ocorrer hiatos composicionais durante esta transição, conforme observado por Eichelberger *et al.* (2006), o que pode explicar as variações químicas e mineralógicas desta amostra. McBirney, (1975) e Wager e Brown (1968, *apud* Faria, 2008) apontam altos teores de ferro, fósforo e titânio como características geoquímicas de líquido imiscível rico em ferro, o gabro da soleira ATi possui estas características. Outro processo de diferenciação possível para esta amostra é a injeção de novo magma ou presença de regiões cumuláticas, que são processos comuns em intrusões basálticas toleíticas.

5.2. SOLEIRAS DA REGIÃO DE REBOUÇAS

Na região de Rebouças as amostras da soleira ATi são descritas na região leste, enquanto as amostras da soleira BTi estão na região sudeste. Nestas soleiras não é possível fazer a modelagem devido ao número de amostras não ser representativo. Entretanto o processo de diferenciação magmática se mostra presente em variações composicionais entre os basaltos da borda, com maior enriquecimento de fases máficas e estruturas de rápido resfriamento, e, os gabros do centro das soleiras, que possuem estruturas indicativas de mudança na composição magmática durante o avanço da cristalização, como zonamentos cristalinos e intercrescimentos granofíricos e simplectíticos entre a augita e labradorita.

Algumas anomalias são observadas, como o elevado teor de CaO em amostra de gabro da soleira BTi, com feições de rocha mais evoluída, com intercrescimentos granofíricos bem formados (amostra 34-82), que pode ser atribuída a um possível processo de reinjeção magmática. Ocorre também teor anômalo de MnO em amostra de basalto da soleira ATi (14-32), que pode ser inferido como contaminação por contato, esse teor está em conjunto com baixo teor de MgO; em processos de alteração é comum a troca dos óxidos de magnésio pelos óxidos de manganês.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- Na análise petrográfica as amostras são descritas como basaltos (borda da soleira), com texturas indicativas de rápido resfriamento, como textura em *quench*, cauda de andorinha, cristais ocos e esferulitos. Nos gabros (centro da soleira), são descritas texturas indicativas de mudanças na composição magmática durante a cristalização, como zonamentos e intercrescimentos.
- Na química mineral das soleiras de cada região, os plagioclásios variam de andesina a labradorita nas amostras de gabro, e, apenas labradorita nas amostras de basalto, porém com variações nos teores restritas ao campo da labradorita no diagrama. Os cristais de piroxênio são em sua maioria classificados como augita, com exceção de uma análise de cada região que é classificada como pigeonita. Os opacos possuem no geral altos teores de titânio sendo definidos como ilmenita e Ti-magnetita.

- Em ambas as regiões são definidas soleiras distintas, conforme comportamentos geoquímicos e, principalmente os teores de TiO_2. São nomeadas soleiras de alto TiO_2 (>2%) e soleiras de baixo TiO_2 (<2%).
- A diferença entre as soleiras de alto e baixo TiO_2 é evidente no comportamento geoquímico em ambas as regiões, fato que indica fontes diferentes na formação de cada corpo e dá suporte para individualizá-los. As amostras das soleiras ATi possuem maior enriquecimento em SiO_2 e álcalis e são projetadas no diagrama TAS nos campos de traquibasaltos, traquiandesito basáltico e andesito basáltico, ou próximos a estes campos, no caso das soleiras da região de Rebouças, enquanto as amostras das soleiras BTi estão projetadas no campo do basalto.
- Nas soleiras de Rebouças não há dados suficientes para realizar uma análise mais robusta da variação geoquímica e não foi possível realizar a modelagem. Entretanto, as variações minerais indicam processos de diferenciação magmática. A amostra de gabro com maior teor de SiO_2 possui também o maior teor de CaO, o que pode ser resultado do processo de re-injeção magmática. Uma amostra de basalto presente na região com altos teores de MnO pode indicar assimilação por contato com a rocha encaixante.
- Na região de Prudentópolis, a modelagem geoquímica mostra que o fracionamento de rochas mais primitivas da soleira de alto TiO_2, é marcado pela subtração de clinopiroxênio, plagioclásio e magnetita, enquanto na soleira de baixo TiO_2 ocorre apenas a subtração de clinopiroxênio e plagioclásio.
- Na modelagem geoquímica da soleira ATi da região de Prudentópolis, uma amostra de gabro não gera resultados satisfatórios para explicar o fracionamento a partir da amostra mais primitiva analisada desta soleira. A soleira BTi apresenta bons resultados para o fracionamento de todas as amostras, porém indica menores variações e consequentemente fracionamento menos intenso comparado à soleira ATi.
- Nas soleiras de Prudentópolis, os mecanismos de fracionamento propostos, são compatíveis com os resultados de filtragem por pressão e de zonamento *in situ*. Entretanto, a variação composicional no gabro da soleira ATi (23-56) sugere a presença de outro processo de diferenciação, que foi interpretado como imiscibilidade líquida.

- As soleiras da região de Rebouças possuem composição indicativa de magma mais primitivo em relação as soleiras de Prudentópolis, além de possuir texturas de rápido resfriamento mais marcantes.
- Para o melhor entendimento dos processos magmáticos que formam as soleiras de Prudentópolis e Rebouças, e consequentemente da PMP, recomenda-se realizar mais análises geoquímicas, isotópicas e de química mineral, levando em consideração as divisões de soleiras de alto e baixo TiO_2.
- É necessário também mais estudos de geotermobarometria nas soleiras, devido às diferenças obtidas nos cálculos de pressão usados neste projeto, e a pressão obtida em trabalhos anteriores sobre as soleiras da região.

7. REFERÊNCIAS

Bellieni G.; Comin-Chiaramonti P.; Marques L.S.; Melfi A.J.; Piccirillo E.M.; Nardy A.J.R.; Roisenberg A. 1984. High- and low-TiO2 flood basalts from the Paraná plateau (Brazil): petrology and geochemical aspects bearing on their mantle origin. *Neues Jahrbuch Mineralogie*, Abhandlungen, 150(3):273-306.

Besser, M. L., Brumatti, M. Spisila, A. L. 2021. Mapa geológico e de recursos minerais do estado do Paraná, CPRM. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/22492. Acessado em 10 de janeiro 2023.

Bowen, N. L. 1928 The Evolution of the Igneous Rocks. *Oxford University Press*. 1928. 23s. Geological Magazine, 66(11), 523-525. DOI:10.1017/S0016756800105424.

De la Roche, H. D., Leterrier, J. T., Grandclaude, P. e Marchal, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2-diagram and major-element analyses—its relationships with current nomenclature. *Chemical geology*, *29*(1-4), 183-210. DOI 10.1016/0009-2541(80)90020-0.

Eichelberger, J. C., Izbekov, P. E., e Browne, B. L. 2006. Bulk chemical trends at arc volcanoes are not liquid lines of descent. *Lithos*, *87*(1-2), 135-154. DOI: 10.1016/j.lithos.2005.05.006.

Ernesto, M., Raposo, M. I. B., Marques, L. S., Renne, P. R., Diogo, L. A. de De Min, A. 1999. Paleomagnetism, geochemistry and 40Ar/39Ar dating of the North-eastern Paraná Magmatic Province: tectonic implications. *Journal of Geodynamics*, *28*(4-5), 321-340. DOI 10.1016/S0264-3707(99)00013-7.

Faria, C. A. 2008. *Evolução magmática do Sill de Limeira: petrografia e geoquímica.* Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia. Universidade de São Paulo. 105 p.

Fodor, R. V., Corwin, C. e Roisenberg, A. 1985. Petrology of Serra Geral (Paraná) continental flood basalts, southern Brazil: crustal contamination, source material, and South Atlantic magmatism. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, *91*(1), 54-65. DOI 10.1007/BF00429427.

Franco-Magalhães, A.O.B.; Hackspacher, P.C.; Glasmacher, U.A.; Saad, A.R. 2010. Rift top pos-rift Evolution of a “passive” continental margin: the Ponta Grossa Arch, SE Brazil. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)*. 99:1599–1613. DOI 10.1007/s00531-010-0556-8.

Frank, H. T., Gomes, M. E. B., e Formoso, M. L. L. 2009. Review of the areal extent and the volume of the Serra Geral Formation, Paraná Basin, South America. *Pesquisas em Geociências*, *36*(1), 49-57.

Ghiorso, M. S., Hirschmann, M. M., Reiners, P. W., e Kress III, V. C. 2002. The pMELTS: A revision of MELTS for improved calculation of phase relations and major element partitioning related to partial melting of the mantle to 3 GPa. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 3(5), 1-35. DOI: 10.1029/2001GC000217.

Gomes, A. S. 2016. *Quimioestratigrafia de alta resolução e evolução do vulcanismo do grupo Serra Geral na Região Central do Estado do Paraná, Brasil*. Tese de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, 154 p.

Gomes, A.S., Vasconcelos, P.M., 2021. Geochronology of the Paraná-Etendeka large igneous province. *Earth Sci*. Rev. 220, 103716. DOI: 10.1016/j.earscirev.2021.103716.

Guimarães, G. B., Melo, M. S. D., Giannini, P. C. F., e Melek, P. R. 2007. Geologia dos campos gerais. *Editora UEPG*. DOI: 978-85-7798-004-8.

Irvine, T. N., e Baragar, W. R. A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian journal of earth sciences*, *8*(5), 523-548. DOI: 10.1139/e71-055.

Le Maitre, R.W, Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre, M., Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Woolley, A.R. e Zanettin, B., 1989. A Classification of Igneous Rocks and a Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. *Blackwell Scientific Publications, Oxford.* p.193.

Lindsley, D. H. 1983. Pyroxene thermometry. *American Mineralogist*, *68*(5-6), 477-493.

Licht, O. A. B. 2018. A revised chemo-chrono-stratigraphic 4-D model for the extrusive rocks of the Paraná Igneous Province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, *355*, 32-54. DOI 10.1016/j.jvolgeores.2016.12.003.

Licht, O.A.B., Arioli, E.E., 2018. Mapa geológico do Grupo Serra Geral no Estado do Paraná. ITCG 316. Disponível em: http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Mapeamento-Geologico. Acessado em 10 de março 2023.

Marques, S.L., Ernesto, M. 2004. O magmatismo toleítico da Bacia do Paraná. In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito-Neves, B.B. (Eds.), *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Editora Beca, São Paulo, p. 245-263.

McBirney, A. R. 1975. Differentiation of the Skaergaard intrusion. *Nature*, *253*(5494), 691-694. DOI: 10.1038/253691a0.

Milani E.J. e Thomaz Filho A. 2000. Sedimentary Basins of South América. In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (eds.) *Tectonic Evolution of South America*. In-Fólio Produção Editorial, p. 389-449.

Milani, E.J. 2004 Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná. In: Neto, V.M.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.; Brito-Neves, B.B**.** (Eds.), *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Editora Beca, São Paulo, p. 265-279.

Mincato, R.L., 2000. *Metalogenia dos Elementos do Grupo da Platina com Base na Estratigrafia e Geoquímica da Província Ígnea Continental do Paraná*. Tese de PhD. Universidade Estadual de Campinas, 172pp.

Morimoto, N., Fabries, J., Ferguson, A. K., Ginzburg, I. V., Ross, M., Seifert, F. A. e Gottardi, G. 1988. Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical magazine*, *52*(367), 535-550. DOI: 10.1180/minmag.1988.052.367.15.

Müller, R. D., Royer, J. Y. e Lawver, L. A. 1993. Revised plate motions relative to the hotspots from combined Atlantic and Indian Ocean hotspot tracks. *Geology*, *21*(3), 275-278. DOI 10.1130/0091-7613.

Peate D.W. 1997. The Paraná–Etendeka province. *Geophysical Monograph Series*, p. 217-245. DOI 10.1029/GM100p0217.

Peate, D. W., Hawkesworth, C. J. e Mantovani, M. S. 1992. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution. *Bulletin of Volcanology*, *55*(1), 119-139. DOI 10.1007/BF00301125.

Petersohn, E. e Vasconscellos, E.M.G. 2009. Geologia e geoquímica da soleira de Reserva, estado do Paraná. *Brazilian Journal of Geology*, *39*(4), 740-750. DOI 10.25249/0375-7536.2009394740750.

Petersohn, E. e Vasconcellos, E. M. G., e Lopes, K. 2007. Petrologia de sills encaixados nas Formações Irati e Ponta Grossa (Bacia do Paraná) no Estado do Paraná. *Geochimica Brasiliensis*, *21*(1). DOI 10.21715/gb.v21i1.257.

Petersohn, E. 2006. *Evoluçao térmica de sills encaixados nas formaçoes Irati e Ponta Grossa (Bacia do Paraná) no Estado do Paraná: contribuiçao para o entendimento da evoluçao dos sistemas petrolíferos Irati-Rio Bonito/Pirambóia e Ponta Grossa-Itararé*. Tese de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, 124p.

Petrelli, M., Poli, G., Perugini, D., e Peccerillo, A. 2005. PetroGraph: A new software to visualize, model, and present geochemical data in igneous petrology. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, *6*(7). DOI: 10.1029/2005GC000932.

Piccirillo, E. M., Melfi, A. J., Comin-Chiaramonti, P., Bellieni, G., Ernesto, M., Marques, L. S. e Stolfa, D. (1988). Continental flood volcanism from the Paraná Basin (Brazil). *Continental flood basalts*, 195-238. DOI: 10.1007/978-94-015-7805-9_6.

Renne, P. R., Deckart, K., Ernesto, M., Fe, G. e Piccirillo, E. M. 1996. Age of the Ponta Grossa dike swarm (Brazil), and implications to Paraná flood volcanism. *Earth and Planetary Science Letters*, *144*(1-2), 199-211. DOI 10.1016/0012-821X(96)00155-0.

Rollinson, H. R., Rollinson, H., & Pease, V. (2021). Using geochemical data: To understand geological processes. Cambridge University Press, New York, 315 pp.

Thiede, D. S. e Vasconcellos, P. M. 2010. Paraná flood basalts: rapid extrusion hypothesis confirmed by new 40Ar/39Ar results. *Geology*, *38*(8), 747-750. DOI: 10.1130/G30919.1.

Titon, B. G. 2019. *Controles geoquímicos e mineralógicos na formação de minerais secundários na província ígnea do Paraná, noroeste do estado do Paraná*. Tese de Mestrado.

Programa de Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, 110 p.

Waichel, B.L., Lima, E.F., Lubachesky, R., Sommer, C.A., 2006. Pahoehoe flows from the Central Paraná continental flood basalts. Bull. Volcanol. 68, 599–610. DOI: 10.1007/s00445-005-0034-5.

Wood, D. A. 1979. A variably veined suboceanic upper mantle—genetic significance for mid-ocean ridge basalts from geochemical evidence. *Geology*, *7*(10), 499-503. DOI: 10.1130/0091-7613.

APÊNDICE 1

Fichas de descrições petrográficas das rochas das soleiras de Rebouças e Prudentópolis, PR

Ficha de Descrição Petrográfica	
Região:	Prudentópolis
Amostra:	9-17
Coordenadas UTM:	7.233.902 / 504.195
Disposição:	Centro
Rocha:	Gabro

Descrição

Rocha fina a média, mesocrática, com índice de cor 55%, incipiente a moderadamente alterada, composta por:

Mineralogia

Mineral (%)	Descrição
Labradorita (45%)	Ocorre como cristais subédricos tabulares à prismáticos, em granulometrias distintas, que variam de 0,4 à 1,3 mm e caracterizam textura heterogranular, possuem geminação polissintética mal formada e por vezes ocorre geminação simples também, alguns cristais possuem zonamentos composicionais e intercrescimento granofírico, seus contatos com a augita e opacos estão cerrados e engolfados. Possuem inclusões de apatita e estão moderadamente saussuritizados, principalmente nas bordas.
Augita (40%)	Ocorre como cristais anédricos a subédricos, de granulometria fina a média, variando de 1 mm à 0,25 mm, prismáticos e arredondados na seção basal, estão em contatos engolfados com os critais de labradorita e opacos, muitas vezes estão inclusos nos cristais de labradorita. Os cristais estão intensamente fraturados, com fraturas marcadas pela alteração para esmectita e alguns apresentam intensa cloritização nas bordas.
Opacos (15%)	Ocorre como cristais predominantemente anédricos e localmente retangulares, intersticiais aos outros cristais e por vezes adquire aspecto esqueletal, com contatos engolfados.Estão associados à porções fortemente oxidadas.
Esmectita (traço)	Ocorre como alteração da augita, principalmente nas fraturas dos cristais.
Clorita (traço)	Ocorre como alteração da augita, com aspecto fibroso.

Estrutura

Maciça

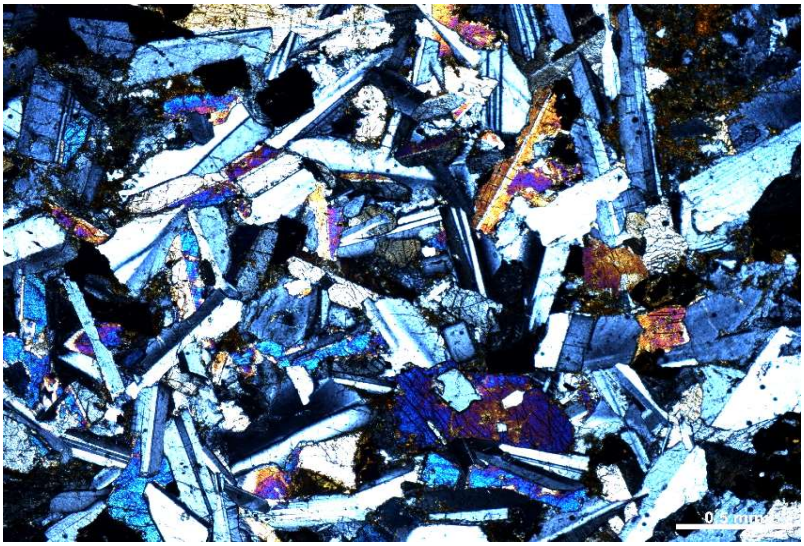
Textura

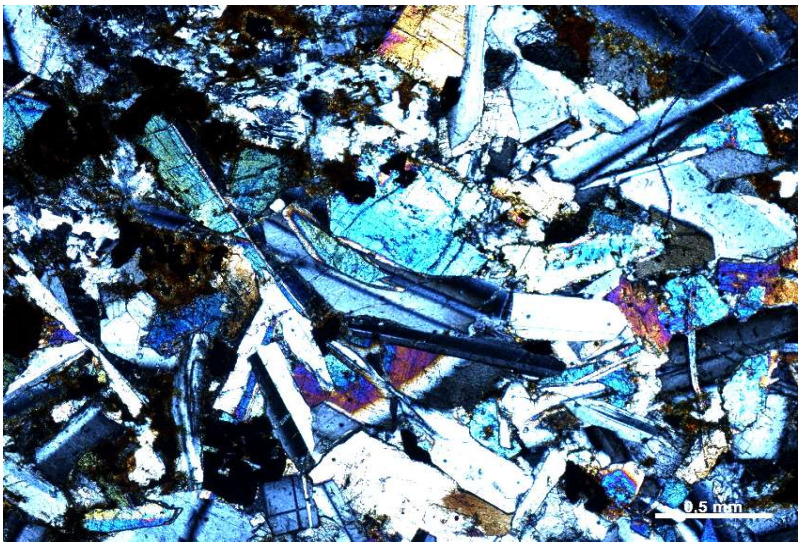
Heterogranular, holocristalina, intergranular, granofírica e zonada

Fases de Cristalização

Na fase de cristalização magmática ocorre a fomação dos cristais de augita, labradorita e opacos intersticiais . Com a evolução magmática e enriquecimento em SiO_2 e álcalis, ocorrem intercrescimentos granofíricos de forma incipiente nas bordas de alguns cristais de labradorita, bem como zonamentos composicionais. A fase secundária hidrotermal é marcada pela cloritização da augita e saussuritização da labradorita.

Fotomicrografias





Ficha de Descrição Petrográfica	
Região:	Prudentópolis
Amostra:	9-18
Coordenadas UTM:	7.233.902 / 504.195
Disposição:	Borda
Rocha:	Basalto

Descrição

Rocha de granulação fina, mesocrática, com índice de cor de 55%, moderadamente alterada, composta por:

Mineralogia

Mineral (%)	Descrição
Labradorita (45%)	Ocorre como cristais subédricos tabulares e ripiformes, com geminação polissintética e simples mal formadas, a grabulometria varia de 0,25 a 0,5 mm. Estão em contatos irregulares e por vezes engolfados com os cristais de augita, estão moderadamente saussuritizados, adquirindo aspecto fosco em toda a lâmina, apresenta inclusões de augita e opacos.
Augita (40%)	Ocorre como cristais subédricos prismáticos e arredondados em sua seção basal, com granulometria variando de 0,05 a 0,2 mm, possuem contatos irregulares e engolfados com a labradorita e com os opacos, os cristais de augita estão dispostos nos insterstícios dos cristais de labradorita e por vezes inclusos. Estão cloritizados de forma incipiente, e possuem fraturas com feições de oxidação.
Opacos (15%)	Ocorrem em duas fases distintas, intersticiais aos cristais de augita e labradorita e por vezes inclusos nos mesmos. A primeira fase ocorre, de forma incipiente, como cristais subédricos com hábito acicular, de comprimentos médios de 0,1 mm, interpretada como ilmenita. A segunda é formada por cristais anédricos intersticiais e localmente está possui hábitos subédricos retangulares, com granulometrias que variam de 2,5 mm a 0,03 mm, interpretada como magnetita. Estão em contatos irregulares a engolfados com os cristais de labradorita e augita, localmente forma agregados arredondados engolfados nas bordas dos cristais de augita.
Porção vítrea (traço)	Ocorre de forma intersticial da lâmina, em porções criptocristalinas, intensamente oxidada.
Clorita (traço)	Ocorre como alteração da augita.

Estrutura

Maciça

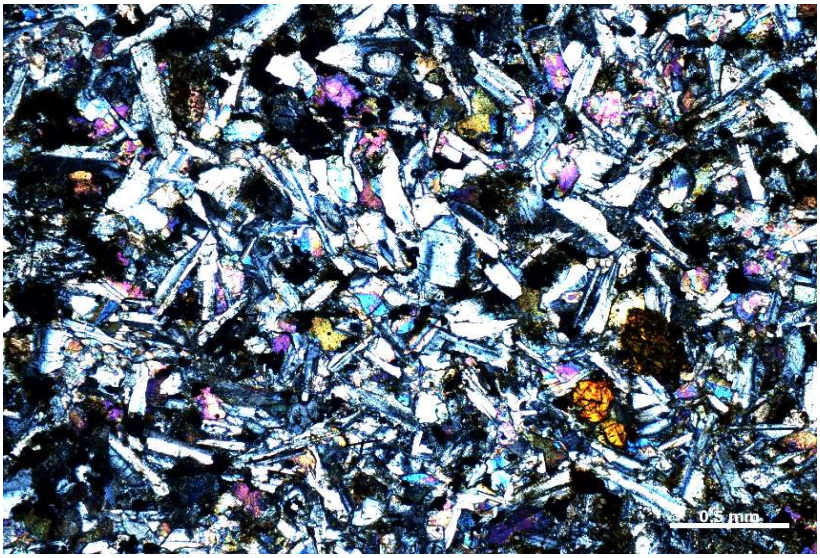
Textura

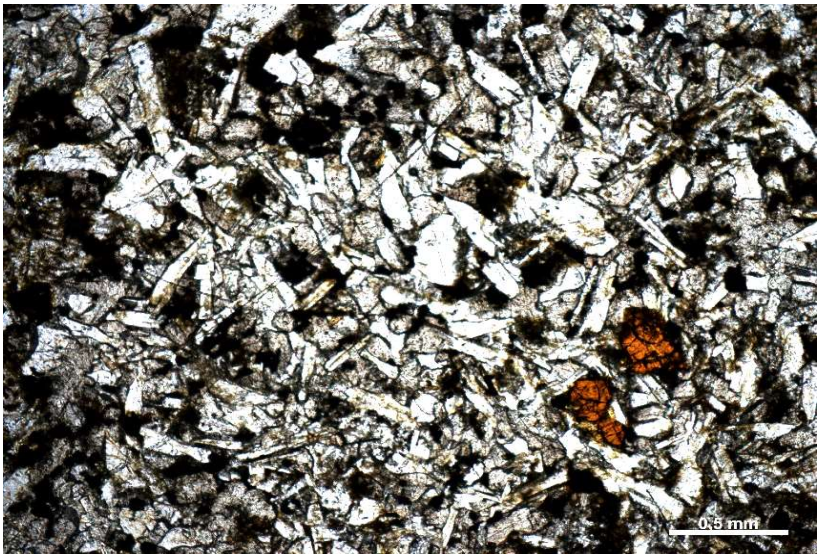
Equigranular, hipocristalina, com porções vítreas criptocristalina e intergranular

Fases de Cristalização

A primeira fase de cristalização inicia com a formação dos cristais de augita em conjunto com os cristais de opacos (ilmenita e magnetita), em seguida ocorre a cristalização da labradorita, que possui maior taxa de nucleação, no final ocorre a formação de vidro vulcânico intersticial. A fase secundária hidrotermal ocorre de forma moderada com a saussuritização dos cristais de labradorita e cloritização da augita.

Fotomicrografias





Ficha de Descrição Petrográfica	
Região:	Prudentópolis
Amostra:	10-19
Coordenadas UTM:	7.212.298 / 505.846
Disposição:	Centro
Rocha:	Gabro

Descrição

Rocha de granulação fina a média, mesocrática, com índice de cor de 55%, incipiente a moderadamente alterada, composta por:

Mineralogia

Mineral (%)	Descrição
Labradorita (45%)	Ocorre como cristais subédricos tabulares e ripiformes, finos a médos, a granulometria varia de 0,5 a 1,3 mm, com geminação polissintética e simples mal formadas, contato irregulares que variam de retilíneos a engolfados e suturados com os cristais de augita, apresentam intercrescimento granofírico nas bordas dos cristais. Possuem inclusões de augita e opacos e em menor quantidade de apatita, alguns cristais possuem zonamentos composicionais, e, de forma incipiente ocorre intercrescimento pertítico, indicando presença feldspato alcalino. Estão incipientemente saussuritizados nas bordas, porém ocorre saussuritização nos centro dos cristais também.
Augita (35%)	Ocorre como cristais intersticiais à labradorita, anédricos a subédricos, com hábitos tabulares, a granulometria varia de 0,5 a 1,5 mm, está em contatos suturados e engolfados com a labradorita. Ocorrem inclusões de labradorita e opacos em alguns cristais. Estão moderadamente alterados, com alterações marcadas nas fraturas e bordas para clorita, esmectita e localmente para biotita nas bordas.
Opacos (20%)	Ocorre como cristais anédricos intersticiais na matriz e inclusos nos cristais de augita e labradorita, a granulometria varia de 0,25 a 0,5 mm, por vezes assumem aspecto esqueletal. Estão moderada a intensamente oxidados.
Clorita (traço)	Ocorre como alteração da augita em agregados fibrosos.
Esmectita (traço)	Ocorre como alteração da augita, principalmente nas bordas dos cristais
Biotita (traço)	Ocorre como alterações nas bordas dos cristais de augita, formando cristais subédricos tabulares.
Apatita (traço)	Ocorre como cristais muito finos, com granulometria média de 0,05 mm, euédricos aciculares, inclusos nos cristais de labradorita.
Feldspato alcalino (traço)	Ocorre de forma incipiente na lâmina, associados à labradorita, sendo possível identificar através de porções com intercrescimento pertítico.

Estrutura

Maciça

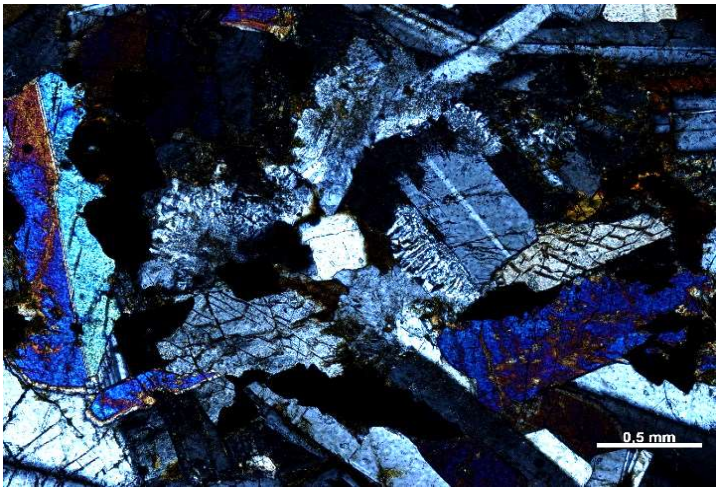
Textura

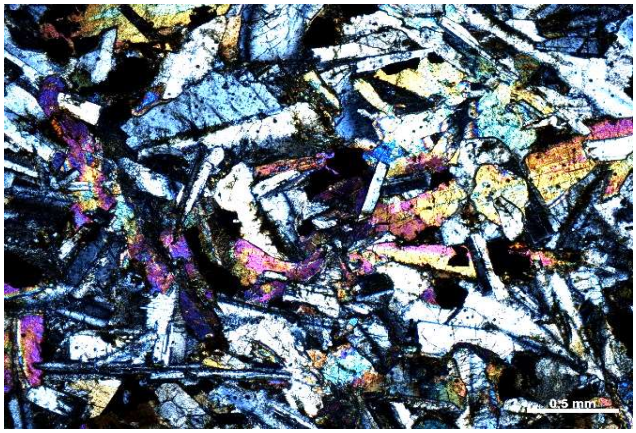
Equigranular, holocristalina, intergranular, granofírica e incipientemente pertítica.

Fases de Cristalização

Na primeira fase de cristalização magmática, ocorre a formação incipiente de apatita, seguida dos cristais de augita, opacos, e labradorita. A evolução magmática está evidenciada nas fases finais de cristalização magmática, com a presença de zonamentos composicionais, intercrescimento granofírico e pertítico, que indicam a presença incipiente de feldspato alcalino e quartzo. A fase secundária hidrotermal é representada pela presença de saussuritização da labradorita e cloritização da augita.

Fotomicrografias





Ficha de Descrição Petrográfica	
Região:	Prudentópolis
Amostra:	10-20
Coordenadas UTM:	7.212.298 / 505.846
Disposição:	Centro
Rocha:	Gabro

Descrição

Rocha de granulação fina a média, mesocrática, com índice de cor de 55%, incipientemente alterada, composta por:

Mineralogia

Mineral (%)	Descrição
Labradorita (45%)	Ocorre como cristais fino a médios, com a granulometria variando de 0,2 a 1 mm e caracteriza textura heterogranular, possuem hábitos subédricos tabulares ripiformes em cristais mais finos. Possuem geminação polissintética mal formada, estão em contatos irregulares e engolfados com os cristais de augita, localmente ocorre inclusões de augita e o contrário também, alguns cristais possuem intercrescimento granofírico nas bordas. Localmente, de forma intersticial ocorre como agregado fibrorradiado (esfereulito), indicando fase final de rápida cristalização. Estão incipientemente saussuritizados.
Augita (40%)	Ocorre como cristais subédricos prismáticos e arredondados na sessão basal, em granulometrias finas a médias, que variam de 0,3 a 1 mm, intersticial à labradorita, com contatos engolfados com a mesma, e por vezes inclusos nesses cristais, localmente possuem inclusões de labradorita. Está alterada de forma incipiente para clorita e esmectita, marcando o preenchimento de fraturas nos cristais de augita.
Opacos (10%)	Ocorre como cristais anédricos a subédricos, com hábitos retangulares, com granulometria média de 0,3 mm, por vezes adquire aspecto esqueletal.
Clorita (5%)	Ocorre como alteração da augita, em agregados fibrosos.

Estrutura

Maciça

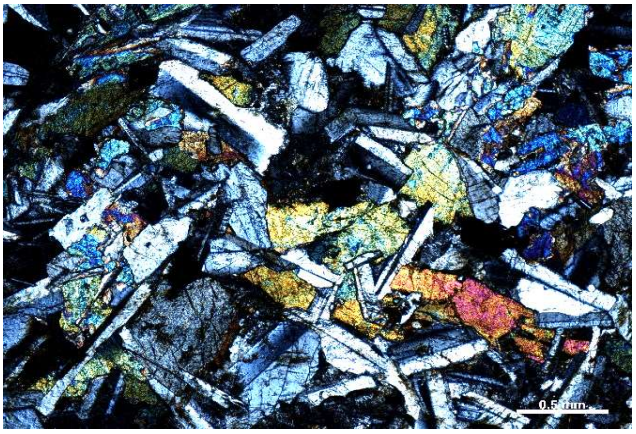
Textura

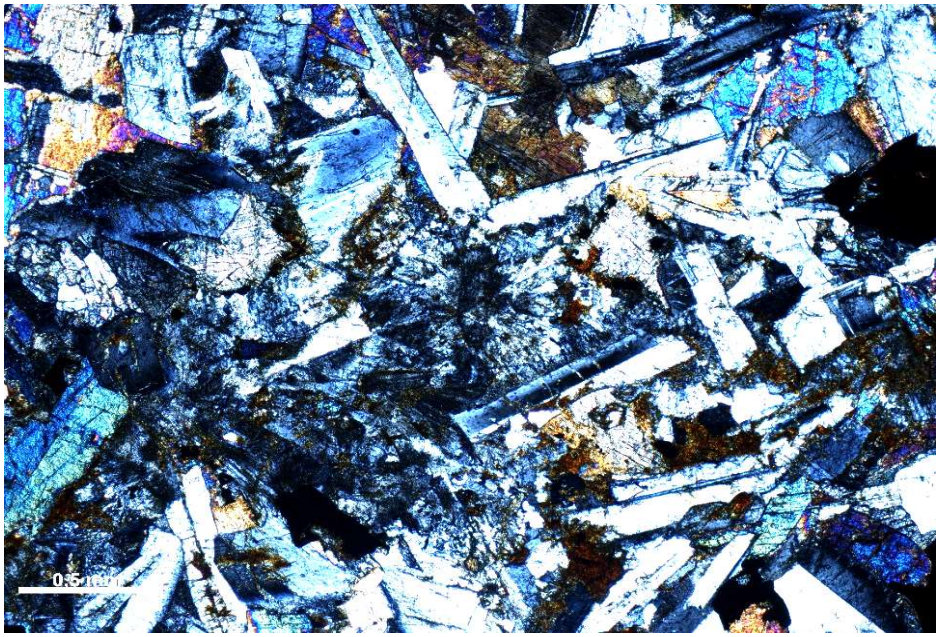
Heretogranular, intergranular, cristalina, granofírica e incipientemente esferulítica.

Fases de Cristalização

A primeira fase de cristalização ocorre com a formação de cristais de augita, seguido dos cristais de opacos e cristais de labradorita, a fase final de cristalização magmática é marcada pela ocorrência de intercrescimentos granofíricos na labradorita, indicando maior evolução magmática e, posteriormente, de forma incipiente na amostra, ocorre fase de rápido resfriamento com a presença de esferulito. A fase secundária hidrotermal é marcada pela ocorrência de saussuritização da labradorita e alteração da augita para clorita e esmectita.

Fotomicrografias





Ficha de Descrição Petrográfica	
Região:	Prudentópolis
Amostra:	11-21
Coordenadas UTM:	7.214.410 / 519.278
Disposição:	Borda
Rocha:	Basalto

Descrição

Rocha de granulação fina, mesocrática, com índice de cor de 60%, moderadamente alterada, composta por:

Mineralogia

Mineral (%)	Descrição
Labradorita (35%)	Ocorre em duas fases distintas, a primeira está em quantidades incipiente na lâmina, como fenocristais subédricos tabulares, com granulometria de 0,8 mm; a segunda fase está na matriz como cristais ripiformes, com granulometrias médias de 0,2 mm. Ambas as fases estão em contatos suturados e engolfados com os cristais de augita e opacos, possuem geminação polissintética e simples mal formadas. Estão moderadamente saussuritizadas.
Augita (40%)	Ocorre em duas fases distintas, a primeira de forma incipiente como fenocristais, com granulometrias médias de 0,8 mm, com hábito subédrico tabular e localmente formam glomerados. A segunda fase ocorre na matriz com hábitos subédricos prismáticos e arredondados em sua seção basal, com granulometrias que variam de 0,1 a 0,3 mm, por vezes forma agregados arredondados intersticiais aos cristais de labradorita, possuem contatos serrados e engolfados com os cristais de labradorita e opacos. Estão moderadamente alterados para clorita e esmectita, marcando principalmente as fraturas e bordas dos cristais; possuem inclusões de labradorita.
Opacos (20%)	Ocorrem disseminados na matriz, com granulometrias médias de 0,3 mm, como cristais anédricos intersticiais e por vezes subédricos retangulares, interpretado como magnetita.
Clorita (5%)	Ocorre como alteração nas bordas dos cristais de augita, como agregados fibrosos.
Porção vítrea (5%)	Ocorre como porções criptocristalinas intersticiais na matriz.
Esmectita (traço)	Ocorre como alteração da augita, pricipalmente em fraturas.

Estrutura

Maciça

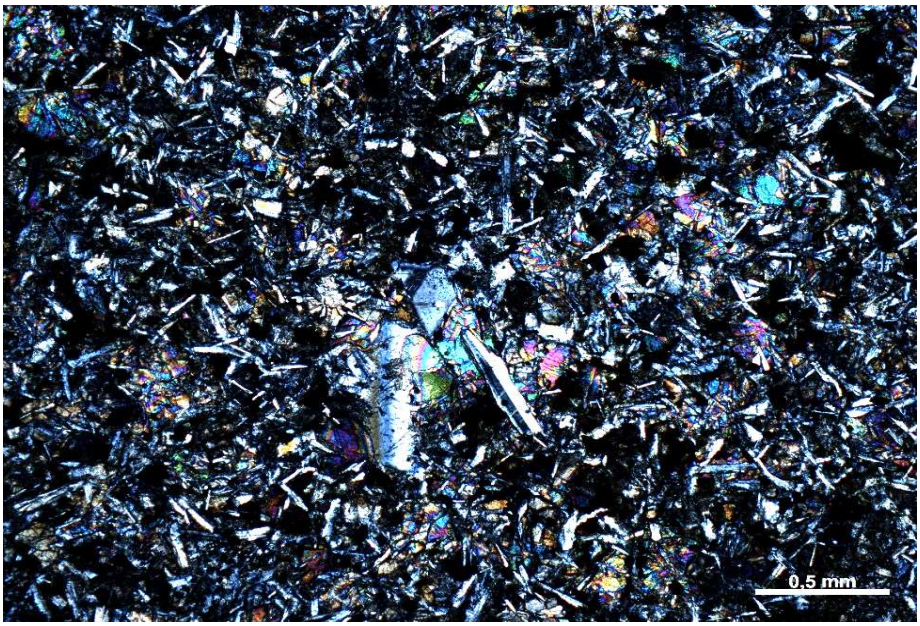
Textura

Subofítica a ofítica, subafírica com porções glomeroporfirítica, hipocristalina com porções criptocristalinas.

Fases de Cristalização

A cristalização primária iniciou com as primeiras fases de augita e labradorita, que formam fenocristais subédricos, com alta taxa de crescimento, ambos formam textura glomeroporfirítica; em seguida ocorre a cristalização de opacos (magnetita) subédricos e intersticiais, e a cristalização das segundas fases de labradorita e augita, formando cristais finos, com alta taxa de nucleação e baixa taxa de crescimento, posteriormente ocorre a formação de vidro vulcânico intersticial, indicando rápido resfriamento do magma. A fase hidrotermal é evidenciada pela presença de cloritização da augita e saussuritização da labradorita. Na fase intempérica ocorre argilização e oxidação dos cristais.

Fotomicrografias



Ficha de Descrição Petrográfica	
Região:	Prudentópolis
Amostra:	11-23
Coordenadas UTM:	7.214.410 / 519.278
Disposição:	Borda
Rocha:	Basalto

Descrição

Rocha de granulação fina, mesocrática, com índice de cor de 60%, incipientemente alterada, composta por:

Mineralogia

Mineral (%)	Descrição
Labradorita (30%)	Ocorre em duas fases distintas, sendo a primeira formada por fenocristais subédricos tabulares e prismáticos, com granulometrias variando de 0,5 mm a 1,5 mm, estão com a geminação polissintética mal formada, em contatos suturados e engolfados com a augita, localmente formam intercrescimento simplectítico com os cristais de augita, por vezes estão inclusos nestes cristais. A segunda fase ocorre em porções vítreas da lâmina como cristais criptocristalino, onde são possíveis de identificar como ripas brancas (micrólitos). Estão saussuritizados nas bordas de forma incipiente, formando aspecto fosco
Augita (35%)	Ocorre em duas fases distintas, a primeira como fenocristais subédricos a anédricos, com granulometrias médias de 1,5 mm, de hábitos prismáticos e arredondados em sua seção basal. A segunda fase está na matriz como cristais menores e arredondados, com granulometrias que variam de 0,2 a 0,5 mm, localmente forma intercrescimento simpletítico com os cristais de labradorita. Ambas as fases estão intensamente fraturadas, ocorre geminação simples em alguns cristais, possuem contatos cerrados e engolfados com a labradorita e por vezes ocorrem inclusões de labradorita. Estão alterados de forma incipiente para clorita nas bordas dos cristais, possuem fraturas preenchidas por carbonatos.
Opacos (20%)	Ocorre em duas fases distintas, a primeira como cristais grossos, subédricos de hábito tabular e localmente formando feições esqueletais, possui inclusões de labradorita e augita, com cristais anédricos intersticiais também, interpretado como magnetita. A 2ª fase ocorre como cristais mais finos euédricos de habito acicular, disposto principalmente nas porções vítreas criptocristalinas, interpretado como ilmenita.
Porção vítrea (15%)	Ocorre como porções criptocristalinas intersticiais, onde é possível observar ripas de labradorita (micrólitos) e algumas porções estão oxidadas.
Clorita (5%)	Ocorre como alteração da augita em suas bordas.
Carbonato (traço)	Ocorre como percolação em preenchimento de fraturas.

Estrutura

Maciça

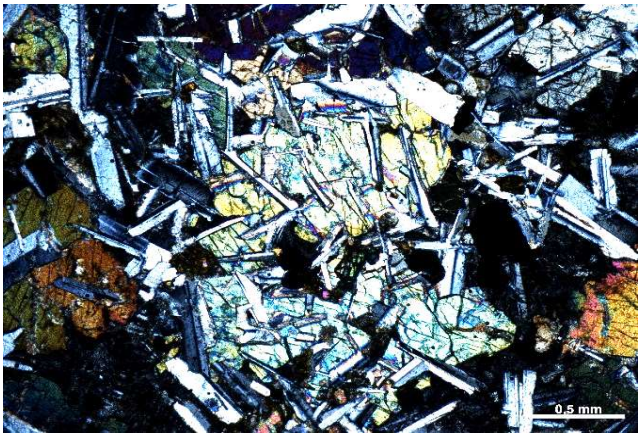
Textura

Inequigranular porfirítica, ofítica, poiquilítica, esqueletal, hipocristalina e simplectítica (entre augita e labradorita).

Fases de Cristalização

A fase primária de cristalização magmática inicia com a formação de fenocristais subédricos de augita, e em seguida os fenocristais de labradorita, que estão menores e muitas vezes inclusos nos cristais de labradorita, em textura ofítica, paralelamente ocorre a cristalização de opacos (magnetita e ilmenita). Posteriormente ocorre a formação de vidro vulcânico intersticial com presença de micrólitos de labradorita. A fase hidrotermal é representada pela ocorrência de clorita e biotita como alteração da augita para fases mais hidratadas, pela saussuritização da labradorita e pela percolação de carbonato em fraturas.

Fotomicrografias



Ficha de Descrição Petrográfica	
Região:	Prudentópolis
Amostra:	23-56
Coordenadas UTM:	7.212.145 / 513.565
Disposição:	Centro
Rocha:	Gabro

Descrição

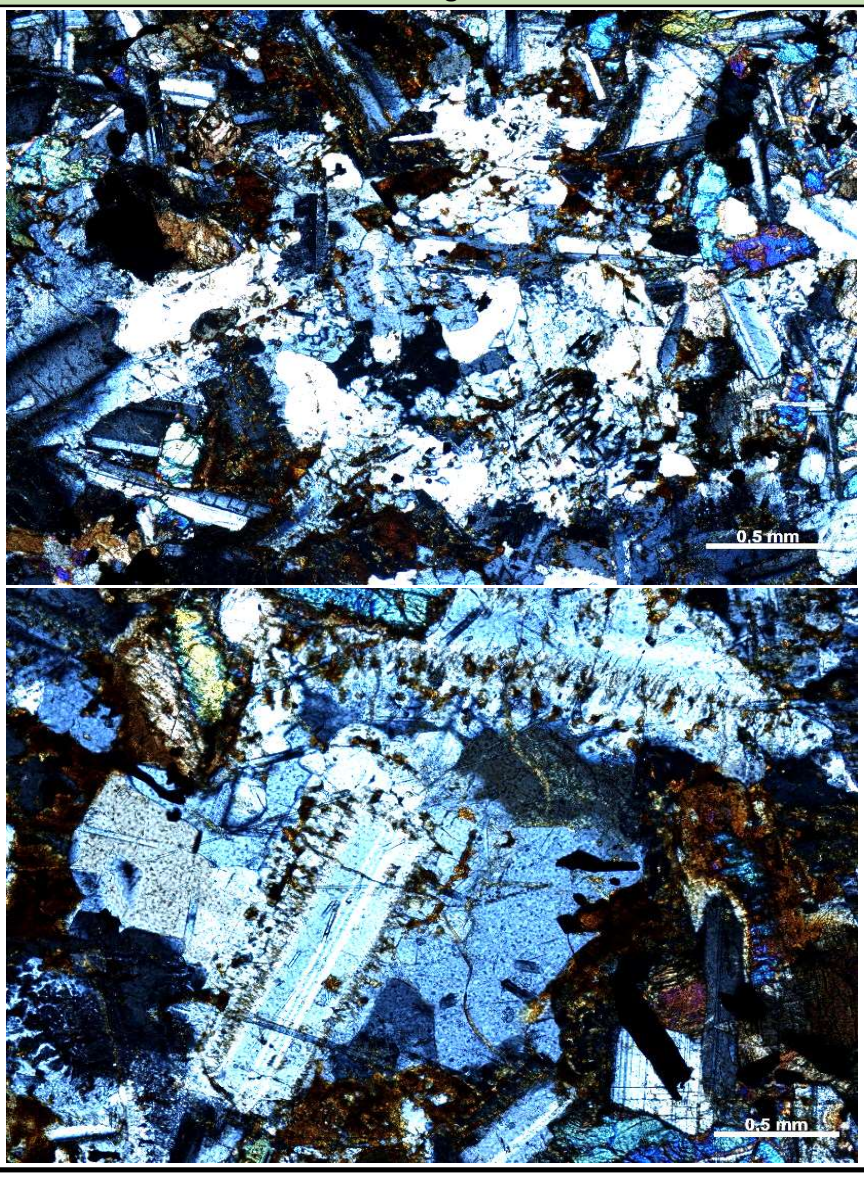
Rocha de granulação fina a média, mesocrática, com índice de cor de 45%, variando em porções leucocráticas na lâmina, moderadamente alterada, composta por:

Mineralogia

Mineral (%)	Descrição
Labradorita (50%)	Ocorre em duas fases distintas, a primeira com cristais maiores, localmente forma fenocristais, com granulometrias médias de 2 mm, subédricos, de hábito tabular. A segunda fase ocorre em cristais menores, de granulometrias variando de 0,25 a 0,5 mm, com hábitos tabulares e ripiformes. Possuem geminação polissintética e simples mal formadas, estão em contatos serrados e engolfados com os cristais de augita, intercrescimento granofírico nas bordas e localmente ocorre intercrescimento pertítico, evidenciando a presença de feldspato alcalino incipiente na lâmina. Alguns cristais possuem zonamentos composicionais, onde parte deles ocorrem intercrescimentos simplectíticos com a augita. Possuem inclusões de augita, apatita e opacos. Estão moderadamente saussuritizados e argilizados e adquirem aspecto fosco.
Augita (30%)	Ocorre como cristais subédricos prismáticos e arredondados na seção basal, a granulometria varia de 0,3 a 0,6 mm, intersticial à labradorita, ocorre em contatos serrados e engolfados com estes cristais e com os cristais de opacos, formam intercrescimentos simplectíticos com a labradorita. Estão moderadamente alterados para esmectita e clorita nas bordas e intensamente fraturados com preenchimento por opacos, relacionados a intensa oxidação.
Opacos (15%)	Ocorre em duas fases distintas, a primeira ocorre como cristais subédricos, com hábito retangular, com granulometrias variando de 0,1 a 0,4 mm, em contatos irregulares e engolfados com os demais cristais, localmente está com aspecto esqueletal; a segunda fase ocorre instersticial aos demais cristais e preenche fraturas.
Quartzo (5%)	Ocorre como cristais subédricos, com hábitos hexagonais a arredondados, com granulometrias de 0,5 mm, localmente forma aglomerados.
Apatita (traço)	Ocorre como cristais euédricos, da hábito acicular, com granulometrias de 0,3 mm, inclusos nos cristais de labradorita e localmente nos cristais de augita.
Clorita (traço)	Ocorre como alteração de augita nas bordas, com aspecto fibroso
Esmectita (traço)	Ocorre como alteração da augita, muitas vezes nas bordas de cristais intensamente alterados, associadas à fraturas e percolação de fluidos.

Estrutura

Maciça

Textura
Porfirítica, holocristalina, intergranular, granofírica, pertítica, simplectítica (entre augita e labradorita) e zonada.
Fases de Cristalização
A fase primária magmática iniciou com a cristalização da apatita, formando cristais euédricos, em um líquido inicial rico em Ca, em seguida forma a primeira fase da labradorita definida por fenocristais em quantidades incipientes na rocha, ocorre a cristalização da augita, opacos (magnetita) intersticiais, e da segunda fase da labradorita, representada por cristais mais finos de hábitos ripiformes e tabulares, por último, indicando fase de cristalização de magma mais evoluído, ocorre a presença de cristais de quartzo finos a médios, com hábitos subédricos. Os cristais de labradorita possuem zonamentos composicionais, indicando mudança na composição da fase líquida, para um magma mais evoluido, outros fatores como os intercrescimentos e a presença de quartzo evidenciam essa evolução magmática marcante. A fase de cristalização hidrotermal é definida pela presença de biotita e clorita, como resultado de alteração da augita para fases mais hidratadas e pela saussuritização da labradorita.
Fotomicrografias


Ficha de Descrição Petrográfica	
Região:	Prudentópolis
Amostra:	23-57
Coordenadas UTM:	7.212.145 / 513.565
Disposição:	Borda
Rocha:	Basalto

Descrição

Rocha de granulação fina a muito fina, mesocrática, moderadamente alterada, com índice de cor de 60%, composta por:

Mineral (%)	Descrição
Labradorita (40%)	Ocorre em duas fases distintas, a primeira está em menor quantidade, é definida por fenocristais tabulares, com granulometrias de 0,8 mm, localmente ocorre em agregado de cristais, formando textura glomeroporfirítica, entretanto subafírica, por ser incipiente, possui geminação polissintética e simples mal formadas. A segunda fase é composta por cristais finos, ripiformes, com granulometria variando de 0,2 a 0,4 mm, por vezes estão em agregados formando feições em *quench.* Localmente estão orientados, indicando possível estrututura de fluxo, com polissintética mais desenvolvida, com contatos muitas vezes serrados e com feições de engolfamento com a augita. Ambas as fases estão moderadamente saussuritizados e possuem inclusões de apatita, augita e opacos.
Augita (40%)	Ocorre em duas fases, a primeira é incipiente e forma um fenocristal arredondado, de granulometria de 0,6 mm; a segunda fase é definida por cristais intersticiais à labradorita, subédricos a euédricos, arredondados na seção basal e alguns cristais prismáticos, a granulometria varia de 0,1 à 0,3 mm, muitas vezes formam agregados, estão em contato engolfado com a labradorita e com cristais opacos, alguns estão inclusos na labradorita e nos opacos. Os cristais estão moderadamente alterados para clorita e esmectita e possuem fraturas com feições de oxidação.
Opacos (20%)	Ocorre em duas fases distintas, a primeira é formada por cristais subédricos, retangulares, interpretado como magnetita e localmente forma fenocristais, com granulometria variando de 0,3 à 1 mm, com inclusões de augita e labradorita em feição esqueletal. A segunda fase forma cristais mais finos, com granulometrias de 0,2 mm, intersticiais e predominantemente anédricos, porém localmente prismáticos, em contatos retilíneos com os demais cristais.
Apatita (traço)	Ocorre como cristais muito finos, euédricos, com hábito ripiforme, inclusos nos cristais de labradorita.
Esmectita (traço)	Ocorre como alteração da augita nas bordas e nos interstícios dos cristais, como agregados finos e anédricos.

Estrutura

Maciça

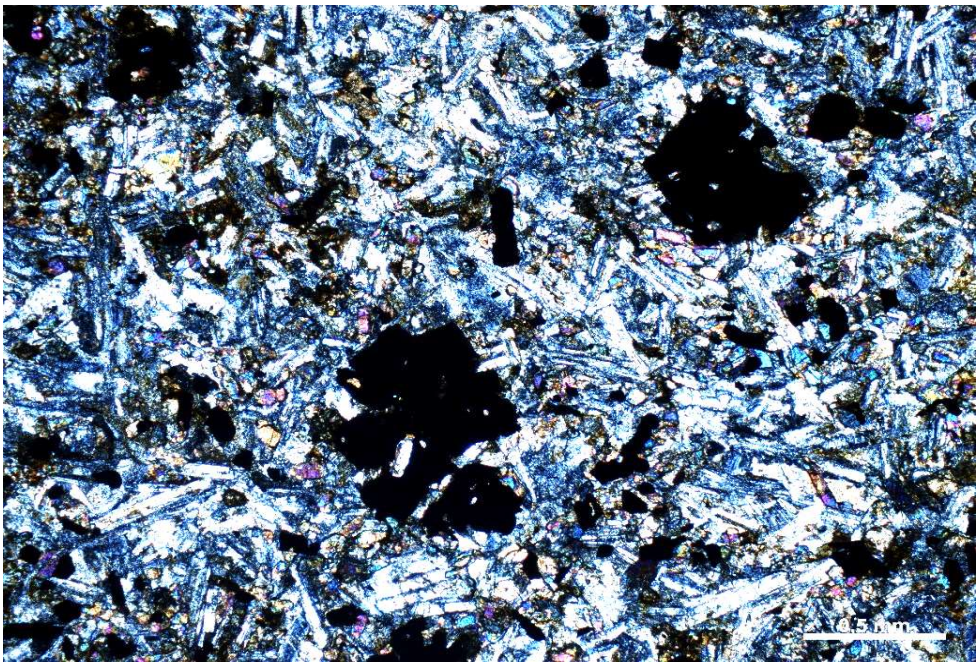
Textura

Subafírica, com ocorrência glomeroporfirítica, intergranular, cristalina, poiquilítica, com feições de rápido resfriamento do tipo *quench* .

Fases de Cristalização

A primeira fase de cristalização magmática inicia com a cristalização dos fenocristais de opacos (magnetita), labradorita e augita, seguido da cristalização da segunda fase dos cristais de augita e labradorita, em cristais menores na matriz, que por vezes formam textura do tipo *quench* , indicando fase de rápido resfriamento, com alta taxa de nucleação e baixa taxa de crescimento, por fim ocorre de forma intesrticial, cristais tardios de magnetita. A fase secundário hidrotermal é representada pela saussuritização da labradorita e alteração da augita para clorita e biotita.

Fotomicrografias



Ficha de Descrição Petrográfica	
Região:	Prudentópolis
Amostra:	25-64
Coordenadas UTM:	7.209.181 / 521.458
Disposição:	Borda
Rocha:	Basalto

Descrição

Rocha fina a muito fina, mesocrática, com índice de cor de 55%, moderadamente alterada, composta por:

Mineralogia

Mineral (%)	Descrição
Labradorita (40%)	Ocorre como cristais subédricos a anédricos, tabulares e ripiformes, com granulometrias variando de 0,2 a 0,5 mm, localmente dispostos em agregados subrradiados do tipo *quench* , estão em contato predominantemente retilíneo com os cristais de augita, porém ocorre também contatos suturados e engolfados, possuem inclusões de opacos e contatos engolfados também com esses. Os cristais estão moderadamente saussuritizados.
Augita (30%)	Ocorre intersticiais aos cristais de labradorita, como cristais subédricos, a anédricos, com hábitos prismáticos e granulometrias variando de 0,2 a 0,4 mm, possuem contatos suturados e engolfados com a labradorita. Estão moderadamente cloritizados e alguns cristais foram inteiramente substituidos por clorita, de forma incipiente ocorre também alteração para esmectita.
Opacos (20%)	Ocorre em duas feses distintas, a primeira fase, mais proeminente, são cristais aciculares, interpretados como ilmenita, de granulometrias variando de 0,2 a 0,8 mm, em contatos engolfados e inclusos nos cristais de augita e labradorita. A segunda fase ocorre em menor quantidade, como cristais anédricos intersticiais e localmente subédricos retangulares, interpretado como magnetita, de granulometria variando de 0,1 a 0,35 mm, com inclusões de labradorita e augita, e, feições de engolfamento em alguns contatos, formando aspecto esqueletal com esses cristais.
Clorita (5%)	Ocorre como alteração da augita, como agregados fibrosos, por vezes ocorre substituição total nos cristais de augita.
Porção vítrea (5%)	Ocorre como porções criptocristalinas nos interstícios, com intensa oxidação.
Esmectita (traço)	Ocorre como alteração da augita, principalmente nas bordas e fraturas.
Carbonato (traço)	Ocorre de forma incipiente na lâmina, como percolações preenchendo interstícios e fraturas nos cristais de labradorita e augita.

Estrutura

Maciça

Textura
Equigranular, hipocristalina, com porções criptocristalinas e intergranular.
Fases de Cristalização
A fase inicial de cristalização magmática inicia com a formação de cristais de ilmenita, augita e labradorita, com cristalização tardia de magnetita nos interstícios. A alta quantidade de ilmenita na rocha é marcante e indica alta concentração de titânio no magma. Posteriormente à fase de cristalização magmática, ocorre a formação de vidro vulcânico intersticial de aspecto criptocristalino, indicando fase de rápido resfriamento. Na fase secundária hidrotermal alteração da augita para clorita e esmectita, saussutitização da labradorita e percolação intersticial de carbonato.
Fotomicrografias

Ficha de Descrição Petrográfica	
Região:	Rebouças
Amostra:	32-76
Coordenadas UTM:	7.162.984 / 539.454
Disposição:	Borda
Rocha:	Basalto

Descrição

Rocha de granulação fina a média, com porções muito finas, mesocrática, com índice de cor de 50%, incipiente a moderadamente alterada, composta por:

Mineralogia

Mineral (%)	Descrição
Labradorita (45%)	Ocorre em duas fases distintas, a primeira como fenocristais subédricos tabulares, a granulometrias varia de 1 a 1,5 mm, muitas vezes formam aglomerados de fenocristais, com contatos irregulares e engolfados com os cristais de augita, alguns cristais possuem inclusões de apatita, estão moderadamente saussuritizados, com má formação da geminação polissintética, localmente ocorre zonamento composicional. A segunda fase é composta por cristais subédricos ripformes na matriz, por vezes suborientados, com granulometrias variando de 0,1 a 0,5 mm, com geminação polissintética moderadamente formada, localmente formam agregados radiculares do tipo quench, em contatos predominantemente irregulares e engolfados com cristais de augita e opacos. Os cristais estão saussuritizados de forma incipiente a moderada.
Augita (35%)	Ocorre como cristais subédricos a anédricos, arredondados e intersticiais à labradorita, com granulometrias variando de 0,2 a 0,4 mm, localmente estão dispostos em agregados na matriz, possui contatos irregulares a engolfados com cristais de labradorita, com inclusões e fraturas preechidas por opacos. Os cristais estão moderadamente cloritizados.
Opacos (15%)	Ocorrem predominantemente como cristais anédricos e localmente subédricos retangulares, intersticiais aos outros cristais, a granulometria varia de 0,2 a 0,4 mm. De forma incipiente ocorre a presença de outra fase, com hábito subédrico ripforme, interpretado como ilmenita.
Porção vítrea (5%)	Ocorre como porções criptocristalina intersticial na lâmina.
Apatita (traço)	Ocorre como cristais euédricos ripiformes, com granulometrias de até 0,3 mm, inclusos nos cristais de labradorita
Pigeonita (traço)	Ocorre como cristais grossos euédricos e tabulares, com granulometrias de 1,6 mm, intensamente fraturados com as fraturas preenchidas por opacos, com sinais de oxidação. Estão em contatos suturados com os cristais de augita.
Clorita (traço)	Ocorre em aglomerados fibrosos na lâmina, associados à alteração nas bordas da augita.

Estrutura

Maciça com porção fluidal

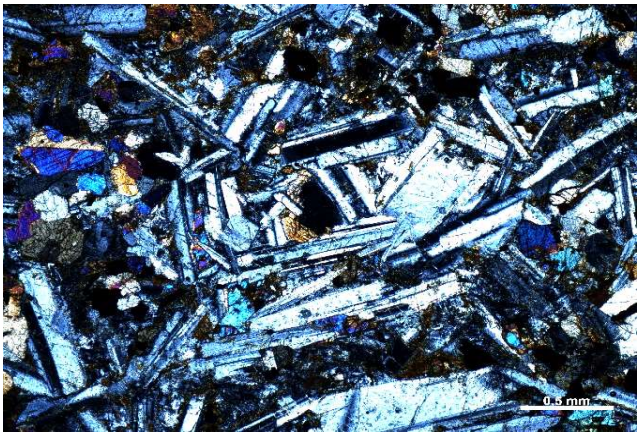
Textura

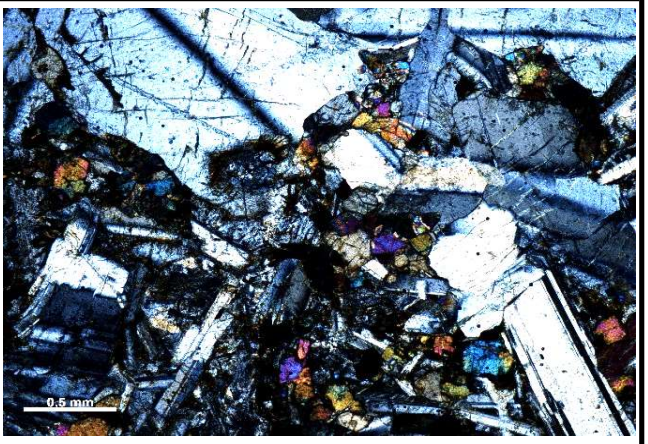
Inequigranular, porfirítica e glomeroporfirítica, zonada, subofítica, pilotaxítica, textura do tipo *quench* e hipocristalina com porções vítreas criptocristalina.

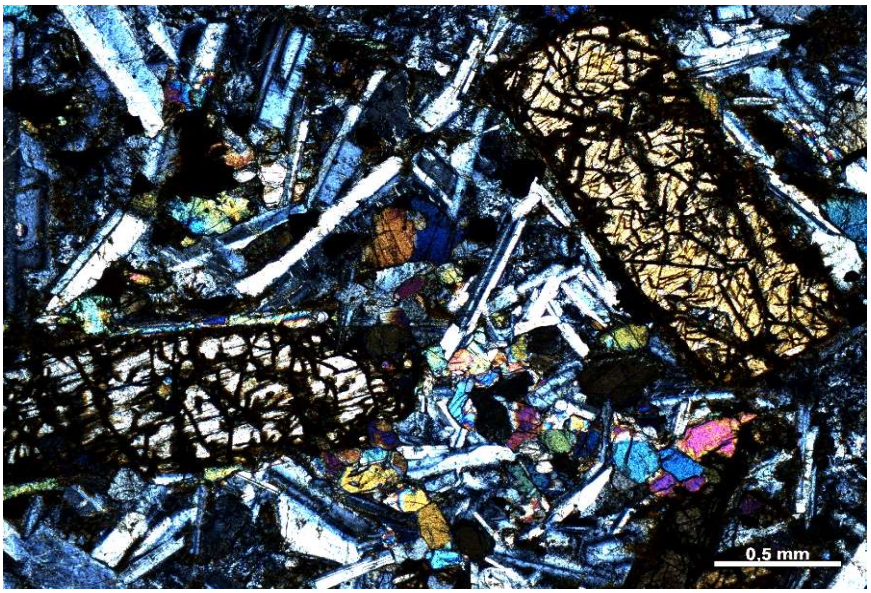
Fases de Cristalização

A fase de cristalização magmática iniciou com a cristalização da pigeonita, de forma incipiente, em líquido mais primitivo, em seguida ocorre a cristalização da apatita, seguida da formação de fenocristais de labradorita, com o avanço da cristalização ocorre a formação de e cristais de augita intersticiais e da segunda fase da labradorita, com cristais menores na matriz. Nas duas fases de labradorita ocorre zonamentos composicionais, indicando mudança na composição magmática. Posteriormente à cristalização magmática ocorre a formação de porções vítreas intersticiais criptocristalinas. A fase secundária hidrotermal é marcada pela saussuritização da labradorita e cloritização da augita.

Fotomicrografias







Ficha de Descrição Petrográfica	
Região:	Rebouças
Amostra:	34-80
Coordenadas UTM:	7.160.528 / 525.723
Disposição:	Centro
Rocha:	Gabro (contato gabro/basalto)

Descrição

Rocha fina a média, mesocrática, com índice de cor de 55%, incipiente a moderadamente alterada. A rocha se divide em porções de granulação fina (basalto) e porções de granulação grossa (gabro), sendo definida como porção de contato, entre os domínios borda-centro, é composta por:

Mineralogia

Mineral (%)	Descrição
Labradorita (45%)	*Porção basáltica* : Ocorre em duas fases distintas, sendo a primeira formada por fenocristais subédricos, de hábitos tabulares, com granulometria de 0,5 mm, possuem geminação polissintética mal formada e contatos engolfados com a augita. A segunda fase eocorre na matriz como cristais subédricos prismáticos, com granulometrias variando de 0,05 à 0,3 mm possui contatos engolfados com a augita e muitas vezes estão inclusos na augita. Ambas as fases estão incipientemente saussuritizadas nas bordas.
	Porção gabróica : Ocorre como cristais subédricos, com hábitos tabulares, com granulometria variando de 0,5 a 1,5 mm, caracterizando textura heterogranular, estão com geminação polissintética mal formada, apresentam contatos engolfados com os cristais de augita. Há intensa ocorrência de intercrescimento granofírico nas bordas dos cristais e estão moderadamente saussuritizados.
Augita (40%)	*Porção basáltica:* Ocorre como cristais anédricos a subédricos tabulares, com granulometrias de 0,5 mm, geralmente formam agregados anédricos, estão em contatos engolfados com os cristais de labradorita, e estão intensamente inclusos por estes cristais, em textura ofítica, estão moderadamente cloritizados nas bordas.
	Porção gabróica: Ocorre como cristais subédricos a anédricos, com hábito tabuares, com granulometrias de 0,5 a 1 mm, estão intersticiais à labradorita, com contatos engolfados com as mesmas, estão moderadamente cloritizados nas bordas.
Opacos (15%)	Ocorre em duas fases distintas, a primeira formada por cristais subédricos retangulares, por vezes forma hábito esqueletal, em contatos engolfados com os demais cristais. A segunda fase ocorre com cristais anédricos intersticiais e preenchendo fraturas nos cristais de labradorita e augita. Ocorre da mesma forma nas duas porções da lâmina.
Clorita (traço)	Está em agregados fibrosos e muito finos, associados à alteração da augita
Apatita (traço)	Ocorre como cristais muito finos, euédricos a subédricoa, inclusos nos cristais de labradorita

Estrutura

Maciça

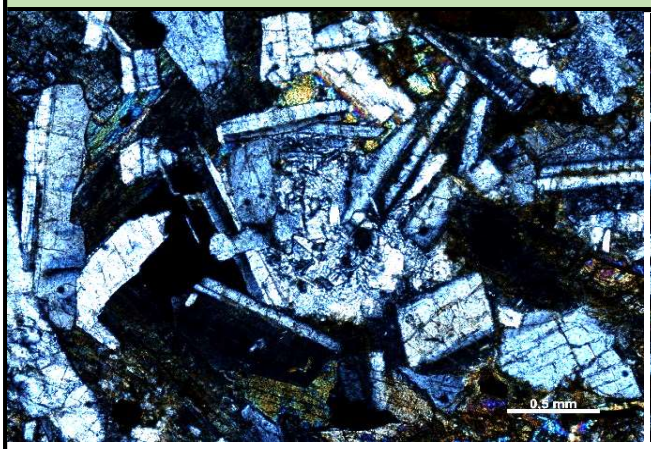
Textura

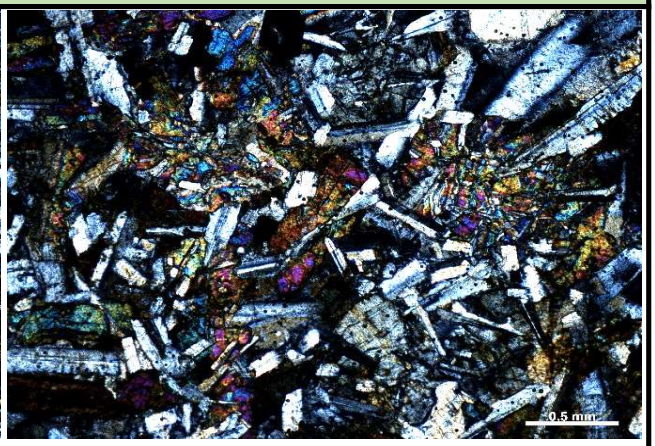
Porção gabróica: Heterogranular, cristalina, intergranular e granofírica.
Porção basáltica: Subafírica e subofítica.

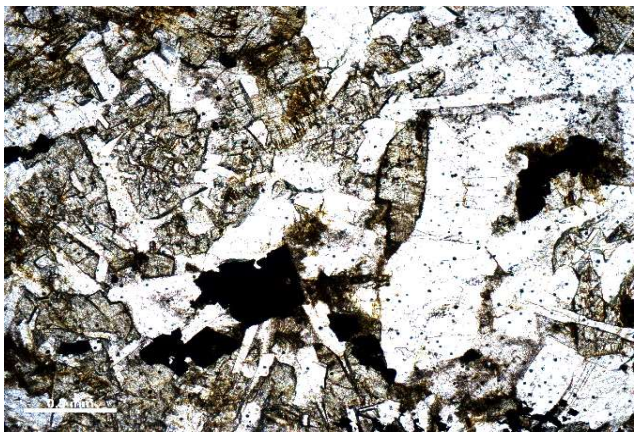
Fases de Cristalização

A fase de cristalização magmática no basalto se iniciou com a cristalização dos fenocristais de labradorita, cristais de augita, seguido dos cristais de opacos subédricos (magnetita) e por fim a segunda fase da labradorita. Esta porção está mais próxima a borda do corpo, a cristalização foi mais rápida, de forma que houve alta taxa de nucleação e baixa taxa de crescimento, há maior presença de augita e textura subofítica a ofítica. Já na porção gabróica, a taxa de crescimento é maior e ocorre uma fase de cristalização magmática, com a formação da augita, labradorita e magnetita, apresenta maior porcentagem de cristais de labradorita em textura intergranular e ocorre a presença de intercrescimento granofírico, indicando magma mais evoluído e com mais tempo para a cristalização. A fase hidrotermal ocorre de forma moderada e é marcada pela presença de cloritização da augita, saussuritização da labradorita.

Fotomicrografias







Ficha de Descrição Petrográfica	
Região:	Rebouças
Amostra:	34-81
Coordenadas UTM:	7.160.528 / 525.723
Disposição:	Borda
Rocha:	Basalto

Descrição

Rocha de granulação fina a muito fina, mesocrática, com índice de cor de 55%, moderadamente alterada, composta por:

Mineralogia

Mineral (%)	Descrição
Labradorita (40%)	Ocorre como cristais subédricos, com duas fases distintas, a primeira é formada por cristais subédricos tabulares, com granulometria média de 0,5 mm, localmente ocorre um fenocristal de granulometria de 1,5 mm. A segunda fase é formada por cristais ripiformes, com granulometrias variando de 0,1 a 0,4 mm, localmente os cristais estão isorientados, indicando direção de fluxo, ocorre em agregados prismáticos formando textura do tipo *quench* , incipientemente forma agregados fibrorradiados em textura esferulítica, alguns cristais estão ocos e localmente ocorre feição do tipo cauda de andorinha. Estão em contatos serrados e engolfados com os cristais de augita, com inclusões destes cristais e de opacos. Estão moderadamente saussuritizados adquirindo aspecto fosco.
Augita (35%)	Os cristais de augita também ocorrem em 2 fases, a primeira como cristais subédricos, a granulometria varia de 0,3 a 1 mm, clivagens bem formadas, com hábitos tabulares e arredondados na sessão basal; a segunda fase ocorre formando agregados finos de augita prismática, formando textura do tipo *quench* , com granulometria média de 0,3 mm e em finos agregados intersticiais à labradorita com granulometrias de 0,1 mm. Ambas as fases estão moderadamente alteradas para clorita e esmectita.
Opacos (15%)	Está disseminado por toda a lâmina, intersticiais aos demais cristais, com granulometria de 0,1 a 0,3 mm, predominantemente anédrico, porém localmente os cristais estão subédricos com hábito retangular, localmente adquire hábito esqueletal, com inclusões de augita e labradorita e apresenta sinais de oxidação em alguns cristais.
Clorita (5%)	Ocorre como alteração da augita em agregados fibrosos.
Porção vítrea (5%)	Ocorre na matriz, intersticiais aos outros cristais como porções criptocristalinas.
esmectita (traço)	Ocorre como alteração nas bordas dos cristais de augita, com hábito anédrico e cristais finamente granulados.

Estrutura

Maciça

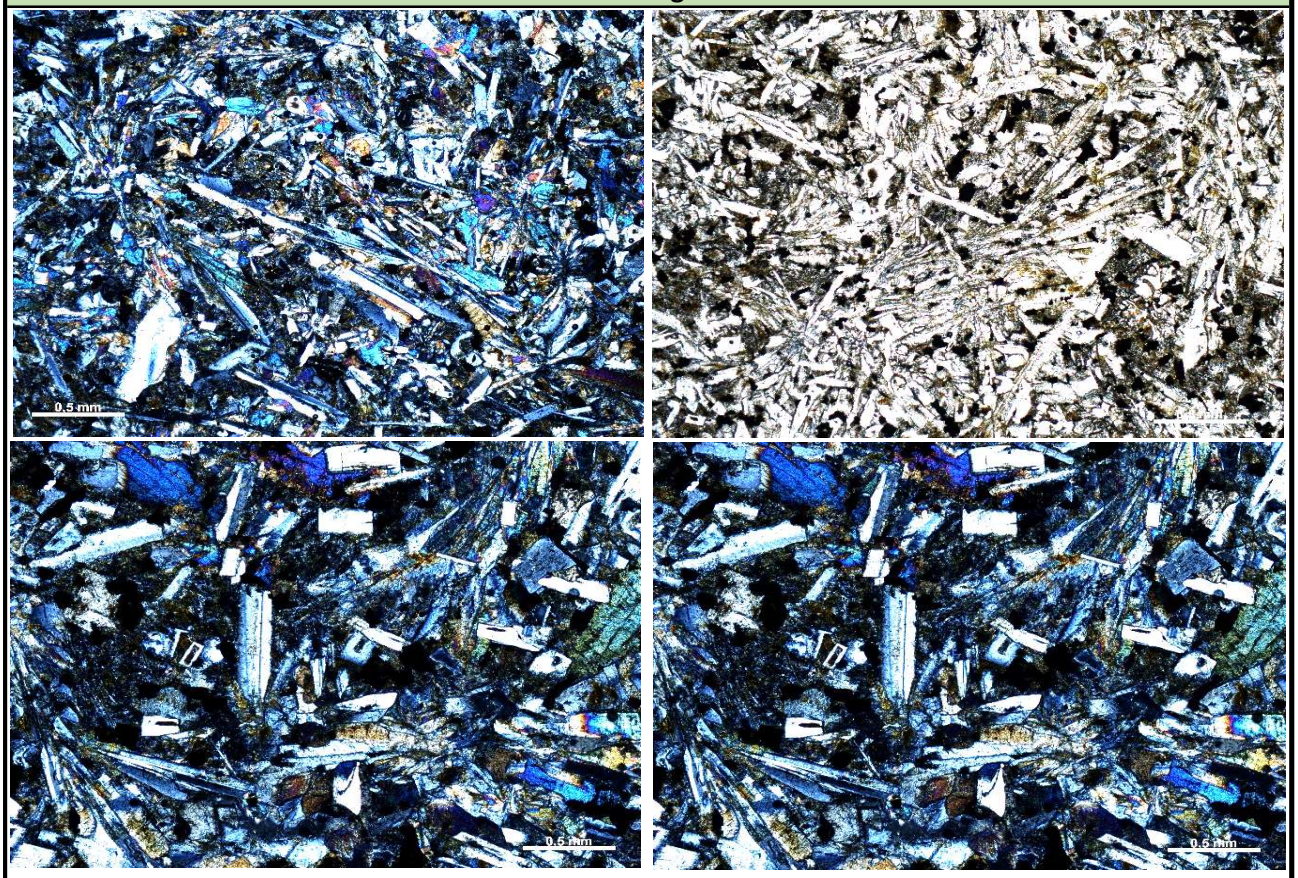
Textura

Subafírica, intergranular a subofítica, hipocristalina, pilotaxítica, esferulítica, textura do tipo quench e calda de andorinha, hipocristalina com porções criptocristalina (vítreas).

Fases de Cristalização

A primeira fase de cristalização se inicia com a formação dos fenocristais de augita e labradorita e cristais de opacos (magnetita); na segunda fase, em um momento de rápido resfriamento, houve a cristalização dos cristais mais finos na matriz, de labradorita e augita, formando feições de rápido resfriamento, como textura em *quench* , cristais ocos e labradoritas com terminações em calda de andorinha. Após a fase de cristalização magmática ocorre a formação de porções vítreas intersticiais, criptocristalinas e localmente forma feições esferulíticas. Na fase secundárias hidrotermal ocorre a sassuritização da labradorita e cloritização da augita.

Fotomicrografias



Ficha de Descrição Petrográfica	
Região:	Rebouças
Amostra:	34-82
Coordenadas:	7.160.528 / 525.723
Disposição:	Centro
Rocha:	Gabro

Descrição

Rocha de granulação fina a média, mesocrática, com índice de cor de 55%, incipientemente alterada, composta por

Mineralogia

Mineral (%)	Descrição
Labradorita (45%)	Ocorre como em granulometrias variadas em textura heterogranular, com cristais subédricos retangulares, com granulometria de 1 mm, com zoneamento composicional e cristais subédricos ripiformes, com granulometria variando de 0,2 a 0,5 mm, com intercrescimento granofírico, estão em contatos irregulares e engolfados com os critais de augita. De forma incipiente ocorre inclusões de cristais de apatita. Estão saussuritizados de forma incipiente.
Augita (40%)	Ocorre também com tamanhos variados, com hábito subédricos tabulares e arredondados na seção basal, com granulometria variando de 0,5 a 1 mm, ocorre intersticial aos cristais de labradorita, em contatos irregulares e engolfados com estes cristais , em alguns cristais ocorre inclusões de labradorita. Estão incipientemente alterados para clorita com aspecto fibroso, esmectita e localmente por biotita, as alterações estão concentradas nas bordas e fraturas.
Opacos (10%)	Ocorrem de forma disseminada na lâmina, com cristais anédricos, e localmente por cristais subédricos retangulares, interpretado como magnetita, com granulometria variando de 0,1 a 0,5 mm, em interstícios, alguns cristais possuem inclusões de augita e labradorita, adquirindo aspecto esqueletal. Estão moderadamente oxidados nas bordas, exibindo cor avermelhada.
Clorita (5%)	Ocorre como fase secundária, em agregados fibrosos nas bordas dos cristais de olivina e nos interstícios da rocha.
Apatita (traço)	Ocorre como cristais subédricos, muito finos e inclusos nos cristais de labradorita.
Biotita (traço)	Ocorre como fase secundária, com cristais anédricos a subédricos, em alteração da augita, em sua maior parte estão dispostos nas bordas.
Esmectita (traço)	Ocorre como alteração nas bordas da augita.
Vidro vulcânico (traço)	Ocorre de forma incipiente em agregados oxidados.

Estrutura

Maciça

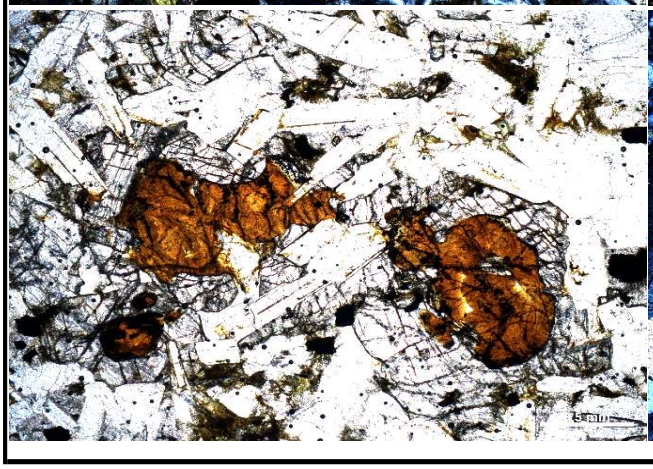
Textura

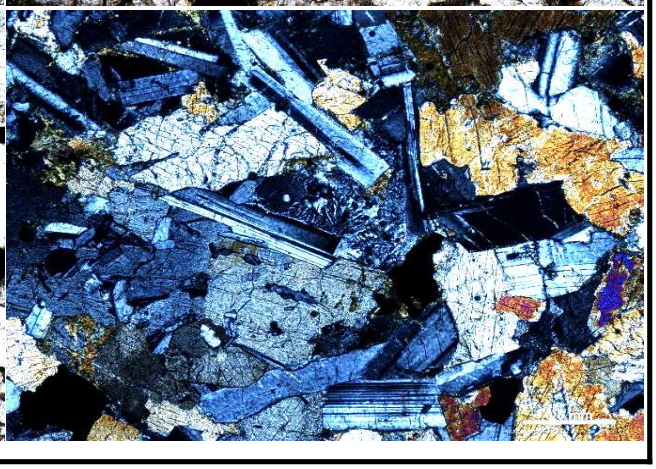
Heterogranular, zonada, intergranular e granofírica.

Fases de Cristalização

A fase primária de cristalização magmática inicia com a formação de cristais de apatita, de forma incipiente, seguida da formação dos fenocristais de augita e labradorita, em seguida ocorre a cristalização das segundas fases da augita e labradorita com alta taxa de nucleação de menor taxa de crescimento, e dos cristais de opacos (magnetita), que ocorrem principalmente preenchendo interstícios. Posteriormente à fase de cristalização magmática ocorre a formação incipiente de vidro vulcânico definindo fase final de resfriamento rápido. A fase secundária hidrotermal é marcada pela presença de saussuritização da labradorita e alteração da augita para clorita, esmectita e biotita.

Fotomicrografias





APÊNDICE 2

Química mineral obtida por microssonda eletrônica, das soleiras de Rebouças e Prudentópolis, PR

TABELA 1 - PLAGIOCLÁSIOS - PRUDENTÓPOLIS

Amostra	E-23/56	E-23/56	E-23/56	E-23/56	E-23/56	E-23/57	E-23/57	E-23/57	E-23/57	E-25/64	E-25/64	E-25/64	E-25/64
Rocha	Gabro	Gabro	Gabro	Gabro	Gabro	Basalto	Basalto	Basalto	Basalto	Basalto	Basalto	Basalto	Basalto
Análise	Microfen.	Microfen.	Fenocristal	Fenocristal	Fenocristal	Fenocristal	Fenocristal	Microfen.	Matriz	Matriz	Microfen.	Microfen.	Microfen.
Zona	Centro	Borda	Borda	Centro/borda	Borda	Centro	Borda	Centro	centro	centro	Centro	Centro	Borda
Óxidos													
SiO2	54,31	57,77	57,41	54,85	54,59	52,02	53,29	54,04	53,44	57,15	52,51	54,37	56,22
TiO2	0,17	0,05	0,08	0,11	0,12	0,13	0,18	0,16	0,10	0,07	0,16	0,19	0,12
Al2O3	27,59	25,75	25,86	27,61	27,84	29,02	27,93	27,95	28,47	26,80	28,84	29,00	27,05
Fe2O3	0,85	0,57	0,56	0,72	0,54	0,70	0,76	0,65	0,61	0,86	0,74	0,85	0,84
MnO	0	0	0,01	0	0	0,00	0,00	0,03	0,01	0	0,01	0,03	0
MgO	0,08	0,03	0,03	0,08	0,06	0,12	0,10	0,05	0,03	0,09	0,17	0,13	0,11
CaO	11,17	8,39	8,71	10,89	10,91	12,47	11,50	11,04	11,51	9,72	12,42	10,79	9,98
Na2O	4,86	6,45	6,29	5,06	5,12	4,07	4,81	5,10	4,76	5,60	4,22	4,91	5,40
K2O	0,46	0,59	0,63	0,53	0,51	0,38	0,42	0,30	0,30	0,66	0,36	0,50	0,61
Total	**99,49**	**99,6**	**99,58**	**99,85**	**99,69**	**98,91**	**98,99**	**99,32**	**99,23**	**100,95**	**99,43**	**100,77**	**100,33**
Cátions													
Si	9,8920	10,4190	10,3680	9,9300	9,9110	9,5630	9,7730	9,8510	9,7580	10,2080	9,6030	9,7680	10,1140
Al	5,9170	5,4680	5,4990	5,8950	5,9520	6,2820	6,0330	5,9990	6,1230	5,6360	6,2110	6,1350	5,7320
Fe3	0,1160	0,0780	0,0760	0,0980	0,0730	0,0960	0,1040	0,0890	0,0830	0,1150	0,1010	0,1150	0,1130
Ti	0,0230	0,0060	0,0110	0,0150	0,0160	0,0180	0,0250	0,0220	0,0130	0,0100	0,0220	0,0250	0,0160
Fe2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mn	0,0000	0,0000	0,0010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0050	0,0010	0,0000	0,0020	0,0040	0,0000
Mg	0,0200	0,0080	0,0090	0,0210	0,0170	0,0340	0,0270	0,0140	0,0080	0,0240	0,0460	0,0360	0,0300
Ba	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ca	2,1800	1,6210	1,6860	2,1150	2,1230	2,4560	2,2600	2,1560	2,2520	1,8590	2,4330	2,0760	1,9240
Na	1,7150	2,2540	2,2010	1,7770	1,8030	1,4520	1,7110	1,8030	1,6850	1,9380	1,4960	1,7110	1,8820
K	0,1080	0,1360	0,1460	0,1220	0,1180	0,0890	0,0970	0,0690	0,0700	0,1500	0,0840	0,1140	0,1400
Total	**19,9710**	**19,9900**	**19,9970**	**19,9730**	**20,0130**	**19,9900**	**20,0300**	**20,0080**	**19,9930**	**19,9400**	**19,9980**	**19,9840**	**19,9510**
X	15,9480	15,9710	15,9540	15,9510	15,9520	15,9590	15,9350	15,9610	15,9770	15,9690	15,9370	16,0430	15,9750
Z	4,0230	4,0190	4,0430	4,0350	4,0610	4,0310	4,0950	4,0470	4,0160	3,9710	4,0610	3,9410	3,9760
Ab	42,8000	56,2000	54,6000	44,3000	44,6000	36,3000	42,1000	44,8000	42,1000	49,1000	37,3000	43,9000	47,7000
An	54,5000	40,4000	41,8000	52,7000	52,5000	61,4000	55,6000	53,5000	56,2000	47,1000	60,6000	53,2000	48,8000
Or	2,7000	3,4000	3,6000	3,0000	2,9000	2,2000	2,4000	1,7000	1,7000	3,8000	2,1000	2,9000	3,5000

TABELA 2 - PIROXÊNIOS - PRUDENTÓPOLIS

Amostra	E-23/56a	E-23/56b	E-23/56c	E-23/56d	E-23/56e	E-23/57a	E-25/64a	E-25/64b	E-25/64c
Rocha	Gabro	Gabro	Gabro	Gabro	Gabro	Basalto	Basalto	Basalto	Basalto
Análise	fenocristal	fenocristal	matriz	microfen	microfen	matriz	microfen	microfen	matriz
Zona	Borda	centro	centro	borda	centro	centro	borda	centro	centro
Óxidos									
SiO2	51,61	51,07	51,81	51,59	52,20	51,16	50,45	51,61	49,87
TiO2	0,92	1,11	1,06	0,85	0,51	1,01	1,77	1,32	2,06
Al2O3	1,70	2,23	1,83	1,47	0,74	1,81	3,01	2,43	3,53
FeO	13,48	12,38	11,58	14,14	22,50	12,31	12,24	9,64	9,86
MnO	0,27	0,26	0,22	0,26	0,40	0,21	0,24	0,21	0,16
MgO	14,81	14,67	15,40	14,61	18,99	14,87	15,83	16,68	14,84
CaO	17,16	17,88	17,96	14,04	4,27	17,68	16,37	17,81	19,21
Na2O	0,22	0,22	0,25	0,20	0,05	0,23	0,24	0,24	0,29
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00
Total	**100,17**	**99,82**	**100,11**	**97,16**	**99,66**	**99,30**	**100,16**	**99,94**	**99,82**
Cátions									
TSi	1,9350	1,9170	1,9310	1,9390	1,9780	1,9290	1,8790	1,9090	1,8600
TAl	0,0650	0,0830	0,0690	0,0610	0,0220	0,0710	0,1210	0,0910	0,1400
TFe3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
M1Al	0,0100	0,0160	0,0120	0,0040	0,0110	0,0090	0,0110	0,0150	0,0150
M1Ti	0,0260	0,0310	0,0300	0,0240	0,0150	0,0290	0,0500	0,0370	0,0580
M1Fe3	0,0190	0,0200	0,0160	0,0230	0,0000	0,0220	0,0270	0,0190	0,0290
M1Fe2	0,1170	0,1120	0,0870	0,1310	0,0000	0,1040	0,0330	0,0090	0,0720
M1Mg	0,8280	0,8210	0,8560	0,8180	0,9750	0,8360	0,8790	0,9200	0,8250
M2Mg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0970	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
M2Fe2	0,2860	0,2570	0,2580	0,2910	0,7130	0,2620	0,3210	0,2700	0,2060
M2Mn	0,0080	0,0080	0,0070	0,0080	0,0130	0,0070	0,0080	0,0060	0,0050
M2Ca	0,6890	0,7190	0,7170	0,6860	0,1730	0,7140	0,6530	0,7060	0,7680
M2Na	0,0160	0,0160	0,0180	0,0140	0,0030	0,0170	0,0170	0,0170	0,0210
M2K	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0010	0,0000	0,0000	0,0000
Total	**4,00**	**4,00**	**4,00**	**4,00**	**4,00**	**4,00**	**4,00**	**4,00**	**4,00**
Ca	35,7290	37,5110	37,2550	35,4720	8,8000	37,1440	34,4970	36,9220	40,9200
Mg	42,9060	42,8080	44,4450	42,3020	54,3930	43,4750	46,4160	48,1140	43,9780
Fe2_Mn	21,3650	19,6810	18,3000	22,2260	36,8070	19,3810	19,0870	14,9640	15,1020
JD1	0,5160	0,8210	0,6020	0,2160	0,1760	0,4710	0,5900	0,7980	0,8180
AE1	0,2950	0,0060	0,3260	0,5240	0,0000	0,4460	0,3290	0,0860	0,3060
CFTS1	0,6810	1,0110	0,4790	0,6560	0,0000	0,6990	1,1070	0,8830	1,2410
CTTS1	1,3320	1,6310	1,5320	1,2400	0,7420	1,4860	2,6060	1,9070	3,0550
CATS1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,3680	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
WO1	33,5830	34,7200	35,0320	33,4650	7,7320	34,7460	30,6040	33,9290	36,2740
EN1	42,7460	42,6390	44,1920	42,1700	54,6560	43,2250	46,1730	47,8510	43,6020
FS1	20,8480	19,1710	17,8360	21,7290	36,3260	18,9280	18,5910	14,5450	14,7040
Q	1,9210	1,9090	1,9180	1,9260	1,9580	1,9160	1,8870	1,9060	1,8710
J	0,0310	0,0320	0,0360	0,0290	0,0070	0,0340	0,0350	0,0340	0,0430
Wo	35,3830	37,1320	36,9560	35,0570	8,8000	36,7210	34,0060	36,5660	40,2910
Ens	42,4900	42,3750	44,0880	41,8070	54,3930	42,9800	45,7550	47,6490	43,3030
Fs	22,1280	20,4930	18,9560	23,1360	36,8070	20,2990	20,2390	15,7850	16,4060
WEF	98,3980	98,3720	98,1860	98,5370	99,6510	98,2660	98,2100	98,2530	97,7830
Jd	0,5540	0,7270	0,7760	0,2260	0,3490	0,5060	0,5210	0,7890	0,7670
Ae	1,0470	0,9010	1,0380	1,2360	0,0000	1,2280	1,2690	0,9580	1,4500

TABELA 3 - OPACOS - PRUDENTÓPOLIS

Amostra	E-23/56	E-23/56	E-23/57	E-23/57
Rocha	Gabro	Gabro	Basalto	Basalto
Análise	matriz	matriz	matriz	matriz
Localização	centro	centro	centro	centro
Óxidos				
SiO2	0,01	0,05	0,05	0,00
TiO2	48,04	46,26	46,06	47,64
Al2O3	0,04	0,08	0,06	0,05
Fe2O3	0	0	0	0
FeO	48,89	50,97	49,08	48,62
Cr2O3	0,01	0,03	0	0,02
MnO	0,62	0,48	0,44	0,41
MgO	0,64	0,73	1,05	1,33
CaO	0,01	0,01	0,01	0,02
Na2O	0,00	0,00	0,00	0,00
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	**98,26**	**98,61**	**96,75**	**98,09**
Cátions				
Si	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	0,003	0,005	0,004	0,003
Ti	1,89	1,83	1,85	1,87
Fe2	2,138	2,244	2,189	2,126
Fe3	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr	0	0,001	0	0,001
Mn	0,03	0,02	0,02	0,02
Mg	0,05	0,057	0,084	0,103
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	**4,108**	**4,162**	**4,149**	**4,125**

TABELA 4 - PLAGIOCLÁSIOS - REBOUÇAS

Amostra	E-14/32	E-14/32	E-14/32	E-32/76	E-32/76	E-32/76	E-32/76	E-32/76	E-34/80	E-34/80	E-34/80	E-34/80	E-34/80	E-34/80	E-34/82	E-34/82	E-34/82	E-34/82	E-34/82
Rocha	Basalto	Basalto	Basalto	Basalto	Basalto	Basalto	Basalto	Basalto	Gabro/basalto(contato)	Gabro/basalto(contato)	Gabro/basalto(contato)	Gabro/basalto(contato)	Gabro/basalto(contato)	Gabro/basalto(contato)	Gabro	Gabro	Gabro	Gabro	Gabro
Análise	Matriz	Fenocristal	Fenocristal	Microfen.	Microfen.	Fenocristal	Fenocristal	Matriz	Matriz	Matriz	Microfen.	Microfen.	Fenocristal	Fenocristal	Fenocristal	Fenocristal	Matriz	Microfen.	Microfen.
Zona	Centro	Centro	Borda	Centro	Borda	Centro	Borda	Centro	Centro	inclusão px	Centro	Borda	Centro	Borda	Borda	Centro	Centro	Centro	Borda
Óxidos																			
SiO2	53,77	53,55	53,96	54,69	55,57	54,52	57,34	54,53	52,32	51,97	55,75	55,8	52,40	52,59	49,5	50,29	51,4	52,16	49,27
TiO2	0,15	0,07	0,03	0,14	0,07	0,08	0,11	0,09	0,07	0,04	0,08	0,08	0,04	0,07	0,03	0,04	0,04	0,07	0
Al2O3	28,04	28,59	27,34	27,33	27,59	28	25,81	27,66	28,89	29,02	27,44	27,44	29,52	28,77	31,4	30,35	29,88	29,8	31,62
Fe2O3	0,92	0,95	1,05	1,5	0,71	0,7	0,64	0,79	1,28	1	0,89	0,92	0,95	1,02	0,97	0,89	0,96	0,95	0,96
MnO	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0	0,00	0,01	0,01	0	0,00	0,02	0,02	0,02	0,03	0,00	0,02	0,02	0,03
MgO	0,14	0,14	0,18	0,32	0,08	0,12	0,05	0,13	0,08	0,16	0,11	0,07	0,12	0,11	0,13	0,16	0,11	0,13	0,09
CaO	11,76	11,71	11,34	10,48	10,32	11,18	8,57	10,63	12,42	12,82	10,75	10,45	13,17	12,64	15,2	14,38	13,7	13,24	15,26
Na2O	4,75	4,63	4,89	4,99	5,18	4,84	6,20	5,02	4,30	3,98	5,36	5,43	3,88	4,13	2,77	3,35	3,75	3,8	2,75
K2O	0,33	0,31	0,36	0,49	0,53	0,48	0,72	0,57	0,20	0,16	0,26	0,26	0,14	0,18	0,09	0,11	0,11	0,15	0,08
Total	**99,87**	**99,95**	**99,15**	**99,95**	**100,06**	**99,92**	**99,44**	**99,43**	**99,57**	**99,15**	**100,64**	**100,47**	**100,24**	**99,53**	**100,12**	**99,57**	**99,97**	**100,32**	**100,06**
Cátions																			
Si	9,7750	9,7210	9,8740	9,9180	10,0250	9,8770	10,3700	9,9240	9,5670	9,5370	10,0120	10,0300	9,5130	9,6080	9,0570	9,2340	9,3800	9,4640	9,0220
Al	6,0030	6,1130	5,8900	5,8360	5,8620	5,9750	5,4970	5,9290	6,2210	6,2700	5,8030	5,8090	6,3110	6,1900	6,7660	6,5620	6,4220	6,3670	6,8190
Fe3	0,1250	0,1300	0,1450	0,2040	0,0960	0,0960	0,0870	0,1080	0,1760	0,1380	0,1210	0,1240	0,1290	0,1410	0,1340	0,1230	0,1320	0,1290	0,1310
Ti	0,0210	0,0090	0,0050	0,0190	0,0100	0,0110	0,0160	0,0130	0,0100	0,0060	0,0100	0,0110	0,0050	0,0090	0,0040	0,0060	0,0060	0,0100	0,0000
Fe2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mn	0,0010	0,0000	0,0000	0,0020	0,0010	0,0000	0,0000	0,0020	0,0010	0,0000	0,0000	0,0030	0,0030	0,0030	0,0040	0,0000	0,0030	0,0040	0,0040
Mg	0,0380	0,0380	0,0480	0,0860	0,0220	0,0320	0,0130	0,0340	0,0220	0,0450	0,0280	0,0200	0,0330	0,0310	0,0350	0,0430	0,0290	0,0350	0,0250
Ba	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ca	2,2910	2,2780	2,2240	2,0360	1,9940	2,1700	1,6610	2,0720	2,4330	2,5210	2,0690	2,0120	2,5610	2,4750	2,9790	2,8300	2,6780	2,5740	2,9930
Na	1,6740	1,6300	1,7350	1,7540	1,8130	1,7010	2,1730	1,7720	1,5230	1,4160	1,8680	1,8930	1,3650	1,4630	0,9820	1,1930	1,3280	1,3370	0,9750
K	0,0770	0,0720	0,0840	0,1130	0,1230	0,1100	0,1670	0,1320	0,0470	0,0380	0,0600	0,0590	0,0310	0,0420	0,0200	0,0260	0,0250	0,0340	0,0190
Total	**20,0050**	**19,9910**	**20,0050**	**19,9680**	**19,9460**	**19,9720**	**19,9840**	**19,9860**	**20,0000**	**19,9710**	**19,9710**	**19,9610**	**19,9510**	**19,9620**	**19,9810**	**20,0170**	**20,0030**	**19,9540**	**19,9880**
X	15,9240	15,9730	15,9140	15,9770	15,9930	15,9590	15,9700	15,9740	15,9740	15,9510	15,9460	15,9740	15,9580	15,9480	15,9610	15,9250	15,9400	15,9700	15,9720
Z	4,0810	4,0180	4,0910	3,9910	3,9530	4,0130	4,0140	4,0120	4,0260	4,0200	4,0250	3,9870	3,9930	4,0140	4,0200	4,0920	4,0630	3,9840	4,0160
Ab	41,4000	41,0000	42,9000	44,9000	46,1000	42,7000	54,3000	44,6000	38,0000	35,6000	46,7000	47,8000	34,5000	36,8000	24,7000	29,5000	32,9000	33,9000	24,5000
An	56,7000	57,2000	55,0000	52,2000	50,7000	54,5000	41,5000	52,1000	60,8000	63,4000	51,8000	50,8000	64,7000	62,2000	74,8000	69,9000	66,4000	65,2000	75,1000
Or	1,9000	1,8000	2,1000	2,9000	3,1000	2,8000	4,2000	3,3000	1,2000	1,0000	1,5000	1,5000	0,8000	1,1000	0,5000	0,6000	0,6000	0,9000	0,5000

TABELA 5 - PIROXÊNIOS - REBOUÇAS

Amostra	E-32/76	E-32/76	E-32/76	E-34/80	E-34/80	E-34/80	E-34/80	E-34/80	E-34/82	E-34/82	E-34/82	E-34/82	E-34/82
Rocha	Basalto	Basalto	Basalto	Gabro/basalto(contato)	Gabro/basalto(contato)	Gabro/basalto(contato)	Gabro/basalto(contato)	Gabro/basalto(contato)	Gabro	Gabro	Gabro	Gabro	Gabro
Análise	Microfen.	Microfen.	Matriz	Fenocristal	Microfen.	Microfen.	Matriz	Matriz	Fenocristal	Fenocristal	Microfen.	Microfen.	Matriz
Zona	borda	centro	centro	centro	borda	centro	centro	centro	borda	centro	borda	centro	centro
Óxidos													
SiO2	52,42	51,52	51,48	51,87	51,24	52,13	50,62	53,55	52,60	53,01	52,53	52,84	52,97
TiO2	1	1,16	1,16	0,38	0,55	0,42	0,51	0,21	0,3	0,38	0,44	0,42	0,37
Al2O3	1,59	2,21	2,22	2,05	1,92	2,18	1,21	0,88	2,20	2,31	2,24	2,29	1,99
FeO	10,06	10,23	10,01	10,95	15,65	9,06	20,12	17,49	9,06	8,07	8,57	9,49	10,28
MnO	0,26	0,22	0,20	0,27	0,39	0,27	0,45	0,40	0,26	0,23	0,16	0,24	0,26
MgO	16,53	16,36	16,11	16,08	15,42	16,15	11,88	22,18	16,91	17,33	17,49	18,17	16,75
CaO	17,23	17,22	17,98	17,54	13,84	18,87	14,72	4,89	18,21	18,55	18,16	16,43	17,65
Na2O	0,23	0,26	0,24	0,22	0,19	0,21	0,20	0,07	0,20	0,22	0,22	0,16	0,20
K2O	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Total	**99,34**	**99,18**	**99,40**	**99,36**	**99,20**	**99,29**	**99,72**	**99,67**	**99,74**	**100,10**	**99,81**	**100,05**	**100,47**
Cátions													
TSi	1,9550	1,9250	1,9200	1,9370	1,9430	1,9390	1,9560	1,9810	1,9430	1,9440	1,9320	1,9390	1,9500
TAl	0,0450	0,0750	0,0800	0,0630	0,0570	0,0610	0,0440	0,0190	0,0570	0,0560	0,0680	0,0610	0,0500
TFe3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
M1Al	0,0250	0,0220	0,0180	0,0270	0,0280	0,0350	0,0110	0,0190	0,0380	0,0430	0,0290	0,0380	0,0360
M1Ti	0,0280	0,0330	0,0320	0,0110	0,0160	0,0120	0,0150	0,0060	0,0080	0,0100	0,0120	0,0120	0,0100
M1Fe3	0,0000	0,0070	0,0140	0,0310	0,0120	0,0170	0,0180	0,0000	0,0160	0,0080	0,0290	0,0120	0,0080
M1Fe2	0,0280	0,0280	0,0400	0,0360	0,0730	0,0410	0,2710	0,0000	0,0060	0,0000	0,0000	0,0000	0,0270
M1Mg	0,9190	0,9110	0,8960	0,8950	0,8710	0,8960	0,6840	0,9750	0,9310	0,9380	0,9290	0,9390	0,9190
M2Mg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2480	0,0000	0,0090	0,0300	0,0550	0,0000
M2Fe2	0,2860	0,2850	0,2580	0,2740	0,4110	0,2240	0,3600	0,5410	0,2570	0,2400	0,2340	0,2790	0,2810
M2Mn	0,0080	0,0070	0,0060	0,0080	0,0130	0,0080	0,0150	0,0130	0,0080	0,0070	0,0050	0,0070	0,0080
M2Ca	0,6890	0,6890	0,7810	0,7010	0,5620	0,7520	0,6090	0,1940	0,7210	0,7290	0,7150	0,6460	0,6960
M2Na	0,0170	0,0190	0,0170	0,0160	0,0140	0,0150	0,0150	0,0050	0,0140	0,0160	0,0150	0,0110	0,0140
M2K	0,0010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0010	0,0000
Total	**4,00**	**4,00**	**4,00**	**4,00**	**4,00**	**4,00**	**4,00**	**4,00**	**4,00**	**4,00**	**4,00**	**4,00**	**4,00**
Ca	35,6930	35,8820	37,4430	36,6260	29,1180	39,1600	31,4140	9,8320	37,4720	37,8980	37,3870	33,5300	36,0340
Mg	47,6280	47,4520	46,6900	46,7230	45,1320	46,6260	35,2650	62,0640	48,4070	49,2700	50,1030	51,5830	47,5840
Fe2_Mn	16,6800	16,6670	15,8670	16,6510	25,7500	14,2140	33,3210	28,1030	14,1210	12,8320	12,5100	14,8870	16,3820
JD1	0,9150	0,9640	0,8880	0,8360	0,7270	0,7810	0,5800	0,2410	0,7370	0,8250	0,8040	0,6230	0,7440
AE1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2160	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CFTS1	0,0000	0,3390	0,7230	1,6370	0,6090	0,8930	0,7280	0,0000	0,8470	0,4070	1,5200	0,6080	0,4270
CTTS1	1,4440	1,6910	1,6840	0,5510	0,8130	0,6020	0,7640	0,3020	0,4310	0,5410	0,6360	0,6020	0,5300
CATS1	0,3830	0,1660	0,0240	0,5490	0,7270	1,0270	0,0000	0,6780	1,2460	1,4130	0,7190	1,3370	1,1020
WO1	33,6880	33,4690	34,8000	33,7430	26,9470	36,5030	29,9090	8,8920	34,8310	35,3620	34,3090	30,9040	33,8590
EN1	47,3900	47,1650	46,4260	46,5360	45,0980	46,4660	35,2500	62,3140	48,2550	49,0440	49,8310	51,4600	47,4310
FS1	16,1810	16,2060	15,4550	16,1490	25,0790	13,7270	32,5530	27,5730	13,6530	12,4080	12,1810	14,4650	15,9060
Q	1,9210	1,9130	1,9130	1,9070	1,9180	1,9130	1,9260	1,9580	1,9150	1,9150	1,9090	1,9190	1,9230
J	0,0340	0,0370	0,0340	0,0320	0,0280	0,0300	0,0300	0,0090	0,0280	0,0320	0,0310	0,0230	0,0290
Wo	35,6930	35,7600	37,1730	36,0330	28,9420	38,8120	31,1200	9,8320	37,1560	37,7430	36,8240	33,3270	35,8800
Ens	47,6280	47,2900	46,3530	45,9680	44,8580	46,2120	34,9350	62,0640	47,9990	49,0690	49,3490	51,2700	47,3810
Fs	16,6800	16,9500	16,4740	17,9990	26,2000	14,9760	33,9450	28,1030	14,8440	13,1880	13,8270	15,4020	16,7390
WEF	98,2760	98,0980	98,2440	98,3490	98,5660	98,4620	98,4860	99,5220	98,5610	98,3700	98,4080	98,8320	98,5290
Jd	1,7240	1,4620	0,9800	0,7560	1,0110	1,0290	0,5760	0,4780	1,0080	1,3790	0,7970	0,8920	1,1950
Ae	0,0000	0,4390	0,7760	0,8940	0,4230	0,5090	0,9380	0,0000	0,4310	0,2510	0,7950	0,2760	0,2760

TABELA 6 - OPACOS - REBOUÇAS

Amostra	E-34/80	E-34/82
Rocha	Gabro/basalto(contato)	Gabro
Análise	matriz	matriz
Localização	centro	centro
Óxidos		
SiO2	2,21	0,67
TiO2	19,69	20,12
Al2O3	1,35	1,54
FeO	65,79	70,93
Cr2O3	0,05	0
MnO	0,77	0,60
MgO	0,18	0,34
CaO	2,60	0,04
Na2O	0,00	0,00
K2O	0,00	0,00
Total	**92,64**	**94,24**
Cátions		
Si	0,74	0,23
Al	0,534	0,614
Ti	4,98	5,11
Fe2	18,493	20,041
Fe3	0,00	0,00
Cr	0,012	0,001
Mn	0,22	0,17
Mg	0,09	0,17
Ca	0,93	0,01
Total	**26,01**	**26,35**

APÊNDICE 3

Geoquímica das rochas das soleiras de Rebouças e Prudentópolis, PR.
Óxidos em %peso, obtidos por fluorescência de raios X.
Elementos traço, incluindo Terras Raras, em ppm, obtidos por ICP-MS.

TABELA 1 - GEOQUÍMICA - PRUDENTÓPOLIS

	AMOSTRA	E-9/17	E-9/18	E-10/19	E-10/20	E-11/21	E-11/23	E-23/56	E-23/57	E-25/64
ÓXIDOS	SiO2	51,19	50,72	51,34	51,01	50,53	50,11	54,26	52,33	50,72
	TiO2	2,32	2,37	2,33	2,26	2,01	1,92	2,98	3,99	4,04
	Al2O3	13,08	13,27	13,02	13,18	13,31	13,72	13,12	13,42	13,55
	Fe2O3	15,34	15,55	15,29	15,36	14,09	13,51	13,29	12,21	13,01
	MnO	0,17	0,15	0,16	0,17	0,17	0,14	0,11	0,09	0,11
	MgO	5,07	5,09	4,92	5,05	6,00	6,56	2,90	4,79	5,05
	CaO	9,14	9,04	9,10	9,16	10,46	10,68	6,41	7,85	7,93
	Na2O	2,39	2,48	2,46	2,43	2,37	2,33	3,23	2,82	3,08
	K2O	1,01	1,03	1,09	1,10	0,84	0,81	2,75	1,94	1,99
	P2O5	0,29	0,30	0,28	0,29	0,23	0,22	0,96	0,56	0,52
	LOI	1,49	0,26	0,23	0,16	0,89	1,92	0,27	0,99	0,24
	Total	100,00	100,01	100,00	100,01	100,00	100,00	100,01	100,00	100,00
	Total sem LOI	98,51	99,75	99,78	99,84	99,12	98,08	99,74	99,02	99,76
	ID	54,25	66,06	69,27	57,41	57,71	59,82	62,66	57,92	58,27
	m g	45,78	33,41	17,44	40,89	41,02	35,52	35,50	41,53	40,66
ELEMENTOS TRAÇO	Cr	79	79	77	78	133	163	22	66	70
	Ni	605	124	36	37	57	74	8	87	54
	Cu	354	354	344	345	349	368	338	295	252
	Zn	82	64	78	73	68	70	102	81	66
	Ba	313	391	355	359	307	281	762	816	632
	Rb	18	13	21	25	16	21	54	44	45
	Sr	210	214	216	243	326	336	659	676	733
	Zr	149	147	149	148	116	124	336	254	233
	Y	33	39	37	29	22	25	51	35	27
	Nb	4	9	16	11	3	1	38	30	21
ELEMENTOS TERRAS RARAS	Lu	-	-	-	-	-	0,10	0,13	-	-
	Y	-	-	-	-	-	11,80	21,50	-	-
	Dy	-	-	-	-	-	3,45	7,05	-	-
	Er	-	-	-	-	-	1,33	2,19	-	-
	Yb	-	-	-	-	-	0,71	1,04	-	-
	Gd	-	-	-	-	-	4,26	13,20	-	-
	La	-	-	-	-	-	16,40	57,20	-	-
	Eu	-	-	-	-	-	1,40	3,68	-	-
	Nd	-	-	-	-	-	18,40	67,40	-	-
	Ce	-	-	-	-	-	37,4	129	-	-
	Sm	-	-	-	-	-	4,47	14,40	-	-
NORMA CIPW	quartzo	5,35	4,23	5,18	4,53	2,66	1,47	7,52	6,35	2,25
	plagioclásio	42,73	43,54	42,58	42,86	43,75	44,83	40,92	42,53	43,74
	ortoclásio	6,03	6,21	6,56	6,62	5,02	4,79	16,43	11,58	11,94
	diopsídio	18,06	17,6	18,53	18,32	22,7	22,35	10,46	14,08	15,45
	hiperstênio	18,19	18,62	17,51	18,14	17,35	18,41	12,82	12,92	13,84
	wolastonita	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	olivina	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ilmenita	4,46	4,56	4,48	4,33	3,86	3,68	5,72	7,67	7,75
	magnetita	4,51	4,57	4,49	4,51	4,13	3,96	3,90	3,58	3,81
	hematita	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	apatita	0,67	0,70	0,67	0,67	0,53	0,51	2,25	1,30	1,20
	zircão	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	total	100,00	100,03	100,00	99,98	100,00	100,00	100,02	100,01	99,98

TABELA 2 - GEOQUÍMICA REBOUÇAS

AMOSTRA		E-14/32	E-32/76	E-34/80	E-34/81	E-34/82
ELEMENTOS MAIORES	SiO2	51,91	52,13	51,28	51,08	51,89
	TiO2	3,15	3,85	1,32	1,45	0,97
	Al2O3	15,99	13,79	13,53	13,62	13,86
	Fe2O3	15,26	13,07	14,27	14,03	11,67
	MnO	0,46	0,09	0,19	0,15	0,17
	MgO	3,1	4,25	6,12	6,31	7,03
	CaO	5,05	7,57	10,35	10,37	11,83
	Na2O	3,13	2,79	2,21	2,27	2,05
	K2O	1,51	1,89	0,57	0,55	0,42
	P2O5	0,45	0,57	0,16	0,17	0,12
	LOI	5,03	0,77	0,74	0,51	0,53
	Total	100,00	99,99	100,01	100,01	100,00
	Total sem LOI	94,97	99,23	99,27	99,50	99,47
	ID	57,93	54,49	58,98	53,53	61,66
	m g	49,06	49,41	48,3	40,07	44,63
ELEMENTOS TRAÇO	Cr	79	69	105	111	220
	Ni	36	65	49	58	68
	Cu	510	290	250	231	228
	Zn	89	76	77	62	48
	Ba	316	652	224	209	166
	Rb	35	31	16	12	9
	Sr	383	648	182	196	174
	Zr	196	248	78	95	72
	Y	40	37	20	24	15
	Nb	14	25	1	5	8
ELEMENTOS TERRAS RARAS	Lu	0,25	-	0,11	-	-
	Y	23,5	-	11,5	-	-
	Dy	6,06	-	3,31	-	-
	Er	2,56	-	1,33	-	-
	Yb	1,71	-	0,77	-	-
	Gd	7,05	-	3,71	-	-
	La	27,8	-	10,9	-	-
	Eu	2,08	-	1,15	-	-
	Nd	33	-	12,7	-	-
	Ce	59,9	-	22,8	-	-
	Sm	7,01	-	2,97	-	-
NORMA CIPW	quartzo	7,8	6,8	4,18	3,6	3,91
	plagioclásio	49,28	43,57	44,5	45,06	45,13
	ortoclásio	8,98	11,29	3,43	3,31	2,54
	diopsídio	0	11,94	20,88	20,89	25,22
	hiperstênio	21,27	13,85	19,92	19,84	17,65
	wolastonita	0	0	0	0	0
	olivina	0	0	0	0	0
	ilmenita	6,04	7,39	2,54	2,79	1,84
	magnetita	4,48	3,83	4,19	4,12	3,42
	hematita	0	0	0	0	0
	apatita	1,04	1,32	0,37	0,39	0,28
	zircão	0	0	0	0	0
	total	99,99	99,99	100,01	100,00	99,99

APÊNDICE 4

Cálculos da modelagem geoquímica

TABELA 1 - Composições químicas das amostras modeladas e resultado dos cálculos obtidos, cálculo de resíduo e razão entre calculado e observado. Soleira de Alto TiO_2

	Rocha primitiva	Rocha evoluída	Resultado calculado	Resíduo	Razão	Rocha evoluída	Resultado calculado	Resíduo	Razão
Óxidos	E-25/64	E-23/57	Step 3	R^2	calcul/obs	E-23/56	Step 4	R^2	calcul/obs
SiO2	50,72	52,33	52,925134	0,354	1,011	54,26	57,690608	11,769	1,063
TiO2	4,04	3,99	3,997423	0,000	1,002	2,98	3,359447	0,144	1,127
Al2O3	13,55	13,42	13,782636	0,132	1,027	13,12	13,519728	0,160	1,030
Fe2O3	13,01	12,21	11,73529	0,225	0,961	13,29	8,2714684	25,186	0,622
MnO	0,11	0,09	0,129264	0,002	1,436	0,11	0,187115	0,006	1,701
MgO	5,05	4,79	4,019294	0,594	0,839	2,90	2,735225	0,027	0,943
CaO	7,93	7,85	7,990791	0,020	1,018	6,41	7,020674	0,373	1,095
Na2O	3,08	2,82	3,330601	0,261	1,181	3,23	3,65285	0,179	1,131
K2O	1,99	1,94	2,355635	0,173	1,214	2,75	3,276729	0,277	1,192
P2O5	0,52	0,56	0,624034	0,004	1,114	0,96	0,903316	0,003	0,941
			$\sum R^2$	**1,764**	1,08043		$\sum R^2$	**38,124**	1,08463

TABELA 2 - Composições químicas das amostras modeladas e resultado dos cálculos obtidos, cálculo de resíduo e razão entre calculado e observado. Soleira de baixo TiO_2 - Etapa 1

	Rocha primitiva	Rocha evoluída	Resultado calculado	Resíduo	Razão	Rocha evoluída	Resultado calculado	Resíduo	Razão
Amostras	**E-11/23**	**E-11/21**	**step 2**	**Soma R^2**	**calcul/obs**	**E-9/18**	**step 3**	**Soma R^2**	**calcul/obs**
SiO2	50,11	50,53	50,63894	0,01	1,00	50,72	50,52013	0,04	1,00
TiO2	1,92	2,01	2,25847	0,06	1,12	2,37	2,525939	0,02	1,07
Al2O3	13,72	13,31	13,48295	0,03	1,01	13,27	13,09275	0,03	0,99
Fe2O3	13,51	14,09	15,0176	0,86	1,07	15,55	15,99504	0,20	1,03
MnO	0,14	0,17	0,168251	0,00	0,99	0,15	0,190115	0,00	1,27
MgO	6,56	6	6,106788	0,01	1,02	5,09	5,601671	0,26	1,10
CaO	10,68	10,46	9,761509	0,49	0,93	9,04	9,358277	0,10	1,04
Na2O	2,33	2,37	2,50215	0,02	1,06	2,48	2,583895	0,01	1,04
K2O	0,81	0,84	0,959663	0,01	1,14	1,03	1,071009	0,00	1,04
P2O5	0,22	0,23	0,264395	0,00	1,15	0,3	0,298752	0,00	1,00
			$\sum R^2$	**1,50**			$\sum R^2$	**0,67**	

TABELA 3 - Composições químicas das amostras modeladas e resultado dos cálculos obtidos, cálculo de resíduo e razão entre calculado e observado. Soleira de baixo TiO_2 - Etapa 2

	Rocha primitiva	Rocha evoluída	Resultado calculado	Resíduo	Razão	Rocha evoluída	Resultado calculado	Resíduo	Razão	Rocha evoluída	Resultado calculado	Resíduo	Razão
Óxidos	**E-9/18**	**E-10/20**	**Step 7**	**R²**	**calcul/obs**	**E-9/17**	**Step 7**	**R²**	**calcul/obs**	**E-10/19**	**Step 8**	**R²**	**calcul/obs**
SiO2	50,72	51,01	51,402092	0,15	1,01	51,19	51,381813	0,04	1,00	51,34	51,352687	0,00	1,00
TiO2	2,37	2,26	2,423391	0,03	1,07	2,32	2,525393	0,04	1,09	2,33	2,652545	0,10	1,14
Al2O3	13,27	13,18	13,292974	0,01	1,01	13,08	13,006779	0,01	0,99	13,02	12,731481	0,08	0,98
Fe2O3	15,55	15,36	15,761686	0,16	1,03	15,34	16,125933	0,62	1,05	15,29	16,521082	1,52	1,08
MnO	0,15	0,17	0,153379	0,00	0,90	0,17	0,160054	0,00	0,94	0,16	0,168429	0,00	1,05
MgO	5,09	5,05	5,204667	0,02	1,03	5,07	5,064093	0,00	1,00	4,92	4,839742	0,01	0,98
CaO	9,04	9,16	9,12343	0,00	1,00	9,14	9,067182	0,01	0,99	9,10	9,014822	0,01	0,99
Na2O	2,48	2,43	2,502168	0,01	1,03	2,39	2,507089	0,01	1,05	2,46	2,520709	0,00	1,02
K2O	1,03	1,1	1,051405	0,00	0,96	1,01	1,091396	0,01	1,08	1,09	1,141634	0,00	1,05
P2O5	0,3	0,29	0,306758	0,00	1,06	0,29	0,320109	0,00	1,10	0,28	0,336858	0,00	1,20
			$\sum R^2$	**0,39**			$\sum R^2$	**0,73**			$\sum R^2$	**1,73**	